

# Integrasi Pengukuran Kualitas Udara, Air, Tanah, dan Cuaca untuk Pertanian Cerdas Berbasis Komunikasi LoRa – WiFi Gateway

1<sup>st</sup> Bagus Kurniawan  
Fakultas Ilmu Terapan  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia

baguskkkk@student.telkomuniversity.ac.id

2<sup>nd</sup> Denny Darlis  
Fakultas Ilmu Terapan  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia

denny.darlis@tass.telkomuniversity.ac.id

3<sup>rd</sup> Aris Hartaman  
Fakultas Ilmu Terapan  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia

arishartaman@telkomuniversity.ac.id

**Abstrak** — Pemantauan kualitas udara adalah elemen penting dalam pembangunan berkelanjutan dan pengelolaan lingkungan yang efektif. Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan mengimplementasikan sistem pemantauan kualitas udara, air tanah, dan cuaca menggunakan teknologi LoRa (Long Range). Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama: perangkat sensor yang dipasang di berbagai lokasi untuk mengumpulkan data lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan kualitas udara; gateway LoRa yang berfungsi mengumpulkan data dari perangkat sensor menggunakan modul LoRa dan mengirimkannya ke platform IoT melalui protokol MQTT serta platform IoT yang menganalisis data secara real-time dan menyediakan informasi mendalam tentang kondisi lingkungan. Pengujian dilakukan dengan mengimplementasikan lima node sensor di lokasi yang berbeda untuk menguji kinerja dan keandalan sistem dalam berbagai kondisi lingkungan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat mengirim data sensor dengan efisien dan menganalisisnya dengan akurat di platform IoT, sehingga mendukung pengambilan keputusan yang tepat dalam manajemen kualitas udara. Sistem ini menggunakan modul LILYGO TBEAM LoRa32 SX1276 untuk menerima data dari lima node sensor dan mengirimkannya ke database untuk disimpan dan ditampilkan di website. Pengujian menunjukkan bahwa node sensor dapat menerima data dengan baik dari gateway, dengan rata-rata RSSI -111 dBm dan delay 15 detik. Data dikirim dari gateway ke database dalam waktu sekitar 1 detik, dengan jarak pengiriman data mencapai 850 meter.

**Kata kunci**— LoRa, IoT, MQTT, Gateway.

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Pertanian adalah sektor penting di Indonesia, menyediakan pangan, lapangan kerja, dan sumber pendapatan, serta mendukung perekonomian nasional dan daerah. Namun, produktivitas pertanian Indonesia masih rendah, terutama karena penggunaan sistem pertanian tradisional. Tanah adalah faktor kunci dalam pertanian dan harus diperhatikan, bersama dengan kelembapan, curah hujan, suhu, dan kondisi cuaca. Teknologi kini menawarkan sistem pertanian cerdas berbasis Internet of Things (IoT), dengan jaringan sensor nirkabel yang menghubungkan sensor ke platform IoT [1].

Pemantauan kondisi lingkungan lahan pertanian penting untuk mencapai hasil yang diinginkan. Sistem pemantauan diperlukan

untuk mengumpulkan data lingkungan secara berkala. Sistem ini memungkinkan pemantauan jarak jauh menggunakan model klien/server terdistribusi, memerlukan setidaknya dua node yang terhubung: sensor node dan gateway [2].

Faktor utama seperti udara, tanah, air, dan cuaca harus diperhatikan untuk hasil pertanian yang optimal. Sistem pemantauan jarak jauh membantu dalam hal ini. Penerapan LoRa dalam IoT banyak digunakan di pertanian modern, menciptakan pertanian cerdas yang meningkatkan produktivitas dan mengurangi kerugian. IoT dalam pertanian mencakup pengoperasian otomatis mesin pertanian, peningkatan efisiensi sumber daya, pemantauan kinerja menggunakan sensor, dan otomatisasi sistem irigasi [3].

### B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang menjadi topik pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang Wifi Gateway IoT pengukuran kualitas udara, air, tanah dan cuaca untuk pertanian cerdas berbasis komunikasi LoRa?
2. Bagaimana mengimplementasikan Wifi Gateway IoT pengukuran kualitas udara, air, tanah dan cuaca untuk pertanian cerdas berbasis komunikasi LoRa?
3. Bagaimana menghubungkan data dari setiap node sensor melalui Wifi Gateway pengukuran kualitas udara air, tanah dan cuaca untuk pertanian cerdas berbasis komunikasi LoRa?

### C. Tujuan

Adapun tujuan dari penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menintegrasikan gateway agar dapat diterima baik oleh IoT Platform
2. Mengimplementasikan gateway agar dapat menerima data dari berbagai node sensor
3. Menguji integrasi gateway kualitas udara, air, tanah dan cuaca untuk pertanian cerdas berbasis LoRa.

### D. Manfaat

Adapun manfaat dari penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat merekomendasikan solusi permasalahan Gateway yang hanya diterima oleh satu node sensor saja
2. Dapat membandingkan prinsip kerja Gateway tahun lalu dengan saat ini
3. Dapat dibuatnya sistem id agar tidak semua node dapat masuk

## II. KAJIAN TEORI

### A. Smart Agriculture

Pengembangan pertanian pintar sangat penting di Indonesia mengingat kebutuhan akan peningkatan produksi pangan yang berkelanjutan dan respons terhadap perubahan iklim. Integrasi teknologi dalam pertanian memberikan banyak keuntungan praktis bagi petani dan pekebun di seluruh negeri [4]. Teknologi pertanian pintar memungkinkan pengoptimalan sumber daya alam dengan mengurangi pemborosan dan meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, pestisida, dan air. Selain itu, sistem pertanian pintar yang terhubung dengan perangkat mobile memungkinkan petani untuk mengakses informasi cuaca real-time dan ramalan jangka panjang, sehingga mereka dapat merencanakan tanam dan panen secara lebih tepat waktu dan efektif.

### B. Agriculture Gateway

*Agriculture gateway* adalah perangkat atau sistem yang berfungsi sebagai pusat pengumpulan dan pengiriman data dalam konteks pertanian berbasis IoT. *Gateway* ini bertindak sebagai perantara antara sensor atau perangkat lain yang terdapat di lapangan pertanian dengan platform atau sistem IoT yang lebih besar [5]. Fungsi gateway adalah untuk mengumpulkan data yang dikirim oleh sensor-sensor pertanian, menganalisis data tersebut jika diperlukan, dan kemudian mengirimkan informasi yang relevan ke platform IoT untuk pengolahan lebih lanjut.

### C. LoRa (Long Range)

LoRaWAN® (LoRa) adalah suatu jaringan *Low Power, Wide Area* (LPWA) yang dirancang untuk menghubungkan 'benda-benda' yang dioperasikan dengan baterai secara nirkabel ke internet di jaringan regional, nasional, atau global, dan menargetkan persyaratan *Internet of Things* (IoT) utama seperti komunikasi dua arah, keamanan *end to end*, mobilitas, dan layanan pelokalan [6].

### D. Board LILYGO T-Beam V1.1

LILYGO T-Beam V1.1 merupakan sebuah *board microcontroller* menggunakan ESP32 yang berfungsi sebagai modul LoRa. Board ini mendukung konektivitas *WiFi* dan *Bluetooth*, serta dilengkapi dengan transceiver LoRa semtech SX1276. Ini memungkinkan perangkat untuk berkomunikasi dengan jaringan *WiFi* dan *Bluetooth*, serta jaringan LoRa dalam berbagai pilihan jaringan. *Board* ini tersedia dalam beberapa opsi frekuensi, termasuk 433 MHz, 868 MHz, 915 MHz, dan 923 MHz, yang memungkinkan adaptasi dengan berbagai regulasi dan kebutuhan penggunaan di berbagai negara. *Board* ini juga dilengkapi dengan modul NEO-6M sebagai penerima GPS, memungkinkan perangkat untuk menentukan lokasi geografisnya dengan akurasi.

### E. Komunikasi Gelombang Radio

Komunikasi gelombang radio merupakan penggunaan media nirkabel untuk mentransmisikan data. Dalam proyek akhir ini, media transmisi gelombang radio yang digunakan adalah LoRa SX1276 [7]. Sistem LoRa SX1276 berfungsi sebagai perangkat pengirim dan penerima data dan menggunakan anatarmuka SPI (*Serial Peripheral interface*) sebagai metode komunikasi.

### F. MQTT

MQTT adalah sebuah protokol komunikasi yang digunakan untuk berkomunikasi berbasis pesan. Protokol ini mengadopsi sistem *publish-subscribe*, yang memungkinkan klien untuk mengirim dan menerima pesan [8]. MQTT memiliki beberapa mode operasi, termasuk *publish* dan *subscribe*, penggunaan topik (*topic*), pesan (*messages*), dan broker. Setiap mode operasi, program, serta hasil dari konfigurasi tersebut dapat berbeda-beda dalam cara kerjanya.

### G. Broker EMQX

Dirancang untuk memfasilitasi komunikasi mesin-ke-mesin (M2M) dan Internet of Things (IoT) yang aman, cepat, dan aman, EMQX adalah broker MQTT berskala besar yang memungkinkan pengelolaan dan pengiriman pesan antar perangkat IoT dengan efisiensi tinggi [9]. Broker ini mendukung berbagai protokol komunikasi seperti MQTT, MQTT-SN, CoAP, dan LwM2M, serta menawarkan fitur keamanan canggih seperti autentikasi, otorisasi, dan enkripsi data.

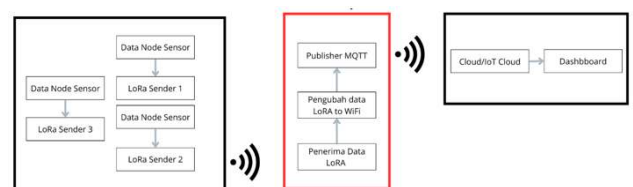
### H. Arduino IDE

Arduino IDE adalah sebuah platform perangkat lunak yang digunakan untuk membuat *sketch* pemrograman atau dengan kata lain Arduino IDE sebagai media untuk pemrograman pada board yang ingin diprogram. Arduino IDE ini berguna untuk mengedit, membuat, meng-upload ke board yang ditentukan, dan meng-coding program tertentu dengan library C/C++ (*wiring*), yang membuat operasi *input/output* lebih mudah [10]. Arduino mempunyai kelebihan seperti *opensource* yang memungkinkan pengembang untuk mengakses desain hardware dan software secara bebas, serta berkolaborasi dalam pengembangan proyek, selain *opensource* Arduino juga mempunyai komunitas yang sangat besar dan aktif di sekitar Arduino, dan juga mempunyai fleksibilitas yang tinggi karena dapat digunakan dalam berbagai aplikasi dari proyek Pendidikan, hobi, hingga prototipe industri karena tersedianya berbagai varian dan modul ekspansi. Penggunaan Arduinopun juga sangat banyak terutama di bidang robotika, IoT (*Internet Of Things*), Automation, dan Edukasi.

## III. PERANCANGAN SISTEM

### A. Blok Diagram

Bab ini akan menjelaskan tentang perancangan aplikasi sistem pemantauan kualitas udara dengan menggunakan teknologi LoRa. Rincian yang akan dibahas meliputi diagram alir perancangan sistem, proses pemantauan, analisis kebutuhan sistem, implementasi sistem, serta skenario pengujian. Model perancangan sistem yang telah dibuat dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

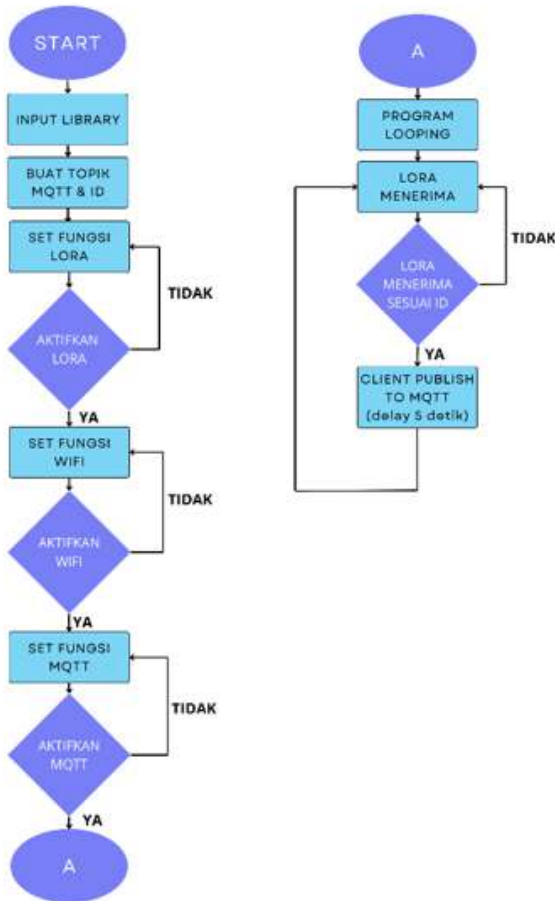


GAMBAR 1.  
Blok Diagram

Secara keseluruhan, alur sistem ini memastikan bahwa data yang berasal dari berbagai perangkat dapat diintegrasikan dan dimanfaatkan secara efektif di dalam sebuah platform IoT.

Penggunaan protokol komunikasi yang efisien seperti MQTT serta proses parsing yang memastikan keakuratan dan keandalan data yang diterima adalah kunci untuk mencapai integrasi data yang sukses dan pemanfaatan data yang optimal.

B. Diagram Alir  
1. Perancangan Program



GAMBAR 2. Perancangan Program

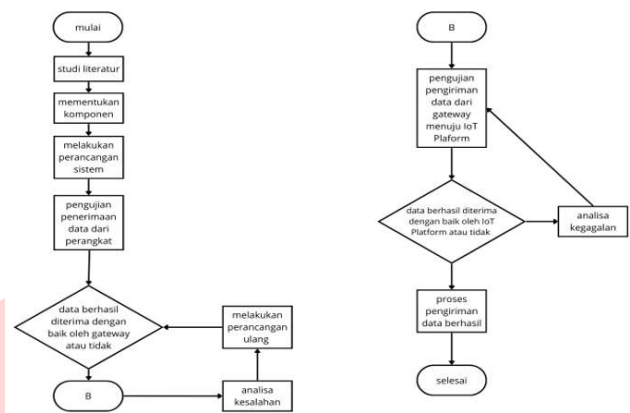
Dalam pengembangan sistem ini menggunakan Arduino IDE, pemrograman diperlukan untuk memastikan fungsi penerimaan dan penerimaan data berjalan optimal. Sebelum memulai proses pemrograman, ada beberapa library krusial yang perlu di unduh dan diintegrasikan ke dalam Arduino IDE. Berikut beberapa libray yang harus tersedia untuk mengimplementasikan fungsi LoRa dalam pengembangan sistem ini.

- a. SPI.h : Library untuk menangani komunikasi serial
- b. LoRa.h : Library untuk mengirim dan menerima data menggunakan radio LoRa
- c. WiFi.h : Library untuk mengaktifkan koneksi jaringan internet
- d. PubSubClient : Library yang digunakan untuk mengimplementasikan MQTT pada mikrokontroler

2. Perancangan LoRa Gateway

Pada penelitian ini, kami mengembangkan sebuah gateway LoRa menggunakan perangkat LILYGO T-BEAM V.1.1 yang berfungsi untuk mengirimkan paket data dari node sensor kepada penerima secara efisien dan andal. Perangkat ini tidak hanya mengirimkan data sensor, tetapi juga menyertakan informasi RSSI

(Received Signal Strength Indicator) dalam setiap pengiriman data, memungkinkan pemantauan kualitas sinyal secara real-time. Data yang dikumpulkan ini akan diintegrasikan dengan IoT platform melalui broker MQTT, sehingga memudahkan pengelolaan dan analisis data.



GAMBAR 3. Perancangan Sistem

Proses perancangan gateway menggunakan LilyGo T-Beam sebagai gateway LoRa dilakukan melalui beberapa tahap sistematis dan terstruktur. Dimulai dengan studi literatur untuk mencari ide dan referensi relevan, termasuk penelusuran tulisan dan penelitian sebelumnya terkait penggunaan LilyGo T-Beam dalam aplikasi IoT. Setelah mendapatkan gambaran umum, langkah berikutnya adalah menentukan komponen yang diperlukan, seperti LilyGo T-Beam, sensor, modul komunikasi, dan perangkat tambahan lainnya.

Perancangan sistem dilakukan menggunakan perangkat LilyGo T-Beam yang diprogram melalui Arduino IDE, memungkinkan penulisan, pengujian, dan pengunggahan kode yang mengatur fungsi-fungsi gateway LoRa. Pengujian penerimaan data dari perangkat dilakukan untuk memastikan data yang dikirim oleh sensor diterima dengan baik oleh gateway. Jika ditemukan data rusak atau tidak sesuai, perancangan ulang dan analisis dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut. Selanjutnya, pengujian pengiriman data dari gateway ke IoT platform dilakukan untuk memastikan data diterima dan diproses dengan benar. Jika terjadi kegagalan, analisis dan perancangan ulang program pengiriman data dilakukan.

Tahap akhir adalah pemantauan sistem untuk memastikan pengiriman data berhasil dan diterima dengan baik oleh IoT platform. Pemantauan ini dilakukan secara terus-menerus untuk memastikan stabilitas dan keandalan sistem. Jika semua berjalan baik, perancangan gateway dianggap selesai. Dengan mengikuti tahapan ini, diharapkan perancangan gateway menggunakan LilyGo T-Beam sebagai gateway LoRa dapat dilakukan dengan baik dan menghasilkan sistem yang handal dan efisien dalam mendukung aplikasi IoT.

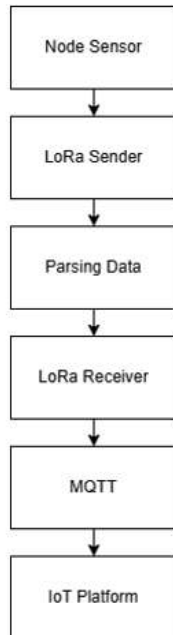
C. Perancangan Konfigurasi MQTT menggunakan LoRa

Pada penelitian ini, penulis memanfaatkan broker EMQX.io sebagai platform MQTT untuk mengelola dan mengirimkan data dari perangkat IoT melalui teknologi LoRa. Keputusan ini didasarkan pada kehandalan EMQX.io dalam menyediakan layanan MQTT yang dapat diandalkan dan scalable, serta kemudahan akses baik secara publik maupun privat. Pemilihan EMQX.io memungkinkan penulis untuk fokus pada pengembangan aplikasi

IoT tanpa memerlukan pengelolaan infrastruktur MQTT secara mandiri, mengoptimalkan alokasi waktu dan sumber daya. Dengan konfigurasi ini, data yang dikumpulkan oleh perangkat IoT melalui jaringan LoRa dapat disampaikan dan dianalisis dengan efisiensi melalui broker EMQX.io, mendukung pengambilan keputusan yang tepat waktu berdasarkan informasi real-time yang tersedia.

IV. HASIL DAN PENGUJIAN

A. Skenario Pengujian



GAMBAR 6. Grafik Regresi CO2

Pengujian ini memastikan bahwa setiap langkah dari pengiriman data dari node sensor hingga penerimaan dan visualisasi data di platform IoT berjalan dengan lancar dan efisien. Hal ini termasuk memverifikasi bahwa data yang dikirim oleh node sensor dapat diterima tanpa kesalahan oleh gateway, serta memastikan bahwa data yang diolah dapat diakses dan dimanfaatkan secara efektif oleh pengguna akhir di platform IoT.

B. Pengujian Penerimaan Data

1. Pengujian Node 1

Pengujian Node 1 disimpan di lantai paling atas Fakultas Ilmu Terapan. Dengan jarak sekitar 1 meter dari gateway.



GAMBAR 7. Pengujian Node 1

2. Pengujian Node 2

Node 2 disimpan di Danau Galau kampus Universitas Telkom dengan jarak sekitar 100 meter dari gateway dengan menggunakan sensor DHT 11.



GAMBAR 8. Pengujian Node 2

3. Pengujian Node 3

Node 3 disimpan di Gedung Kuliah Umum lantai 7 kampus Universitas Telkom dengan jarak sekitar 550 meter dari gateway dengan menggunakan data berupa data suhu dummy.



GAMBAR 9. Pengujian Node 3

4. Pengujian Node 4

Node 4 disimpan di Greenhouse Logistik kampus Universitas Telkom dengan jarak sekitar 750 meter dari gateway dengan menggunakan data dari sensor DHT 11.

5. Pengujian Node 5

Node 5 disimpan di Landmark Tower kampus Universitas Telkom dengan jarak 850 meter dari gateway dengan menggunakan pengiriman data berupa data suhu dummy.



GAMBAR 10. Pengujian Node 5

C. Pengujian Penerimaan

Dalam pengujian penerimaan data, gateway akan mulai menerima data dari lima node sensor. Data ini mencakup sensor arah angin, kecepatan angin, curah hujan, cahaya, suhu air, pH air, TDS air, tekanan udara, suhu udara, kelembaban udara, CO2, TVOC, nitrogen, fosfor, kalium, kelembaban dalam kantong, suhu kantong, suhu, tanggal, DHT 11, dan data suhu dummy. Tabel dibawah ini menunjukkan hasil penerimaan data dari sepuluh pengujian.

TABEL 1.  
Penguujian Penerimaan

Penerimaan Data	Node	Data yang di Terima	Status
1 hingga 10	node 1	arah angin, kecepatan angin, cutah hujan, cahaya, suhu air, pH air, TDS air, tekanan udara, temperature udara, kelembaban udara, CO2, TVOC, nitrogen, fosfor, kalium, kelembaban di dalam box, suhu di dalam box, heat c, RTC (Real Time Clock), tanggal	berhasil
	node 2	sensor DHT 11	berhasil
	node 3	Dummy data suhu	berhasil
	node 4	sensor DHT 11	berhasil
	node 5	Dummy data suhu	berhasil

Tabel dibawah ini menunjukkan hasil dari proses penerimaan data, yang membandingkan waktu pengiriman ketika data dikirim oleh node dan diterima oleh gateway secara bersamaan dengan RSSI dan delay.

TABEL 2.  
Hasil Proses Penerimaan Data A

no.	Node	waktu pengiriman	waktu diterima	RSSI	delay (s)
1	node 1	15:30:20	15:30:56	-58 dBm	36(s)
2	node 1	15:30:25	15:31:05	-57 dBm	40(s)
3	node 1	15:30:30	15:31:14	-58 dBm	44(s)
4	node 1	15:30:35	15:31:23	-58 dBm	48(s)
5	node 1	15:30:40	15:31:32	-57 dBm	52(s)
6	node 1	15:30:45	15:31:41	-58 dBm	56(s)
7	node 1	15:30:50	15:31:50	-58 dBm	60(s)
8	node 1	15:30:55	15:31:59	-59 dBm	64(s)
9	node 1	15:31:00	15:32:08	-60 dBm	68(s)
10	node 1	15:31:05	15:32:17	-59 dBm	72(s)

TABEL 3.  
Hasil Proses Penerimaan Data B

no.	Node	waktu pengiriman	waktu diterima	RSSI	delay
1	node 2	15:30:22	15:30:27	-109 dBm	5 (s)
2	node 2	15:30:29	15:30:30	-110 dBm	1(s)
3	node 2	15:30:40	15:30:50	-111 dBm	4(s)
4	node 2	15:30:45	15:30:47	-110 dBm	2(s)
5	node 2	15:30:48	15:30:49	-110 dBm	1(s)
6	node 2	15:30:50	15:30:51	-112 dBm	1(s)
7	node 2	15:30:52	15:30:53	-114 dBm	1(s)
8	node 2	15:30:55	15:30:56	-113 dBm	1(s)
9	node 2	15:30:57	15:30:59	-113 dBm	2(s)
10	node 2	15:31:00	15:31:01	-113 dBm	1(s)

TABEL 4.  
Hasil Proses Penerimaan Data C

no.	Node	waktu pengiriman	waktu diterima	RSSI	delay
1	node 3	15:32:50	15:40:00	-110 dBm	7m 10s
2	node 3	15:37:15	15:47:25	-111 dBm	10m 10s
3	node 3	15:49:20	15:59:30	-112 dBm	10m 10s
4	node 3	16:00:55	16:10:55	-111 dBm	10m 00s

TABEL 5.  
Hasil Proses Penerimaan Data D

no.	Node	waktu pengiriman	waktu diterima	RSSI	delay
1	node 4	15:30:26	15:30:31	-107 dBm	5 (s)
2	node 4	15:30:33	15:30:34	-108 dBm	1(s)
3	node 4	15:30:44	15:30:48	-109 dBm	4(s)
4	node 4	15:30:49	15:30:51	-108 dBm	2(s)
5	node 4	15:30:52	15:30:53	-108 dBm	1(s)
6	node 4	15:30:54	15:30:55	-110 dBm	1(s)
7	node 4	15:30:56	15:30:57	-112 dBm	1(s)
8	node 4	15:30:58	15:30:59	-111 dBm	1(s)
9	node 4	15:31:01	15:31:03	-111 dBm	2(s)
10	node 4	15:31:04	15:31:05	-111 dBm	1(s)

TABEL 6.  
Hasil Proses Penerimaan Data E

no.	Node	waktu pengiriman	waktu diterima	RSSI	delay
1	node 5	15:30:20	15:30:25	-110 dBm	5 (s)
2	node 5	15:30:27	15:30:28	-111 dBm	1(s)
3	node 5	15:30:38	15:30:42	-112 dBm	4(s)
4	node 5	15:30:43	15:30:45	-111 dBm	2(s)
5	node 5	15:30:46	15:30:47	-111 dBm	1(s)
6	node 5	15:30:48	15:30:49	-113 dBm	1(s)
7	node 5	15:30:50	15:30:51	-115 dBm	1(s)
8	node 5	15:30:52	15:30:53	-114 dBm	1(s)
9	node 5	15:30:55	15:30:57	-114 dBm	2(s)
10	node 5	15:30:58	15:30:59	-114 dBm	1(s)

Penguujian yang tertera pada table diatas bertujuan untuk menghimpun dan menganalisis data dari beberapa node sensor melalui komunikasi serial. Tujuan utama dari penguujian ini mencakup pemantauan jaringan sensor untuk mengamati proses pengiriman dan penerimaan data dari masing-masing node. Aspek ini melibatkan pemantauan terhadap kekuatan sinyal (RSSI) guna memastikan stabilitas dan kehandalan koneksi di setiap node sensor. Selain itu, penguujian juga bertujuan untuk memverifikasi keakuratan data yang diterima dari sensor-sensor yang terdistribusi, seperti data suhu dan kelembaban. Evaluasi performa komunikasi serial antara node-node sensor dengan penerima pusat juga dilakukan untuk mengukur kecepatan transmisi data, tingkat kehilangan paket, dan stabilitas sinyal selama proses pengiriman data. Selanjutnya, penguujian ini mencakup sinkronisasi waktu dan data dari berbagai node sensor untuk memastikan data yang terkumpul dilengkapi dengan timestamp yang akurat. Evaluasi kualitas sinyal (RSSI) dari masing-masing node juga dilakukan untuk mengevaluasi jangkauan efektif jaringan sensor dan mengidentifikasi area yang memungkinkan terjadi sinyal yang lemah. Penguujian ini juga berfungsi sebagai alat penting dalam proses debugging dan troubleshooting untuk mengidentifikasi serta mengatasi masalah yang mungkin terjadi dalam sistem komunikasi serial antara node sensor dan penerima data. Dengan demikian, penguujian ini menghadirkan kontribusi penting dalam memastikan kinerja optimal sistem jaringan sensor, serta memvalidasi integritas dan keandalan data yang dikumpulkan dari berbagai node sensor yang terintegrasi.

