

## PENGEMBANGAN *INTERNET OF THINGS (IOT)* DALAM PEREKAMAN DATA IKLIM MIKRO DENGAN PLATFORM *THINGSBOARD*

Heru Nurwasito<sup>\*1</sup>, Resnu Wahyu Adaby<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Universitas Brawijaya, Malang  
Email: <sup>1</sup>heru@ub.ac.id, <sup>2</sup>resnuwahyu@student.ub.ac.id  
<sup>\*</sup>Penulis Korespondensi

(Naskah masuk: 13 Agustus 2024, diterima untuk diterbitkan: 26 November 2024)

### Abstrak

Tantangan terbesar pada sektor Pertanian di Indonesia adalah perubahan iklim. Adanya Perubahan iklim memicu perubahan lingkungan yang berimbas pada perubahan respons tanaman. Penelitian ini membahas Teknologi *Internet of things* (IoT) dalam perekaman data iklim mikro dengan *thingsboard*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental dengan perancangan pada penelitian ini terdiri dari perancangan *node sensor* dan perancangan sistem perekaman dengan *platform Thingsboard*. Penelitian ini dilakukan dengan tujuh pengujian di antaranya pengujian koneksi *gateway* dengan GSM, pengujian jarak dan kualitas sinyal, pengujian *delay*, pengujian daya tahan perangkat, pengujian integrasi *The Things Network* dengan *Thingsboard*, pengujian akurasi sensor dan kalibrasi, serta pengujian *packet loss*. Penelitian ini menemukan hasil *Gateway* memiliki jaringan GSM yang stabil sehingga *Gateway* mampu mengirimkan pembaruan status ke *The Things Network* dan mampu untuk menerima data yang ditransmisikan oleh *node sensor*. Selain itu, Pada perangkat LoRa diidentifikasi memiliki batas jangkauan sekitar 350 meter ke dalam UB Forest hal ini didukung dengan hasil dari pengujian kehilangan paket dengan hasil pada *node LC* dengan jarak 150 meter nilai kehilangan paket sebesar 4%, dan *node BAU* dengan jarak 200 meter hingga 300 m nilai kehilangan paket sebesar 8%. Penelitian ini juga menemukan bahwa integrasi antara *The Things Network* (TTN) dan *Thingsboard* pada sistem LoRa berhasil dilakukan tanpa kendala. Sistem juga memiliki poin plus yang ramah pengguna dan efektif untuk aplikasi pemantauan data iklim mikro. Penelitian ini juga melibatkan proses kalibrasi dengan menggunakan metode regresi untuk menunjukkan tingkat keberhasilan dan nilai akurasi dengan hasil hampir mendekati 100%.

**Kata kunci:** *Internet of Things, Thingsboard, Iklim Mikro, LoRa, UB Forest*

## DEVELOPMENT OF INTERNET OF THINGS (IOT) FOR MICROCLIMATE DATA LOGGING USING THE THINGSBOARD PLATFORM

### Abstract

*The biggest challenge in the agricultural sector in Indonesia is climate change. Climate change triggers environmental changes that have an impact on changes in plant responses. This study discusses Internet of things (IoT) technology in recording microclimate data with Thingsboard. The method used in this study is experimental with the design in this study consisting of designing sensor nodes and designing a recording system with the Thingsboard platform. This research was conducted with seven tests including gateway connectivity testing with GSM, distance and signal quality testing, delay testing, device durability testing, The Things Network integration testing with Thingsboard, sensor accuracy and calibration testing, and packet loss testing. This research found that Gateway has a stable GSM network so that Gateway is able to send status updates to The Things Network and is able to receive data transmitted by sensor nodes. LoRa devices were identified as having a range limit of about 350 meters into UB Forest, this is supported by the results of packet loss testing with results on LC nodes with a distance of 150 meters packet loss value of 4%, and BAU nodes with a distance of 200 meters to 300 m packet loss value of 8%. This research also found that the integration between The Things Network (TTN) and Thingsboard on the LoRa system was successfully carried out without problems. The system also has plus points that are user-friendly and effective for microclimate data monitoring applications. This research also involves a calibration process using regression methods to show the success rate and accuracy value with results approaching 100%.*

**Keywords:** *Internet of Things, Thingsboard, Microclimate, LoRa, UB Forest*

## 1. PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi *Internet of Things* (IoT) telah mengalami perkembangan pesat di berbagai sektor, sejalan dengan kemajuan dalam kecerdasan buatan (Balas dan Kumar, 2020), mulai dari bidang kesehatan (Toh dan Brody, 2021), transportasi (Pangestu, Yusro dan Djatmiko, 2020), rekayasa pertanian (Reas, Carcoza dan Hernandes, 2019), hingga otomatisasi pertanian cerdas (Jha et al., 2019). *Internet of Things* (IoT) merupakan jaringan sistem otomatisasi yang terdiri dari berbagai komponen seperti sensor, modul, dan periferal yang terhubung ke internet. Sistem ini dirancang untuk memungkinkan pengendalian jarak jauh, memungkinkan pengguna untuk memantau dan mengontrol perangkat dengan efisien tanpa harus berada di dekatnya (Zikria et al., 2018).

Pertanian adalah sektor yang sangat penting dalam ekonomi Indonesia. Menurut data dari Badan Pusat Statistik (2013), sekitar 30% dari penduduk Indonesia bergantung pada sektor ini untuk memenuhi kebutuhan pangan dan sebagai sumber penghasilan. Namun, pertanian di Indonesia menghadapi tantangan yang signifikan, yaitu perubahan iklim global. Perubahan iklim memicu perubahan lingkungan yang mengakibatkan respons tanaman yang berubah (Sarvina, 2019).

Metode pertanian modern, dengan memanfaatkan konsep pertanian cerdas, dapat membantu meningkatkan efisiensi dan produktivitas dalam pertanian dibandingkan dengan metode pertanian konvensional yang masih banyak digunakan oleh para petani. Dalam pertanian cerdas, teknologi seperti IoT, sensor, dan kecerdasan buatan dapat digunakan untuk memantau dan mengontrol kondisi pertanian secara *real-time*. Hal ini memungkinkan petani untuk mengambil keputusan yang terinformasi dan meningkatkan hasil panen (Rao dan Sridhar, 2018).

Iklim mikro merujuk pada kondisi iklim di area yang sangat terbatas, biasanya hingga dua meter di atas tanah. Ini dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti hutan, rawa, danau, dan aktivitas manusia, yang memengaruhi suhu udara dan tanah, arah dan kecepatan angin, intensitas cahaya, dan kelembaban udara di area tersebut (Holton, 2004). Oleh karena itu, diperlukan langkah-langkah untuk menciptakan lingkungan yang optimal untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman dalam pertanian dengan memodifikasi iklim mikro. Salah satu pendekatan adalah dengan mengubah kelembaban dan suhu udara. Penelitian ini berfokus pada pemantauan suhu udara dan kelembaban untuk mengamati kondisi iklim mikro di area Hutan UB.

Berdasarkan definisi oleh GSM Association, (2014), IoT adalah jaringan internet yang menghubungkan objek dengan sensor, memungkinkan koneksi internet. Ini memungkinkan sensor dan perangkat lain untuk secara otomatis merekam data dan menyajikannya dalam berbagai

format seperti grafik dan tabel. Istilah *Internet of Things* mencakup tiga elemen utama: objek fisik yang dilengkapi dengan modul sensor, koneksi internet, dan pusat data pada server untuk menyimpan informasi dari aplikasi. Data yang dikumpulkan oleh objek yang terhubung ke internet membentuk "*big data*" yang dapat dianalisis oleh lembaga pemerintah, perusahaan, atau organisasi lain dan digunakan untuk kepentingan masing-masing (Setiadi dan Muhaemin, 2018). Platform IoT yang digunakan untuk mengembangkan sistem data iklim mikro adalah *Thingsboard*, platform sumber terbuka untuk mengukur dan merekam data dari sensor pertanian. *Thingsboard* menawarkan pemantauan dan analisis data *real-time*, dan mengintegrasikan data dari berbagai sumber (ThingsBoard, 2023).

IoT memungkinkan pengukuran dan pencatatan data iklim mikro secara otomatis dan *real-time*, memberikan informasi yang akurat dan berguna bagi petani dalam pengambilan keputusan (Mahdi, Hamed and Latif, 2024). Sistem ini akan diintegrasikan dengan berbagai sensor, seperti sensor suhu, kelembaban, dan intensitas cahaya, untuk mendapatkan data yang akurat. Selain itu, data yang terkumpul akan diproses dan ditampilkan pada dashboard *Thingsboard* (Kadek et al., 2023).

Kajian terhadap pemanfaatan IoT di bidang pertanian sudah banyak dilakukan dan hasilnya menunjukkan penerimaan yang sangat baik pada berbagai platform. IoT pada platform *Beelive* (Hamza et al., 2023), kontrol otomatis iklim mikro *greenhouse* dengan platform IoT *Blynk* (Setyanto and Salahuddin, 2022), penggunaan *ESP32*, *Raspberry Pi*, *MQTT* dan *Node-RED* untuk mengamati iklim *greenhouse* (Naa, 2022), serta penggunaan mikrokomputer untuk pemantauan iklim mikro rumah kaca (Bafdal and Ardiansah, 2022) menunjukkan bahwa IoT telah memberikan kemudahan kepada para petani dalam menjalankan usaha dan pengambilan keputusan di bidang pertanian. Namun, kajian dan pengembangan IoT bidang pertanian pada platform *Thingsboard*, padahal penerapan IoT dalam pertanian memiliki potensi besar untuk memberikan dampak positif yang signifikan.

Dalam hal ini, teknologi *Internet of Things* (IoT) dapat menjadi solusi yang efektif. Variabel dan pengaturan iklim mikro secara konsisten dipantau melalui penggunaan iklim kerangka observasi. Unit detektor ini mengumpulkan informasi yang digunakan untuk mencatat iklim dengan mengamati perubahan sekitar di wilayah tertentu. Pemeriksaan iklim mikro bergerak dan keadaan sekitar di wilayah tertentu, mendapat manfaat secara signifikan dari informasi tersebut (Ali et al., 2023).

Berdasarkan uraian diatas, paper ini mengusulkan pengembangan sistem *Internet of Things* (IoT) untuk perekaman data iklim mikro menggunakan platform *ThingsBoard* yang menekankan efisiensi, akurasi, dan otomatisasi dalam

monitoring iklim mikro, khususnya di bidang pertanian, kehutanan, dan manajemen lingkungan (Ali et al., 2023). Dengan hasil pengamatan suhu udara, kelembaban udara, intensitas cahaya, suhu tanah, dan kelembaban tanah, sistem ini mengoptimalkan penggunaan perangkat keras untuk mengumpulkan serta mengirim data secara real-time ke platform *ThingsBoard*. Implementasi inovatif, seperti optimasi pengiriman data untuk efisiensi energi dan integrasi AI untuk prediksi tren iklim mikro, menjadi fokus utama dalam analisis data. Studi ini juga membandingkan sistem dengan solusi sebelumnya dan menunjukkan keunggulan dalam hal kecepatan dan biaya, dengan hasil uji lapangan yang relevan, serta potensi untuk mengamati kondisi iklim mikro di area Hutan UB.

## 2. STUDI LITERATUR

Studi literatur dalam penelitian ini membahas perbandingan beberapa studi sebelumnya dengan studi yang diusulkan. Perbandingan dilakukan berdasarkan tiga kriteria: platform yang digunakan, perangkat sensor yang digunakan, dan lokasi penelitian.

Studi pertama yang dirujuk dalam penelitian ini adalah oleh (Camparim, Petenuci dan Súarez, 2022). Studi ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pemantauan iklim mikro berbiaya rendah menggunakan teknologi IoT dengan LoRa. Sistem ini menggunakan modul WiFi LoRa 32 V2 untuk pengumpulan data dan penyimpanan informasi. Sensor yang digunakan meliputi sensor suhu dan kelembaban, sensor pencahayaan, anemometer, dan modul kartu MicroSD. Semua sensor diuji dan dibandingkan dengan peralatan referensi untuk memastikan efektivitas dan efisiensi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan memberikan hasil yang memuaskan dengan jarak komunikasi antara penerima dan pengirim hingga 3,5 km, menjadikannya pilihan ekonomis untuk pemantauan iklim mikro atau pemantauan lingkungan, termasuk di tempat-tempat tanpa jaringan internet.

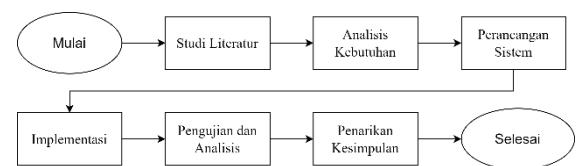
Studi kedua yang dirujuk dalam penelitian ini adalah oleh (Hidayat et al., 2019). Studi ini membahas pengembangan sistem pemantauan lingkungan berbasis LoRa yang terintegrasi dengan *cloud* untuk daerah pedesaan. Ini berfokus pada implementasi LoRa (*Long Range*) untuk transmisi data jarak jauh yang hemat energi. Modul LoRa digunakan untuk komunikasi antara sensor dan *gateway*. Sensor yang digunakan meliputi sensor suhu dan kelembaban (DHT22), sensor radiasi matahari (TSL2561), dan TTGO LoRa32 V2 sebagai pemancar. Sistem ini menggabungkan *node sensor*, *gateway*, dan *server cloud*, menyediakan solusi yang efisien untuk pemantauan lingkungan di daerah pedesaan dengan konektivitas internet yang terbatas.

Studi ketiga yang dirujuk dalam penelitian ini adalah oleh (Rosli et al., 2020). Studi ini membahas

penggunaan sistem LoRaWAN dan protokol MQTT untuk pemantauan lingkungan secara *real-time*. Sistem ini menggunakan mikrokontroler Arduino UNO dan sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembaban. Data dari sensor-sensor ini dikirim melalui *gateway* LoRaWAN ke server *The Things Network* (TTN) menggunakan protokol MQTT. Server TTN memungkinkan data ditampilkan secara *real-time* pada *dashboard* berbasis web menggunakan Node RED, sebuah alat pemrograman visual berbasis alur yang memudahkan pengguna untuk mengatur dan memvisualisasikan data dengan efisien. *Dashboard* ini dapat disesuaikan sesuai dengan preferensi pengguna, memungkinkan analisis data yang mudah dan cepat.

## 3. METODE PENELITIAN

Secara garis besar, penelitian ini akan melibatkan beberapa langkah penting untuk mencapai tujuan yang diharapkan. Pertama, penelitian akan dimulai dengan melakukan studi literatur yang relevan untuk memahami perkembangan terkini dalam teknologi *Internet of Things* (IoT) dan aplikasi perekaman data iklim mikro. Langkah ini penting untuk mendapatkan informasi yang mendalam mengenai metodologi yang telah ada dan untuk mengidentifikasi celah yang dapat diisi oleh penelitian ini. Setelah itu, analisis kebutuhan untuk sistem perekaman data iklim mikro akan dilakukan, yang mencakup pengumpulan informasi mengenai kebutuhan pengguna dan spesifikasi teknis yang diperlukan agar sistem dapat berfungsi secara optimal. Selanjutnya, tahap perancangan dan implementasi sistem akan dilakukan, di mana desain sistem akan dihasilkan dan perangkat keras serta perangkat lunak yang diperlukan akan dipasang dan diintegrasikan. Setelah sistem terpasang, langkah pengujian dan analisis hasil akan dilaksanakan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam pengumpulan dan pemantauan data iklim mikro. Pengujian ini akan mencakup pengukuran akurasi data, kestabilan jaringan, serta efisiensi energi. Akhirnya, penelitian akan diakhiri dengan pengambilan kesimpulan yang akan merangkum temuan-temuan utama dari penelitian ini dan memberikan rekomendasi untuk pengembangan lebih lanjut. Dengan mengikuti langkah-langkah ini, diharapkan penelitian dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pemahaman dan implementasi teknologi IoT dalam pengelolaan iklim mikro. Pada Gambar 1 dapat dilihat diagram alur tahap-tahap yang akan dilakukan pada penelitian.



Gambar 1. Diagram Alur Metodologi Penelitian

#### 4. IDENTIFIKASI MASALAH

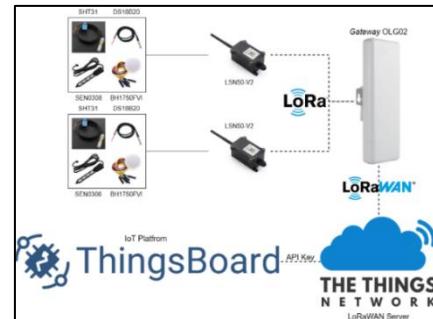
Pertanian di Indonesia harus bisa menghadapi tantangan yang sangat besar yaitu perubahan iklim. Perubahan iklim memicu perubahan lingkungan yang mengakibatkan perubahan respons pada tanaman. Dalam hal ini, teknologi *Internet of Things* (IoT) dapat menjadi solusi yang efektif. IoT memungkinkan pengukuran dan perekaman data iklim mikro secara otomatis dan *real-time*, yang dapat memberikan informasi yang akurat dan berguna bagi petani dalam mengambil keputusan.

Berdasarkan permasalahan yang dikaji, sistem ini harus memiliki beberapa kebutuhan fungsional di antaranya:

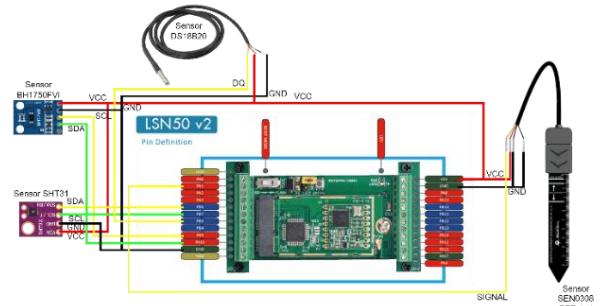
1. Sensor SHT31, BH1750, DS18B20 dan SEN0308 DFRobot dapat melakukan pemantauan terhadap suhu, intensitas cahaya, kelembaban udara, suhu tanah, dan kelembaban tanah di lingkungan sekitar sensor.
2. Data dari sensor akan diproses oleh Dragino LSN50v2 untuk menghasilkan informasi tentang suhu, intensitas cahaya, kelembaban udara, suhu tanah, dan kelembaban tanah. Informasi ini akan dikirim ke *gateway* Dragino OLG02 untuk dibaca dalam bentuk teks.
3. Data yang telah diproses oleh *node sensor* Dragino LSN50v2 akan dikirimkan ke *The Things Network* melalui *gateway* Dragino OLG02 yang terhubung ke jaringan GSM.
4. Data yang sudah diterima oleh *The Things Network* bisa di integrasikan dengan beberapa *Web Server* sekaligus menggunakan API Key. *Web Server* yang penulis gunakan adalah *Thingsboard*.
5. Hasil pemantauan dari semua sensor akan ditampilkan dalam bentuk grafik dan diagram pada platform *Thingsboard*.

#### 5. PERANCANGAN SISTEM

Dalam bagian ini, penulis menjelaskan sistem yang dirancang yang terdiri dari Dragino LSN50v2 (*node sensor*), Dragino OLG02 (*gateway*), dan sistem pemantauan pengguna akhir. Setiap *node sensor* terdiri dari beberapa modul sensor, yaitu SHT31 (Suhu dan Kelembaban Udara), DS18B20 (suhu tanah), SEN0308 DFRobot (kelembaban tanah), dan BH1750FVI (intensitas cahaya). *Node sensor* akan mengumpulkan informasi dari sensor-sensor ini dan mengirimkannya melalui jaringan LoRa. Begitu data diterima oleh *gateway*, maka akan diteruskan ke server LoRaWAN *The Things Network* (TTN) melalui jaringan GSM. Desain sistem *node sensor* Dragino LSN50v2 ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Perancangan Sistem



Gambar 3. Perancangan Node Sensor

Gambar 3 menunjukkan desain *node sensor*. Sensor SHT31, DS18B20, BH1750, dan SEN0308 DFRobot menggunakan tegangan 5V. Keluaran dari sensor SHT31 terhubung ke pin PB6 dan PB7, dan untuk sensor DS18B20, keluaran dari sensor terhubung ke pin PB3. Untuk sensor BH1750, keluaran dari sensor terhubung ke pin PA9 dan PA10, dan untuk sensor SEN0308 DFRobot, keluaran dari sensor terhubung ke pin PA1.



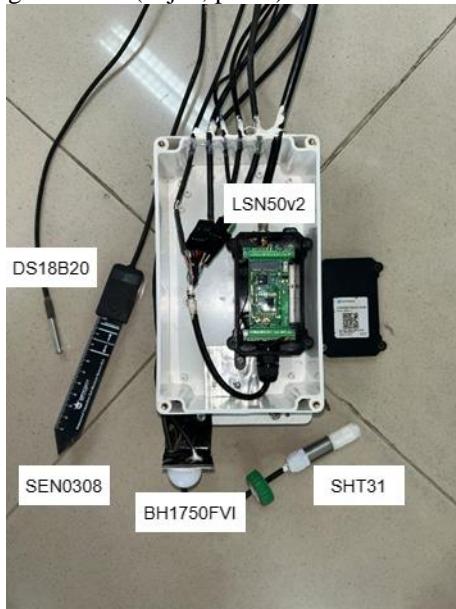
Gambar 4. Perancangan Node Gateway

Pada Gambar 4, perancangan *node gateway* menggunakan antena eksternal tambahan ditampilkan. Terdapat dua jenis antena yang digambarkan dalam gambar 4: antena yang digunakan untuk menangkap sinyal GSM untuk jaringan internet, yang ditampilkan pada bagian atas

gambar, dan antena bagian bawah digunakan untuk menangkap transmisi sinyal LoRa yang dikirim oleh *node sensor* untuk transmisi data iklim mikro.

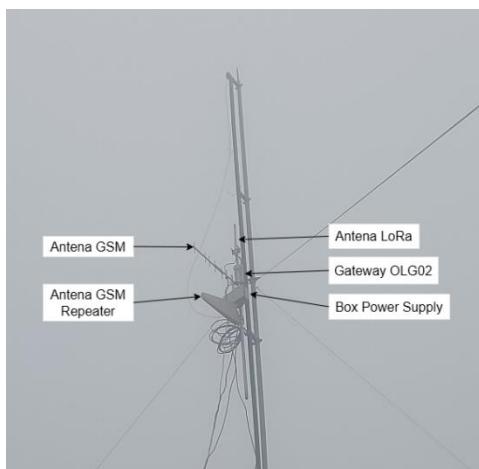
## 6. IMPLEMENTASI SISTEM

Gambar 5 menunjukkan perangkat keras yang dirancang. Ini terdiri dari *node sensor* Dragino LSN50v2, sensor SHT31, sensor DS18B20, sensor BH1750FVI, sensor SEN0308 DFRobot, pasokan daya (Baterai Li-Ion), panel surya, dan *protection box*. Dragino LSN50v2 digunakan sebagai pusat untuk memproses dan mengintegrasikan data sensor. Selanjutnya, Dragino OLG02 digunakan untuk transmisi data dengan *node sensor* menggunakan jaringan LoRa dan mengirimkan data yang diterima ke server LoRaWAN *The Things Network*. *Protection box* berfungsi sebagai pelindung bagi komponen dari berbagai kondisi (hujan, panas).



Gambar 5. Implementasi Node Sensor

Gambar 6 menunjukkan hasil implementasi *node gateway* yang dipasang di area UB Forest.



Gambar 6. Implementasi Node Gateway

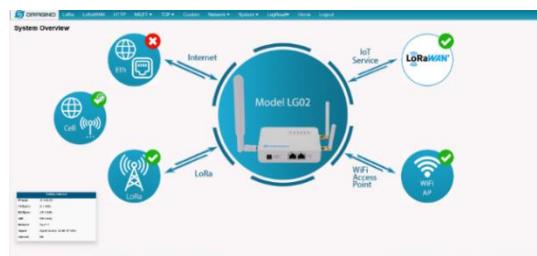
## 7. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian dilakukan di area UB Forest yang terletak di Karangploso, Kabupaten Malang. Ada tujuh pengujian yang dilakukan: pertama, pengujian koneksi *gateway* dengan GSM; kedua, pengujian jarak dan kualitas sinyal; ketiga, pengujian *delay*; keempat, pengujian daya tahan perangkat terhadap kondisi lingkungan di UB Forest; kelima, pengujian integrasi *The Things Network* dengan *Thingsboard*; keenam, pengujian akurasi sensor dan kalibrasi; dan terakhir, pengujian *packet loss*.

### 7.1 Pengujian Koneksi *Gateway* dengan GSM

Pengujian ini bertujuan untuk memverifikasi kemampuan *gateway* Dragino OLG02 dalam terhubung ke jaringan GSM. Ini mencakup pemeriksaan deteksi dan koneksi jaringan GSM, pengukuran kekuatan sinyal dan kualitas koneksi, serta pemantauan stabilitas koneksi selama 24 jam. Proses ini melibatkan persiapan *gateway*, pemeriksaan sinyal, dan pemantauan. Hasilnya akan digunakan untuk menilai kesesuaian *gateway* Dragino OLG02 dalam menangani koneksi *Gateway*.

Gambar 7 dan 8 menunjukkan bahwa *gateway* Dragino OLG02 dapat terhubung ke internet menggunakan koneksi GSM. Koneksi GSM akan secara otomatis terhubung saat *gateway* Dragino OLG02 dihidupkan dan menerima sinyal GSM yang memadai. Setelah terhubung ke internet, sistem dapat terhubung ke *The Things Network*, dan data dapat ditampilkan pada server web *Thingsboard*.



Gambar 7. Tampilan Home Page dan Status GSM

### Network / WiFi Status

Network			
Lan IP Address:	inet addr:10.130.1.1 Bcast:10.130.1.255 Mask:255.255.255.0	inet addr:172.31.255.254 Bcast:172.31.255.255 Mask:255.255.255.255	
Ethernet WAN IP Address:			
WiFi WAN IP Address:			
Cellular:	inet addr:10.4.93.50 P-t-P:10.64.64.64 Mask:255.255.255.255		
Bridge:	bridge name br-lan bridge id 7fff:a840411d9b47 STP enabled no interfaces eth0 wlan0		
WiFi			
wlan0	ESSID: "OLG01-1d9b44"		
	Access Point: A8:40:41:1D:9B:44		
	Mode: Master Channel: 11 (2.462 GHz)		
	Tx-Power: 17 dBm Link Quality: 50/70		
	Signal: -60 dBm Noise: -95 dBm		
	Bit Rate: 46.9 MBit/s		
	Encryption: WPA2 PSK (CCMP)		
	Type: nl80211 HW Mode(s): 802.11bgn		

Gambar 8. Tampilan Network Status

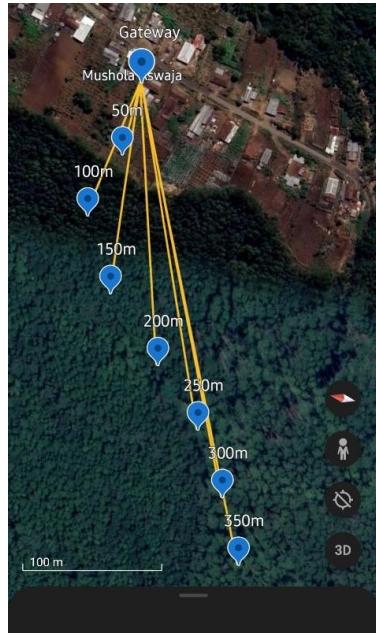
Gambar 9 menunjukkan bahwa *gateway* mampu mengirim pembaruan status ke *The Things Network*. *Gateway* juga mampu menerima data yang ditransmisikan oleh *node sensor* pada pukul 19:07:24. Kedua hal ini menunjukkan bahwa *gateway* memiliki jaringan GSM yang stabil dan mampu terhubung ke internet (Widjaja dan Anthonyus, 2009).



Gambar 9 Tampilan Live Data Preview pada The Things Network

## 7.2 Pengujian Jarak dan Kualitas Sinyal

Pengujian ini bertujuan untuk mengukur kekuatan sinyal menggunakan RSSI, menganalisis kualitas sinyal dengan SNR, mengevaluasi jangkauan dan stabilitas sinyal LoRa, dan mengoptimalkan konfigurasi jaringan. Langkah-langkah pengujian meliputi persiapan *node sensor* Dragino dan *gateway*, konfigurasi awal, pengukuran RSSI dan SNR pada berbagai jarak, dan analisis kinerja. Pelaksanaan pengujian melibatkan penjadwalan, dokumentasi hasil, analisis data, dan rekomendasi untuk meningkatkan kinerja jaringan LoRa.



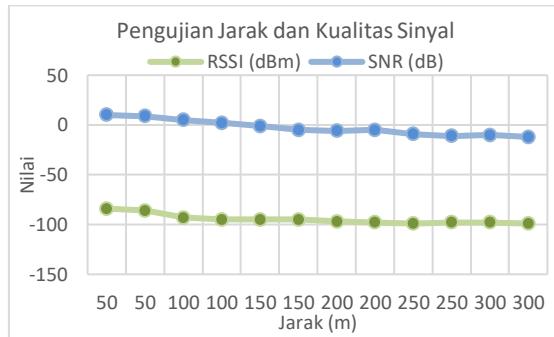
Gambar 10. Peta Lokasi Pengujian Jarak dan Kualitas Sinyal

Ini memungkinkan identifikasi faktor-faktor yang memengaruhi kinerja jaringan dan penentuan strategi perbaikan yang diperlukan. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Jarak dan Kualitas Sinyal

No	Range	Timestamp	RSSI	SNR
1	50 M	2023-12-15 13.10.25	-84	10
2		2023-12-15 13.25.25	-86	9

No	Range	Timestamp	RSSI	SNR
3	100 M	2023-12-15 13.55.25	-93	5
4		2023-12-15 14.10.25	-95	2
5	150 M	2023-12-15 14.25.25	-95	-1
6		2023-12-15 14.40.25	-95	-5
7	200 M	2023-12-15 14.55.25	-97	-6
8		2023-12-15 15.10.25	-98	-5
9	250 M	2023-12-15 15.40.25	-99	-9
10		2023-12-15 15.55.25	-98	-11
11	300 M	2023-12-15 16.10.25	-98	-10
12		2023-12-15 16.25.25	-99	-12
<i>Average</i>			<b>-95</b>	<b>-95</b>
<i>Min</i>			<b>-89</b>	<b>-84</b>
<i>MAX</i>			<b>-99</b>	<b>-99</b>



Gambar 11. Grafik Data Pengujian Jarak dan Kualitas Sinyal

Berdasarkan analisis data jangkauan dan kualitas sinyal, temuan utamanya adalah bahwa kekuatan sinyal (RSSI) cenderung menurun dengan peningkatan jarak, sementara kualitas sinyal (SNR) juga menurun pada jarak yang lebih jauh. Kualitas sinyal lebih baik pada jarak yang lebih dekat dengan SNR yang lebih tinggi (Lami et al., 2022). Dalam pengujian ini, batas praktis jangkauan perangkat LoRa diidentifikasi berada sekitar 350 meter ke dalam Hutan UB. Penelitian serupa oleh (Prasetyo, Irawan dan Hasibuan, 2023) juga menemukan hasil yang sama bahwa LoRa dapat mengirim jarak hingga kurang lebih 300 meter. Berbeda dengan hasil penelitian oleh (Rachmani dan Zulkifli, 2018) yang membahas pengembangan sistem pemantauan IoT untuk perkebunan belimbing menggunakan teknologi LoRa dengan mikrokontroler Arduino UNO dan modul *transceiver* LoRa Dragino Shield untuk transmisi data. Menunjukkan hasil temuan bahwa sistem memiliki jangkauan maksimum 700 meter dengan kinerja komunikasi yang baik. Sehingga dengan demikian Rekomendasi yang diambil adalah mempertimbangkan batas jangkauan ini dalam implementasi perangkat LoRa serupa dan apa yang menyebabkan perbedaan batas jangkauan oleh perangkat.

## 7.3 Pengujian Delay

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi keterlambatan dalam *The Things Network* dengan mengukur waktu yang diperlukan sistem untuk menerima dan menampilkan data sensor. Tujuan utamanya adalah mengukur laten jaringan, menganalisis kinerja jaringan LoRa, mengidentifikasi *bottleneck*, dan memberikan dasar untuk optimasi.

Prosedurnya melibatkan persiapan *node sensor* dan *gateway*, memastikan konfigurasi yang tepat, dan mencatat data *timestamp*. Langkah-langkah melibatkan transmisi data, pengumpulan *timestamp*, perhitungan keterlambatan, dan analisis data untuk mengidentifikasi titik-titik keterlambatan. Pelaksanaannya melibatkan penjadwalan tes, pendokumentasian data, analisis komprehensif, serta memberikan kesimpulan dan rekomendasi untuk peningkatan jaringan. Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian *delay plot* BAU.

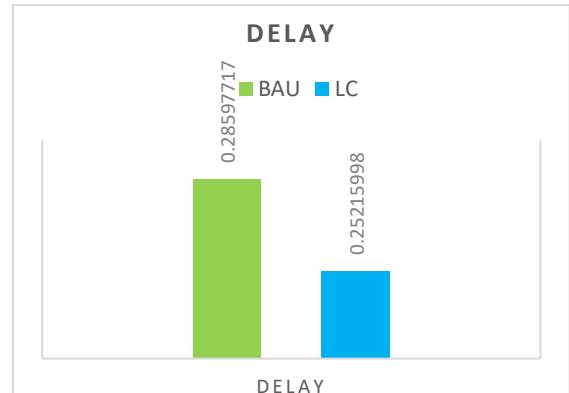
Tabel 2. Hasil Pengujian *Delay Plot* BAU

No	Jam	Gateway	Network Server	Application Server	Delay
1	13.32	0.559932	0.629136	0.837031	0.277098
2	13.47	0.601003	0.672122	0.876020	0.275017
3	14.02	0.344542	0.435814	0.644776	0.300234
4	14.17	0.356489	0.421549	0.664812	0.308322
5	14.32	0.445131	0.531816	0.718193	0.273061
6	14.47	0.551916	0.612618	0.816162	0.264246
7	15.02	1.674183	1.735314	1.979330	0.305147
8	16.17	1.345659	1.435494	1.648491	0.302831
9	16.32	1.381615	1.451819	1.661819	0.280203
10	16.47	1.674191	1.751919	1.951648	0.277456
<b>Rata-rata</b>		1.325513	1.397433	1.611490	0.285977
<b>Min</b>		0.551916	0.612618	0.816162	0.264246
<b>Max</b>		1.674191	1.751919	1.979330	0.305147

Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian *delay plot* LC.Tabel 3. Hasil Pengujian *Delay Plot* LC

No	Jam	Gateway	Network Server	Application Server	Delay
1	14.54	45.2745	45.2767	45.4823	0.20773
2	15.09	45.3087	45.3105	45.5199	0.21117
3	15.24	45.3005	45.3019	45.5106	0.21009
4	15.39	45.3221	45.3206	45.5306	0.20857
5	15.54	45.3542	45.3527	45.5639	0.20978
6	16.09	45.3046	45.3104	45.5166	0.21201
7	16.24	45.0318	45.1018	45.3049	0.27314
8	16.39	45.2746	45.2795	45.4831	0.20857
9	16.54	45.4648	45.5424	45.7421	0.27733
10	17.09	45.4051	45.4884	45.6948	0.28973
<b>Rata-rata</b>		45.2962	45.3445	45.5483	0.25215
<b>Min</b>		45.0318	45.1018	45.3049	0.20857
<b>Max</b>		45.4648	45.5424	45.7421	0.28973

Konsistensi rerata keterlambatan dalam kedua kondisi menunjukkan bahwa jaringan LoRa memberikan kinerja yang stabil dalam hal waktu transmisi. Meskipun terdapat variasi keterlambatan yang sedikit, tidak ada perbedaan signifikan antara kedua kondisi tersebut, yang menunjukkan bahwa sistem LoRa kokoh terhadap perubahan kondisi. Gambar 12 menunjukkan Grafik rata-rata *delay plot* BAU dan LC

Gambar 12. Grafik rata-rata *Delay Plot* BAU dan LC

Data menunjukkan bahwa jaringan LoRa memiliki keterlambatan yang konsisten dan terkendali dalam kedua kondisi pengujian (ETSI, 1999). Temuan pada penelitian (Ramadhani, Rusdinar dan Fuadi, 2021) juga menegaskan hal yang sama bahwa nilai rata-rata *delay* menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan. Semakin jauh jarak transmisi maka akan semakin tinggi nilai rata-rata *delay* yang dihasilkan (Ramadhani, Rusdinar dan Fuadi, 2021). Hal ini menunjukkan keandalan dalam transmisi data, yang sangat penting untuk aplikasi LoRa yang membutuhkan ketepatan waktu. Rekomendasi untuk penelitian lebih lanjut bisa mencakup penyelidikan terhadap faktor-faktor yang dapat menyebabkan variasi keterlambatan dan cara mengoptimalkannya.

#### 7.4 Pengujian Daya Tahan Perangkat Terhadap Kondisi Lingkungan di UB Forest

Pengujian ketahanan perangkat LoRa (Dragino LSN50v2) dalam kondisi lingkungan UB Forest bertujuan untuk mengevaluasi ketangguhan perangkat terhadap faktor-faktor lingkungan seperti suhu ekstrem, kelembaban tinggi, debu, dan hujan. Pengujian juga menilai keandalan jangka panjang perangkat dalam beragam kondisi lingkungan dan dampaknya terhadap kinerja perangkat, termasuk kualitas sinyal, umur baterai, dan fungsionalitas keseluruhan. Dengan memilih dua titik uji yang berbeda di UB Forest dan menempatkan perangkat selama 7 hari di setiap titik, pengujian ini memberikan wawasan tentang seberapa baik perangkat dapat bertahan dalam kondisi lingkungan tertentu dan menawarkan rekomendasi yang relevan. Gambar 13 menunjukkan lokasi pengujian perangkat di UB Forest.

Perangkat LoRa Dragino LSN50v2 menunjukkan ketahanan yang baik dalam pengujian UB Forest, bertahan dalam kondisi cuaca ekstrem selama 7 hari. Kinerja perangkat dalam mengatasi berbagai tantangan lingkungan, termasuk suhu ekstrem, kelembaban tinggi, dan kondisi basah, mengkonfirmasi keandalannya dan ketahanan strukturalnya.



Gambar 13. Lokasi Pengujian di UB Forest

Perangkat tidak hanya mempertahankan integritas fisiknya tetapi juga menjaga konsistensi transmisi data yang efisien, menunjukkan bahwa fluktuasi lingkungan tidak secara signifikan memengaruhi fungsi utamanya (Ruldivem, Ahmad dan Saputra, 2022). Hal ini penting, mengingat stabilitas transmisi data adalah faktor kritis dalam aplikasi LoRa. Selain itu, kemampuan perangkat untuk tetap dapat beroperasi dengan bantuan panel surya untuk pengisian ulang baterai menunjukkan efisiensi energi yang optimal, sebuah aspek penting untuk aplikasi lapangan jangka panjang.

### 7.5 Pengujian Integrasi *The Things Network* dengan *Thingsboard*

Pengujian ini bertujuan untuk memvalidasi integrasi antara *The Things Network* (TTN) dan *ThingsBoard*, serta untuk mengevaluasi keandalan, konsistensi, dan kelangsungan data dari perangkat LoRa Dragino LSN50v2. Proses pengujian mencakup konfigurasi sistem, pengujian transmisi data, dan pengujian di bawah kondisi tertentu dengan interval transmisi data 15 menit. Selama pelaksanaan, pemantauan dan dokumentasi data dilakukan, dan hasilnya dianalisis untuk mengevaluasi efektivitas integrasi dan akurasi data. Laporan uji mencakup keberhasilan integrasi dan analisis kinerja. Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian integrasi antara *The Things Network* (TTN) dan *ThingsBoard*.

Tabel 4. Perbandingan *Timestamp* Pada *The Things Network* dan *Thingsboard*

<i>Timestamp</i> TTN	<i>Timestamp</i> <i>Thingsboard</i>	RSSI	SNR
06:52:20	06:52:20	-98	-12
07:07:20	07:07:20	-100	-10
07:52:20	07:52:20	-98	-8
08:07:20	08:07:20	-99	-8
08:52:20	08:52:20	-97	-9
09:37:20	09:37:20	-98	-6
10:07:20	10:07:21	-99	-11
10:22:20	10:22:20	-98	-11

<i>Timestamp</i> TTN	<i>Timestamp</i> <i>Thingsboard</i>	RSSI	SNR
10:37:20	10:37:21	-99	-11
10:52:20	10:52:20	-98	-12

Integrasi antara *The Things Network* (TTN) dan *Thingsboard* untuk sistem LoRa berhasil dilakukan tanpa masalah. Proses integrasi berjalan lancar, dengan transmisi data yang konsisten dan andal, serta tanpa kehilangan data. Waktu tunda transmisi sangat rendah, tidak melebihi 1 detik, yang sangat penting untuk aplikasi IoT yang memerlukan respons cepat (ETSI, 1999). *Dashboard Thingsboard* juga ramah pengguna dan memudahkan pemantauan dan analisis data iklim mikro. Secara keseluruhan, pengujian ini menunjukkan bahwa sistem tidak hanya dapat diandalkan dalam menghubungkan TTN dan *Thingsboard* tetapi juga ramah pengguna dan efektif untuk aplikasi pemantauan data iklim mikro.

Pada gambar 14 menunjukkan pembacaan sensor yang direkam dan grafiknya mencakup beberapa poin: Gambar 14.A menunjukkan nilai tegangan baterai. Gambar 14.B menampilkan grafik intensitas cahaya, dan Gambar 14.C nilai intensitas cahaya terakhir yang direkam. Gambar 14.D mengindikasikan grafik nilai RSSI, sementara Gambar 14.E menunjukkan grafik nilai SNR. Gambar 14.F menampilkan grafik suhu udara, dan Gambar 14.G grafik kelembaban udara. Gambar 14.H mengindikasikan nilai suhu udara terakhir, dan Gambar 14.I nilai kelembaban udara terakhir. Gambar 14.J menampilkan nilai RSSI terakhir, dan Gambar 14.K nilai SNR terakhir. Gambar 14.L mempresentasikan grafik suhu tanah, dan Gambar 14.M grafik kelembaban tanah. Gambar 14.N mengindikasikan nilai suhu tanah terakhir, sementara Gambar 14.O menunjukkan nilai kelembaban tanah terakhir. Gambar 14.P menampilkan tabel semua pembacaan sensor, dan Gambar 14.Q menunjukkan grafik nilai ADCV.

### 7.6 Pengujian Akurasi Sensor dan Kalibrasi

Pengujian bertujuan untuk memvalidasi akurasi sensor LoRa Dragino LSN50-V2 dalam merekam data iklim mikro, melakukan kalibrasi pembacaan sensor melalui regresi linear, dan mengevaluasi kesesuaian nodel regresi. Pengumpulan data melibatkan pengumpulan pembacaan sensor dan data referensi di bawah berbagai kondisi iklim. Analisis regresi linear menilai kecocokan nodel, dan koefisien regresi dan nilai  $R^2$  dihitung. Kalibrasi sensor menerapkan koefisien regresi untuk menyesuaikan pembacaan dengan nilai standar. Selama pengujian, pembacaan data dipantau, dan variasi antara pembacaan sensor dan data referensi dicatat. Setelah kalibrasi, pembacaan sensor yang dikalibrasi dibandingkan dengan nilai standar, dan analisis kesalahan, seperti *Mean Squared Error* (MSE), dilakukan untuk evaluasi akurasi.



Gambar 14. Tampilan Dashboard Thingsboard

Proses pengujian didokumentasikan secara komprehensif, termasuk hasil regresi dan efektivitas kalibrasi, dengan temuan dianalisis dan rekomendasi disediakan untuk kalibrasi lebih lanjut atau penggunaan sensor.

Dalam proses kalibrasi, tiga alat konvensional yang memenuhi standar digunakan untuk dibandingkan dengan pembacaan sensor. Alat pertama adalah AMF-035 5-in-One, perangkat canggih yang mampu mengukur kecepatan angin, intensitas cahaya (sebagai lux meter), suhu udara, dan kelembaban. Alat kedua adalah Delta-T HH2 Moisture Meter, unit pembaca serbaguna yang digunakan dengan berbagai sensor kelembaban tanah, menawarkan fungsionalitas impresif dalam desain yang kompak dan portabel. Ini dapat dipasangkan dengan sensor seperti Probe Profil PR2 dan ThetaProbe ML3. Alat ketiga, Yieryi TPH01803, berfungsi sebagai pengukur suhu, kelembaban tanah, dan pH, memfasilitasi pemantauan yang akurat terhadap kesuburan tanaman. Alat ini memungkinkan pengguna dengan mudah mengukur suhu dan kelembaban tanah, menentukan tingkat kelembaban tanah untuk perawatan tanaman yang optimal.

Data dalam tabel 5 dan 6 akan digunakan untuk menentukan koefisien regresi linear untuk mengalibrasi sensor. Begitu koefisien ini ditemukan,

mereka akan ditambahkan ke pembentuk *payload* untuk menyesuaikan data yang direkam, meningkatkan akurasi sensor terhadap nilai aktual. Kalibrasi dilakukan melalui regresi linear ( $y = mx + c$ ), di mana ' $y$ ' mewakili nilai yang diprediksi (pembacaan alat konvensional), ' $m$ ' adalah kemiringan garis regresi, ' $x$ ' adalah nilai independen (pembacaan sensor), dan ' $c$ ' adalah *intercept* (Wahyudi dan Syakur, 2020). Proses ini bertujuan untuk menetapkan hubungan terbaik antara pembacaan sensor dan alat konvensional, meningkatkan akurasi sensor secara keseluruhan setelah kalibrasi.



Gambar 15. Instrumen Kalibrasi

Tabel 7 menunjukkan persamaan regresi linier untuk Suhu Udara, Kelembaban Udara dan Intensitas Cahaya. Sedangkan Tabel 8 menunjukkan persamaan regresi linier untuk Suhu Tanah dan Kelembaban Tanah.

Tabel 5. Data Untuk Proses Kalibrasi

Jam	Suhu Udara		Kelembaban Udara		Intensitas Cahaya	
	Referensi	Sensor	Referensi	Sensor	Referensi	Sensor
07:59	26.1	27.6	45.5	35.5	511	399
08:14	27.5	29.1	53.9	50.8	670	512
08:44	28.9	31.2	55.1	51.4	988	860
09:15	29.9	31.6	59	52.5	1513	1326
09:30	30.0	32.3	59.5	55.8	1920	1504
09:59	30.5	30.6	59.8	52.5	2900	2667
10:29	31	33	65.5	58.2	3520	3315
11:00	31.6	34.1	74.1	73.2	4580	3378
12:00	31.8	33.3	74.7	63.6	5139	4760
12:30	34.4	37.6	76.5	73.2	9600	7900

Tabel 6. Data Untuk Proses Kalibrasi

Jam	Suhu Tanah		Kelembaban Tanah	
	Referensi	Sensor	Referensi	Sensor
07:59	25	25.6	57.03	61.57
08:14	31	31.5	57.11	60.44
08:44	31	31.7	57.16	60.66
09:15	31	31.7	57.33	60.61
09:30	31	32.1	57.46	61.52
09:59	31	32.1	57.63	61.69
10:29	31	32.2	57.67	62.17
11:00	31	32.6	57.85	62.04
12:00	31	32.8	58.54	62.08
12:30	31	32.8	58.67	62.17

Tabel 7. Persamaan Regresi Linear

	Suhu Udara	Kelembaban Udara	Intensitas Cahaya
<i>Slope (m)</i>	0.4537	0.4416	1.3822
<i>Intercept (c)</i>	20.296	28.03	-9.7134
Persamaan	$y = 1.146*x - 2.5396$	$y = 1.0596*x - 9.4053$	$y = 0.8316*x + 55.652$

Tabel 8. Persamaan Regresi Linear

	Suhu Tanah	Kelembaban Tanah
<i>Slope (m)</i>	0.4537	0.4416
<i>Intercept (c)</i>	20.296	28.03
Persamaan	$y = 1.0944*x - 1.7611$	$y = 0.8671*x + 11.511$

Koefisien yang diperoleh dari perhitungan regresi linear akan dimasukkan ke dalam *Payload Formatter The Things Network* untuk meningkatkan akurasi pembacaan sensor. Setelah penyesuaian ini, sebuah pemeriksaan ulang dan perbandingan dengan alat konvensional identik akan dilakukan untuk memvalidasi keberhasilan kalibrasi dan memastikan presisi yang ditingkatkan dari pembacaan. Setelah kalibrasi, pemeriksaan akurasi akan dilakukan untuk menilai efektivitas proses kalibrasi dan mendapatkan bukti keakuratannya. Akurasi akan dihitung menggunakan rumus yang telah disampaikan oleh (Wahyudi dan Syakur, 2020).

$$\text{Akurasi} = \left( \frac{(1 - (\text{Nilai Kalibrasi} - \text{Nilai Referensi}))}{\text{Nilai Referensi}} \right) \times 100\%$$

Berdasarkan hasil kalibrasi dan perhitungan akurasi yang ditunjukkan dalam tabel 9, dapat disimpulkan bahwa proses kalibrasi menggunakan metode regresi telah berhasil. Hal ini terbukti dari nilai akurasi yang sangat baik menurut (Wahyudi dan Syakur, 2020), mendekati 100%. Oleh karena itu, data yang akan direkam dan ditampilkan pada *dashboard Thingsboard* dipastikan akurat karena telah menjalani proses kalibrasi.

Tabel 9. Hasil Kalibrasi

	Suhu Udara	Kelembaban Udara	Intensitas Cahaya	Suhu Tanah	Kelembaban Tanah
Akurasi	98.55%	95.94%	85.34%	98.98%	99.19%

## 7.7 Pengujian Packet Loss

Pengujian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kejadian kehilangan paket dalam transmisi data antara *node sensor LoRa*, *gateway*, dan *TTN/ThingsBoard*. Pengujian juga bertujuan untuk menilai dampak jarak dan kondisi lingkungan pada tingkat kehilangan paket. Prosedurnya melibatkan konfigurasi *node sensor LoRa* dan *gateway* dengan benar, memastikan koneksi ke *TTN/ ThingsBoard*, dan memulai transmisi data pada interval yang ditentukan. Pemantauan meliputi pelacakan paket yang dikirim dan diterima, mencatat perbedaan sebagai kehilangan paket. Analisis berdasarkan jarak dan faktor lingkungan dilakukan untuk mengidentifikasi pola yang memengaruhi risiko kehilangan paket. Data dikumpulkan selama periode tertentu, termasuk jumlah paket yang dikirim dan diterima, di bawah berbagai kondisi. Analisis hasil menghitung persentase kehilangan paket dan mengidentifikasi pola atau kondisi yang memengaruhi. Dokumentasi mencakup prosedur pengujian yang rinci, hasil, dan analisis, mengevaluasi efektivitas sistem saat ini, dan menyarankan area yang perlu diperbaiki. Rekomendasi meliputi penyesuaian posisi perangkat,

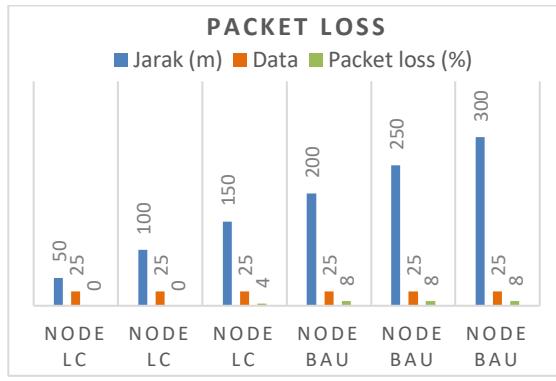
perubahan konfigurasi, atau peningkatan jaringan untuk mengurangi kehilangan paket. Tindakan lanjutan diusulkan berdasarkan hasil analisis, seperti pengujian tambahan atau implementasi solusi untuk mengurangi kehilangan paket.

Tabel 10. Data Paket Loss

No	Node	Jarak (m)	Paket Terkirim	Packet loss (%)	Kategori
1	Node LC	50	25	0	Very Good
2	Node LC	100	25	0	Very Good
3	Node LC	150	25	4	Very Good
4	Node BAU	200	25	8	Very Good
5	Node BAU	250	25	8	Very Good
6	Node BAU	300	25	8	Very Good
Average			4.6	4.6	Very Good

Tabel 10 menunjukkan bahwa *node LC* dan *BAU* mengirimkan paket data ke *gateway*, dengan total 25 paket yang terdiri dari suhu dan kelembaban udara, suhu dan kelembaban tanah, serta intensitas cahaya. Tabel tersebut menunjukkan bahwa pada jarak 150m, *node LC* memiliki 1 paket yang tidak diterima, pada jarak 200m, *node BAU* memiliki 2 paket yang tidak diterima, pada jarak 250m, *node BAU* memiliki 2 paket yang tidak diterima, dan pada jarak 300m, *node BAU* memiliki 2 paket yang tidak diterima.

Dalam pengujian kehilangan paket jaringan LoRa, terlihat bahwa dari 4 *node* yang dipasang pada 6 jarak yang berbeda, nilai kehilangan paket relatif kecil. Untuk *node LC* pada jarak 150m, kehilangan paket adalah 4%, dan untuk *node BAU* pada jarak 200m, 250m, dan 300m, kehilangan paket adalah 8%.



Gambar 15. Grafik Packet Loss

Berdasarkan Gambar 15, yang menunjukkan nilai kehilangan paket yang rendah, diperoleh rata-rata kehilangan paket yang sangat baik sebesar 2% (ETSI, 1999). Hasil kehilangan paket menunjukkan bahwa transmisi data masih dapat dicapai dalam rentang jarak 50-300m dengan vegetasi yang rapat di UB Forest. Pengujian dilakukan dengan jarak terjauh yaitu *node LC* yang dipasang pada jarak 300m, sedangkan jarak terdekat adalah *node BAU* yang dipasang pada jarak 50m.

## 8. KESIMPULAN

Berdasarkan pada keseluruhan rangkaian penelitian yang telah dilakukan, adapun kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil penelitian ini yaitu *Gateway* memiliki jaringan GSM yang stabil sehingga *Gateway* mampu mengirimkan pembaruan status ke *The Things Network* dan mampu untuk menerima data yang ditransmisikan oleh *node* sensor. Kekuatan sinyal (RSSI) dan kualitas sinyal (SNR) semakin menurun apabila jarak semakin jauh. Penelitian ini juga memberikan hasil temuan bahwa batas jangkauan perangkat LoRa diidentifikasi sekitar 350 meter ke dalam UB Forest. Selain itu, perangkat LoRa juga memiliki keterlambatan dalam melakukan transmisi data. Namun dari pengujian yang dilakukan, lamanya keterlambatan yang ada menunjukkan hasil yang konsisten dan tidak memberikan perbedaan signifikan. sehingga dengan kata lain perangkat LoRa cukup efektif dan konsisten dalam melakukan transmisi data. Perangkat LoRa Dragino LSN50v2 juga memiliki ketahanan yang baik dalam kondisi cuaca ekstrem selama berada 7 hari di UB Forest. Dalam pengisian ulang baterainya, perangkat LoRa memanfaatkan panel surya sehingga membuktikan bahwa perangkat LoRa memiliki efisiensi energi yang optimal.

Penelitian ini juga menemukan bahwa integrasi antara *The Things Network* (TTN) dan *Thingsboard* pada sistem LoRa berhasil dilakukan tanpa kendala. Sistem juga memiliki poin plus yang ramah pengguna dan efektif untuk aplikasi pemantauan data iklim mikro. Penelitian ini juga melibatkan proses kalibrasi dengan menggunakan metode regresi dan menunjukkan tingkat keberhasilan yang dibuktikan dengan nilai akurasi yang baik hampir memenuhi 100% di antaranya yaitu nilai akurasi suhu udara sebesar 98.55%, kelembaban udara sebesar 95.94%, intensitas cahaya sebesar 85.34%, suhu tanah sebesar 98.98%, dan kelembaban tanah sebesar 99.19%. Selain itu peneliti juga menemukan bahwa pada pengujian kehilangan paket jaringan pada LoRa, dari 4 *node* yang dipasangkan dengan 6 jarak yang berbeda, nilai kehilangan paket relatif kecil. Pada *node LC* pada jarak 150 meter nilai kehilangan paket sebesar 4%, dan *node BAU* dengan jarak 200 meter, 250 meter, dan 300 meter nilai kehilangan paket sebesar 8%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa transmisi data masih dapat dilakukan pada rentang jarak 50 meter hingga 300 meter dengan vegetasi yang rapat di UB Forest.

Penelitian selanjutnya diharapkan bisa fokus pada pengembangan jangkauan LoRa melalui penggunaan *repeater* atau antena yang lebih kuat, optimisasi penghematan daya pada node sensor, integrasi algoritma *machine learning* untuk analisis data iklim mikro, serta uji coba di berbagai lokasi untuk menguji keandalan sistem dan menciptakan ekosistem pertanian pintar berbasis IoT.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASSOCIATION, G., 2014. *Understanding the Internet of Things (IoT)*.
- ALI, A., HUSSAIN, T., TANTASHUTIKUN, N., HUSSAIN, N., & COCETTA, G. (2023). Application of smart techniques, internet of things and data mining for tesource use fficient and sustainable crop production. *MDPI Journal Agriculture*, 13(2), 1–22. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020397>
- BADAN PUSAT STATISTIK, 2013. *Sensus Pertanian. Katalog*.
- BAFDAL, N., & ARDIANSAH, I. (2022). Implementasi otomasi berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokomputer untuk pemantauan iklim mikro rumah kaca. *Jurnal Teknologi Informasi, Komputer Dan Aplikasinya (JTIKA)*, 4(2), 122–133. <http://jtnika.if.unram.ac.id/index.php/JTIKA/>
- BALAS, V.E. AND KUMAR, R., 2020. Recent Trends and Advances in Artificial Intelligence and Internet of Things. In: *Intelligent Systems Reference Library*.
- CAMPARIM, R., PETENUCI, M.E. AND SÚAREZ, Y.R., 2022. Development of a low-cost microclimate monitoring system through IoT, using long-range technology (LoRa). *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 9(12), pp.177–190. <https://doi.org/10.22161/ijaers.912.20>.
- ETSI, 1999. *Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks (TIPHON); General aspects of Quality of Service (QoS)*. [online] Available at: <<http://www.etsi.org>>.
- HAMZA, A. S., TASHAKKORI, R., UNDERWOOD, B., O'BRIEN, W., & CAMPELL, C. (2023). BeeLive: The IoT platform of Beemon monitoring and alerting system for beehives. *Smart Agricultural Technology*, 6, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100331>
- HIDAYAT, M.S., NUGROHO, A.P., SUTIARSO, L. AND OKAYASU, T., 2019. Development of environmental monitoring systems based on LoRa with cloud integration for rural area. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/355/1/012010>.
- HOLTON, J.R., 2004. *An Introduction to Dynamic Meteorology*. 4th ed. Academic Press.
- JHA, K., DOSHI, A., PATEL, P. AND SHAH, M., 2019. A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. *Artificial Intelligence in Agriculture*, <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2019.05.004>
- KADEK, I., CAHYA NURHADINATA, D., HAYUHARDHIKA, W., PUTRA, N., & ARWANI, I. (2023). Pengembangan sistem monitoring kelembaban dan penyiraman otomatis berbasis Internet of Things pada perkebunan salak di Desa Duda Timur. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 7(6), 2975–2983. <http://jptik.ub.ac.id>
- LAMI, H.F.J., AL, E., PELLA, S.I., ARTIKEL, H. and Diterima, :, 2022. ANALISIS DAMPAK INTERFERENSI TERHADAP KUALITAS SINYAL JARINGAN LONG RANGE FREKUENSI 920MHZ-923MHZ(AS2) Info Artikel ABSTRACT. <https://doi.org/10.35508/jme>.
- MAHDI, R. A., HAMED, H. A., & LATIF, H. K. (2024). A review of weather conditions monitoring system based on iot. *BIO Web of Conferences*, 97, 97. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20249700091>
- NAA, C. F. (2022). Greenhouse monitoring system using ESP32, Raspberry Pi, MQTT and Node-RED. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 3, 133–138.
- PANGESTU, A., YUSRO, M. AND DJATMIKO, W., 2020. The Monitoring System of Indoor Air Quality Based on Internet of Things. *Spektra: Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 5(2), pp.141–152.
- PRASETYO, A.P., IRAWAN, B. AND HASIBUAN, F.C., 2023. Implementasi Sistem Kontrol Dan Pemantauan Daya Listrik Berbasis IoT Di Desa Tambolosu, Kabupaten Konawe, Provinsi Sulawesi Tenggara. *eProceedings of Engineering*, 10(1).
- RACHMANI, A.F. AND ZULKIFLI, F.Y., 2018. Design of IoT Monitoring System Based on LoRa Technology for Starfruit Plantation. In: *Proceedings of TENCON 2018 - 2018 IEEE Region 10 Conference*.
- RAMADHANI, A., RUSDINAR, A. AND FUADI, A.Z., 2021. Data Komunikasi Secara Real Time Menggunakan Long Range (LORA) Berbasis Internet of Things untuk Pembuatan Weather Station. *eProceedings of Engineering*, 8(5).
- RAO, R.N. AND SRIDHAR, B., 2018. IoT based smart crop-field monitoring and automation irrigation system. In: *Proceedings of the 2nd International Conference on Inventive Systems and Control, ICISC 2018*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. pp.478–483. <https://doi.org/10.1109/ICISC.2018.8399118>.
- REAS, R.T., CARCOZA, D.L. AND HERNANDES, M.J.S., 2019. Application of wireless sensor network for photosynthetically active radiation monitoring in coconut-cacao intercrop model with applied internet of things. *Innovative Technology and Management Journal*, 2.

- ROSLI, A.N., MOHAMAD, R., YUSOF, Y.W.M., SHAHBUDIN, S. AND RAHMAN, F.Y.A., 2020. Implementation of MQTT and LoRaWAN System for Real-time Environmental Monitoring Application. *IEEE*.
- RULDIVEM, A., AHMAD, U.A. AND SAPUTRA, R.E., 2022. Desain Dan Implementasi Sistem Pendeteksi Kebakaran Hutan Menggunakan Komunikasi Lora (Long Range) Design And Implementation Of Forest Fire Detection System Using Lora (Long Range) Communication. In: *e-Proceeding of Engineering*. pp.1024–1039.
- SARVINA, Y., 2019. DAMPAK PERUBAHAN IKLIM DAN STRATEGI ADAPTASI TANAMAN BUAH DAN SAYURAN DI DAERAH TROPIS / Climate Change Impact and Adaptation Strategy for Vegetable and Fruit Crops in the Tropic Region. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, 38(2), p.65. <https://doi.org/10.21082/jp3.v38n2.2019.p65-76>.
- SETIADI, D. AND MUHAEMIN, M.N.A., 2018. Penerapan Internet Of Things (IoT) Pada Sistem Monitoring Irrigasi (Smart Irrigasi). *Infotronik: Jurnal Teknologi Informasi dan Elektronika*, 3(2), pp.95–102.
- SETYANTO, D., & SALAHUDDIN, N. S. (2022). Prototipe monitor dan kontrol otomatis iklim mikro greenhouse dengan platform IoT Blynk. *Techno.COM*, 21(1), 89–103.
- THINGSBOARD, 2023. *What is ThingsBoard?* [online] Available at: <<https://thingsboard.io/docs/getting-started-guides/what-is-thingsboard/>> [Accessed 13 March 2023].
- TOH, C. AND BRODY, J.P., 2021. Applications of Machine Learning in Healthcare. In: *When Artificial Intelligence Meets the Internet of Things*. p.65.
- WAHYUDI, J.\* AND SYAKUR, A., 2020. Kalibrasi Sensor Tegangan dan Sensor Arus dengan Menerapkan Rumus Regresi Linear menggunakan Software Bascom AVR Info Articles. [online] 1(1), pp.1–14. <https://doi.org/10.31331/jstee.v1i1>.
- WIDJAJA, D. AND ANTHONYUS, J., 2009. *PENGUKURAN KUALITAS SINYAL PADA JARINGAN GSM*. [online] Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi. Available at: <[www.agilent.com](http://www.agilent.com)>.
- ZIKRIA, Y. BIN, YU, H., AFZAL, M.K., REHMANI, MUBASHIR HUSAIN AND HAHM, O., 2018. Internet of Things (IoT): Operating System, Applications and Protocols Design, and Validation Techniques. *Future Generation Computer Systems*, [online] 88, pp.699–706. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.future.2018.07.058>> [Accessed 25 February 2023].

*Halaman ini sengaja dikosongkan*