

## Quality of Service Pengiriman Data dengan Menggunakan Wireless Sensor Network pada Prototype Greenhouse

Aris Budiarto<sup>1</sup>, Dini Hadiani<sup>2</sup>, Hery Ardiyanto<sup>3</sup>

[aris@ae.polman-bandung.com](mailto:aris@ae.polman-bandung.com), [dinibhs@polman-bandung.ac.id](mailto:dinibhs@polman-bandung.ac.id), [hery.ardiyanto02@gmail.com](mailto:hery.ardiyanto02@gmail.com)

Politeknik Manufaktur Bandung

---

### Informasi Artikel

Diterima : 28 Mei 2024

Direview : 3 Jun 2024

Disetujui : 30 Jun 2024

---

### Kata Kunci

Greenhouse, Jitter, Latency, Wireless Sensor Network

---

### Abstrak

Untuk pertanian yang menggunakan *greenhouse*, kesehatan lingkungan khususnya tanah dan udara sangat penting. Oleh karena itu, kualitas tanah dan udara harus dikelola dengan baik. Salah satu cara untuk mengelola hal tersebut dengan menggunakan sistem *wireless sensor network* untuk mempermudah melakukan pemantauan oleh petani *greenhouse*. Konsep *wireless sensor network* ini menggunakan perangkat NRF24L01+ sebagai modul komunikasi dan ESP32 sebagai mikrokontroler pada *master/receiver* dan 5 *node/transmitter* dengan masing-masing *node* menggunakan sensor DHT22, *Soil Moisture Sensor*, MH-Z19, MQ-9, dan MQ-2. Fokus dan tujuan pada penelitian ini yaitu menganalisis *Quality of Service* pada sistem *wireless sensor network* dengan paramater uji *latency/delay*, uji *throughput*, uji *jitter*, uji *packet loss* yang diterapkan pada sistem pemantauan sebuah *greenhouse*. Hasil akhir penelitian membuktikan bahwa performa dari *wireless sensor network* adalah baik sekali, sehingga sistem dapat diterapkan pada pemantauan kualitas lingkungan pada *greenhouse* karena sistem dapat berjalan dengan *real-time*.

---

### Keywords

Greenhouse, Jitter, Latency, Wireless Sensor Network

---

### Abstract

For agriculture that uses greenhouses, environmental health, especially soil and air, is very important. Therefore, soil and air quality must be managed properly. One way to manage this is by using a wireless sensor network system to facilitate monitoring by greenhouse farmers. This wireless sensor network concept uses NRF24L01+ devices as communication modules and ESP32 as microcontrollers on the master/receiver and 5 nodes/transmitters with each node using DHT22, Soil Moisture Sensor, MH-Z19, MQ-9, and MQ-2 sensors. The focus and purpose of this research is to analyze Quality of Service on wireless sensor network systems with latency/delay test, throughput test, jitter test, packet loss test parameters applied to a greenhouse monitoring system. The final results prove that the performance of the wireless sensor network is very good, so the system can be applied to monitoring environmental quality in greenhouses because the system can work in real-time.

## A. Pendahuluan

Populasi penduduk di Indonesia setiap tahunnya semakin bertambah. Hal tersebut mengakibatkan peningkatan laju urbanisasi di industri, serta diikuti juga penurunan lahan di sektor pertanian [1], [2], [3]. Peningkatan populasi penduduk juga berdampak pada peningkatan jumlah hunian atau tempat tinggal, yang dapat mengurangi jumlah lahan produktif untuk pertanian [4], [5]. Solusi yang dapat dilakukan untuk menjaga sektor pertanian tetap stabil adalah dengan cara menerapkan pertanian dengan konsep *greenhouse* [6], [7]. *Greenhouse* merupakan alternatif agar dapat memenuhi pasokan pangan yang terus meningkat bersamaan dengan berkurangnya lahan pertanian. Selain itu, penggunaan *greenhouse* ditujukan untuk memudahkan para petani mengondisikan lingkungan pertanian [8], [9].

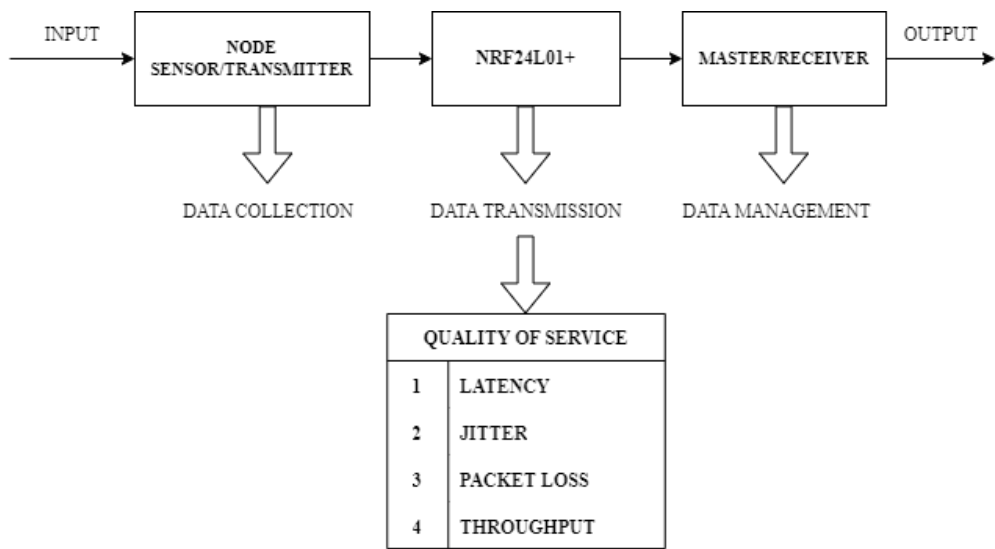
Sistem *wireless sensor network* dapat diterapkan pada pemantauan lingkungan *greenhouse*. Penggunaan *wireless sensor network* untuk lebih memudahkan petani untuk melakukan pemantauan kesehatan lingkungan *greenhouse*, khususnya kesehatan udara dan tanah [10], [11]. *Wireless sensor network* (WSN) adalah jaringan *node* sensor yang terhubung secara nirkabel ke *master/receiver* yang dapat memonitor lingkungan fisik dan kondisi tertentu, seperti suhu, kelembapan, tekanan, kecepatan angin, kesehatan lingkungan, atau keberadaan objek tertentu [12], [13], [14]. Ada beberapa kelebihan menggunakan WSN, diantaranya yaitu hemat biaya, mobilitas tinggi, jangkauan transaksi data yang jauh, hemat daya, dan minim instalasi kabel yang rumit [15], [16]. Pada penelitian ini, topologi jaringan yang digunakan adalah topologi *star* atau bintang, karena topologi *star* merupakan topologi yang paling cepat dan efektif dalam transaksi data antara *master* dengan *node*, sehingga proses transaksi data dapat beroperasi dengan *real-time* [17].

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan yang telah dipaparkan, maka dibutuhkan suatu sistem untuk dapat melakukan pemantauan kesehatan lingkungan pada sebuah *greenhouse* yaitu sistem *wireless sensor network*. Pemantauan tersebut meliputi suhu dan kelembapan ruangan menggunakan sensor DHT22, kelembapan tanah menggunakan sensor *soil moisture*, kadar karbon dioksida dengan sensor MH-Z19 dan kadar karbon monoksida dengan sensor MQ-9, serta fitur tambahan untuk deteksi asap kebakaran menggunakan sensor MQ-2. Sistem *wireless sensor network* didukung oleh perangkat NRF24L01+ sebagai modul komunikasi, serta ESP32 untuk mikrokontroler pada *master* dan tiap-tiap *node*. Penelitian dilakukan pada sebuah *prototype greenhouse* untuk memudahkan pengambilan data pengujian dengan simulasi kondisi nyata. Pada penelitian ini akan terfokus pada parameter *Quality of Service* dari sistem *wireless sensor network*. Parameter uji performa *Quality of Service* diantaranya yaitu, uji *latency* transmisi data, uji *jitter*, uji *packet loss*, dan uji *throughput*.

Dengan memanfaatkan penggunaan beragam sensor yang terintegrasi, diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan efisiensi kesehatan lingkungan *greenhouse*, memastikan kondisi optimal bagi pertumbuhan tanaman, mencegah kerusakan dan juga media penghambat pertumbuhan tanaman akibat faktor lingkungan yang tidak sehat, dan mengembangkan teknologi WSN untuk pemantauan kesehatan lingkungan yang komprehensif. Penggabungan antara pemantauan kesehatan lingkungan yang komprehensif dengan optimasi QoS pada teknologi WSN, penelitian ini memberikan

ide dan solusi yang inovatif untuk meningkatkan pengelolaan *greenhouse* yang lebih andal, efisien, aman, dan berkelanjutan.

B. Metode Penelitian



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Pada Gambar 1, menjelaskan tentang alur diagram blok sistem pada penelitian ini. Dalam sistem ini, setiap sensor akan membaca kondisi lingkungan sekitar, kemudian data sensor diproses oleh mikrokontroler masing-masing *node*. Setelah itu, setiap *node* akan mengirim data sensor dengan metode WSN ke *master/receiver*. Proses transmisi data *master* dengan *node* menggunakan modul komunikasi NRF24L01+. Pada langkah terakhir, *master* akan mengelola data yang diterima dan dapat dilanjutkan ke proses visualisasi (antarmuka). *Quality of Service* akan dilakukan pada tahap transmisi data, QoS ini bertujuan untuk menguji kualitas performa dari sistem yang telah dirakit dan performa perangkat NRF24L01+.

Tabel 1. Perangkat Keras yang Digunakan

Perangkat	Mikrokontroler	Modul Komunikasi	Sensor
Master	ESP32U	NRF24L01+	-
Node Sensor DHT22	ESP32D	NRF24L01+	DHT22
Node Sensor Soil	ESP32D	NRF24L01+	Soil Moisture
Node Sensor MH-Z19	ESP32D	NRF24L01+	MH-Z19
Node Sensor MQ-9	ESP32D	NRF24L01+	MQ-9
Node Sensor MQ-2	ESP32D	NRF24L01+	MQ-2

Pada Tabel 1, menjelaskan tentang perangkat keras atau *hardware* yang digunakan. *Master* dan setiap *node* menggunakan jenis mikrokontroler yang sama yaitu ESP32. Penggunaan ESP32 karena untuk mendukung kecepatan pemrosesan data dan stabilitas yang tinggi. Selanjutnya, modul komunikasi yang digunakan yaitu NRF24L01+. Pada sistem ini menerapkan 1 *node* 1 sensor, untuk memaksimalkan kinerja pembacaan setiap sensor.

## 1. Quality of Service

*Quality of Service* atau QoS merupakan salah satu metode atau cara yang berfungsi untuk menguji keandalan performa dan kualitas dari suatu jaringan. Yang menjadi titik acuan QoS adalah kemampuan jaringan dalam melakukan transmisi data. Dengan kata lain, *Quality of Service* merupakan mekanisme yang bekerja pada suatu jaringan untuk mengontrol lalu lintas dan menjamin kinerja aplikasi yang penting dengan terbatasnya kapasitas jaringan yang tersedia. Terdapat beberapa parameter untuk melakukan pengujian *Quality of Service* diantaranya yaitu, uji *latency*, uji *jitter*, uji *packet loss*, dan uji *throughput*. Di bawah ini merupakan indeks dari *Quality of Service*.

**Tabel 2.** Nilai Indeks Quality of Service

Indeks	Persentase (%)	Nilai
Sangat Baik	95 – 100	3,8 – 4
Baik	75 – 94,75	3 – 3,79
Sedang	50 – 74,75	2 – 2,99
Tidak Baik	25 – 49,75	1 – 1,99

### Latency

*Latency* adalah selang waktu yang terjadi ketika proses pengiriman data dari *node/transmitter* menuju *master/receiver*. Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan *latency*, yaitu jarak pengiriman data, hambatan, pemrosesan data, dan kemampuan perangkat keras. Untuk menghitung *latency*, dapat menggunakan rumus perhitungan di bawah ini.

$$\text{Latency} = \text{Packet Data Received} - \text{Packet Data Sent} \quad (1)$$

$$\text{Average Latency} = \frac{\text{Total Latency}}{\text{Total Packet Data}} \quad (2)$$

**Tabel 3.** Nilai Indeks Latency

Kategori Latency	Total Latency (ms)	Indeks
Sangat Baik	<150 ms	4
Baik	150 ms – 300 ms	3
Sedang	300 ms – 450 ms	2
Tidak Baik	>450 ms	1

### Jitter

Variasi *latency* pengiriman data antara *master* dengan *node* disebut *jitter*. Ini terjadi karena panjang antrian pemrosesan data dan kesalahan sebelumnya yang menyebabkan paket data dikumpulkan kembali pada akhir pengiriman. Perbedaan beban trafik dan tingkat singgungan antara tiap-tiap paket (*bottleneck*) dalam suatu jaringan sangat memengaruhi nilai *jitter*. Rumus untuk menghitung *jitter* dapat dilihat di bawah ini.

$$\text{Jitter} = \frac{\text{Total variation of delay}}{(\text{Total packets received}-1)} \quad (3)$$

$$\text{Variation of delay} = (|\text{delay } n - \text{delay}(n-1)|) \quad (4)$$

Pada pengujian *jitter*, data *delay* atau *latency* dapat diambil dari pengujian *latency*. Nilai QoS yang baik dapat didapatkan dengan menjaga kualitas *jitter*. Berikut merupakan nilai indeks *jitter*.

**Tabel 4.** Nilai Indeks Jitter

Kategori Jitter	Jitter (ms)	Indeks
Sangat Baik	0 ms	4
Baik	0 ms – 75 ms	3
Sedang	75 ms – 125 ms	2
Tidak Baik	125 ms – 225 ms	1

### Packet Loss

Pengujian *packet loss* merupakan salah satu parameter pengujian dari QoS yang dilakukan mengetahui paket data yang hilang (tidak sampai tujuan) dari setiap pengiriman data dari *node* menuju *master*. Paket data yang dikirim merupakan hasil pembacaan sensor dari masing-masing *node* per tiap detik. Di bawah ini merupakan rumus perhitungan *packet loss*.

$$\text{Packet loss (\%)} = \frac{\text{Incoming message} - \text{Output message}}{\text{Incoming message}} \times 100 \quad (5)$$

**Tabel 5.** Nilai Indeks Packet Loss

Kategori Packet Loss	Packet Loss (%)	Indeks
Sangat Baik	0	4
Baik	3	3
Sedang	15	2
Tidak Baik	25	1

### Throughput

Volume data rata-rata yang dapat melintasi jaringan dalam jangka waktu tertentu disebut *throughput*. *Throughput* menunjukkan jumlah paket data yang berhasil diterima di tujuan (*master*) dan yang hilang. *Throughput* dapat dihitung dengan cara menentukan jangka waktu untuk melihat jumlah data *throughput*, kemudian jumlah data *throughput* dibagi dengan interval waktu pengambilan data tersebut. Perhitungan uji *throughput* dapat dilihat pada rumus dibawah ini.

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Output message (byte)} \times 8}{\text{Data transmission time}} \quad (6)$$

Pada rumus diatas, data yang diterima oleh *master* akan menunjukkan dalam satuan *byte*, maka data tersebut harus dikalikan 8 agar menjadi *bit*, karena 1 *byte* sama dengan 8 *bit*. Setelah itu, data tersebut dibagi oleh interval waktu untuk mengetahui jumlah data yang diterima, maka nilai *throughput* akan didapatkan. Berikut merupakan nilai indeks *throughput*.

**Tabel 6.** Nilai Indeks Througput

Kategori Throughput	Throughput(bps)	Indeks
Sangat Baik	100	4

Baik	75	3
Sedang	50	2
Tidak Baik	<25	1

## C. Hasil dan Pembahasan

### 1. Latency (*Delay*)

#### 1.1 Latency Node DHT22

Pada pengujian *latency* pada *node* DHT22, pengujian *latency* pengiriman data pembacaan sensor DHT22 dilakukan sebanyak 10 kali. Untuk mendapatkan nilai *latency*, waktu penerimaan data dikurangi waktu pengiriman data. Setelah itu, total *latency* dibagi 10 untuk mendapatkan nilai rata-rata. Satuan yang digunakan dalam *latency* adalah milidetik. Berikut merupakan hasil pengujian *latency* pada *node* DHT22.

**Tabel 7.** Data Pengujian Latency Node DHT22

No	Waktu Pengiriman Data	Waktu Penerimaan Data	Latency (ms)
1	14:50:17.483	14:50:17.483	0
2	14:50:19.092	14:50:19.092	0
3	14:50:20.708	14:50:20.708	0
4	14:50:22.284	14:50:22.307	23
5	14:50:23.924	14:50:23.924	0
6	14:50:25.523	14:50:25.523	0
7	14:50:27.123	14:50:27.124	1
8	14:50:28.752	14:50:28.753	1
9	14:50:30.385	14:50:30.386	1
10	14:50:31.949	14:50:31.974	25
Rata-rata			5,1

#### 1.2 Latency Node Soil

Pada pengujian *latency* pada *node* *soil*, pengujian *latency* pengiriman data pembacaan sensor *soil moisture* dilakukan sebanyak 10 kali. Untuk mendapatkan nilai *latency*, waktu penerimaan data dikurangi waktu pengiriman data. Setelah itu, total *latency* dibagi 10 untuk mendapatkan nilai rata-rata. Satuan yang digunakan dalam *latency* adalah milidetik. Berikut merupakan hasil pengujian *latency* pada *node* *soil*.

**Tabel 8.** Data Pengujian Latency Node Soil

No	Waktu Pengiriman Data	Waktu Penerimaan Data	Latency (ms)
1	15:12:03.345	15:12:03.345	0
2	15:12:04.720	15:12:04.741	21
3	15:12:06.155	15:12:06.155	0
4	15:12:07.525	15:12:07.547	22
5	15:12:08.961	15:12:08.961	0
6	15:12:10.359	15:12:10.359	0
7	15:12:11.734	15:12:11.763	29
8	15:12:13.139	15:12:13.153	14
9	15:12:14.567	15:12:14.567	0
10	15:12:15.943	15:12:15.961	18
Rata-rata			<b>10,4</b>

### 1.3 Latency Node MH-Z19

Pada pengujian *latency* pada *node* MH-Z19, pengujian *latency* pengiriman data pembacaan sensor MH-Z19 dilakukan sebanyak 10 kali. Untuk mendapatkan nilai *latency*, waktu penerimaan data dikurangi waktu pengiriman data. Setelah itu, total *latency* dibagi 10 untuk mendapatkan nilai rata-rata. Satuan yang digunakan dalam *latency* adalah milidetik. Berikut merupakan hasil pengujian *latency* pada *node* MH-Z19.

**Tabel 9.** Data Pengujian Latency Node MH-Z19

No	Waktu Pengiriman Data	Waktu Penerimaan Data	Latency (ms)
1	15:45:28.180	15:45:28.208	28
2	15:45:29.663	15:45:29.663	0
3	15:45:31.135	15:45:31.158	23
4	15:45:32.621	15:45:32.621	0
5	15:45:34.093	15:45:34.107	14
6	15:45:35.608	15:45:35.627	19
7	15:45:37.081	15:45:37.081	0
8	15:45:38.603	15:45:38.603	0

No	Waktu Pengiriman Data	Waktu Penerimaan Data	Latency (ms)
9	15:45:40.071	15:45:40.086	15
10	15:45:41.574	15:45:41.593	19
Rata-rata			16

#### 1.4 Latency Node MQ-9

Pada pengujian *latency* pada *node* MQ-9, pengujian *latency* pengiriman data pembacaan sensor MQ-9 dilakukan sebanyak 10 kali. Untuk mendapatkan nilai *latency*, waktu penerimaan data dikurangi waktu pengiriman data. Setelah itu, total *latency* dibagi 10 untuk mendapatkan nilai rata-rata. Satuan yang digunakan dalam *latency* adalah milidetik. Berikut merupakan hasil pengujian *latency* pada *node* MQ-9.

**Tabel 10.** Data Pengujian Latency Node MQ-9

No	Waktu Pengiriman Data	Waktu Penerimaan Data	Latency (ms)
1	16:05:54.940	16:05:54.940	0
2	16:05:56.407	16:05:56.418	11
3	16:05:57.896	16:05:57.897	1
4	16:05:59.382	16:05:59.382	0
5	16:06:00.840	16:06:00.840	0
6	16:06:02.359	16:06:02.374	15
7	16:06:03.828	16:06:03.841	13
8	16:06:05.319	16:06:05.319	0
9	16:06:06.795	16:06:06.796	1
10	16:06:08.255	16:06:08.260	5
Rata-rata			4,6

#### 1.5 Latency Node MQ-2

Pada pengujian *latency* pada *node* MQ-2, pengujian *latency* pengiriman data pembacaan sensor MQ-2 dilakukan sebanyak 10 kali. Untuk mendapatkan nilai *latency*, waktu penerimaan data dikurangi waktu pengiriman data. Setelah itu, total *latency* dibagi 10 untuk mendapatkan nilai rata-rata. Satuan yang digunakan dalam *latency* adalah milidetik. Berikut merupakan hasil pengujian *latency* pada *node* MQ-2.



**Tabel 11.** Data Pengujian Latency Node MQ-2

No	Waktu Pengiriman Data	Waktu Penerimaan Data	Latency (ms)
1	16:45:53.180	16:45:53.181	1
2	16:45:55.003	16:45:55.039	36
3	16:45:56.859	16:45:56.860	1
4	16:45:58.710	16:45:58.711	1
5	16:46:00.562	16:46:00.563	1
6	16:46:02.410	16:46:02.411	1
7	16:46:04.262	16:46:04.270	8
8	16:46:06.108	16:46:06.109	1
9	16:46:07.903	16:46:07.928	25
10	16:46:09.747	16:46:08.764	17
Rata-rata			9,2

### 1.6 Hasil Pengujian Total Latency

Pada pengujian ini, menunjukkan hasil pengujian *latency* pengiriman data dari setiap *node* menuju *master* sebagai standar pengujian QoS. Pengujian ini menunjukkan hasil yang sangat baik dengan tingkat *latency* yang sangat minim. Angka indeks setiap *node* mampu mencapai nilai 4. Berikut tabel hasil pengujian *latency*.

**Tabel 12.** Kategori Hasil Keseluruhan Pengujian Latency

No	Perangkat	Hasil Pengujian Latency (ms)	Keterangan	
			Kategori	Indeks
1	Node Sensor DHT22	5,1	Sangat baik	4
2	Node Sensor Soil	10,4	Sangat baik	4
3	Node Sensor MH-Z19	16	Sangat baik	4
4	Node Sensor MQ-9	4,6	Sangat baik	4
5	Node Sensor MQ-2	9,2	Sangat baik	4
Rata-rata		9,06 ms		4

## 2. Jitter

Pada pengujian *jitter*, data *latency* untuk variasi *delay* dapat diambil dan dihitung dari pengujian *latency*. Kualitas *jitter* dari sistem yang telah dibuat menunjukkan hasil yang baik, hal tersebut dapat dilihat dari nilai indeks rata-rata yang mencapai nilai 3. Hasil pengujian *jitter* dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 13.** Kategori Hasil Pengujian Jitter

No	Perangkat	Hasil Pengujian Jitter (ms)	Keterangan	
			Kategori	Indeks
1	Node Sensor DHT22	7,89	Baik	3
2	Node Sensor Soil	18,00	Baik	3
3	Node Sensor MH-Z19	14,56	Baik	3
4	Node Sensor MQ-9	6,33	Baik	3
5	Node Sensor MQ-2	12,89	Baik	3
Rata-rata		11,93 ms		3

### 3. Packet Loss

Pada pengujian *packet loss*, pengujian dilakukan 2 kali, yaitu dengan pengujian di dalam ruangan dan pengujian di luar ruangan. Pengujian dilakukan dengan jarak 10 meter antara *master* dengan *node*, baik di dalam ruangan maupun luar ruangan. Pada pengujian *packet loss* ini, 100 paket data akan dikirimkan dari hasil pembacaan sensor tiap *node* menuju ke *master*, kemudian selisih hasil paket data yang dapat diterima *master* akan dicatat. Berikut tabel pengujian *packet loss*.

**Tabel 14.** Data Pengujian Packet Loss di Dalam Ruangan

No	Perangkat	Jumlah Paket Data Kirim	Jumlah Paket Data Terima	Packet Loss (%)
1	Node Sensor DHT22	100	100	0 %
2	Node Sensor Soil	100	99	1 %
3	Node Sensor MH-Z19	100	97	3 %
4	Node Sensor MQ-9	100	98	2 %
5	Node Sensor MQ-2	100	100	0 %
Rata-rata		100	98,8	1,2 %

**Tabel 15.** Kategori Hasil Pengujian Packet Loss di Dalam Ruangan

No	Perangkat	Hasil Pengujian Packet Loss (%)	Jarak (m)	Keterangan	
				Kategori	Indeks
1	Node Sensor DHT22	0 %	10	Sangat Baik	4
2	Node Sensor Soil	1 %	10	Sangat Baik	4
3	Node Sensor MH-Z19	3 %	10	Baik	3
4	Node Sensor MQ-9	2 %	10	Sangat Baik	4
5	Node Sensor MQ-2	0 %	10	Sangat Baik	4
Rata-rata		1,2 %			3,8

**Tabel 16.** Data Pengujian Packet Loss di Luar Ruangan

No	Perangkat	Jumlah Paket Data Kirim	Jumlah Paket Data Terima	Packet Loss (%)
1	Node Sensor DHT22	100	98	2 %
2	Node Sensor Soil	100	96	4 %
3	Node Sensor MH-Z19	100	96	4 %
4	Node Sensor MQ-9	100	100	0 %
5	Node Sensor MQ-2	100	100	0 %
Rata-rata		100	98	2 %

**Tabel 17.** Kategori Hasil Pengujian Packet Loss di Luar Ruangan

No	Perangkat	Hasil Pengujian Packet Loss (%)	Jarak (m)	Keterangan	
				Kategori	Indeks
1	Node Sensor DHT22	2 %	10	Sangat Baik	4
2	Node Sensor Soil	4 %	10	Baik	3
3	Node Sensor MH-Z19	4 %	10	Baik	3
4	Node Sensor MQ-9	0 %	10	Sangat Baik	4
5	Node Sensor MQ-2	0 %	10	Sangat Baik	4
Rata-rata		2 %			3,6

Pada pengujian *packet loss* dalam ruangan dan luar ruangan, dapat dikategorikan baik, dengan nilai indeks diatas 3. Hal ini menunjukkan performa dari WSN cukup baik untuk diterapkan, karena sangat minim sekali paket data yang hilang dari setiap pengiriman data sensor.

#### 4. Throughput

Pengujian *throughput* merupakan pengujian untuk mengukur kecepatan rata-rata data yang diterima oleh *master* dari setiap *node* dalam selang waktu pengamatan yang ditentukan. Berikut merupakan hasil pengujian *throughput* pada setiap *node*.

**Tabel 18.** Data Pengujian Throughput

No	Perangkat	Jumlah Paket Data Diterima (Byte)	Byte to bit	Throughput (bit/s)
1	Node Sensor DHT22	540	4.320	72
2	Node Sensor Soil	540	4.320	72
3	Node Sensor MH-Z19	660	5280	88
4	Node Sensor MQ-9	540	4.320	72
5	Node Sensor MQ-2	696	5.568	92,8
Rata-rata		595,2 Byte	396,8 bit	79,36 bps

**Tabel 19.** Kategori Hasil Pengujian Throughput

No	Perangkat	Throughput	Keterangan	
			Kategori	Indeks
1	Node Sensor DHT22	72	Baik	3
2	Node Sensor Soil	72	Baik	3
3	Node Sensor MH-Z19	88	Sangat Baik	4
4	Node Sensor MQ-9	72	Baik	3
5	Node Sensor MQ-2	92,8	Sangat Baik	4
Rata-rata		79,36 bps		3,4

Pada pengujian ini, masing-masing *node* mampu mengirim data sebesar 12 *byte* di setiap pengirimannya. Pengujian dilakukan selama 60 detik pada setiap *node*. Pada pengujian ini, hasil indeks dapat dikategorikan baik dengan nilai rata-rata indeks diatas 3. Hal tersebut menunjukkan bahwa performa kecepatan pengiriman data pada sistem WSN ini terbilang cepat, sehingga sangat baik jika diterapkan pada sistem pemantauan *greenhouse*.

## 5. Indeks Quality of Service dari Keseluruhan Sistem Wireless Sensor Network

Sistem *wireless sensor network* ini dapat dikategorikan sangat baik pada penerapan sistem pemantauan pada sebuah *greenhouse* untuk memudahkan petani memantau kesehatan lingkungannya. Berikut merupakan tabel rata-rata hasil keseluruhan *Quality of Service* dari sistem WSN.

**Tabel 20.** Hasil Quality of Service Keseluruhan

No	Pengujian QoS	Nilai Indeks	Persentase	Kategori
1	Latency	4	100 %	Sangat Baik
2	Jitter	3	75 %	Baik
3	Packet Loss Indoor	3,8	95 %	Baik
4	Packet Loss Outdoor	3,6	90 %	Baik
5	Throughput	3,4	85 %	Baik
<b>Rata-rata</b>		<b>3,56</b>	<b>89,4 %</b>	<b>Baik</b>

Pada tabel 20, menjelaskan rata-rata nilai indeks, rata-rata persentase, dan rata-rata kategori yang didapatkan. *Quality of Service* pada sistem WSN ini menunjukkan hasil yang sangat memuaskan dan bagus dengan nilai indeks 3,56, persentase 89,4% dan kategori yang baik. Dengan nilai indeks dan persentase yang tinggi, maka dapat dikatakan performa WSN dari sistem yang telah dirancang sangatlah mumpuni. Jika melihat data QoS, sistem WSN sangat efektif untuk diterapkan, apabila mengingat instalasinya yang mudah, minim pemakaian kabel, transmisi data yang jauh, dan biaya yang murah.

## 6. Faktor-Faktor Untuk Menjaga Stabilitas Jaringan

Pada penelitian ini, untuk tetap menjaga stabilitas jaringan dalam melakukan transmisi data, dilakukan penambahan komponen berupa kapasitor sebesar 10  $\mu$ F pada VCC dan GND di perangkat NRF24L01+. Hal tersebut dilakukan untuk menjaga stabilitas daya dan arus yang mengalir dari ESP32 menuju NRF24L01+. Berikut merupakan beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kualitas sinyal dan jaringan.

**Tabel 21.** Faktor-Faktor Untuk Menjaga Stabilitas Jaringan

Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi		
Lingkungan	Konfigurasi	Perangkat Lunak
Jarak	Kemampuan pemrosesan	Program
Rintangan	Kecepatan data	Saluran
Kondisi cuaca	Daya transmisi	Implementasi protokol jaringan

## D. Simpulan

Berdasarkan hasil pengamatan dan pengujian *Quality of Service* pada sistem yang telah dirancang, *wireless sensor network* sangat efektif untuk melakukan pemantauan lingkungan *greenhouse*. Hasil pengujian menunjukkan QoS yang baik dalam setiap pengujiannya. Pengujian *latency* mendapatkan nilai indeks 4 dan kategori sangat baik, dengan *latency* rata-rata 9,06 ms, dan *latency* terendah

terdapat pada *node* MQ-9 sebesar 4,6 ms. Hal ini menunjukkan bahwa transmisi data dengan menggunakan perangkat NRF24L01+ memiliki responsifitas yang sangat baik sehingga transmisi data mendapatkan hasil *latency* yang rendah. Pada pengujian *jitter*, hasil QoS menunjukkan nilai indeks 3 dan kategori baik, dengan *jitter* rata-rata 11,93 ms, nilai *jitter* paling rendah terdapat pada *node* MQ-9 yaitu 6,33 ms. Pengujian *packet loss* mendapat nilai indeks 3,8 pada pengujian di dalam ruangan dengan rata-rata *packet loss* 1,2% dan 3,6 pada pengujian luar ruangan dengan rata-rata *packet loss* 2% serta mendapatkan kategori yang baik pada keduanya. *Packet loss* dengan nilai terendah terdapat pada *node* MQ-2 dengan 0% *packet loss*. Pengujian *throughput* mendapatkan nilai indeks 3,4 dan kategori baik, dengan nilai rata-rata *throughput* 79,36 bps. *Node* MQ-2 menunjukkan hasil yang paling baik dengan nilai *throughput* tertinggi yaitu 92,8 bps.

Berdasarkan pemaparan hasil pengujian diatas, maka dapat disimpulkan sistem WSN ini memiliki performa yang sangat baik, dengan dukungan *hardware* ESP32 sebagai mikrokontroler utama dengan kinerja dan ketahanan yang bagus dan NRF24L01+ sebagai modul komunikasi dengan kemampuan yang responsif dan cepat. Pada penelitian ini menunjukkan performa yang bagus sehingga transmisi data dapat beroperasi dengan *real-time*.

## E. Referensi

- [1] D. Maheng, A. Pathirana, and C. Zevenbergen, "A preliminary study on the impact of landscape pattern changes due to urbanization: Case study of Jakarta, Indonesia," *Land (Basel)*, vol. 10, no. 2, pp. 1–27, Feb. 2021, doi: 10.3390/land10020218.
- [2] E. Rustiadi, A. E. Pravitasari, Y. Setiawan, S. P. Mulya, D. O. Pribadi, and N. Tsutsumida, "Impact of continuous Jakarta megacity urban expansion on the formation of the Jakarta-Bandung conurbation over the rice farm regions," *Cities*, vol. 111, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.cities.2020.103000.
- [3] R. F. Putri, M. Naufal, M. Nandini, D. S. Dwiputra, S. Wibirama, and J. T. S. Sumantyo, "The Impact of Population Pressure on Agricultural Land towards Food Sufficiency (Case in West Kalimantan Province, Indonesia)," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics Publishing, Jun. 2019. doi: 10.1088/1755-1315/256/1/012050.
- [4] I. Y. Prasada and Masyhuri, "The Conversion of Agricultural Land in Urban Areas (Case Study of Pekalongan City, Central Java)," *Agraris*, vol. 5, no. 2, pp. 112–118, Jul. 2019, doi: 10.18196/agr.5280.
- [5] L. Gandharum, D. M. Hartono, A. Karsidi, and M. Ahmad, "Monitoring Urban Expansion and Loss of Agriculture on the North Coast of West Java Province, Indonesia, Using Google Earth Engine and Intensity Analysis," *Scientific World Journal*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/3123788.
- [6] Y. Achour, A. Ouammi, and D. Zejli, "Technological progresses in modern sustainable greenhouses cultivation as the path towards precision agriculture," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 147, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.rser.2021.111251.
- [7] J. A. Aznar-Sánchez, J. F. Velasco-Muñoz, B. López-Felices, and I. M. Román-Sánchez, "An analysis of global research trends on greenhouse technology:

- Towards a sustainable agriculture," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 17, no. 2, Jan. 2020, doi: 10.3390/ijerph17020664.
- [8] A. Badji, A. Benseddik, H. Bensaha, A. Boukhelifa, and I. Hasrane, "Design, technology, and management of greenhouse: A review," *J Clean Prod*, vol. 373, p. 133753, Nov. 2022, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2022.133753.
- [9] Y. Xiao, Z. Zhang, Y. Wang, and K. Zhu, "Design of a greenhouse remote measurement and control system based on internet of things technology," in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, Sep. 2019. doi: 10.1088/1742-6596/1303/1/012117.
- [10] A. Kochhar and N. Kumar, "Wireless sensor networks for greenhouses: An end-to-end review," *Comput Electron Agric*, vol. 163, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.compag.2019.104877.
- [11] H. Benyezza, M. Bouhedda, R. Kara, and S. Rebouh, "Smart platform based on IoT and WSN for monitoring and control of a greenhouse in the context of precision agriculture," *Internet of Things*, vol. 23, p. 100830, Oct. 2023, doi: 10.1016/J.IOT.2023.100830.
- [12] D. Kandris, C. Nakas, D. Vomvas, and G. Koulouras, "Applications of wireless sensor networks: An up-to-date survey," *Applied System Innovation*, vol. 3, no. 1, pp. 1–24, Mar. 2020, doi: 10.3390/asi3010014.
- [13] O. Singh, V. Rishiwal, R. Chaudhry, and M. Yadav, "Multi-Objective Optimization in WSN: Opportunities and Challenges," *Wirel Pers Commun*, vol. 121, no. 1, pp. 127–152, Nov. 2021, doi: 10.1007/s11277-021-08627-5.
- [14] R. K. Singh, M. Aernouts, M. De Meyer, M. Weyn, and R. Berkvens, "Leveraging LoRaWAN technology for precision agriculture in greenhouses," *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 7, Apr. 2020, doi: 10.3390/s20071827.
- [15] R. George and T. A. J. Mary, "Review on directional antenna for wireless sensor network applications," *IET Communications*, vol. 14, no. 5, pp. 715–722, Mar. 2020, doi: 10.1049/iet-com.2019.0859.
- [16] K. Kh.E and T. T K, "Wireless sensor networks based Agriculture 4.0: Challenges and apportions," in *2020 International Conference on Information Science and Communications Technologies, ICISCT 2020*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Nov. 2020. doi: 10.1109/ICISCT50599.2020.9351411.
- [17] I. Dwisaputra, B. Rolastin, and R. Afriansyah, "Monitoring water quality using star topology wireless sensor networks," in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, Mar. 2020. doi: 10.1088/1742-6596/1450/1/012047.