

PEMANFAATAN TEKNOLOGI LONG RANGE SEBAGAI PERINGATAN DINI KONDISI CUACA EKSTREM UNTUK POS JAGA PENDAKIAN DI DAERAH PEGUNUNGAN

Oleh :

Mohammad Fauzi¹, Yamato², Bloko Budi Ridjadi³

Program Studi Teknik Elektro Universitas Pakuan

Email : Fauziaung2@gmail.com

ABSTRAK

Bencana cuaca ekstrem menjadi ancaman serius bagi para pendaki gunung. Berdasarkan data BNPB tahun 2023, tercatat ada 456 kejadian cuaca ekstrem. Seperti kejadian pada gunung bawakerang pada bulan agustus 2021 sedikitnya ditemukan 3 orang korban hipotermia akibat cuaca ekstrem di gunung. Oleh karena itu, diperlukan sistem peringatan dini untuk memberikan informasi dini kepada pendaki guna meminimalisir risiko korban jiwa dan kerugian lainnya. Penelitian ini memanfaatkan teknologi LoRa, yang mampu beroperasi tanpa koneksi internet di daerah terpencil, untuk mengirimkan dan menerima data sensor secara real-time. Sistem ini dirancang dengan Arduino Uno dan ESP32 sebagai mikrokontroler, LoRa RFM95 sebagai modul komunikasi jarak jauh, sensor DHT 22 untuk mendeteksi suhu dan kelembapan, sensor SW-420 untuk mendeteksi getaran sebagai data tambahan, baterai untuk sumber daya perangkat, serta antena *omnidirectional*. Penelitian menggunakan metode eksperimen untuk merancang dan menguji alat, survei lokasi untuk menentukan lingkungan aplikasi, studi literatur sebagai landasan teori dalam pengembangan sistem dan membandingkan hasil perencanaan menggunakan simulasi *platform Radio Mobile Online*, perhitungan *link budget* dan hasil pengujian. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tanpa *repeater*, jangkauan sinyal LoRa mencapai 2.222 meter, meskipun kualitas sinyal menurun signifikan setelah 1.000 meter yaitu sebesar -100dBm dan menjadi buruk di atas 2.000 meter dengan nilai RSSI -108 dBm. Penggunaan *repeater* terbukti efektif dalam memperbaiki kualitas sinyal, meskipun pada jarak jauh masih diperlukan optimalisasi lebih lanjut. Simulasi menggunakan Radio Mobile Online menghasilkan prediksi yang lebih akurat dibandingkan perhitungan *link budget*, karena mempertimbangkan berbagai faktor propagasi sinyal. Sistem ini berhasil mengirimkan data suhu, kelembapan, dan getaran secara real-time ke platform *ThingSpeak*, sesuai dengan perencanaan. Dengan demikian, teknologi LoRa memiliki potensi besar untuk diterapkan sebagai sistem peringatan dini bencana di daerah pegunungan, memberikan solusi yang efektif dan efisien dalam mitigasi risiko bencana.

Kata Kunci : LoRa, Peringatan Dini, Radio Mobile Online, Repeater.

ABSTRACT

Extreme weather disasters pose a serious threat to mountain climbers. Based on BNPB data in 2023, there were 456 extreme weather events. As happened on Mount bawakerang in August 2021, there were at least 3 victims of hypothermia due to extreme weather on the mountain. Therefore, an early warning system is needed to provide early information to climbers to minimize the risk of casualties and other losses. This research utilizes LoRa technology, which is capable of operating without an internet connection in remote areas, to transmit and receive sensor data in real-time. The system is designed with Arduino Uno and ESP32 as microcontrollers, LoRa RFM95 as a remote communication module, DHT 22 sensor to detect temperature and humidity, SW-420 sensor to detect vibration as additional data, battery for device power source, and omnidirectional antenna. The research used experimental methods to design and test the device, site surveys to determine the application environment, and literature studies as a theoretical basis for system development and comparing the planning results using the Radio Mobile Online platform simulation, link budget

calculations, and test results. The test results show that without repeaters, the LoRa signal range reaches 2,222 meters, although the signal quality decreases significantly after 1,000 meters at -100dBm and becomes poor above 2,000 meters with an RSSI value of -108 dBm. The use of repeaters proved effective in improving signal quality, although at long distances further optimization is still required. Simulation using Radio Mobile Online produces more accurate predictions than link budget calculations, as it considers various signal propagation factors. The system successfully sends real-time temperature, humidity, and vibration data to the ThingSpeak platform, as planned. Thus, LoRa technology has great potential to be applied as a disaster early warning system in mountainous areas, providing an effective and efficient solution in disaster risk mitigation.

Keywords: LoRa, Early Warning, Radio Mobile Online, Repeater

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan data BNPB tahun 2023, terdapat 5.400 kejadian bencana di Indonesia dengan 6.153 korban jiwa meninggal, terluka, dan hilang [1]. Dalam 5400 kejadian bencana diantaranya terdapat 456 kejadian bencana alam cuaca ekstrem [2]. Bencana cuaca ekstrem menjadi ancaman serius bagi para pendaki gunung. Seperti kejadian pada gunung bawakerang pada bulan agustus 2021 sedikitnya ditemukan 3 orang korban hipotermia akibat cuaca ekstrem di gunung [3].

Alat peringatan dini sangat diperlukan oleh pendaki yang akan mendaki ke puncak gunung. Tujuan dari alat peringatan dini tersebut untuk memberi peringatan kepada pendaki ketika terjadi bencana, sehingga dapat mempersiapkan diri terhadap bencana yang tidak dapat direncanakan kapan datangnya [4] [5].

peringatan dini dapat di optimalkan dengan menggunakan sirine dan informasi secara *realtime* melalui internet pada bagian penerima (*receiver*), namun bagaimana data dari pengirim (*transmitter*) yang merupakan daerah tidak terjangkau koneksi internet tetap bisa mengirimkan data sensor. Dengan menggunakan teknologi LoRa, alat peringatan dini bencana gempa bumi dan cuaca ekstrem dapat digunakan pada daerah yang tidak terjangkau koneksi internet. Karena teknologi LoRa dapat melakukan komunikasi sejauh 10 Km dengan frekuensi 433,816 dan 915 MHz tanpa adanya sinyal internet. Bencana alam cuaca ekstrem tersebut dapat dideteksi sedini mungkin dan juga dapat dipahami bagi para pendaki gunung. Dengan demikian kemungkinan jatuhnya korban jiwa dan kerugian materil dapat diminimalisir [4] [6] [7]. Sebagai tambahan,

penelitian ini juga mengintegrasikan sensor getar (SW-420) untuk memberikan data tambahan mengenai aktivitas getaran di sekitar puncak gunung. Meskipun data getar ini tidak digunakan untuk mendeteksi gempa bumi, informasi yang dihasilkan dapat menjadi pendukung dalam memahami kondisi lingkungan sekitar.

II. LANDASAN TEORI

2.1. Sistem Peringatan Dini

Sistem peringatan dini bencana adalah komponen yang sangat penting untuk mengurangi risiko bencana karena hal tersebut memungkinkan masyarakat untuk melakukan penyelamatan, menghindari korban jiwa, dan mengurangi efek bencana. Secara teoritis bila peringatan dini disampaikan tepat waktu, maka suatu peristiwa yang dapat menimbulkan bencana dapat diperkecil dampak negatifnya [8].

2.2. Sistem Komunikasi *Nirkabel*

Komunikasi *Nirkabel* adalah metode pengiriman informasi dari satu tempat ke tempat lain tanpa menggunakan kabel fisik. Biasanya sistem komunikasi *Nirkabel* ini digunakan di suatu daerah atau lokasi dimana penggunaanya tidak terdapat jaringan kabel untuk pengiriman data [9].

2.2.1. Perhitungan *Link Budget* Pada Sistem Komunikasi *Nirkabel*

Perhitungan *link budget* adalah elemen krusial dalam desain dan evaluasi sistem komunikasi *Nirkabel*. Konsep ini mencakup estimasi kekuatan sinyal yang diterima pada penerima, yang bergantung pada berbagai faktor yang mempengaruhi transmisi sinyal dari pemancar ke penerima. *Link budget* menghitung total kekuatan sinyal yang sampai ke penerima dengan mempertimbangkan daya pemancar, *gain* antena,

kerugian sistem, dan sensitivitas penerima [10].

Kerugian sistem, yang mencakup kerugian jalur (*path loss*), kerugian akibat kabel, dan konektor, juga harus diperhitungkan. *Path loss*, atau kerugian akibat jarak dan lingkungan, Pada saat sinyal radio berpropagasi di udara akan mengalami redaman dari udara. Besarnya redaman yang terjadi dapat dihitung dengan persamaan berikut [11].

$$FSL(dB) = 32,44 + 20 \log d \text{ (Km)} + 20 \log f \text{ (MHz)} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan keterangan :

- d : jarak (Km)
- f : frekuensi (MHz)
- FSL : Rugi – rugi di Udara (dB)

Selain itu, sensitivitas penerima (*Prx*) adalah daya minimum yang dibutuhkan oleh penerima untuk mendeteksi sinyal secara efektif. Semua faktor ini digabungkan dalam rumus dasar perhitungan link budget sebagai berikut [11].

$$P_{RX}(dBm) = P_{TX}(dBm) + G_{TX}(dB) - L_{TX}(dB) - L_{FS}(dB) + G_{RX}(dB) - L_{RX}(dB) \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan keterangan :

- P_{RX} : Daya Penerima (dBm)
- P_{TX} : Daya Pengirim (dBm)
- G_{TX} : Penguatan di Pengirim (dB)
- L_{TX} : Rugi - Rugi pengirim (dB)
- L_{FS} : Rugi - Rugi di Udara (dB)
- G_{RX} : Penguatan di Penerima (dB)
- L_{RX} : Rugi - Rugi di Penerima (dB)

2.2.2 RSSI

RSSI (Received Signal Strength Indicator) adalah ukuran kekuatan sinyal yang diterima oleh perangkat penerima dari perangkat pengirim yang umumnya dinyatakan dalam satuan *dBm*. Standarisasi *RSSI* menurut *TIPHON (Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks)* ditunjukkan pada tabel 1 [12].

Tabel 1. Standar RSSI Menurut TIPHON

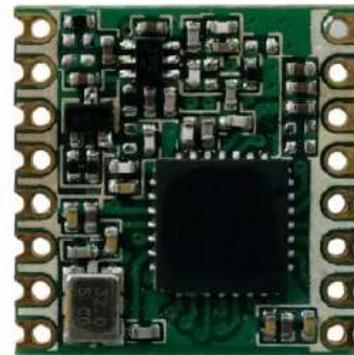
Kategori	Kekuatan sinyal (dBm)
Sangat Baik	> -70 dBm
Baik	-70 dBm s/d -85 dBm
Sedang	-86 dBm s/d -100 dBm
Buruk	-100 dBm

2.2.3 Frekuensi Kerja

Frekuensi kerja adalah rentang frekuensi tertentu yang digunakan oleh perangkat komunikasi atau elektronik untuk mengirim dan menerima sinyal. Pada penelitian ini Frekuensi 915 MHz dipilih karena termasuk dalam spektrum ISM (Industrial, Scientific, and Medical), yang secara global digunakan untuk perangkat telekomunikasi berdaya rendah, seperti aplikasi *IoT* [13] [14].

2.3 Long Range (LoRa)

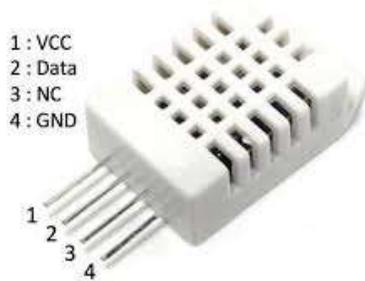
LoRa adalah teknologi *Nirkabel* yang menggunakan gelombang radio dalam penggunaannya. LoRa bekerja pada lapisan fisik (PHY) dari model komunikasi, menggunakan modulasi spektrum yang menyebar (*spread spectrum*) berbasis *Chirp Spread Spectrum (CSS)*. Teknologi ini memungkinkan transmisi data pada jarak jauh dengan tingkat interferensi yang rendah [15]. Pada penelitian ini LoRa yang digunakan adalah seri RFM95 yang dapat di lihat pada gambar 1.



Gambar 1. LoRa RFM95

2.4 Sensor DHT22

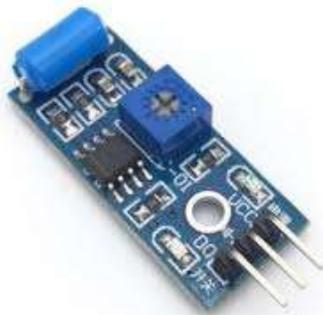
Sensor DHT22 adalah sensor digital kelembaban dan suhu. Sensor DHT22 menggunakan kapasitor dan termistor untuk mengukur udara disekitarnya dan keluar sinyal pada pin data. DHT22 diklaim memiliki kualitas pembacaan yang baik, dinilai dari respon proses akuisisi data yang cepat dan ukurannya yang minimalis, serta dengan harga relatif murah jika dibandingkan dengan alat *thermohygrometer* [16]. Gambar sensor DHT22 dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Sensor DHT 22

2.5 Sensor Getar SW-420

Sensor SW-420 Merupakan salah satu sensor yang dapat mengukur getaran yang nantinya data tersebut akan diproses untuk kepentingan percobaan ataupun di gunakan untuk mengantisipasi sebuah kemungkinan adanya bahaya [17]. Bentuk fisik sensor SW-420 dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Sensor SW-420

2.6 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sistem komputer mini yang terintegrasi dalam satu chip dan berfungsi untuk mengendalikan perangkat elektronik. *Mikrokontroler* terdiri dari unit pemroses sentral (CPU), memori (RAM dan ROM), serta *input/output* (I/O) yang memungkinkan interaksi dengan perangkat eksternal. Interkoneksi LoRa dengan *mikrokontroler* sangat penting karena modul LoRa sendiri hanya dapat mengirimkan dan menerima data tanpa adanya kemampuan untuk mengolah data atau membuat keputusan.

2.6.1 Arduino Uno

Arduino Uno adalah papan *mikrokontroler* berbasis ATmega328P yang dirancang untuk

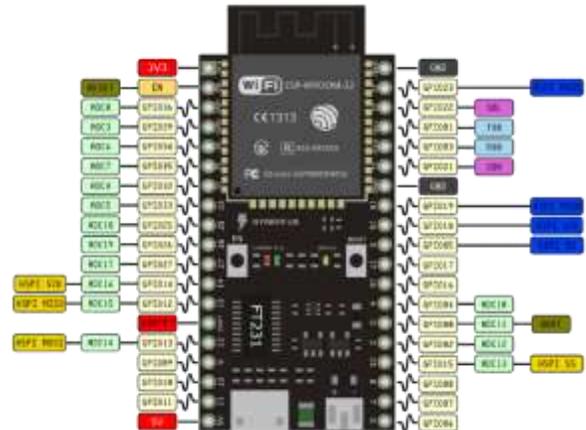
memudahkan pengembangan proyek elektronik. Bentuk fisik dari Arduino uno dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Arduino Uno

2.6.2 ESP32

ESP32 adalah *mikrokontroler* yang dikenalkan oleh Espressif System merupakan penerus dari *mikrokontroler* ESP8266. Pada *mikrokontroler* ini sudah tersedia modul WiFi dalam chip sehingga sangat mendukung untuk membuat sistem aplikasi *IoT*. Terlihat pada gambar 5 merupakan bentuk fisik dan *pin out* dari ESP32.



Gambar 5. ESP32

2.7 Buzzer

Buzzer merupakan komponen elektronika yang berfungsi sebagai pengubah arus listrik menjadi getaran yang menghasilkan suara, bisa dibidang mirip seperti speaker sederhana. Gambar buzzer dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Buzzer

2.8 OLED Display I2C

OLED *display* disebut juga *organic Light Emitting Diode* adalah *display* grafik dengan ukuran 0.96 inci dan resolusi 128x64 *pixel* menggunakan teknologi OLED *display*. Untuk komunikasi dengan *Mikrokontroler* Arduino menggunakan Komunikasi I2C, menggunakan 2 pin yaitu pin *SDA* dan pin *SCL* sehingga menghemat pin Bentuk fisik OLED I2C dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. OLED Display I2C

2.9 Antena

Dalam rekayasa radio, antena berfungsi sebagai jembatan antara gelombang radio yang bergerak melalui ruang dan arus listrik yang mengalir dalam konduktor logam, dan digunakan bersama dengan pemancar atau penerima. Ketika transmisi dilakukan, pemancar radio mengalirkan arus listrik ke terminal antena, dan antena memancarkan energi dari arus tersebut sebagai gelombang elektromagnetik (gelombang radio). Sebaliknya, dalam penerimaan, antena menangkap sebagian dari kekuatan gelombang radio untuk menghasilkan arus listrik di terminalnya. Pada penelitian ini antena yang digunakan adalah antena *omnidirectional* karena Antena *omni-directional* dirancang untuk memancarkan dan menerima sinyal dalam semua arah secara horizontal. Ini membuat antena jenis ini ideal untuk komunikasi di mana arah sinyal tidak tetap

atau berubah-ubah [18]. Bentuk fisik antena *omni directional* dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Antena Omnidirectional

2.10 Thingspeak

ThingSpeak merupakan sebuah *platform Internet of Things (IoT)* yang memungkinkan pengguna untuk mengumpulkan, menganalisis, dan memvisualisasikan data dari perangkat dan sensor yang terhubung melalui internet [19].

2.11 Baterai 18650

Baterai 18650 adalah tipe baterai *lithium-ion* yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi elektronik dan perangkat *portable*. Gambar baterai 18650 dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Baterai 18650

2.12 Radio Mobile Online

Radio Mobile Online adalah perangkat lunak berbasis *web* yang digunakan untuk merancang dan menganalisis jaringan komunikasi radio, khususnya dalam hal jangkauan dan performa sinyal. Perangkat lunak ini juga mendukung simulasi cakupan, memungkinkan pengguna mensimulasikan cakupan jaringan berdasarkan data topografi dan parameter jaringan yang diinput, membantu memahami area jangkauan dan mengidentifikasi titik lemah dalam jaringan. Hasil perencanaan dan analisis ditampilkan dalam bentuk

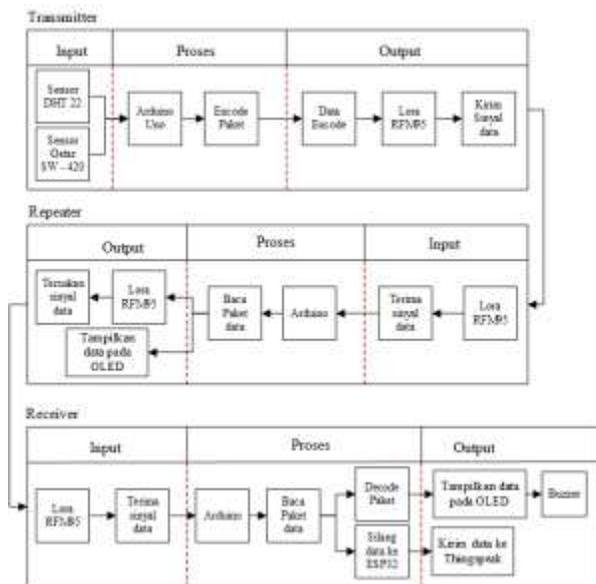
peta yang menunjukkan area cakupan, kekuatan sinyal, dan potensi interferensi, memudahkan pengguna untuk membuat keputusan mengenai penempatan infrastruktur jaringan. Khusus dalam konteks komunikasi LoRa, *Radio Mobile Online* digunakan untuk merancang dan mengoptimalkan jaringan LoRaWAN, terutama di wilayah dengan kontur geografis kompleks, seperti pegunungan.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Blok Diagram Perancangan Alat

Dalam perancangan blok diagram, sistem terdiri dari tiga komponen utama: *transmitter*, *repeater*, dan *receiver*. *Transmitter* dilengkapi dengan sensor suhu DHT22 dan sensor getar SW-420 untuk mendeteksi suhu ekstrem dan getaran. Data yang dikumpulkan dari sensor ini dikirimkan melalui modul LoRa RFM95 ke *repeater*. *Repeater* bertugas menerima data dari *transmitter*, menampilkannya pada OLED I2C, dan mentransmisikan ulang data tersebut ke *receiver*.

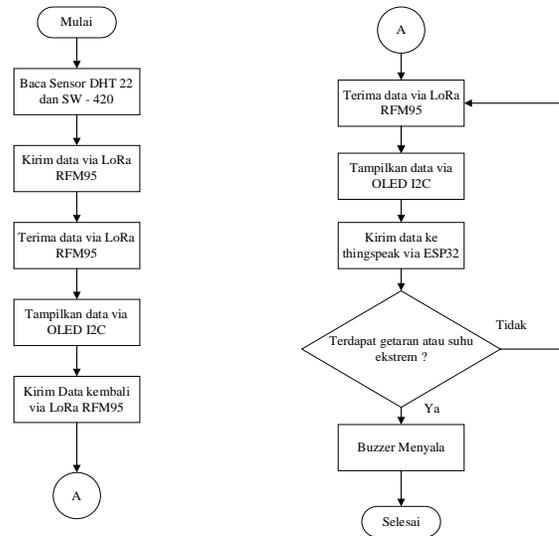
Receiver menerima data dari *repeater* dan menampilkan informasi pada OLED I2C. Selain itu, *receiver* juga terhubung dengan buzzer yang akan memberikan alarm jika terdeteksi suhu ekstrem atau getaran. Data yang diterima juga dikirimkan ke *platform ThingSpeak* melalui ESP32 untuk pemantauan jarak jauh. Selanjutnya blok diagram dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Blok diagram Perancangan Alat

3.2 Diagram Alir Cara Kerja Alat

Pada penelitian ini, diagram alir cara kerja alat ditunjukkan pada gambar 11.



Gambar 11. Diagram Alir cara Kerja Alat

Dari gambar 11 dapat di lihat bahwa program dimulai dengan membaca data sensor suhu DHT22 dan sensor getar SW-420. Data akan diteruskan kepada *repeater* dan ditampilkan melalui OLED I2C serta dikirimkan kembali kepada *receiver* untuk di periksa apakah terdapat indikasi suhu ekstrem atau terdapat getaran, sehingga data tersebut dapat dapat mengaktifkan *buzzer* jika terdapat indikasi suhu ekstrem atau terdapat getaran. Setiap data yang diterima oleh *receiver* akan diteruskan Kembali oleh ESP32 ke *platform ThingSpeak* agar data dapat disimpan dan dipantau secara *real time*.

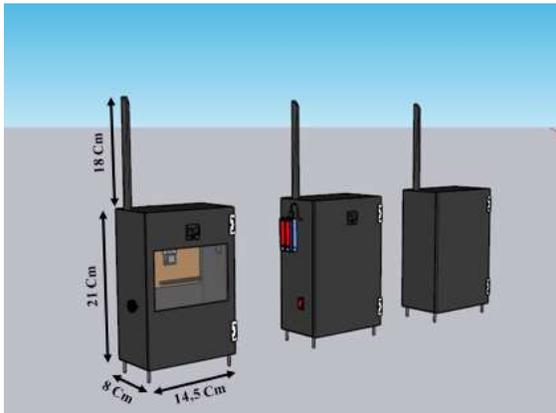
3.3 Cara Kerja Sistem Peringatan Dini

Sistem peringatan dini yang dirancang bertujuan untuk mendeteksi getaran dan cuaca ekstrem di puncak gunung serta menyampaikan informasi secara cepat kepada pendaki dan pos jaga. Sistem ini melibatkan *transmitter*, *repeater*, *receiver*, dan *platform ThingSpeak* sebagai komponen utamanya. *Transmitter* yang ditempatkan di puncak gunung, mengumpulkan data suhu, kelembapan (menggunakan DHT22), dan getaran (menggunakan SW-420). Data ini diolah dan dikirimkan ke *repeater* yang berada di lokasi strategis untuk memperluas jangkauan

komunikasi. *Repeater* meneruskan data ke *receiver* di pos jaga pendakian, di mana data diproses lebih lanjut dan dikirim secara *real-time* ke *platform ThingSpeak* melalui koneksi internet. Jika terdeteksi potensi bencana seperti getaran atau cuaca ekstrem, petugas akan menggunakan *handy talkie* (HT) untuk memberi peringatan kepada pendaki di gunung.

3.4 Desain Kontruksi Alat

Seluruh komponen yang telah di rancang akan diletakkan didalam sebuah *box* panel, kemudian *box* panel tersebut diletakan pada titik kordinat perencanaan yang mencakup titik *transmitter*, titik *repeater*, dan titik *receiver*. Pada perancangan desain konstruksi digunakan *software Sketchup*. Gambar 12 menampilkan hasil desain perancangan konstruksi alat.



Gambar 12. Desain Kontruksi Alat

3.5 Perencanaan Melalui *Radio Mobile Online*

Pemodelan performa jaringan komunikasi nirkabel menjadi aspek penting dalam penelitian ini untuk memastikan kelancaran transmisi data di daerah pegunungan. Perangkat lunak *Radio Mobile Online* digunakan untuk memprediksi cakupan sinyal dan mengidentifikasi kendala komunikasi berdasarkan topografi dan parameter teknis. Simulasi cakupan sinyal dilakukan dengan mempertimbangkan frekuensi kerja, ketinggian antenna, serta lokasi geografis, yang diperoleh melalui survei lapangan menggunakan aplikasi *Mobile Topographer* dengan akurasi pengukuran di bawah 1 meter.

Pada penelitian ini kawah ratu gunung salak dipilih sebagai objek penelitian. Setelah mendapatkan data koordinat dari survey lapangan,

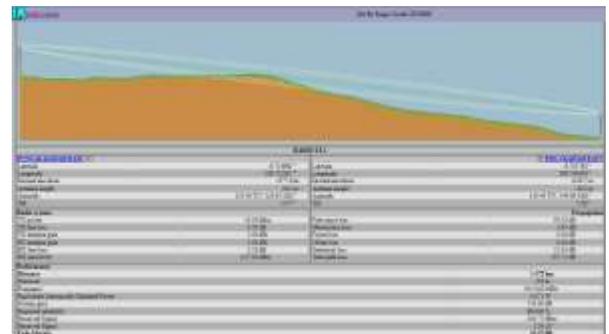
data bisa langsung di input kedalam *software radio mobile online*, dengan menempatkan posisi *receiver* di pos simaksi, *repeater* di pos 2 kawah ratu dan *transmitter* di puncak kawah ratu. dengan mengatur beberapa parameter seperti berikut :

- Frekuensi : 915 MHZ
- TX Power : 0.0251 watt / 14 dBm
- TX Line Loss : 0.5 dB
- RX Line Loss : 0.5 dB
- TX Antena Gain : 5 dB
- RX Antena Gain : 5 dB
- Required Reability : 90%

Hasil yang di dapatkan dari beberapa simulasi adalah sebagai berikut :

1. Radio TA 1 (Puncak Kawah Ratu – Pos 2 Kawah Ratu)

Simulasi ini menghitung total kerugian propagasi sebesar 127,73 dB, yang terdiri dari *free space loss* sebesar 95,02 dB dan *statistical loss* sebesar 31,03 dB. Jarak antara kedua titik diukur sejauh 1.472 m dengan frekuensi operasi 915 MHz. Sinyal yang diterima di Pos 2 Kawah Ratu tercatat - 104,73 dBm, dengan *margin fading* sebesar 22,27 dB. Gambar simulasi dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. Simulasi Radio TA 1

2. Radio TA 2 (Pos 2 Kawah Ratu – Pos Simaksi Kawah Ratu)

Simulasi ini menghitung total kerugian propagasi sebesar 133,01 dB, yang terdiri dari *free space loss* sebesar 97,14 dB dan *statistical loss* sebesar 31,14 dB. Jarak antara kedua titik diukur sejauh 1.880 m dengan frekuensi operasi 915 MHz. Sinyal yang diterima di Pos 2 Kawah Ratu tercatat - 110,01 dBm, dengan *margin fading* sebesar 16,99 dB. Gambar simulasi dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 14. Simulasi Radio TA 2

3.6. Perencanaan Dengan Perhitungan Link Budget Berdasarkan Jarak

Dari hasil perencanaan melalui radio mobile online di bab 3.5, dapat dilakukan perhitungan *link budget* berdasarkan jarak yang di dapat dari hasil simulasi, yaitu pada jarak 1.472 meter dan 1.880 meter menggunakan persamaan pada bab 2.1.1. dan menggunakan nilai *RSL* yang sama dengan *RX sensitivity* pada perencanaan menggunakan *radio mobile online* yaitu sebesar -127 dBm. sehingga di dapatkan hasil dari perhitungan link budget seperti berikut:

1. Jarak Antara Transmitter Ke Repeater 1472 Meter

$$\begin{aligned}
 FSL &= 32,44 + 20 \log 1,472 + 20 \log 915 \\
 &= 32,44 + 3,36 + 59,22 \\
 &= \mathbf{95,02 \text{ dB}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{RX} &: 14 + 5 - 0,5 - 95,01 + 5 - 0,5 \\
 &= \mathbf{-72,02 \text{ dBm}}
 \end{aligned}$$

Nilai P_{RX} pada jarak 1.472 meter sebesar **-72,02 dBm**, nilai ini masih berada di atas batas sensitivitas penerima (*RSL*) yaitu sebesar **-127 dBm**.

2. Jarak Antara Repeater Ke Receiver 1880 Meter

$$\begin{aligned}
 FSL &= 32,44 + 20 \log 1,880 + 20 \log 915 \\
 &= 32,44 + 5,48 + 59,22 \\
 &= \mathbf{97,14 \text{ dB}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{RX} &= 14 + 5 - 0,5 - 97,14 + 5 - 0,5 \\
 &= \mathbf{-74,14 \text{ dBm}}
 \end{aligned}$$

Nilai P_{RX} pada jarak 1880 meter sebesar **-74,14 dBm**, nilai ini masih berada di atas batas sensitivitas penerima (*RSL*) yaitu sebesar **-127 dBm**.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Tanpa Repeater

Pengujian ini bertujuan untuk mendekati kondisi lapangan yang sesungguhnya, untuk mengukur jangkauan sinyal dan kualitas penerimaan pada berbagai jarak, sehingga diperoleh hasil optimal sesuai kekuatan sinyal yang diharapkan. Gambar 15 menunjukkan titik lokasi pengujian tanpa *repeater*.



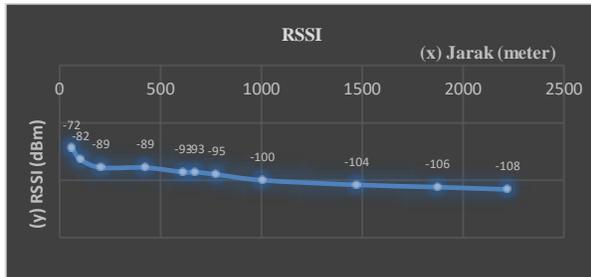
Gambar 15. Lokasi Pengujian Tanpa Repeater

Hasil pengujian dilakukan sebanyak lima kali pada setiap titik pengukuran untuk memperoleh data yang konsisten. Rata-rata nilai *RSSI* dari pengujian tanpa *repeater* disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rata Rata nilai RSSI Pengujian Tanpa Repeater

No	Jarak	Nilai RSSI (dBm)
1	60 meter	-72
2	105 meter	-82
3	205 meter	-89
4	425 meter	-89
5	614 meter	-93
6	675 meter	-93
7	778 meter	-95
8	1.006 meter	-100
9	1.472 meter	-104
10	1.880 meter	-106
11	2.222 meter	-108

Dari tabel 2 maka dapat dibuat grafik yang ditunjukkan pada gambar 16.

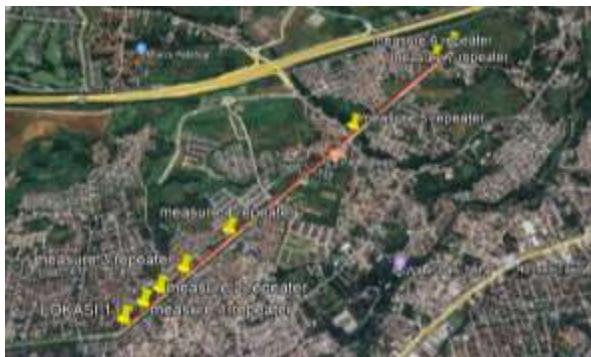


Gambar 16. Grafik Perbandingan RSSI Dan Jarak

Grafik pada gambar 16 menunjukkan adanya penurunan kekuatan sinyal seiring bertambahnya jarak antara pemancar dan penerima. Pada jarak 60 meter, nilai rata-rata *RSSI* adalah -72 dBm yang berarti sinyal masih dapat diterima dengan baik. Namun, pada jarak 105 meter hingga 425 meter, nilai *RSSI* turun antara -82 dBm hingga -89 dBm, menandakan pelemahan sinyal dan sinyal berada pada kategori sedang. Pada jarak lebih dari 600 meter, nilai *RSSI* mencapai -93 dBm hingga -104 dBm, dan pada 1.872 meter hingga 2.222 meter, nilai *RSSI* mencapai -106 dBm hingga -108 dBm, menunjukkan sinyal yang buruk atau tidak dapat diterima. Penurunan ini disebabkan oleh atenuasi, di mana sinyal melemah seiring bertambahnya jarak.

4.2 Pengujian Menggunakan Repeater

Pengujian menggunakan *repeater* dilakukan untuk mengevaluasi peningkatan jangkauan dan stabilitas transmisi data dalam sistem komunikasi LoRa. *Repeater* ditempatkan di titik yang telah direncanakan untuk memperluas cakupan area komunikasi. Gambar 17 menunjukkan lokasi pengujian menggunakan *repeater*.



Gambar 17. Lokasi Pengujian Menggunakan Repeater

Hasil pengujian dilakukan sebanyak lima kali pada setiap titik pengukuran untuk memperoleh data yang konsisten. Rata-rata nilai *RSSI* dari pengujian menggunakan *repeater* disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rata Rata Nilai RSSI Pengujian Menggunakan Repeater

No	Jarak Transmitter ke repeater (m)	Jarak repeater ke receiver (m)	Total jarak (m)	Nilai Rata Rata RSSI repeater (dBm)	Nilai Rata Rata RSSI receiver (dBm)
1	55	50	105	-80	-74
2	105	100	205	-82	-77
3	205	143	348	-89	-78
4	425	200	625	-89	-85
5	778	687	1465	-95	-93
6	1472	750	2222	-104	-95
7	220	1880	2085	-89	-106

Tabel 3 menunjukkan bahwa penggunaan *repeater* meningkatkan kekuatan sinyal di *receiver*. Pada jarak 105 hingga 625 meter, dengan rata-rata *RSSI* di *repeater* sebesar -72 dBm hingga -89 dBm dan di *receiver* sebesar -74 dBm hingga -75 dBm, menandakan sinyal berada pada kualitas baik. Pada jarak 1.465 hingga 2.222 meter, sinyal di *repeater* melemah dengan rata-rata *RSSI* -95 dBm hingga -104 dBm, namun sinyal di *receiver* masih dapat diterima dengan rata-rata -93 dBm hingga -95 dBm. Pada jarak total 2.085 meter, *repeater* memiliki nilai rata-rata *RSSI* -89 dBm, namun sinyal di *receiver* menurun drastis menjadi -106 dBm, menandakan sinyal berada pada batas buruk.

4.3. Perbandingan Hasil Perencanaan Dengan Hasil Pengujian

Pada bab 3.5 dan 3.6 telah membahas tentang perencanaan sistem *telekomunikasi nirkabel* menggunakan *software Radio Mobile Online* dan perhitungan *link budget* berdasarkan jarak, yang akan dibandingkan dengan hasil pengujian. perbedaan pada ke tiga metode ini dapat dilihat pada tabel 4

Tabel 4. Perbandingan Perencanaan Dan Hasil Pengujian

No	Jarak (m)	Perencanaan (simulasi <i>radio mobile online</i>) (dBm)	Perencanaan (perhitungan <i>link budget</i>) (dBm)	hasil pengujian (dBm)
1	1472	-104,73	-72,02	-104
2	1880	-110,01	-74,14	-106

Berdasarkan Tabel 4, simulasi menggunakan Radio Mobile Online menghasilkan nilai RSSI yang lebih mendekati hasil pengujian dibandingkan dengan perhitungan *link budget*. Sebagai contoh, pada jarak 1.472 meter, nilai RSSI dari simulasi adalah -104,73 dBm, mendekati hasil pengujian langsung sebesar -104 dBm, sementara perhitungan *link budget* menunjukkan nilai yang jauh berbeda, yaitu -72,02 dBm. Hal serupa terjadi pada jarak 1.880 meter, di mana simulasi memberikan nilai -110,01 dBm, lebih dekat dengan hasil pengujian sebesar -106 dBm, dibandingkan perhitungan link budget sebesar -74,14 dBm.

Keakuratan simulasi *Radio Mobile Online* disebabkan oleh kemampuannya mempertimbangkan berbagai faktor yang memengaruhi propagasi sinyal, seperti profil medan, vegetasi, dan efek *multipath*, sehingga hasilnya lebih realistis. Sebaliknya, perhitungan *link budget* hanya memperhitungkan *free space loss* tanpa mempertimbangkan faktor tambahan, seperti *obstruction loss*, *forest loss*, dan *urban loss*, sehingga kurang sesuai dengan kondisi lapangan. Oleh karena itu, *Radio Mobile Online* lebih efektif untuk merancang sistem komunikasi nirkabel, terutama di daerah dengan kondisi geografis kompleks seperti pegunungan.

4.4. Perbandingan Tanpa Repeater dan Menggunakan Repeater

Perbandingan ini bertujuan mengukur efektivitas *repeater* dalam memperkuat sinyal pada berbagai jarak dan memastikan keandalan komunikasi di lapangan. Dengan membandingkan nilai RSSI antara pengukuran tanpa *repeater* dan dengan *repeater*, dapat diketahui sejauh mana *repeater* meningkatkan kekuatan sinyal. Hasil ini membantu menentukan strategi optimal dalam instalasi *repeater* untuk mendukung komunikasi jarak jauh yang efisien dan stabil. Perbandingan

pengukuran tanpa *repeater* dan menggunakan *repeater* disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Pengujian Tanpa Repeater Dan Menggunakan Repeater

Jarak	Nilai RSSI Pengukuran Tanpa <i>Repeater</i> (dBm)	Nilai RSSI Pengukuran Dengan <i>Repeater</i> (dBm)
105	-82	-74
205	-89	-77
2222	-108	-95

Hasil perbandingan pada Tabel 5 menunjukkan bahwa penggunaan *repeater* secara konsisten meningkatkan nilai RSSI pada berbagai jarak. Pada jarak 105 meter, pengukuran dengan *repeater* menghasilkan nilai RSSI -74 dBm, lebih baik dibandingkan -82 dBm tanpa *repeater*. Pada jarak 205 meter, nilai RSSI dengan *repeater* adalah -77 dBm, sedangkan tanpa *repeater* -89 dBm. Pada jarak 2.222 meter, nilai RSSI dengan *repeater* berada pada rentang nilai -95 dBm, sementara tanpa *repeater* berada pada nilai -108 dBm. Hasil ini menunjukkan bahwa *repeater* berfungsi optimal dalam mempertahankan kualitas sinyal, terutama pada jarak jauh.

4.5 Pengujian Pengiriman Data Ke *Thingspeak*

Pengujian pengiriman data ke *ThingSpeak* bertujuan memastikan data sensor, seperti suhu, kelembapan, dan getaran, dapat diterima dan divisualisasikan dengan baik. Data dikirim melalui sistem komunikasi nirkabel berbasis LoRa yang terintegrasi dengan *receiver*. Pada *ThingSpeak*, data divisualisasikan dalam bentuk nilai untuk memudahkan pemantauan. Gambar 18 menunjukkan tampilan data suhu dan kelembapan yang berhasil dikirim ke platform *ThingSpeak*.



Gambar 18. Pemantauan Nilai Suhu dan Kelembapan

Sebagai contoh pada gambar 18, ditampilkan nilai kelembapan sebesar 83,1%, sedangkan nilai suhu sebesar 28,7°C. Data ini diperbarui secara *real-time*, sesuai dengan data yang di terima oleh

receiver. Sementara untuk indikator yang menandakan adanya getaran yang dikirim oleh transmitter di tunjukkan pada gambar 19.



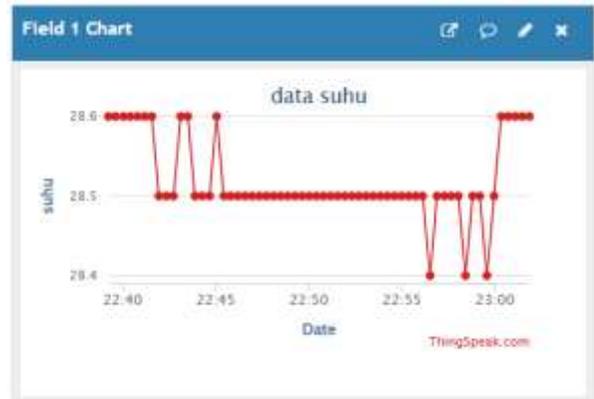
Gambar 19. Indikator Jika Terjadi Getaran Pada Sensor

Selain itu *Thingspeak* juga menampilkan grafik perubahan data kelembapan yang terpantau pada platform *ThingSpeak*. Grafik menunjukkan penurunan atau kenaikan nilai sensor yang dikirimkan secara periodik oleh perangkat. Grafik perubahan nilai data kelembapan ditunjukkan pada gambar 20.



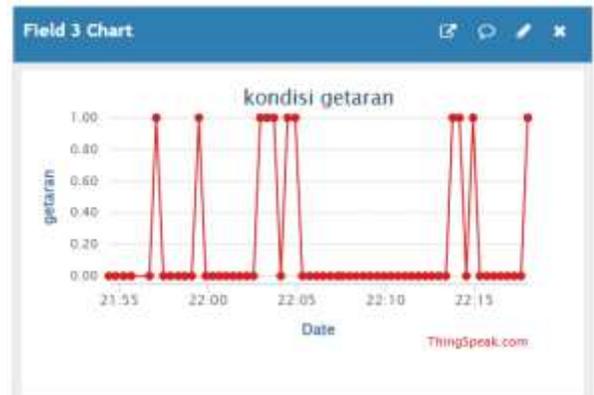
Gambar 20. Data Kelembapan pada Thingspeak

Gambar 20 di atas menampilkan grafik perubahan data kelembapan yang terpantau pada platform *ThingSpeak*. Grafik menunjukkan penurunan nilai kelembapan dari sekitar 83,8% menjadi 82,6% selama rentang waktu pengukuran dari pukul 21:55 hingga 22:15. Titik-titik pada grafik merepresentasikan setiap data yang dikirimkan secara periodik oleh perangkat, dengan visualisasi yang memudahkan analisis data kelembapan secara *real-time*. Selain itu perubahan nilai data suhu di tunjukkan pada gambar 21.



Gambar 21. Data Suhu Pada Thingspeak

Gambar 21 di atas menampilkan grafik perubahan data suhu yang terpantau pada platform *ThingSpeak*. Grafik menunjukkan perubahan nilai suhu dari sekitar 28,7°C lalu data menunjukkan naik dan turunnya nilai suhu pada rentang nilai 28,5°C, 28,6°C, dan 28,4°C selama rentang waktu pengukuran dari pukul 22:40 hingga 23:00. Titik-titik pada grafik merepresentasikan setiap data yang dikirimkan secara periodik oleh perangkat, dengan visualisasi yang memudahkan analisis nilai kelembapan secara *real-time*. Perubahan data getaran di tunjukkan pada gambar 22.



Gambar 22. Data Getaran Pada Thingspeak

Gambar 22 menunjukkan data getaran yang dikirim ke *ThingSpeak* dalam bentuk biner, yaitu 0 (tidak ada getaran) dan 1 (ada getaran), untuk memantau kondisi lingkungan secara *real-time*. Pengujian pengiriman data sensor suhu, kelembapan, dan getaran melalui LoRa berhasil dikirim dengan data suhu dan kelembapan divisualisasikan dalam grafik yang konsisten, serta data getaran dalam nilai biner. Sistem ini memperbarui data secara berkala, dengan waktu pengiriman yang dapat ditinjau kembali.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Pengujian Tanpa Repeater

Kekuatan sinyal menurun signifikan seiring bertambahnya jarak. Pada jarak 60 meter, nilai *RSSI* mencapai -72 dBm, sementara pada 2222 meter, nilai *RSSI* turun menjadi -108 dBm akibat adanya fenomena atenuasi.

2. Simulasi *Radio Mobile Online*

Simulasi ini lebih akurat dibanding perhitungan *link budget* karena lebih mendekati hasil pengujian langsung di lapangan. Contohnya, pada jarak 1472 meter, simulasi menghasilkan nilai *RSSI* -104,73 dBm, hampir sama dengan pengujian langsung sebesar -104 dBm, sedangkan perhitungan *link budget* menghasilkan nilai *RSSI* -72,02 dBm.

3. Penggunaan Repeater

Repeater berhasil menjaga kualitas sinyal, terutama pada jarak jauh. Pada 105 meter, nilai *RSSI* dengan *repeater* sebesar -74 dBm, dibandingkan -82 dBm tanpa *repeater*. Pada 2222 meter, nilai *RSSI* dengan *repeater* adalah -95 dBm, lebih baik dibandingkan -108 dBm tanpa *repeater*.

4. Pengujian Pengiriman Data ke ThingSpeak

Data suhu, kelembapan, dan getaran berhasil dikirimkan secara real-time melalui sistem komunikasi LoRa.

5. Implementasi LoRa Sebagai Sistem Peringatan Dini:

Teknologi LoRa efektif digunakan untuk sistem peringatan dini cuaca ekstrem di pos pendakian pegunungan. Sistem mampu mengirimkan data sensor secara real-time dengan jangkauan yang sesuai dengan perencanaan.

5.2 Saran

1. Untuk meningkatkan kinerja sistem LoRa pada transmisi jarak jauh, direkomendasikan untuk menambahkan lebih banyak *repeater* pada titik-titik strategis sepanjang jalur transmisi. Penempatan *repeater* yang tepat akan membantu mempertahankan kualitas sinyal pada jarak yang lebih jauh.

2. Jika penambahan *repeater* dianggap tidak praktis atau terlalu mahal, antena dengan *gain* lebih tinggi mungkin dapat digunakan untuk meningkatkan jangkauan transmisi. Penggunaan antena dengan *gain* tinggi dapat meningkatkan kekuatan sinyal tanpa perlu menambah banyak perangkat *repeater*.

3. Dalam simulasi menggunakan *Radio Mobile Online*, pastikan semua parameter penting seperti elevasi, frekuensi kerja, dan *gain* antena diatur secara akurat sesuai dengan kondisi lapangan sebenarnya. Hal ini untuk meminimalisir perbedaan antara hasil simulasi dan pengukuran langsung, serta memaksimalkan relevansi simulasi dengan kondisi nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. R. Pahleviannur, "Edukasi Sadar Bencana Melalui Sosialisasi Kebencanaan Sebagai Upaya Peningkatan Pengetahuan Siswa Terhadap Mitigasi Bencana," *Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Sosial*, Vol. 29, P. 49, 2019.
- [2] Badan Nasional Penanggulangan Bencana (Bnpb), "Pdsi,Pusdatinkom,Bnpb," 2022. [Online]. Available: <https://Dibi.Bnpb.Go.Id/Home/Index2>. [Accessed Selasa Juni 2024].
- [3] Detiknews, "Pendaki Tewas Di Bawakaraeng Ternyata 3 Orang, 1 Korban Sempat Tak Dilaporkan," Hermawan Mapiwali, Sulsel, 2021.
- [4] N. R. R. D. E. K. Hermawan, Sistem Peringatan Dini Bencana Erupsi Gunung Merapi, Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia, 2022.
- [5] A. F. P. M. A. C. D. R. Arriola, "Lora-Based Early Warning System For Earthquake Detection," *International Journal Of Geographical Information Science*, Vol. 34, No. 8, 2020.
- [6] U. K. P. & S. M. Raza, "Low Power Wide Area Networks: An Overview," *Ieee Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 19, No. 2, 2017.
- [7] B. M. W. & P. S. Reynders, "Range And Coexistence Analysis Of Long Range Unlicensed Communication," *Ieee Sensors Journal*, Vol. 16, No. 2, 2016.

- [8] Badan Nasional Penanggulangan Bencana, Pedoman Sistem Peringatan Dini, Jakarta, 2012.
- [9] A. B. & A. Susanto, "Implementasi Sistem Gateway Discovery Pada Wireless Sensor Network (Wsn) Berbasis Modul Komunikasi Lora," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, Vol. 3, Pp. 2138 - 2145, 2019.
- [10] R. Saad, K. Fayakun And H. Ramza, "Perhitungan Link Budget Satelit Telkom-1," *Rekayasa Teknologi*, Vol. 2, P. 20, 2011.
- [11] R. Hartono, "Perhitungan Link Budget Pada Sistem Komunikasi Nirkabel".
- [12] A. S.A, "Analisis Quality Of Signal Wifi (Qsw) Pada Jaringan Hotspot Rt/Rw," Program Studi Sistem Informasi. Universitas Putera, Batam, 2014.
- [13] Kementerian Komunikasi Dan Informatika, Penggunaan Spektrum Frekuensi Radio Berdasarkan Izin Kelas, Kemkominfo, 2019.
- [14] Menteri Komunikasi Dan Informatika Republik Indonesia, Tabel Alokasi Spektrum Frekuensi Radio Indonesia, Kemkominfo, 2022.
- [15] B. B. Ridjadi And A. R. Machdi, "Distance Testing On Point To Point Communication With Lora Basd On Rssi And Log Normal Shadowing Model," *Journal Of Energy And Electrical Engineering*, Vol. 5, P. 89, 2024.
- [16] I. B. H. A. L. Abdulrazzak, "Humidity And Temperature Monitoring," *Int. J. Eng. Technol*, Vol. 7, Pp. 5174-5177, 2018.
- [17] I. A. D. D. K. Dwi Setiawana, "Sistemkeamanan Ruangn Laboratorium Komputer Menggunakan Sensor Pir, Mq-7, Sw420 Dan Rfid Berbasis Sms," *Jurnal Jitek*, Vol. 1, Pp. 47-56, 2021.
- [18] R. F. Graf, Modern Dictionary Of Electronics, Madras, 1999.
- [19] M. Chwalisz, Thingspeak Documentation, 2019.

PENULIS

1. **Mohammad Fauzi, S.T Alumni (2024)**
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Pakuan. Fauziaung2@gmail.com
2. **Ir, Yamato, M.T** Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Pakuan.
3. **Bloko Budi Ridjadi, S.T, M.T** Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Pakuan.