

PEMANFAATAN TEKNOLOGI LORA UNTUK SISTEM PEMANTAUAN KONDISI SAWAH

M. Jabbar Rivai¹⁾, Bloko Budi Ridjadi¹⁾, Evyta Wismiana¹⁾
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik – Universitas Pakuan¹⁾
mochjabbar87@gmail.com

ABSTRAK

Sektor pertanian merupakan bagian penting dari negara agraris seperti Indonesia. Sebagian besar masyarakat Indonesia mencari nafkah dari bertani, Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) per Agustus 2022, sebanyak 29,96% dari total 135,3 juta penduduk yang bekerja tercatat beraktivitas di sektor pertanian. Saat ini, sistem irigasi di Indonesia masih menghadapi beberapa kendala. Salah satu kendala utama adalah metode pengecekan kondisi pertanian, dimana petani harus datang langsung ke sawah untuk memeriksa kondisi lahan pertaniannya dan melakukan buka tutup pintu irigasi secara manual. Berdasarkan hal tersebut dibutuhkannya alat untuk memantau dan mengontrol pintu irigasi yang efektif sehingga para petani tidak harus datang langsung untuk membuka pintu irigasi dan melihat kondisi tanah pada lahan pertaniannya, hal tersebut dapat dioptimalkan dengan menggunakan informasi secara *real-time* dengan memanfaatkan teknologi LoRa yang mampu beroperasi tanpa internet untuk mengirimkan dan menerima data sensor secara *real-time*. Sistem ini di rancang dengan Arduino Uno dan Lolin Wemos D1 R1 sebagai mikrokontroler, LoRa Ra-02 sebagai modul komunikasi jarak jauh, sensor soil moisture untuk mendeteksi kelembapan tanah dan sensor ultrasonik untuk mengukur ketinggian air, data sensor tersebut sebagai parameter untuk pengontrolan pintu air. Data hasil pengukuran sensor dapat dikirimkan menggunakan LoRa dari T_{rx1} ke T_{rx2} dengan menggunakan antena. Pengujian proses komunikasi data antara T_{rx1} ke T_{rx2} dilakukan dengan jarak mulai dari 50 meter sampai komunikasi tidak dapat dilakukan. Kemudian dilakukan pengujian *packet loss* dengan jarak 100 meter dalam kondisi NLOS dari 50 paket data yang dikirim mendapati persentase *packet loss* sebesar 34 % paket data yang hilang, dan persentase *packet loss* untuk kondisi LOS dari 50 paket data yang dikirim itu sebesar 4 % paket data yang hilang. Hal yang dapat mempengaruhi terjadinya *packet loss* karena adanya hambatan fisik seperti tembok, pohon, dan lain-lain. Dengan segala kekurangan dan kelebihan pada pengujian untuk sistem pemantauan kondisi sawah dengan teknologi LoRa dapat berjalan dengan baik yang dimana LoRa dapat melakukan pengiriman data sensor, dan sistem dapat berjalan secara otomatis maupun pengontrolan secara manual.

Kata Kunci: Teknologi LoRa, Packet Loss , T_{rx1} , T_{rx2} , Real Time

ABSTRACT

The agricultural sector is a vital part of an agrarian country like Indonesia. The majority of Indonesians earn their living from farming. According to data from the Central Statistics Agency (BPS) as of August 2022, 29.96% of the total 135.3 million employed population is registered as being involved in the agricultural sector. Currently, Indonesia's irrigation system still faces several challenges. One of the main obstacles is the method of checking agricultural conditions, where farmers must visit the fields directly to check the condition of their fields and manually open and close the irrigation gates. Therefore, a tool is needed to effectively monitor and control irrigation gates so that farmers do not have to visit the fields in person to open the irrigation gates and assess the soil conditions on their farms. This can be optimized by utilizing real-time information using LoRa technology, which can operate without the internet to send and receive sensor data in real time. This system is designed with Arduino Uno and Lolin Wemos D1 R1 as microcontrollers, LoRa Ra-02 as a remote communication module, soil moisture sensor to detect soil moisture and ultrasonic sensor to measure water level, the sensor data as a parameter for controlling the sluice gate. Sensor measurement data can be sent using LoRa from $Trx1$ to $Trx2$ using an antenna. Testing the data communication process between $Trx1$ to $Trx2$ was carried out with a distance starting from 50 meters until communication could not be carried out. Then a packet loss test was carried out with a distance of 100 meters in NLOS conditions from 50 data packets sent, the percentage of packet loss was 34% of lost data packets, and the percentage of packet loss for LOS conditions from 50 data packets sent was 4% of lost data packets. Things that can affect packet loss due to physical obstacles such as walls, trees, and others. With all the shortcomings and advantages in testing for the rice field condition

monitoring system with LoRa technology, it can run well where LoRa can transmit sensor data, and the system can run automatically or manually controlled.

Keywords: *LoRa Technology, Packet Loss, Trx1, Trx2, Real Time*

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sektor pertanian merupakan bagian penting dari negara agraris seperti Indonesia. Sebagian besar masyarakat Indonesia mencari nafkah dari bertani, Pada Agustus 2022. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS), dari 135,3 juta penduduk yang bekerja, 29,96% nya bekerja di sektor pertanian. Angka tersebut menginformasikan jika jumlah petani negara Indonesia mencapai 40,64 juta orang atau sekitar 17% dari total penduduk Indonesia [1]. Saat ini, sistem pertanian di Indonesia masih menghadapi beberapa kendala. Salah satu kendala utama adalah metode pengecekan kondisi lahan pertanian yang dimana petani harus datang langsung ke sawah untuk memeriksa dan mengatur buka-tutup pintu irigasi dan pengecekan kondisi lahan pertaniannya [2]. Salah satu cara pemantauan kondisi sawah agar petani dapat memantau secara cepat dan tanpa perlu pengecekan ke lahan pertanian secara langsung yaitu dengan membuat sistem monitoring ketinggian air dan kelembaban pada lahan persawahan secara real time. Berdasarkan hal tersebut dibutuhkannya alat untuk memantau kondisi pertanian dan mengontrol pintu air irigasi yang efektif sehingga petani tidak harus selalu datang langsung untuk membuka pintu irigasi dan melihat kondisi tanah pada lahan pertaniannya. Hal tersebut dapat dioptimalkan dengan menggunakan sistem pengiriman data informasi secara *real-time* melalui internet, namun apabila data informasi yang dikirimkan merupakan daerah yang sulit terjangkau internet maka teknologi LoRa sangat cocok untuk kondisi tersebut. Alat untuk sistem irigasi pengairan sawah, pengontrolan buka tutup pintu irigasi dan juga memantau kelembaban tanah dapat digunakan pada daerah yang sulit terjangkau internet. Karena teknologi LoRa dapat melakukan komunikasi jarak jauh dengan frekuensi 433 Mhz, 868Mhz, dan 915 Mhz tanpa adanya sinyal internet [2]. LoRa merupakan bagian teknologi IoT yang biasa digunakan untuk sistem komunikasi jarak jauh. Keunggulan menggunakan LoRa adalah sistem ini bisa digunakan dengan jarak hingga 5 Km. LoRa juga memiliki keunggulan dengan konsumsi daya yang sangat rendah [3]. Penelitian yang terkait pemantauan lahan pertanian dan pengontrolan

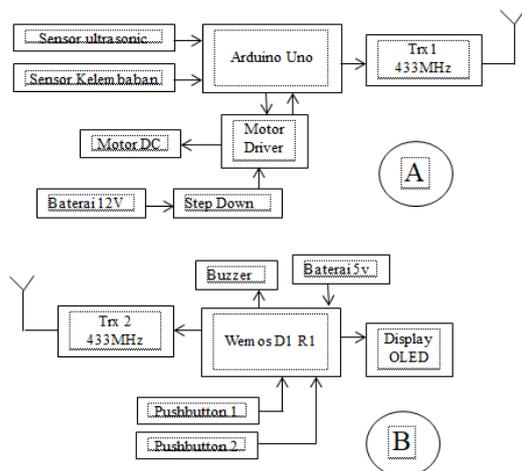
pintu air telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya dengan judul pengembangan *internet of things* (IOT) untuk sistem irigasi curah di sawah. Alat tersebut dapat memantau ketinggian air yang berada pada lahan pertanian tanpa khawatir lahan pertanian kekeringan. Sistem irigasi ini bekerja dengan menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04, modul WiFi NodeMCU ESP8266 dan berbasis IoT [4]. Pada penelitian-penelitian tersebut belum terdapat teknologi LoRa. Pada penelitian sebelumnya terkait prototipe monitoring ketinggian air sawah dengan teknologi LoRa telah dilakukan yang dimana penelitian tersebut bertujuan untuk membantu pemantauan secara real time yang dapat dilakukan jangkauan jarak jauh dengan menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai deteksi ketinggian air sawah. Prototipe ini menggunakan LoRa RA-02 sebagai pengirim data sensor ketinggian air dan penerima hasil ketinggian air serta dihubungkan dengan IoT Arduino Remote (Arduino *Cloud*) sebagai monitoring ketinggian air melalui android [5]. Berdasarkan hal tersebut dilakukan pengembangan penggunaan teknologi LoRa sebagai pemantauan kondisi sawah dan pengontrolan buka tutup pintu irigasi yang dirancang tanpa harus terkoneksi ke jaringan internet, ditambahkan sensor soil moisture untuk mendeteksi kelembaban tanah dan sensor ultrasonik untuk mengukur ketinggian di area persawahan. Di karenakan tujuan dari perancangan untuk pemanfaatan teknologi lora untuk sistem pemantauan kondisi sawah di wilayah yang sulit di akses internet maka perancangan alat ini adalah opsi yang baik untuk pemantauan kondisi sawah tanpa harus terkoneksi ke internet.

II. METODE PENELITIAN

2.1. Rancang Bangun Sistem Keseluruhan

Pada gambar 1 blok diagram dari rangkaian Trx1 dan Trx2 di bawah ini menggambarkan sistem secara keseluruhan, yang terdiri dari beberapa komponen utama yang saling terhubung untuk mencapai tujuan sistem. Dimulai dari *sensor* yang berfungsi untuk mendeteksi parameter seperti kelembapan tanah dan ketinggian air yang kemudian mengirimkan data tersebut ke *mikrokontroler*. Mikrokontroler bertindak

sebagai pengolah data, yang menerima informasi dari sensor dan memprosesnya sesuai dengan kondisi yang telah ditentukan.

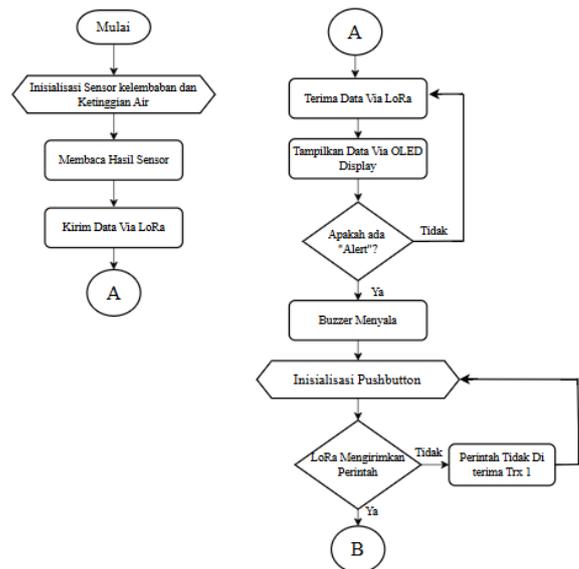


Gambar 1. Blok Diagram Rangkaian A Trx1 dan Rangkaian B Trx2

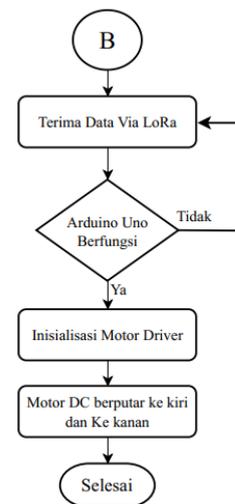
Prototipe pemantauan kondisi sawah secara real-time ini terdiri dari dua rangkaian utama, yaitu Trx1 dan Trx2. Trx1 diletakkan di area sawah, dilengkapi dengan sensor soil moisture untuk kelembapan tanah, sensor ultrasonik HC-SR04 untuk ketinggian air, motor DC untuk menggerakkan pintu air, serta modul LoRa RA-02 sebagai pengirim data ke Trx2. Motor dikendalikan melalui perintah dari Trx2 menggunakan pushbutton, dengan motor driver untuk mengatur arah putaran motor. Trx1 mendapat daya dari baterai 12V yang di-step down. Trx2 berfungsi sebagai penerima data dari Trx1, menampilkannya pada layar OLED I2C, dan dilengkapi buzzer sebagai alarm jika kelembapan <50% atau ketinggian air >5 cm. Dari Trx2, petani juga dapat mengontrol motor di Trx1 melalui pushbutton. Rangkaian Trx2 menggunakan baterai 5V sebagai sumber daya.

2.2. Diagram Alir Secara Keseluruhan

Diagram alir (*Flowchart*) adalah diagram yang menampilkan langkah-langkah dan keputusan untuk melakukan sebuah proses dari suatu program. Setiap langkah digambarkan dalam bentuk diagram dan dihubungkan dengan garis atau arah panah. diagram alir cara kerja alat ditunjukkan pada gambar 2 dan gambar 3.



Gambar 2. Flowchart Proses Pengiriman Data Dari Trx1 ke Trx2



Gambar 2. Flowchart Proses Pengiriman Perintah Dari Trx2 ke Trx1

Dari gambar 2 dan gambar 3 dapat di lihat bahwa program dimulai dengan membaca data sensor kelembapan tanah dan sensor ultrasonik untuk mengukur ketinggian air. Data akan diteruskan kepada Trx2 dan ditampilkan melalui OLED I2C dan apabila menerima alert maka buzzer menyala, kemudian dari Trx2 akan mengirimkan perintah kontrol menggunakan *pushbutton* yang akan menggerakkan motor yang ada pada rangkaian Trx1.

2.3. Cara Kerja Sistem Pemantauan Kondisi Sawah

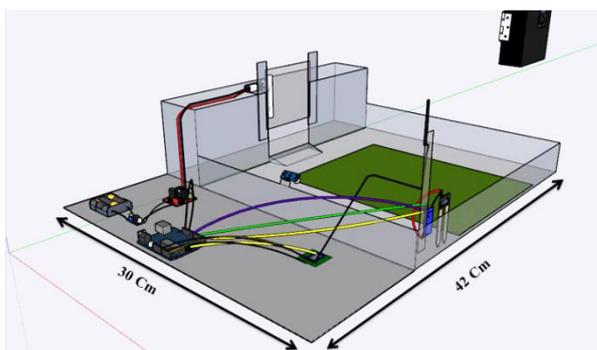
Sistem pemanfaatan teknologi LoRa untuk sistem pemantauan kondisi sawah yang dirancang bertujuan untuk mempermudah pekerjaan para petani di daerah yang sulit di akses internet serta menyampaikan informasi secara cepat kepada petani. Sistem ini terdiri dari

beberapa komponen utama, yaitu Trx1, dan Trx2 yang berkomunikasi pada frekuensi 433 MHz. Trx1 dipasang di wilayah pertanian untuk mengumpulkan data dari berbagai sensor. Data dari sensor ini, seperti kelembaban tanah yang diukur oleh sensor soil moisture serta ketinggian air yang dideteksi ultrasonic HC-SR-04, diolah oleh mikrokontroler pada Trx1 untuk memastikan informasi yang dikirim sudah sesuai dengan format yang diperlukan. Selanjutnya, data tersebut dikirimkan ke Trx2, yang ditempatkan di lokasi strategis untuk memperluas jangkauan komunikasi.

Trx1 yang berfungsi untuk mengirimkan dan menerima data dari Trx2 yang berada di rumah petani. Trx2 memproses data yang diterima dan menampilkannya pada display OLED secara *real-time*. Apabila Trx2 menerima pesan “peringatan” dari Trx1 maka indikator LED akan menyala untuk memberitahukan bahwa kondisi di lahan pertanian sedang kekurangan air. Kemudian setelah Trx2 menerima data peringatan tersebut dan buzzer menyala kemudian dilakukannya pengontrolan untuk membuka pintu air menggunakan motor yang di perintahkan dari Trx2 menggunakan dua buah pushbutton. Dengan desain ini, sistem pemantauan pengairan sawah secara *real-time* mampu memberikan efisiensi pekerjaan para petani di wilayah pertanian.

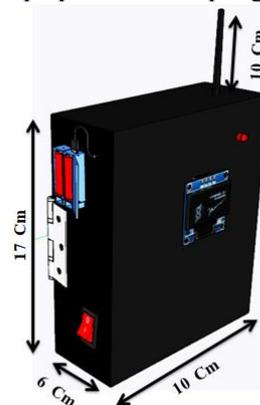
2.4. Desain Kontruksi Alat

Pada perancangan desain konstruksi prototype pemantauan kondisi sawah digunakan *software* sketchup. Pada proses perancangan konstruksi ini dimulai dengan mengatur kerangka prototipe, menentukan lokasi komponen, memilih peralatan dan bahan yang akan digunakan sehingga prototipe alat yang direncanakan dapat beroperasi secara optimal. Gambar 4 menampilkan hasil desain perancangan konstruksi alat yang dirancang.



Gambar 3 Desain Konstruksi Trx 1

Pada gambar 5 desain konstruksi dari rangkaian Trx 2 prototipe pemantauan pengairan sawah.



Gambar 4. Desain Konstruksi Trx 2

III. PENGUJIAN DAN ANALISA

3.1. Pengujian dan Analisa Sensor Soil Moisture

Pada pengujian ini akan dilakukan pengujian sensor soil moisture untuk mengetahui sejauh mana sensor dapat mendeteksi tingkat kelembaban tanah secara akurat. Pengujian dilakukan dengan menancapkan sensor ke dalam media tanah yang kemudian akan di ambil datanya dalam lima kali percobaan setiap dua jam sekali untuk mengetahui perubahan dari kondisi tanah yang kering dan basah. Nilai pembacaan dari sensor kemudian akan dikirimkan melalui komunikasi lora dari Trx1 ke Trx2 yang kemudian diamati melalui layar OLED untuk melihat perubahan nilai output yang dihasilkan sesuai dengan kondisi tanah. Implementasi media tanah dapat di lihat pada gambar 6.



Gambar 6. Media Tanah

Dalam uji sensor *soil moisture* yaitu, tancapkan sensor *soil moisture* ke tanah yang ada pada media tanah yang dapat dilihat pada gambar 6 untuk menentukan jenis kondisi tanah dilakukan dengan cara mendiamkan tanah selama kurang lebih beberapa jam untuk mendapatkan kondisi

tanah kering dan jenis tanah yang basah. Berikut tabel hasil dari data sensor kelembaban tanah di sajikan dalam tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Alat

No	Waktu Pengujian	Nilai ADC
1	13.38	553
2	15.39	467
3	17.40	454
4	19.40	443
5	21.42	532

Tabel 1 di atas dilakukan pengujian dari pukul 13.38-21.42, hal ini dilakukan untuk mengetahui perubahan kondisi tanah kering dan kondisi tanah basah. Dikarenakan hasilnya masih dalam bentuk nilai *Analog Digital Converter* (ADC) maka dilakukan konversi ke nilai persentase agar lebih mudah di pahami. Pembacaan dalam rentang nilai antara 0 hingga 1023. Nilai pembacaan yang lebih tinggi menunjukkan kondisi tanah yang lebih kering, sedangkan nilai yang lebih rendah menunjukkan bahwa tanah tersebut dalam keadaan basah. Setelah didapati nilai ADCmax kelembapan yaitu 1023 dan nilai ADCmin kelembapan 0 kemudian dilakukan konversi nilai sensor ADC menjadi nilai persentase seperti yang ditunjukkan di bawah ini dengan persamaan 2.1.

$$Soil\ Moisture_{persen} = \frac{(ADC_{Max} - ADC_{value})}{(ADC_{Max} - ADC_{Min})} \times 100\% \dots \dots \dots (2.1)$$

Berikut perhitungan konversi nilai ADC ke nilai persentase

$$= \frac{1023-553}{1023} \times 100\% = 45\%$$

Dengan persamaan yang sama data hasil konversi nilai ADC ke persentase di tampilkan pada tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Status Kelembapan Tanah

NO	Kelembapan pada tanah		
	Nilai ADC	Persentase (%)	Status Tanah
1	553	45 %	Kering
2	467	54 %	Basah
3	454	55 %	Basah
4	443	56 %	Basah
5	532	47 %	Kering

Hasil pengujian sensor *soil moisture* menunjukkan variasi nilai kelembapan tanah yang dapat digunakan untuk mengklasifikasikan kondisi tanah menjadi kering atau basah. Berdasarkan lima kali pengukuran yang

dilakukan, didapatkan nilai kelembaban sebesar 45%, 54%, 55%, 56%, dan 47%. Dari hasil tersebut, tanah dengan kelembaban 45% dan 47% dikategorikan sebagai tanah kering, sedangkan tanah dengan kelembaban 54%, 55%, dan 56% dikategorikan sebagai tanah basah. Dengan demikian, tanah yang memiliki kelembaban di bawah 50% dianggap kering, sedangkan tanah dengan kelembapan di atas atau sama dengan 50% dianggap basah. Pada hasil pengujian ini hasil dari konversi nilai persentase sesuai dengan hasil yang ditampilkan nilai persentasenya langsung pada layar OLED.

3.2. Pengujian dan Analisa Sensor Ultrasonik

Pada pengujian ini, dilakukan percobaan terhadap **sensor ultrasonik** yang digunakan dalam sistem untuk mengukur **ketinggian air**. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana akurasi dan konsistensi sensor dalam membaca ketinggian air yang sebenarnya. Sensor ultrasonik bekerja dengan memancarkan gelombang ultrasonik ke permukaan air dan mengukur waktu pantulan gelombang tersebut untuk menentukan jarak. Dalam konteks ini, semakin tinggi permukaan air, maka jarak pantul akan semakin pendek, dan sebaliknya. Berikut di bawah ini tabel 3 ditunjukkan daya hasil pengujian sensor ultrasonik.

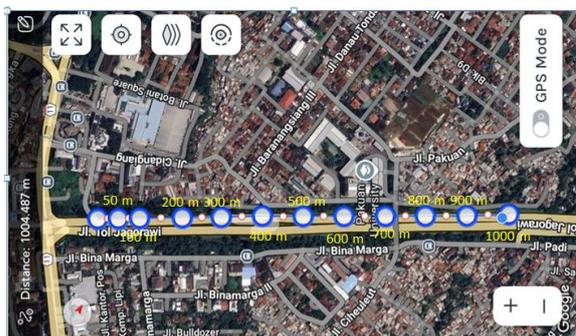
Tabel 3. Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik

No	Tinggi Air (cm)	Hasil Ukur Sensor (cm)
1	1 cm	4 cm
2	2 cm	3 cm
3	2 cm	3 cm
4	3 cm	2 cm
5	1 cm	4 cm

Berdasarkan data hasil pengujian diatas didapati bahwa sensor ultrasonik dapat berjalan dengan baik, dengan pembacaan yang akurat dimana sensor yang di tempatkan pada ketinggian 5 cm dari dasar wadah, yang kemudian wadah diisi air setinggi 1 cm yang di ukur menggunakan penggaris, kemudian sensor ultrasonik akan mendeteksi kondisi jarak pantul yang semakin pendek yang menandakan bahwa kondisi ketinggian air 1 cm dan hasil yang akan ditampilkan pada serial monitor 4 cm.

3.3. Pengujian dan Analisa Jarak Tempuh Komunikasi LoRa

Pada pengujian jarak tempuh komunikasi LoRa ini akan dilakukan dua percobaan yang berbeda dari kondisi LOS dan NLOS, pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana komunikasi LoRa dapat dilakukan dan dilakukan pengujian terhadap delay untuk mengetahui stabilitas dari komunikasi LoRa, terutama terkait jangkauan sinyal dan kualitas penerimaan pada berbagai jarak. Dengan pengujian ini, diharapkan dapat diperoleh hasil optimal dengan menunjukkan kekuatan sinyal yang diharapkan. Pada pengujian ini rangkaian Trx1 di letakan pada ketinggian 1 meter dari permukaan tanah gambar 7 adalah gambar dari titik lokasi pengujian antara Trx1 dan Trx2.



Gambar 7. Peta Lokasi Pengujian Jarak Komunikasi LoRa Kondisi LOS

Hasil pengujian dilakukan dengan berbagai variasi jarak mulai dari jarak 50 meter hingga komunikasi LoRa sudah tidak dapat dilakukan, gambar 3.2 di atas pengujian kondisi LOS yaitu dimana tidak adanya halangan yang dimana kondisi pengujiannya itu di daerah Jl. Tol Jagorawi daerah bogor yang didapati bahwa kondisi wilayah tersebut memiliki konstur tanah yang datar dan tidak adanya halangan, kemudian alat diletakkan di ketinggian 1 meter dari permukaan tanah Hasil data pada pengujian kondisi LOS yang diperoleh ditunjukkan pada tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Hasil Pengujian LoRa Trx1 dan Trx2 Kondisi LOS

No	Jarak (Meter)	RSSI (dBm)	Delay (s)
1	50	-87	5.0
2	100	-93	5.0
3	200	-94	5.0
4	300	-95	5.0
5	400	-95	5.0
6	500	-97	6.0
7	600	-99	7.0
8	700	-100	7.5
9	800	-101	8.0
10	900	-	
11	1000	-	

Pengujian dilakukan sebanyak 11 kali dengan jarak 50–1000 meter dalam kondisi Line of Sight (LOS), sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.4. Hasil menunjukkan bahwa semakin jauh jarak antara LoRa Trx2 dan Trx1, semakin lemah sinyal (RSSI) yang diterima. Pada jarak 50–600 meter, RSSI masih berada dalam kategori sedang menurut standar TIPHON (-86 dBm hingga -100 dBm). Namun, pada 700–800 meter, RSSI turun di bawah -100 dBm (kategori buruk), dan pada 1000 meter komunikasi terputus. Uji delay juga dilakukan untuk mengukur kestabilan komunikasi pada tiap jarak, menunjukkan bahwa penurunan RSSI seiring jarak meningkatkan risiko kehilangan data. Secara umum, kestabilan komunikasi terjaga pada jarak pendek hingga menengah, tetapi mulai menurun pada jarak jauh.

Selain itu, pengujian juga dilakukan pada kondisi Non-Line of Sight (NLOS) dengan jarak yang sama, untuk mengamati pengaruh halangan terhadap RSSI, delay, dan kestabilan koneksi LoRa. Peta lokasi pengujian NLOS ditunjukkan pada Gambar 8.

Tabel 5. Hasil Pengujian LoRa Trx1 dan Trx2 Kondisi LOS

No	Jarak (Meter)	RSSI (dBm)	Delay (s)
1	50	-87	5.0
2	100	-93	5.0
3	200	-94	5.0
4	300	-95	5.0
5	400	-95	5.0
6	500	-97	6.0
7	600	-99	7.0
8	700	-100	7.5
9	800	-101	8.0
10	900	-	
11	1000	-	

Pengujian dilakukan sebanyak 11 kali dengan jarak 50–1000 meter dalam kondisi Line of Sight (LOS), sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.4. Hasil menunjukkan bahwa semakin jauh jarak antara LoRa Trx2 dan Trx1, semakin lemah sinyal (RSSI) yang diterima. Pada jarak 50–600 meter, RSSI masih berada dalam kategori sedang menurut standar TIPHON (-86 dBm hingga -100 dBm). Namun, pada 700–800 meter, RSSI turun di bawah -100 dBm (kategori buruk), dan pada 1000 meter komunikasi terputus. Uji delay juga dilakukan untuk mengukur kestabilan komunikasi pada tiap jarak, menunjukkan bahwa penurunan RSSI seiring jarak meningkatkan risiko kehilangan data. Secara umum, kestabilan komunikasi terjaga pada jarak pendek hingga

menengah, tetapi mulai menurun pada jarak jauh.

Selain itu, pengujian juga dilakukan pada kondisi Non-Line of Sight (NLOS) dengan jarak yang sama, untuk mengamati pengaruh halangan terhadap RSSI, delay, dan kestabilan koneksi LoRa. Peta lokasi pengujian NLOS ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Peta Lokasi Pengujian Jarak Komunikasi LoRa Kondisi NLOS

Pada gambar 8 di atas pengujian NLOS dilakukan pada kondisi adanya halangan di daerah Jl. Danau Tondano yang dimana kondisi daerah tersebut banyak halangan oleh rumah-rumah dan pepohonan. Hasil data yang didapat dari pengujian kondisi NLOS di tampilkan pada tabel 6 di bawah ini.

Tabel 6. Hasil Pengujian LoRa Trx1 dan Trx2 Kondisi NLOS

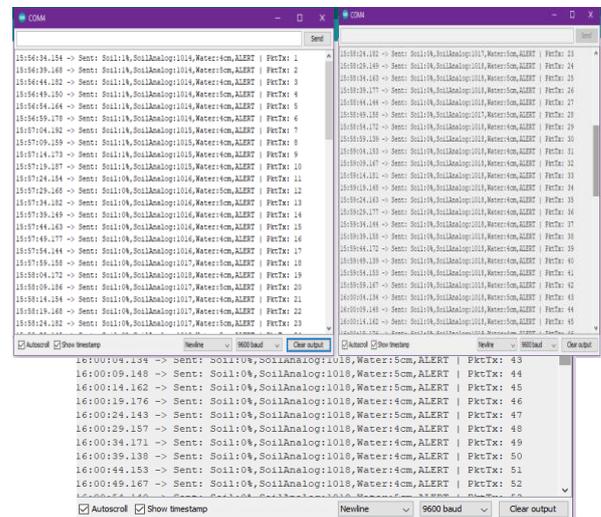
No	Jarak (Meter)	RSSI (dBm)	Delay (s)
1	50	-93	5.2
2	100	-100	5.8
3	200	-101	6.5
4	300	-102	7.2
5	400	-	-
6	500	-	-
7	600	-	-
8	700	-	-
9	800	-	-
10	900	-	-
11	1000	-	-

Pada pengujian kondisi Non-Line of Sight (NLOS) dengan jarak yang sama seperti pengujian LOS, kualitas komunikasi LoRa menurun lebih cepat. Komunikasi hanya dapat dilakukan hingga jarak maksimum 300 meter. Pada jarak 50 meter, RSSI tercatat -93 dBm (kategori sedang), sementara pada 100–300 meter turun ke -100 hingga -102 dBm (kategori buruk). Di atas 400 meter, komunikasi terputus. Pengujian delay menunjukkan bahwa pada jarak 50 meter, rata-rata delay sebesar 5,2 detik,

mendekati interval pengiriman 5 detik, menunjukkan komunikasi stabil. Namun, delay meningkat pada jarak 100 meter (5,8 detik), 200 meter (6,5 detik), dan signifikan pada 300 meter (7,2 detik) disertai dengan packet loss. Hasil ini menunjukkan bahwa pada kondisi NLOS, selain penurunan RSSI, waktu tanggap komunikasi juga memburuk, sehingga kualitas dan kestabilan komunikasi menurun pada jarak >300 meter.

3.4. Pengujian dan Analisa Packet Loss

Pada pengujian *packet loss* komunikasi LoRa dilakukan pada jarak 100 meter dalam kondisi *Line Of Sight* (LOS) dan *Non-Line Of Sight* (NLOS). Pada pengujian *packet loss* ini dilakukan guna mengetahui persentase dari data yang berhasil dikirimkan dan diterima. Sistem pengujiannya itu dilakukan dimana Trx1 akan mengirimkan data paket ke Trx2 dengan data yang dikirimkan 50 paket data yang kemudian hasil data yang dikirimkan akan dilihat dari serial monitor pada *software* arduino dan untuk data paket yang di terima akan ditampilkan pada OLED display pada perangkat keras. Pada gambar 9 di bawah ini ditunjukkan hasil data yang dikirimkan pada pengujian kondisi LOS.



Gambar 9. Hasil Data Paket Yang Dikirimkan dalam kondisi LOS

Pada gambar 9 di atas ditunjukkan hasil data paket yang dikirimkan sebanyak 50 paket data. Pada gambar 10 ditunjukkan data hasil yang diterima yang di tampilkan pada layar OLED.



Gambar 10. Hasil Data Paket Yang Diterima dalam Kondisi LOS

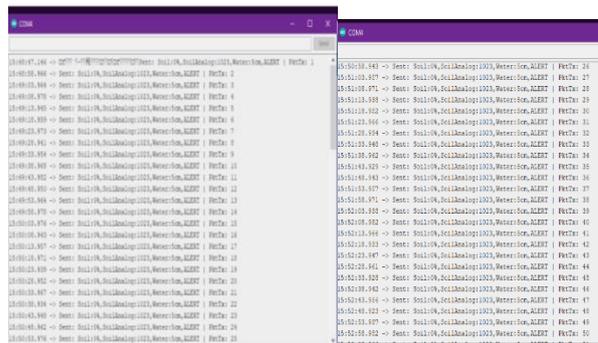
Pada gambar 10 di atas ditunjukkan hasil data yang berhasil diterima yaitu sebanyak 48 paket data, kemudian berdasarkan hasil data yang berhasil dikirimkan dan diterima dilakukan perhitungan persentase paket data menggunakan persamaan 2.2.

$$Packet\ Loss = \frac{(Jumlah\ Data\ Yang\ Dikirim - Jumlah\ Data\ Yang\ Diterima)}{Jumlah\ Data\ Terkirim} \quad (2.2)$$

$$Persentase\ Packet\ Loss = \frac{50 - 48}{50} \times 100\% = 4\%$$

Dari hasil perhitungan diatas nilai 50 dari jumlah data yang dikirim dan nilai 48 dari hasil data yang diterima kemudian 50 nilai dari data yang terkirim, di dapatkan bahwa persentase *packet loss* adalah 4%, dan data yang berhasil diterima 96%. Menurut TIPHON, nilai persentase packet loss 15% itu masuk dalam kategori sedang.

Kemudian di bawah ini dilakukan pengujian *packet loss* pada kondisi NLOS yang di mana kondisinya menggambarkan adanya halangan. Pengujian dilakukan pada jarak 100 meter yang datanya ditampilkan pada gambar 11 di bawah ini.



Gambar 11. Hasil Data Paket Yang Dikirimkan Dalam Kondisi NLOS

Data yang dikirimkan pada pengujian *packet loss* pada kondisi NLOS ini dilakukan pengiriman data sebanyak 50 paket data. Kemudian pada gambar 3.7 di bawah ini hasil data yang diterima pada pengujian *packet loss* yang di tampilkan pada layar OLED.



Gambar 11. Hasil Data Paket Yang Diterima Dalam Kondisi NLOS

Pada gambar 11 di atas ditampilkan hasil paket data yang di terima ditampilkan pada layar OLED di peroleh sebanyak 33 paket data yang berhasil diterima, setelah didapati data paket yang dikirimkan dan diterima kemudian dilakukan perhitungan persentase *packet loss* seperti yang ditunjukkan di bawah ini.

$$Persentase\ Packet\ Loss = \frac{50 - 33}{50} \times 100\% = 34\%$$

Berdasarkan perhitungan, persentase *packet loss* pada kondisi ini mencapai 34%, dengan 33 dari 50 paket data berhasil diterima (66%). Menurut standar TIPHON, *packet loss* di atas 25% termasuk kategori jelek. Tingginya *packet loss* ini disebabkan oleh adanya penghalang fisik seperti tembok, gedung, pohon, atau air, yang mengganggu transmisi sinyal antara pemancar dan penerima.

3.5. Pengujian dan Analisa Respon Sistem Terhadap Perintah Manual

Pada pengujian respon sistem terhadap perintah manual ini dilakukannya pengontrolan motor untuk menggerakkan pintu air yang digunakan, dilakukannya pengujian ini untuk mengetahui efektivitas dari respon pengiriman perintah secara manual dari Trx2 ke Trx1. Yang dimana akan dilakukannya pengujian dari jarak 50 meter sampai LoRa tidak dapat berkomunikasi dengan memantau kondisi bahwa kondisi motor ON atau OFF. Berikut tabel 7 adalah hasil pengujian untuk mengetahui respon sistem pada saat komunikasi data antara bagian Trx1 dan Trx2.

Tabel 7. Hasil Pengujian Respon Sistem

Jarak (m)	RSSI (dBm)	Motor ON/OFF	penjelasan
50	-84	ON	Pada jarak ini motor dapat dikontrol
100	-88	ON	Pada jarak ini motor dapat di kontrol
200	-91	ON	Pada jarak ini motor dapat di kontrol

Jarak (m)	RSSI (dBm)	Motor ON/OFF	penjelasan
300	-91	ON	Pada jarak ini motor dapat di kontrol
400	-91	ON	Pada jarak ini motor dapat di kontrol
500	-92	ON	Pada jarak ini motor dapat dikontrol delay
600	-94	ON	Pada jarak ini motor dapat dikontrol
700	-98	ON	Pada jarak ini motor dapat di kontrol akan tetapi data tidak ditampilkan
800	-101	ON	Pada jarak ini untuk pengontrolan dapat dilakukan akan tetapi data sensor tidak ditampilkan
900	-111	OFF	Pada jarak ini motor hanya dapat di kontrol untuk membuka, dan untuk menutup tidak dapat dilakukan
1000	-	OFF	Pada jarak ini komunikasi benar-benar tidak dapat dilakukan

Tabel 7 menunjukkan hasil pengujian komunikasi nirkabel LoRa untuk mengontrol motor pada berbagai jarak beserta nilai RSSI. Pada jarak 50–600 meter, motor masih dapat dikendalikan dengan baik, meskipun RSSI menurun dari -84 dBm hingga -94 dBm namun masih dalam batas toleransi. Pada 700–800 meter, kontrol motor tetap memungkinkan, tetapi data sensor tidak lagi ditampilkan. Di jarak 900 meter, hanya sebagian perintah motor yang berhasil, menunjukkan gangguan komunikasi dua arah, sejalan dengan nilai RSSI sekitar -100 dBm yang masuk kategori buruk. Pada jarak 1000 meter, komunikasi terputus sepenuhnya, motor tidak dapat dikendalikan, dan RSSI tidak terbaca. Dengan demikian, batas efektif komunikasi LoRa pada sistem ini berada di bawah 1000 meter, dengan penurunan kualitas signifikan setelah 600 meter.

3.6. Pengujian Alat Keseluruhan

Pengujian ini dilakukan dua pengujian yang berbeda, yaitu pada kondisi LOS dan NLOS,

berdasarkan simulasi pada sistem kerja alat secara keseluruhan yang meliputi jarak tempuh komunikasi LoRa beserta data sensor yang berhasil di kirimkan dan diterima oleh LoRa. Pengujian ini dilaksanakan dengan tujuan mengevaluasi kinerja sistem pemantauan kondisi sawah, apakah sudah optimal atau belum. Proses pengujian mencakup delapan kali percobaan dengan jarak yang berbeda-beda yaitu dari jarak 50 meter sampai jarak 700 meter. Pengujian keseluruhan ini untuk mengetahui kinerja sistem dari sensor apakah sensor dapat berjalan dengan baik pada kondisi sebenarnya. Tabel 8 menampilkan hasil dari pengujian keseluruhan yang telah dilakukan pada kondisi LOS.

Tabel 8. Pengujian Keseluruhan Kondisi LOS

No	Jarak LoRa (m)	Nilai RSSI (dBm)	Motor ON/OFF	Indikator Buzzer ON/OFF
1	50	-87	ON	OFF
2	100	-93	ON	ON
3	200	-94	ON	OFF
4	300	-95	ON	OFF
5	400	-95	ON	ON
6	500	-97	ON	OFF
7	600	-99	ON	ON
8	700	-101	ON	ON
9	800	-105	ON	OFF
10	900	-	OFF	OFF
11	1000	-	OFF	OFF

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada kondisi LOS, komunikasi mulai terganggu pada jarak 900–1000 meter, ditandai dengan data sensor yang tidak tampil di Trx2 dan komunikasi terputus sepenuhnya pada 1000 meter. Secara keseluruhan, sistem bekerja dengan baik pada jarak 50–800 meter, di mana Trx1 mampu mengirim data sensor melalui LoRa ke Trx2, yang kemudian menampilkan data pada OLED, mengaktifkan buzzer jika kondisi tidak diinginkan, dan mematikan buzzer jika kondisi normal. Trx2 juga berhasil mengirim perintah kontrol motor DC ke Trx1.

Kinerja sensor juga optimal, di mana sensor soil moisture berfungsi sebagai saklar otomatis untuk buka-tutup pintu irigasi, dan sensor ultrasonik memberikan peringatan saat ketinggian air melebihi batas. Meskipun sistem masih berjalan pada jarak 700–800 meter, nilai RSSI yang diperoleh sudah termasuk kategori buruk menurut standar TIPHON (sekitar -100 dBm). Pada tahap pengujian ini dilakukan pengujian keseluruhan dalam kondisi NLOS yang

dilakukan pada jarak tempuh yang sama yaitu 50 meter sampai komunikasi LoRa tidak dapat dilakukan, untuk mengetahui kinerja komunikasi LoRa pada kondisi adanya halangan seperti, bangunan, pepohonan dan lainnya. Berikut tabel 9 ditampilkan hasil pengujian keseluruhan pada kondisi NLOS.

Tabel 9. Pengujian Keseluruhan Kondisi NLOS

No	Jarak Tempuh LoRa	Nilai RSSI (dBm)	Motor ON/OFF	Indikator Buzzer ON/OFF
1	50	-93	ON	OFF
2	100	-100	ON	ON
3	200	-101	ON	OFF
4	300	-102	ON	ON
5	400	-	-	-
6	500	-	-	-
7	600	-	-	-
8	700	-	-	-
9	800	-	-	-
10	900	-	-	-
11	1000	-	-	-

Pengujian komunikasi LoRa pada kondisi NLOS dilakukan dengan mengamati parameter RSSI, status motor, pembacaan sensor kelembapan dan ultrasonik, serta kondisi buzzer. Pada jarak 50 meter, RSSI tercatat -87 dBm, motor tidak beroperasi karena kelembapan 50% (cukup), sensor ultrasonik membaca 5 cm, dan buzzer menyala karena ketinggian air tidak sesuai (target 4 cm). Pada 100 meter, RSSI menurun menjadi -92 dBm, sistem kontrol otomatis berjalan (kelembapan 47%, kering), sensor ultrasonik tetap 5 cm, dan buzzer masih menyala. Pada 200 meter, RSSI -99 dBm, sistem tetap berfungsi dengan motor menutup pintu (kelembapan 52%, basah), sensor ultrasonik membaca 4 cm, dan buzzer mati karena kondisi sesuai.

Pada jarak 300 meter, komunikasi masih berlangsung dengan RSSI -111 dBm; pembacaan sensor masih diterima, tetapi sistem kontrol otomatis tidak aktif karena kondisi kelembapan tetap basah, sedangkan buzzer menyala karena ketinggian air tidak sesuai. Pada jarak 400–1000 meter, tidak ada data yang diterima, menunjukkan sinyal LoRa sudah terlalu lemah atau hilang, sehingga komunikasi gagal.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

1. Pengujian dan Analisa Sensor Soil Moisture

Pengujian menunjukkan bahwa sensor kelembapan tanah bekerja dengan baik. Sensor mampu mendeteksi kadar air pada media tanah, di mana hasil konversi nilai ADC menunjukkan kelembapan 54% yang dikategorikan basah, sedangkan pada kelembapan 45% dikategorikan kering.

2. Pengujian dan Analisa Sensor Ultrasonik
Setelah dilakukan pengujian sensor ultrasonik didapati bahwa sensor dapat berjalan dengan baik, dimana sensor dapat membaca ketinggian air pada wadah yang berisikan air dengan ketinggian 1 cm yang diukur menggunakan penggaris, yang kemudian sensor akan membaca dengan hasil pembacaan 4 cm yang mengindikasikan bahwa ketinggian air 1 cm.
3. Pengujian dan Analisa
Sistem berhasil memantau kelembapan tanah dan ketinggian air menggunakan modul LoRa. Pada kondisi Line of Sight (LOS), komunikasi dapat dilakukan hingga 800 meter, dengan RSSI -90 dBm pada jarak 50–600 meter (kategori sedang) dan -100 dBm pada 700–800 meter (kategori jelek). Di jarak 1000 meter, komunikasi terputus. Pada kondisi Non-Line of Sight (NLOS), komunikasi hanya mencapai 300 meter, dengan RSSI menurun hingga -102 dBm. Uji delay menunjukkan koneksi tetap stabil dengan delay 5–6 detik pada kondisi LOS, tetapi meningkat hingga 7,2 detik pada NLOS disertai risiko kehilangan data. Hasil ini menunjukkan bahwa kestabilan koneksi LoRa sangat dipengaruhi oleh kualitas sinyal dan kondisi lingkungan.
4. Pengujian dan Analisa Packet Loss
Pengujian packet loss pada kondisi LOS menunjukkan 48 dari 50 paket berhasil diterima, dengan persentase packet loss sebesar 4%, yang menurut standar TIPHON masih dalam kategori baik. Sementara itu, pada kondisi NLOS hanya 33 dari 50 paket berhasil diterima, dengan packet loss sebesar 34%, yang termasuk kategori buruk dan komunikasi cenderung tidak stabil. Berdasarkan TIPHON, packet loss 0–2% dikategorikan sangat baik.
5. Pengujian dan Analisa Respon Sistem Terhadap Perintah Manual
Pada pengujian respon sistem terhadap perintah manual sistem dapat berfungsi dengan baik dengan jarak maksimal 900 meter, Pada pengujian respon sistem ini diamati pada pengiriman data. Pada pengujian ini ada beberapa penjelasan pada jarak 700 – 900 meter kondisi dimana

pengontrolan dapat dilakukan akan tetapi penerimaan sensor yang tidak dapat di tampilkan pada layar OLED, kemudian pada jarak 1000 meter ini terjadi dimana rangkaian LoRa tidak dapat berkomunikasi.

6. Pengujian Alat Keseluruhan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi Long Range (LoRa) untuk sistem pemantauan kondisi sawah dapat diimplementasikan dengan baik. Sistem mampu mengirimkan data kelembapan, ketinggian air, mengontrol buka-tutup pintu irigasi, serta memberikan indikator peringatan dengan baik, di mana sensor kelembapan berfungsi sebagai saklar otomatis untuk mengontrol pintu irigasi. Meskipun jarak komunikasi LoRa belum mencapai spesifikasi maksimal (2–5 km), hal ini disebabkan oleh keterbatasan perangkat, terutama antena, serta tata letak alat yang terlalu dekat dengan permukaan tanah sehingga mengganggu stabilitas sinyal.

4.2. Saran

1. **Optimasi konsumsi energi** mengingat sistem ini digunakan untuk pemantauan sawah yang biasanya terletak di area terpencil, optimasi konsumsi energi menjadi penting. Pemanfaatan sumber energi alternatif seperti panel surya dapat diterapkan untuk mendukung operasional sistem secara berkelanjutan.
2. **Komparasi dengan teknologi lain** penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan membandingkan kinerja teknologi LoRa dengan teknologi komunikasi lain seperti ZigBee atau NB-IoT, untuk menemukan teknologi terbaik yang sesuai dengan kebutuhan spesifik sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sensus pertanian .2023. Rumah tangga usaha pertanian (RTUP). [Online]. Available: <https://sensus.bps.go.id/main/index/st2023> ,Accessed:16 january 2025.
- [2] Zamani Noor, I.G.A, Semara Putra, Saputra, Dewi Wirastuti.”Jurnal Spektrum”, RANCANG BANGUN PROTOTIPE *MONITORING* PENGAIRAN SAWAH BERBASIS LORA RA-02 SX1278, Vol.9, No.3 (2022).
- [3] S. Demetri, M. Zúñiga, G. Pietro Picco, F. Kuipers, L. Bruzzone, and T. Telkamp, “Automated estimation of link quality for Lora: A remote sensing approach,” in IPSN 2019 - Proceedings of the 2019 Information Processing in Sensor Networks, 2019, pp. 145– 156, doi: 10.1145/3302506.3310396.
- [4] Muhamad taufik hidayatullah."PENGEMBANGAN INTERNET OF THINGS (IoT) UNTUK APLIKASI SISTEM IRIGASI CURAH DI SAWAH",Vol.1, No 1 (2020).
- [5] Dio Alif Afandi, Andrijani Sumarahinsih, ABD.Rabi.” Jurnal Teknik Elektro: Electronic Control, Telecommunication, Computer Information and Power System”. Perancangan Prototipe Alat Monitorin Ketinggian Air Sawah Berbasis LoRa dengan Arduino Cloud.
- [6] Jannata, Abdullah, S.H., & Priyati, A. 2015. Analisa Kinerja Pengelolaan Irigasi Di Daerah Irigasi Lemor, Kabupaten Lombok Timur, Nusa Tenggara Barat. Jurnal ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem, Vol.3, No.1.
- [7] Folkes E. Laumal, Edwin P. Hattu, dan Kusa B. N. Nope.”Jurnal Rekayasa ElektriKa”. Pengembangan Pintu Air Irigasi Pintar Berbasis Arduino Untuk Daerah Irigasi Manekin, Vol. 13, No. 3, Desember 2017, DOI: 10.17529/jre.v13i3.8505
- [8] A. B. & A. Susanto, Implementasi Sistem Gateway Discovery pada Wireless Sensor Network (WSN) Berbasis Modul komunikasi LoRa,” Jurnal pengembangan teknologi informasi dan inlu komputer, Vol. 3, pp. 2138-2145, 2019.
- [9] Adi Galih Utomo, Diana Alia, Anak Agung Istri Sri Wahyuni."Jurnal Publikasi Ilmu Teknik",Sistem Monitoring Limbah Oli Menggunakan Arduino Uno Berbasis Lora", Vol 3 No.2 (2024), DOI: <https://doi.org/10.55606/juprit.v3i2.3722>.
- [10] Bloko Budi Rijadi, Agustini Rodiah Machdi."Journal Of Energy And Electrical Engineering JEEE". DISTANCE TESTING ON PINT TO POINT COMUNICATION WITH LORA BASD ON RSSI AND LOG NORMAL SHADOWING MODEL, Vol. 5,No. 2, 2024.
- [11] LoRa Alliance. 2015. “A Technical Overview of LoRa and LoRaWAN.” (November):120.<https://www.loraalliance.org/portals/0/documents/whitepapers/LoRaWAN101.pdf>.
- [12] Herdian Hadi,” Rancang Bangun Long Area (LoRa RA) Untuk

- Pengamanan Pada Mobil Listrik”, (2022), U RI: <http://eprints.itn.ac.id/id/eprint/9694>.
- [13] Arduino Uno. 2018. Arduino Uno Rev3. [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>, Accessed: 22 november 2024.
- [14] Deswar F.A, Pradana.R ,”Monitoring Suhu Pada Ruang Server Menggunakan Wemos D1 R1 Berbasis Internet Of Things (Iot)” Jurnal Ilmiah “Technologia” Vol 12, No. 1, Januari 2021.
- [15] Lastminuteengineers, “InterfACE OLED Graphic Display Module with Arduino”. Available: <https://lastminuteengineers.com/oled-display-arduino-tutorial/> (di Akses pada 22 November 2024).
- [16] Taryana Suryana.(2021). Capacitive Soil Moisture Sensor Untuk Mengukur Kelembaban Tanah. jurnal komputa unikom 2021. <https://repository.unikom.ac.id/68742/1/Mengukur%20Kelembaban%20Tanah%20dengan%20Capacitive%20Soil%20moisture%20sensor.pdf>.
- [17] Yahwe, C.P., Isnawaty, I. and Aksara, L.F., 2016. Rancang Bangun Prototype System Monitoring Kelembaban Tanah melalui Sms Berdasarkan Hasil Penyiraman Tanaman “studi kasus tanaman Cabai dan Tomat”. *semanTIK*, 2(1).
- [18] I. K. Missa, L. A. S. Lapono, and A. Wahid, “Rancang Bangun Alat Pasang Surut Air Laut Berbasis Arduino Uno Dengan Menggunakan Sensor Ultrasonik HC-SR04,” *Jurnal Fisika Sains dan Aplikasinya*, vol. 3, no. 2, pp. 102-105, 2018.
- [19] R. F. Graf, *Modern Dictionary of Electronics*, madras, 1999.
- [20] Effendi, H., & Puspitaningrum, R. (2021). Rancang bangun sistem monitoring pemakaian air PAM dan mutu air pada komplek perumahan dengan jaringan nirkabel LoRa berbasis Arduino Uno. *Sinusoida*, 23(1), 50-60.
- [21] G.P. Robinson, *Antenna Synthesis Through Characteristic Modal Analysis For Small Unmanned Aerial System Application*, Thesis, University of Oklahoma, 2019.
- [22] K. -H. Lam, C. -C. Cheung and W. -C. Lee, "RSSI-Based LoRa Localization Systems for Large-Scale Indoor and Outdoor Environments," in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 68, no. 12, pp. 11778-11791, Dec. 2019, doi: 10.1109/TVT.2019.2940272.
- keywords: {Base stations;Global Positioning System;Loss measurement;Internet of Things;Noise measurement;Wireless fidelity;Real-time systems;RSSI;LoRa;localization},
- [23] Andrian Maulana, Wiwin Sulisty, ”Jurnal Penerapan Teknologi Informasi dan Komunikasi”. ANALISIS KUALITAS SIGNAL WIRELESS MENGGUNAKAN RECEIVED SIGNAL STRENGTH INDICATOR (RSSI) DI SMP NEGERI 10 SALATIGA, Vol.3. No.1 (2024).A. Zafia, Y. A. Setyoko, and A. D. N. Utomo, “Implementasi Sensor Jaga Jarak Dalam Membantu Pencegahan Penularan Covid-19,” *LEDGER J. Inform. Inf. Technol.*, vol. 1, no. 3, pp. 150–160, 2022, doi: 10.20895/ledger.v1i3.890.
- [24] Y. A. Pranata, I. Fibriani, and S. B. Utomo, “Analisis Optimasi Kinerja Quality of Service Pada Layanan Komunikasi Data Menggunakan Ns-2 Di Pt. PIn (Persero) Jember,” *Sinergi*, vol. 20, no. 2, p. 149, 2016, doi: 10.22441/sinergi.2016.2.009.
- [25] Erwin De Kevin Malvin Pakpahan, Nilla Rachmaningrum, Risdilah Mimma Untsa. “eProceedings od engineering”. RANCANG BANGUN SISTEM PEMANTAUAN DAN PENGATURAN PENGGUNAAN DAYA DI INDUSTRI PERUMAHAN PADA TEGANGAN 3 FASA BERBASIS IOT, Vol.12, No.2 April 2025.
- [26] I. N. Bagia and I. M. Parsa, “Motor-Motor Listrik,” 1st ed., Kupang : CV. Rasi Terbit, 2018.
- [27] D. Setiawan, A. F. Boy, A. Hafidz, and Ishak, “Implementasi Teknik PWM Pada Rancang Bangun Alat Deteksi Kecepatan Kendaraan Berdasarkan Perputaran Roda Berbasis Mikrokontroller,” *Jurnal SAINTIKOM (Jurnal Sains Manajemen Informatika dan Komputer)*, vol. 19, no. 1, pp. 40-52, 2020.
- [28] Electrical4U, 2020. “Chopper | DC to DC Converter” <https://www.electrical4u.com/chopper-DC-to-DC-converter/> (di Akses pada 22 november 2024).
- [29] Yosio, Masaki., Ralph J. Brodd dan Akiya Kozawa. (2012). *Lithium-Ion Batteries*, Japan: Springer.