

Simulasi Wireless Sensor Network untuk Pemantauan Suhu Ruangan Berbasis Python

Nayla Firdauziah Rahman ¹⁾ , Resty Amylia Margareta ²⁾ 

^{1) 2)} Universitas Madura, Pamekasan, Indonesia

¹⁾ naylafirdauziyahr@gmail.com ²⁾ restymargareta197@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini mengkaji proses perancangan sekaligus simulasi Wireless Sensor Network (WSN) yang difungsikan untuk melakukan pemantauan suhu ruangan secara real-time dengan memanfaatkan bahasa pemrograman Python sebagai alat utama. Sistem yang dibangun bertujuan untuk mengamati perubahan suhu pada beberapa titik ruangan melalui tiga buah node sensor yang saling terhubung dan terintegrasi dengan server pusat atau sink node. Masing-masing node berperan sebagai pengirim data, di mana setiap sensor mendeteksi suhu lingkungan sekitarnya, kemudian mengirimkan hasil pengukuran tersebut beserta informasi waktu tunda (delay) menuju pusat pengendali untuk dianalisis lebih lanjut. Hasil pengujian simulasi menunjukkan bahwa sistem mampu beroperasi dengan tingkat keandalan yang cukup tinggi. Nilai delay rata-rata tercatat sekitar 0,25 detik, dengan tingkat packet loss berkisar antara 5 hingga 10%, serta throughput rata-rata mencapai 0,85 paket per detik. Hasil ini menandakan bahwa sistem memiliki performa Quality of Service (QoS) yang baik dalam hal stabilitas koneksi dan kecepatan transmisi data antar-node. Berdasarkan analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan Python sebagai sarana simulasi jaringan sensor nirkabel terbukti efisien dan mudah diimplementasikan untuk aplikasi pemantauan suhu berbasis IoT. Sistem ini dapat dijadikan landasan bagi pengembangan penelitian berikutnya menuju penerapan nyata menggunakan perangkat sensor fisik, khususnya pada sistem pemantauan lingkungan berskala kecil hingga menengah yang membutuhkan efisiensi dan keandalan tinggi.

Keywords: *Wireless Sensor Network, Python, Temperature Monitoring, Delay, Packet Loss, Throughput.*

Article history: Received 5 April 2025, first decision 22 April 2025, accepted 22 August 2025, available online 28 October 2025

I. PENDAHULUAN

Pesatnya perkembangan teknologi informasi dan komunikasi telah memengaruhi banyak aspek kehidupan manusia, termasuk transportasi, efisiensi energi, dan administrasi perkotaan. Salah satu hasil paling menonjol dari evolusi teknologi ini adalah munculnya konsep Kota Cerdas (Smart City), yang memanfaatkan inovasi digital dan Internet of Things (IoT) untuk mengoptimalkan layanan publik dan meningkatkan kualitas hidup warga [1]. Dalam praktiknya, Kota Cerdas menggabungkan infrastruktur sensor, sistem komunikasi nirkabel, dan analitik data untuk membangun lingkungan perkotaan yang efisien, aman, dan berkelanjutan [2]. IoT memungkinkan berbagai perangkat untuk saling terhubung dan bertukar data secara otomatis, meminimalkan atau bahkan menghilangkan kebutuhan akan intervensi manusia [3]. Komponen kunci dalam kerangka IoT adalah Jaringan Sensor Nirkabel (WSN), yang terdiri dari beberapa simpul sensor yang dirancang untuk mendeteksi kondisi lingkungan seperti suhu, kelembapan, intensitas cahaya, dan tekanan udara. Data yang dikumpulkan dari simpul-simpul ini kemudian ditransmisikan ke unit pemrosesan pusat untuk dianalisis dan diambil keputusan [4]. Integrasi antara teknologi IoT dan WSN telah terbukti meningkatkan kecerdasan perkotaan dan berfungsi sebagai elemen dasar untuk membangun infrastruktur Kota Cerdas modern [5].

Dalam aplikasi lingkungan, WSN banyak digunakan untuk pemantauan berkelanjutan dan waktu nyata (real-time) terhadap parameter seperti kualitas udara, suhu ruangan, dan kelembapan. Kemampuan ini krusial untuk menjaga keseimbangan lingkungan, terutama di lokasi-lokasi sensitif seperti laboratorium, rumah sakit, dan pusat data [6]. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa menggabungkan teknologi WSN dan IoT dalam pemantauan lingkungan dapat meningkatkan akurasi data, mengurangi konsumsi energi, dan mendukung pengelolaan sistem perkotaan yang berkelanjutan [7]. Bahasa pemrograman Python telah muncul sebagai alat pilihan untuk merancang dan mensimulasikan sistem WSN karena efisiensinya yang tinggi, kemudahan penggunaannya, dan ekosistem pustaka ilmiah yang kaya seperti NumPy, Pandas, dan Matplotlib [8].

* Nayla Firdauziah Rahman

Banyak peneliti menggunakan Python untuk mensimulasikan pertukaran data antar node sensor dan mengevaluasi metrik Kualitas Layanan (QoS), termasuk penundaan, throughput, dan kehilangan paket [9][10].

Simulasi ini memungkinkan representasi akurat dari perilaku jaringan di dunia nyata, menyediakan metode praktis dan berbiaya rendah untuk menilai kinerja WSN sebelum implementasi fisik [11][12]. Integrasi IoT, WSN, dan platform simulasi berbasis Python menyediakan kerangka kerja yang tangguh dan adaptif untuk pengembangan sistem pemantauan lingkungan cerdas. Sistem tersebut memainkan peran penting dalam mewujudkan tujuan Kota Cerdas dengan memungkinkan pemanfaatan sumber daya yang efisien, komunikasi data yang andal, dan manajemen infrastruktur perkotaan yang adaptif [13][14]. Integrasi IoT, WSN, dan platform simulasi berbasis Python menyediakan kerangka kerja yang tangguh dan adaptif untuk pengembangan sistem pemantauan lingkungan cerdas. Sistem tersebut memainkan peran penting dalam mewujudkan tujuan Kota Cerdas dengan memungkinkan pemanfaatan sumber daya yang efisien, komunikasi data yang andal, dan manajemen infrastruktur perkotaan yang adaptif.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan literatur memainkan peran penting dalam memperkuat landasan teori penelitian ini, khususnya dalam implementasi Jaringan Sensor Nirkabel (WSN) untuk sistem pemantauan suhu. Berbagai penelitian telah mengkaji arsitektur jaringan sensor, mekanisme komunikasi antar node, dan parameter kinerja yang diperlukan untuk analisis sistem yang efektif [15]. Bahasa pemrograman Python telah menjadi salah satu alat yang paling banyak digunakan dalam penelitian simulasi WSN karena kemampuannya yang kuat dalam pemrosesan numerik dan analisis data. Pustaka yang beragam menyederhanakan visualisasi dan komputasi parameter penting seperti penundaan, throughput, dan kehilangan paket [16][17]. Penelitian terkait pemantauan suhu menggunakan WSN telah menunjukkan kinerja yang andal dalam lingkungan simulasi. Studi menggunakan model komunikasi terpusat menunjukkan bahwa stabilitas transmisi data dapat dipertahankan meskipun terdapat variasi waktu transmisi antar node [18]. Selain itu, studi simulasi berbasis QoS menekankan pentingnya analisis parameter seperti penundaan dan kehilangan paket untuk mengevaluasi keandalan keseluruhan sistem sensor nirkabel [19][20]. Beberapa eksperimen telah membuktikan efektivitas kerangka kerja simulasi berbasis Python untuk menganalisis kinerja jaringan. Misalnya, penggunaan pustaka tingkat tinggi seperti PyMote memungkinkan pengujian latensi transmisi dan kehilangan data secara sistematis tanpa memerlukan perangkat keras fisik, sehingga meningkatkan fleksibilitas penelitian dan efisiensi biaya [21][22]. Selain itu, integrasi teknologi komunikasi generasi mendatang, seperti jaringan 5G, terbukti dapat meningkatkan laju transmisi data dan efisiensi sistem secara signifikan dalam implementasi IoT dan WSN [23][24].

Evaluasi kinerja pada jaringan nirkabel juga telah diperluas untuk menganalisis protokol aplikasi, seperti MQTT dan WebSocket, yang memengaruhi penundaan dan kecepatan pengiriman pesan dalam sistem berbasis IoT [25][26]. Di sisi lain, analitik Big Data dan pembelajaran mesin semakin banyak diadopsi untuk mengoptimalkan operasi jaringan, memprediksi pola transmisi, dan meningkatkan efisiensi energi dalam jaringan sensor skala besar [27]. Kemajuan ini berkontribusi pada pembangunan sistem yang lebih cerdas dan adaptif yang mendukung pemantauan lingkungan berkelanjutan. Secara keseluruhan, literatur menyoroti bahwa mengintegrasikan Python dengan arsitektur berbasis WSN memberikan pendekatan yang kuat dan fleksibel untuk mengembangkan sistem pemantauan suhu berbasis IoT yang memastikan transmisi data yang efisien, keandalan jaringan, dan skalabilitas.

III. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental berbasis simulasi untuk merancang dan menguji sistem Jaringan Sensor Nirkabel (WSN) yang berfungsi sebagai alat pemantauan suhu ruangan secara real-time. Tujuan utama metode ini adalah untuk mendapatkan gambaran akurat tentang kinerja sistem tanpa memerlukan perangkat keras langsung [28][29]. Penelitian ini dilakukan melalui empat tahap utama: tinjauan pustaka, perancangan sistem, implementasi simulasi, dan analisis hasil. Setiap tahap memainkan peran penting dalam memastikan bahwa sistem yang dikembangkan dapat bekerja sesuai dengan tujuannya.

A. Tinjauan Pustaka

Tahap pertama adalah tinjauan pustaka terkait konsep dasar Internet of Things (IoT), Jaringan Sensor Nirkabel (WSN), dan parameter Kualitas Layanan (QoS) seperti delay, packet loss, dan throughput [30][31][32]. Penelitian ini bertujuan untuk memahami karakteristik sistem jaringan nirkabel dan mengambil referensi dari penelitian sebelumnya sebagai dasar perancangan sistem. Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas implementasi WSN dalam sistem pemantauan suhu, baik dalam bentuk perangkat fisik maupun simulasi perangkat lunak [33][34][35]. Hasil tinjauan pustaka ini kemudian digunakan untuk menentukan parameter simulasi, struktur jaringan, dan metode pengujian yang akan diimplementasikan pada tahap selanjutnya.

B. Perancangan sistem

Pada tahap ini, model jaringan WSN dirancang yang terdiri dari tiga simpul sensor virtual yang berfungsi sebagai pemancar data suhu. Setiap simpul dikonfigurasi untuk mendeteksi suhu ruangan dan mengirimkan hasil pengukuran ke simpul pusat (simpul penerima) [34][36]. Struktur jaringan dirancang menyerupai topologi bintang untuk memudahkan pengumpulan data dan analisis kinerja jaringan. Bahasa pemrograman Python digunakan sebagai alat utama dalam pengembangan simulasi karena mendukung berbagai pustaka yang dapat menyederhanakan proses komunikasi antar simpul [35]. Pustaka seperti csv digunakan untuk menyimpan hasil pengujian berupa waktu pengiriman, waktu penerimaan, jumlah paket yang dikirim, dan jumlah paket yang diterima [37]. Nilai suhu yang digunakan dalam simulasi berkisar antara 25°C hingga 32°C, yang merepresentasikan kondisi ruangan dengan variasi suhu yang realistis [38].

C. Implementasi simulasi

Simulasi dilakukan menggunakan Python versi 3.11 karena stabilitasnya yang tinggi dan dukungannya terhadap berbagai pustaka analisis data seperti pandas dan matplotlib [39]. Selama pengujian, sistem menjalankan 15 siklus transmisi data dari setiap simpul sensor. Setiap siklus mencatat waktu transmisi, waktu penerimaan, penundaan, kehilangan paket, dan throughput [40]. Proses simulasi diimplementasikan di lingkungan Windows Subsystem for Linux (WSL), yang memungkinkan integrasi dengan cronjob untuk menjadwalkan simulasi secara otomatis [41]. Pendekatan ini memungkinkan proses pengujian diulang beberapa kali untuk mendapatkan hasil yang konsisten tanpa intervensi manual [42].

D. Analisis dan simulasi

Hasil Tahap akhir penelitian ini adalah menganalisis hasil simulasi berdasarkan parameter Quality of Service (QoS) [43][44]. Nilai tunda dihitung dari selisih waktu antara transmisi dan penerimaan data. Persentase kehilangan paket diperoleh dengan membandingkan jumlah paket yang dikirim dan diterima, sedangkan throughput dihitung dari jumlah data yang berhasil diterima per satuan waktu [45]. Data simulasi disimpan dalam format Comma-Separated Values (CSV) agar mudah diproses ulang untuk analisis dan visualisasi menggunakan Python [46]. Hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan penelitian sebelumnya untuk menilai efisiensi dan keandalan sistem yang dikembangkan [47]. Evaluasi dilakukan dengan meninjau parameter kinerja utama seperti stabilitas transmisi, waktu tunda rata-rata, dan persentase keberhasilan transmisi data. Analisis ini menjadi dasar untuk menilai sejauh mana sistem WSN berbasis Python dapat berfungsi sebagai alat pemantauan suhu yang akurat dan efisien [48]. Hasil pengujian dari tahap ini juga dapat menjadi referensi untuk penelitian lebih lanjut, terutama dalam pengembangan sistem WSN berbasis perangkat keras dengan integrasi IoT yang lebih kompleks. Metode simulasi ini memungkinkan peneliti untuk memahami perilaku jaringan sebelum menerapkannya dalam praktik [49][50].

IV. HASIL

A. Gambaran Umum Hasil Simulasi

Kualitas Layanan Jaringan atau Quality of Service (QoS) merupakan parameter utama yang digunakan untuk menilai kinerja Wireless Sensor Network (WSN). Penilaian QoS umumnya mencakup tiga indikator utama, yaitu delay (waktu tunda transmisi), throughput (kecepatan transfer data), dan packet loss (persentase kehilangan data selama proses pengiriman). Dalam penelitian ini, dilakukan simulasi WSN berbasis bahasa pemrograman Python untuk memantau suhu ruangan secara real-time. Sistem ini secara otomatis mengumpulkan serta mengirimkan data suhu dari tiga titik sensor (Node 1, Node 2, dan Node 3) menuju sink node sebagai pusat analisis. Pendekatan berbasis simulasi ini memungkinkan proses pengujian kinerja dilakukan tanpa perangkat keras secara langsung, sehingga kesalahan sistem dapat terdeteksi lebih awal. Setiap node mengirimkan data suhu yang disertai dengan stempel waktu (timestamp) dan nilai delay. Setelah seluruh data diterima, sistem secara otomatis menghitung parameter QoS, seperti jumlah total paket yang dikirim dan diterima, persentase packet loss, serta nilai throughput.

B. Analisis Parameter Kinerja (QoS)

QoS digunakan sebagai tolok ukur untuk menilai sejauh mana sistem WSN mampu mengirimkan data secara efisien dan efektif. Dalam simulasi ini, dilakukan pengujian selama 15 siklus pembacaan data, di mana setiap node sensor mengirimkan data suhu secara periodik. Hasil simulasi disimpan dalam format file CSV agar mudah dianalisis lebih lanjut.

Sebelum dilakukan analisis terhadap parameter QoS, berikut merupakan hasil keluaran sistem selama proses pengujian yang menampilkan data suhu dari tiga node, waktu tunda (delay), *packet loss* dan *throughput* pada setiap siklus.

```
[2025-10-06 13:23:28] Node 1 → suhu: 20.72°C | delay: 0.222s
[2025-10-06 13:23:29] Node 2 → suhu: 31.35°C | delay: 0.242s
[2025-10-06 13:23:30] Node 3 ✗ Packet hilang (loss)

=== Statistik QoS Satu Siklus ===
Total paket dikirim : 3
Total paket diterima : 2
Packet loss (%) : 33.33
Throughput (pkt/s) : 0.666
=====

[2025-10-06 13:23:36] Node 1 → suhu: 28.83°C | delay: 0.117s
[2025-10-06 13:23:37] Node 2 → suhu: 26.89°C | delay: 0.396s
[2025-10-06 13:23:38] Node 3 → suhu: 25.62°C | delay: 0.389s

=== Statistik QoS Satu Siklus ===
Total paket dikirim : 3
Total paket diterima : 3
Packet loss (%) : 0.0
Throughput (pkt/s) : 0.999
=====

[2025-10-06 13:23:44] Node 1 → suhu: 27.92°C | delay: 0.408s
[2025-10-06 13:23:45] Node 2 → suhu: 29.38°C | delay: 0.237s
[2025-10-06 13:23:46] Node 3 → suhu: 29.69°C | delay: 0.313s

=== Statistik QoS Satu Siklus ===
Total paket dikirim : 3
Total paket diterima : 3
Packet loss (%) : 0.0
Throughput (pkt/s) : 0.999
=====
```

Gambar 1:

```
[2025-10-06 13:23:52] Node 1 → suhu: 25.11°C | delay: 0.323s
[2025-10-06 13:23:53] Node 2 → suhu: 30.61°C | delay: 0.101s
[2025-10-06 13:23:55] Node 3 → suhu: 26.37°C | delay: 0.282s

=== Statistik QoS Satu Siklus ===
Total paket dikirim : 3
Total paket diterima : 3
Packet loss (%) : 0.0
Throughput (pkt/s) : 0.706
=====

[2025-10-06 13:24:01] Node 1 → suhu: 25.19°C | delay: 0.268s
[2025-10-06 13:24:02] Node 2 → suhu: 27.77°C | delay: 0.302s
[2025-10-06 13:24:03] Node 3 → suhu: 31.22°C | delay: 0.364s

=== Statistik QoS Satu Siklus ===
Total paket dikirim : 3
Total paket diterima : 3
Packet loss (%) : 0.0
Throughput (pkt/s) : 0.999
=====

[2025-10-06 13:24:09] Node 1 → suhu: 28.85°C | delay: 0.355s
[2025-10-06 13:24:10] Node 2 → suhu: 27.96°C | delay: 0.262s
[2025-10-06 13:24:11] Node 3 → suhu: 31.54°C | delay: 0.383s

=== Statistik QoS Satu Siklus ===
Total paket dikirim : 3
Total paket diterima : 3
Packet loss (%) : 0.0
Throughput (pkt/s) : 0.999
=====
```

Gambar 2:

```
[2025-10-06 13:24:17] Node 1 → suhu: 28.31°C | delay: 0.289s
[2025-10-06 13:24:18] Node 2 → suhu: 29.34°C | delay: 0.315s
[2025-10-06 13:24:19] Node 3 → suhu: 27.44°C | delay: 0.182s

=== Statistik QoS Satu Siklus ===
Total paket dikirim : 3
Total paket diterima : 3
Packet loss (%) : 0.0
Throughput (pkt/s) : 1.0
=====

[2025-10-06 13:24:25] Node 1 → suhu: 26.95°C | delay: 0.239s
[2025-10-06 13:24:26] Node 2 → suhu: 27.69°C | delay: 0.48s
[2025-10-06 13:24:29] Node 3 → suhu: 31.44°C | delay: 0.376s

=== Statistik QoS Satu Siklus ===
Total paket dikirim : 3
Total paket diterima : 3
Packet loss (%) : 0.0
Throughput (pkt/s) : 0.784
=====

[2025-10-06 13:24:35] Node 1 → suhu: 28.0°C | delay: 0.226s
[2025-10-06 13:24:36] Node 2 ✗ Packet hilang (loss)
[2025-10-06 13:24:37] Node 3 → suhu: 25.27°C | delay: 0.247s

=== Statistik QoS Satu Siklus ===
Total paket dikirim : 3
Total paket diterima : 2
Packet loss (%) : 33.33
Throughput (pkt/s) : 0.666
=====
```

Gambar 3:

```
[2025-10-06 13:24:43] Node 1 → suhu: 30.93°C | delay: 0.341s
[2025-10-06 13:24:44] Node 2 → suhu: 28.35°C | delay: 0.195s
[2025-10-06 13:24:45] Node 3 → suhu: 30.88°C | delay: 0.415s

=== Statistik QoS Satu Siklus ===
Total paket dikirim : 3
Total paket diterima : 3
Packet loss (%) : 0.0
Throughput (pkt/s) : 0.999
=====

[2025-10-06 13:24:51] Node 1 → suhu: 28.11°C | delay: 0.212s
[2025-10-06 13:24:52] Node 2 ✗ Packet hilang (loss)
[2025-10-06 13:24:53] Node 3 → suhu: 25.95°C | delay: 0.389s

=== Statistik QoS Satu Siklus ===
Total paket dikirim : 3
Total paket diterima : 2
Packet loss (%) : 33.33
Throughput (pkt/s) : 0.666
=====

[2025-10-06 13:24:59] Node 1 → suhu: 26.89°C | delay: 0.104s
[2025-10-06 13:25:00] Node 2 → suhu: 25.95°C | delay: 0.316s
[2025-10-06 13:25:01] Node 3 → suhu: 29.16°C | delay: 0.326s

=== Statistik QoS Satu Siklus ===
Total paket dikirim : 3
Total paket diterima : 3
Packet loss (%) : 0.0
Throughput (pkt/s) : 0.704
=====
```

Gambar 4:

```
[2025-10-06 13:25:08] Node 1 → suhu: 31.1°C | delay: 0.303s
[2025-10-06 13:25:09] Node 2 → suhu: 28.17°C | delay: 0.164s
[2025-10-06 13:25:10] Node 3 → suhu: 26.42°C | delay: 0.372s

=== Statistik QoS Satu Siklus ===
Total paket dikirim : 3
Total paket diterima : 3
Packet loss (%) : 0.0
Throughput (pkt/s) : 0.999
=====

[2025-10-06 13:25:16] Node 1 → suhu: 25.12°C | delay: 0.143s
[2025-10-06 13:25:17] Node 2 → suhu: 25.13°C | delay: 0.191s
[2025-10-06 13:25:18] Node 3 → suhu: 28.43°C | delay: 0.251s

=== Statistik QoS Satu Siklus ===
Total paket dikirim : 3
Total paket diterima : 3
Packet loss (%) : 0.0
Throughput (pkt/s) : 0.999
=====

[2025-10-06 13:25:24] Node 1 → suhu: 30.34°C | delay: 0.426s
[2025-10-06 13:25:25] Node 2 → suhu: 27.83°C | delay: 0.117s
[2025-10-06 13:25:26] Node 3 → suhu: 31.2°C | delay: 0.276s

=== Statistik QoS Satu Siklus ===
Total paket dikirim : 3
Total paket diterima : 3
Packet loss (%) : 0.0
Throughput (pkt/s) : 0.999
=====
```

Gambar 5:

Berikut merupakan tabel hasil analisis parameter (QoS)

No	Waktu Simulasi	Rata-rata Delay(s)	Packet Loss(%)	Throughput (pkt/s)	Keterangan
1.	13:23:28-13:23:30	0.25	33.33	0.666	1 paket hilang
2.	13:23:36-13:23:38	0.30	0.0	0.999	Semua paket diterima
3.	13:23:44-13:23:46	0.31	0.0	0.999	Transmisi stabil
4.	13:23:52-13:23:55	0.23	0.0	0.706	Semua paket diterima
5.	13:24:01-13:24:03	0.31	0.0	0.999	Transmisi lancar
6.	13:24:09-13:24:11	0.33	0.0	0.999	Transmisi stabil
7.	13:24:17-13:24:19	0.24	0.0	1.000	Transmisi sangat stabil
8.	13:24:25-13:24:29	0.36	0.0	0.704	Semua paket diterima
9.	13:24:35-13:24:37	0.23	33.33	0.666	1 paket hilang
10.	13:24:43-13:24:45	0.31	0.0	0.999	Transmisi lancar
11.	13:24:51-13:24:53	0.30	33.33	0.666	1 paket hilang
12.	13:24:59-13:25:01	0.25	0.00	0.704	Semua paket diterima
13.	13:25:08-13:25:10	0.28	0.00	0.999	Transmisi lancar
14.	13:25:16-13:25:18	0.19	0.0	0.999	Semua paket diterima
15.	13:25:24-13:25:26	0.27	0.0	0.999	Transmisi lancar

Dari lima gambar hasil simulasi diatas, terdapat tiga parameter utama yang menjadi dasar analisis kinerja jaringan, yaitu *delay*, *packet loss*, dan *throughput*. Ketiga parameter ini digunakan untuk menilai seberapa baik performa sistem dalam mengirimkan data suhu dari node sensor ke sistem penerima secara real-time. Penjelasan dari masing-masing parameter dijabarkan sebagai berikut.

1. Delay

Delay menunjukkan selang waktu antara pengiriman data dari node sensor hingga data tersebut diterima oleh sistem pusat. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai rata-rata delay berada pada kisaran 0,10 – 0,40 detik dengan rata-rata keseluruhan 0,25 detik, sehingga memenuhi standar sistem pemantauan real-time (kurang dari 1 detik). Nilai delay cenderung meningkat saat kondisi jaringan tidak stabil, tetapi masih dalam batas yang dapat diterima.

Sebagai contoh, pada siklus ke-4, Node 1 mencatat delay 0,323 detik, Node 2 0,101 detik, dan Node 3 0,282 detik, dengan rata-rata 0,23 detik. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa arsitektur jaringan sederhana mampu mempertahankan delay di bawah 0,5 detik.

2. Packet Loss

Packet loss menggambarkan jumlah paket data yang gagal dikirim atau tidak sampai ke tujuan selama proses transmisi. Berdasarkan hasil simulasi, sebagian besar siklus menunjukkan nilai packet loss 0 %, yang berarti seluruh data berhasil dikirim dengan baik. Namun, pada beberapa siklus (misalnya siklus 1, 9, dan 11) ditemukan packet loss sebesar 33,33 %, yang disebabkan oleh gangguan komunikasi antarnode atau kondisi jaringan virtual yang tidak stabil. Secara keseluruhan, rata-rata packet loss berada di kisaran 5–10 %, dan masih dapat diterima untuk sistem WSN skala kecil. Faktor seperti gangguan radio maupun keterbatasan buffer juga berpengaruh terhadap packet loss; oleh karena itu, penerapan mekanisme acknowledgment atau pengiriman ulang (retransmission) disarankan untuk meningkatkan keandalan sistem.

3. Throughput

Throughput mengacu pada jumlah paket data yang berhasil diterima dalam satu satuan waktu. Berdasarkan hasil simulasi, nilai throughput berkisar antara 0,666 – 0,999 paket/detik, menunjukkan efisiensi transmisi data yang tinggi. Saat terjadi packet loss, nilai throughput sempat menurun, namun kembali normal setelah jaringan stabil. Beberapa penelitian juga menyebutkan bahwa optimalisasi topologi jaringan serta pengaturan interval waktu transmisi dapat meningkatkan throughput hingga sekitar 20 %. Secara keseluruhan, sistem WSN berbasis Python menunjukkan kinerja jaringan yang baik dengan rata-rata delay 0,25 detik, packet loss 5–10 %, dan throughput 0,85 paket/detik. Nilai tersebut menegaskan bahwa sistem mampu melakukan transmisi data suhu secara real-time dan stabil.

C. Interpretasi dan Pembahasan Umum

Berdasarkan hasil simulasi, sistem WSN berbasis Python terbukti mampu memantau suhu ruangan secara real-time dengan kinerja jaringan yang stabil. Nilai delay yang rendah, packet loss yang minimal, serta throughput yang tinggi menunjukkan bahwa sistem berfungsi secara efisien dan andal. Sistem ini memiliki potensi besar untuk diterapkan dalam pengembangan Smart City, khususnya pada sistem gedung pintar (smart building) dan pemantauan lingkungan (environmental monitoring). Untuk penelitian selanjutnya, pengembangan dapat difokuskan pada optimasi algoritma QoS, penerapan topologi mesh berskala besar, serta implementasi perangkat keras guna memvalidasi hasil simulasi di dunia nyata.

V. PEMBAHASAN

Bagian ini membahas interpretasi hasil simulasi serta implikasi temuan terhadap pengembangan sistem Wireless Sensor Network (WSN) berbasis Python. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu mentransmisikan data suhu secara real-time dengan tingkat delay rendah, packet loss minimal, dan throughput yang stabil. Nilai QoS yang diperoleh—yakni delay rata-rata 0,25 detik, packet loss 5–10%, dan throughput 0,85 paket per detik—menunjukkan bahwa rancangan sistem telah memenuhi kriteria efisiensi dan reliabilitas komunikasi jaringan sensor nirkabel.

A. Interpretasi dan Pemahaman Hasil

Hasil simulasi memberikan pemahaman bahwa bahasa pemrograman Python dapat digunakan secara efektif untuk memodelkan dan mensimulasikan sistem WSN tanpa memerlukan perangkat keras langsung. Nilai delay yang tetap di bawah ambang batas 1 detik memperlihatkan kemampuan sistem dalam menjaga sinkronisasi data antar-node secara stabil. Dengan demikian, sistem ini mampu mendukung kebutuhan aplikasi real-time seperti pemantauan suhu lingkungan, sesuai penjelasan sebelumnya yang menegaskan pentingnya efisiensi QoS pada sistem WSN.

B. Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Temuan ini sejalan dengan studi Sharma & Singh serta Dinata yang menunjukkan bahwa model arsitektur sederhana dengan algoritma pengiriman data terjadwal mampu menghasilkan delay di bawah 0,5 detik. Hasil penelitian ini juga konsisten dengan Putra et al., yang dalam studinya mengenai Netvista Public Wireless Network menemukan bahwa konfigurasi topologi dan kestabilan koneksi berpengaruh langsung terhadap nilai QoS. Selain itu, Umoren et al. menjelaskan bahwa penerapan mekanisme pengiriman ulang (retransmission) efektif dalam menekan tingkat kehilangan paket, yang juga menjadi salah satu rekomendasi pengembangan untuk penelitian ini.

1) Konteks dalam Kerangka Pengetahuan Eksisting

Penelitian ini turut memperkuat kajian yang menghubungkan antara WSN, IoT, dan sistem pemantauan lingkungan dalam mewujudkan infrastruktur Smart City yang efisien. Liu & Wang serta Malche & Maheshwary menyebutkan bahwa integrasi WSN pada sistem kota cerdas dapat meningkatkan efisiensi pengumpulan data lingkungan. pentingnya optimasi QoS untuk mendukung performa jaringan publik dan skala besar. Temuan dalam

penelitian ini memperlihatkan bahwa simulasi berbasis Python dapat berfungsi sebagai platform hemat biaya dalam tahap desain awal sistem IoT sebelum diimplementasikan pada perangkat fisik.

2) Keterbatasan Penelitian

Meskipun hasil simulasi menunjukkan performa yang baik, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, pengujian dilakukan sepenuhnya dalam lingkungan simulasi tanpa melibatkan perangkat keras nyata, sehingga belum mempertimbangkan faktor gangguan radio atau konsumsi energi pada node sensor. Kedua, jumlah node terbatas hanya tiga, sehingga belum mewakili kondisi jaringan berskala besar. Ketiga, sistem belum mengimplementasikan algoritma adaptif seperti dynamic routing atau mekanisme keamanan jaringan, yang penting dalam skenario IoT sesungguhnya.

3) Rekomendasi untuk Penelitian Selanjutnya

Untuk penelitian lanjutan, disarankan untuk mengembangkan sistem dengan jumlah node yang lebih banyak dan topologi jaringan mesh agar dapat menguji skalabilitas sistem. Selain itu, penerapan mekanisme acknowledgment serta retransmission otomatis dapat meningkatkan reliabilitas transmisi data. Integrasi sistem dengan sensor fisik juga perlu dilakukan guna memvalidasi hasil simulasi terhadap kondisi lapangan nyata, sebagaimana disarankan oleh Putra et al. Selanjutnya, penambahan lapisan keamanan berbasis enkripsi dan autentikasi akan sangat penting untuk menjamin integritas data pada implementasi IoT skala besar.

4) Ringkasan Pembahasan

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa Python merupakan alat yang efisien untuk melakukan simulasi sistem WSN berbasis IoT. Nilai QoS yang dihasilkan menunjukkan kinerja sistem yang stabil dan handal, sekaligus memperlihatkan potensi besar untuk diimplementasikan pada sistem pemantauan suhu ruangan maupun aplikasi Smart Building. Dengan mengatasi keterbatasan yang ada, penelitian ini dapat menjadi pijakan awal menuju pengembangan WSN yang lebih adaptif dan terintegrasi dengan infrastruktur kota cerdas di masa depan.

VI. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mensimulasikan sistem Wireless Sensor Network (WSN) berbasis Python untuk pemantauan suhu ruangan secara real-time. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu mentransmisikan data suhu dari beberapa node sensor menuju sink node dengan tingkat keandalan tinggi serta performa jaringan yang stabil. Rata-rata nilai delay sebesar 0,25 detik menunjukkan waktu tunda transmisi data yang sangat kecil, sementara tingkat packet loss antara 5–10% masih tergolong dapat diterima untuk lingkungan simulasi. Selain itu, nilai throughput rata-rata sebesar 0,85 paket per detik menandakan bahwa sistem memiliki efisiensi pengiriman data yang baik. Berdasarkan ketiga parameter Quality of Service (QoS) tersebut, dapat disimpulkan bahwa sistem ini menunjukkan kinerja yang memadai dalam kondisi simulasi. Penggunaan Python dalam simulasi WSN terbukti sangat efektif karena mendukung pemrosesan data otomatis dan menyediakan fitur analisis yang memudahkan peneliti dalam memantau performa sistem. Selain itu, Python juga menawarkan fleksibilitas tinggi untuk berbagai jenis konfigurasi jaringan tanpa memerlukan perangkat keras fisik, sehingga dapat menghemat waktu dan biaya implementasi.

Temuan penelitian ini dapat dijadikan dasar untuk pengembangan sistem pemantauan suhu berbasis perangkat keras di masa mendatang. Dengan menambah jumlah node sensor dan menerapkan protokol komunikasi yang lebih kompleks, sistem ini berpotensi diintegrasikan ke dalam lingkungan Smart Environment dan Smart City guna meningkatkan efisiensi energi serta kenyamanan lingkungan. Penelitian ini menegaskan bahwa pendekatan simulasi berbasis perangkat lunak mampu memberikan gambaran yang akurat terhadap kinerja jaringan sensor nirkabel. Analisis parameter QoS menjadi acuan penting dalam mengevaluasi keandalan komunikasi antar-node sensor, yang menunjukkan bahwa jaringan tetap stabil meskipun berada pada kondisi dinamis. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini membuktikan bahwa sistem WSN berbasis Python memiliki potensi besar sebagai alat simulasi awal sebelum diterapkan pada jaringan sensor nyata. Sistem ini dapat dikembangkan lebih lanjut untuk pemantauan suhu ruangan, kualitas udara, maupun parameter lingkungan lainnya, serta berkontribusi dalam pengembangan teknologi Smart City yang berkelanjutan dan efisien.

Kontribusi Penulis: [Nayla]: Konseptualisasi, Metodology, Penulisan – Draf Awal, Penulisan – Tinjauan & Penyuntingan, Supervisi. Nayla merancang konsep dan metodologi penelitian, proses penulisan dan validasi akhir naskah. [Resty]: Perangkat Lunak, Investigasi, Kurasi Data, Penulisan – Draf Awal. Resty memverifikasi hasil akurasi data terhadap berbagai sumber jurnal yang relevan, serta penyusunan draf akhir hasil penelitian.

Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi naskah yang telah diterbitkan.

Pendanaan: -

Ucapan Terima Kasih: -

Konflik Kepentingan: Para penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan.

Ketersediaan Data: -

Persetujuan Berdasarkan Informasi ORCID: Tidak tersedia.

Penulis Pertama: https: -

Penulis Kedua: https: -

Penulis Ketiga: -

REFERENSI

- [1] Rejeb, A., Keogh, J. G., & Treiblmaier, H. (2022). The Big Picture on the Internet of Things and the Smart City. *Technological Forecasting & Social Change*, 188, 122271. doi: 10.1016/j.techfore.2022.122271.
- [2] Syed, A. S., Sierra-Sosa, D., Kumar, A., & Elmaghraby, A. S. (2021). IoT in Smart Cities: A Survey of Technologies, Practices, and Challenges. *Applied Sciences*, 11(18), 9042. doi: 10.3390/app11189042.
- [3] Khalifeh, A., & Darabkh, K. A. (2021). Wireless Sensor Networks for Smart Cities. *Electronics*, 10(2), 218. Doi: 10.3390/electronics100218.
- [4] Ahmad Khan, S. (2023). Internet of Things Connected Wireless Sensor Networks for Smart Cities: Challenges and Opportunities. *Journal of Urban Technology*. Doi: 10.1080/10630732.2023.2175246.
- [5] Ullah, A., Anwar, S. M., et al. (2023). Smart Cities: The Role of IoT and Machine Learning in Realizing a Data-Centric Smart Environment. *Complex & Intelligent Systems*. Doi: 10.1007/s40747-023-01175-4.
- [6] Du, R., Li, Y., et al. (2018). A Survey on Deployment and Management for Smart City Monitoring Systems. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20(4), 2918–2951. Doi: 10.1109/COMST.2018.2869090.
- [7] Zeng, F., et al. (2024). Sensors on Internet of Things Systems for the Sustainable Future. *IEEE Access*, 12, 14865–14878. Doi: 10.1109/ACCESS.2024.3245678.
- [8] Sharma, H., Haque, A., & Blaabjerg, F. (2021). Machine Learning in Wireless Sensor Networks for Smart Cities: A Survey. *Electronics*, 10(9), 1012. Doi: 10.3390/electronics10091012.
- [9] Martínez, J. F., García, A., Sendra, S., & Lloret, J. (2007). QoS in Wireless Sensor Networks: Survey and Approach. *ACM Computing Surveys*, 39(3), 738–754. Doi: 10.1145/1352694.1352715.
- [10] Putra, F. P. E., Ubaidi, U., Mayangsari, D., & Hasanah, N. (2024). Netvista Public Wireless Network Quality Analysis Using QoS Parameters. *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, 4(1), 443–452. Doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4388.
- [11] Pundir, M., et al. (2021). A Systematic Review of Quality of Service in Wireless Sensor Networks for Real-Time Applications. *Computers & Electrical Engineering*, 93, 107235. Doi: 10.1016/j.compeleceng.2021.107235.
- [12] Sun, G., Shang, X., & Zuo, Y. (2018). La-CTP: Loop-Aware Routing for Energy-Harvesting Wireless Sensor Networks. *Sensors*, 18(2), 434. <https://doi.org/10.3390/s18020434>
- [13] Mazhar, T., et al. (2023). Quality of Service (QoS) Performance Analysis in Next-Generation WSNs. *Symmetry*, 15(2), 513. <https://doi.org/10.3390/sym15020513>
- [14] F. P. E. Putra, U. Ubaidi, M. Aziz, M. Irfan, and R. Alim, “Improving Network Service Quality in Parts of Sampang City: QoS Evaluation and User Perception of QoE,” *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, vol. 4, no. 1, pp. 408–412, 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4311.
- [15] Chen, S., Zhang, L., Tang, Y., Shen, C., Kumar, R., Yu, K., Tariq, U., & Bashir, A. K. (2020). Indoor Temperature Monitoring Using Wireless Sensor Networks: A SMAC Application in Smart Cities. *Sustainable Cities and Society*, 61, 102333. Doi: 10.1016/j.scs.2020.102333.
- [16] Arbula, D., & Lenac, K. (2013). Pymote: High Level Python Library for Event-Based Simulation and Evaluation of Distributed Algorithms. *Int. J. of Distributed Sensor Networks*, Article ID 797354. Doi: 10.1155/2013/797354.
- [17] Sharma, R., & co-authors. (2020). Modelling and Simulation Frameworks for Wireless Sensor Networks. *IET Wireless Sensor Systems*. Doi: 10.1049/iet-wss.2020.0046.
- [18] Pundir, M., et al. (2021). A Systematic Review of Quality of Service in Wireless Sensor Networks for Real-Time Applications. *Computers & Electrical Engineering*, 93, 107235. Doi: 10.1016/j.compeleceng.2021.107235.
- [19] Martínez-Ortega, J.-F., García, A., Sendra, S., & Lloret, J. (2007). QoS in Wireless Sensor Networks: Survey and Approach. *ACM Computing Surveys*. Doi: 10.1145/1352694.1352715.
- [20] Sabri, Y., et al. (2024). An IoT-Based 5G Wireless Sensor Network: Design and Security Considerations. *Emerging Telecommunications Technologies*. Doi: 10.1002/ett.70025.
- [21] Arbula, D., & Lenac, K. (2013). Pymote: High Level Python Library for Event-Based Simulation and Evaluation of Distributed Algorithms. *Int. J. of Distributed Sensor Networks*. Doi: 10.1155/2013/797354.
- [22] Heikalabad, S. R., Rasouli, H., Nematy, F., & Rahmani, N. (2011). QEMPAR: QoS and Energy Aware Multi-Path Routing Algorithm for Real-Time Applications in Wireless Sensor Networks. *arXiv preprint arXiv:1104.1031*
- [23] Kim, B.-S., Kim, K.-I., Shah, B., Chow, F., & Kim, K.-H. (2019). Wireless Sensor Networks for Big Data Systems. *Sensors*, 19(7), 1565. Doi: 10.3390/s19071565.
- [24] Kim, B.-S., et al. (2019). Wireless Sensor Networks for Big Data Systems. *Sensors*, 19(7), 1565. Doi: 10.3390/s19071565.
- [25] Enache, B. A., Banica, C. K., & Bogdan, A. G. (2023). Performance Analysis of MQTT Over WebSocket for IoT Applications. *Scientific Bulletin of Electrical Engineering Faculty*. Doi: 10.2478/sbeef-2023-0008.

- [26] Putra, F. P. E., Ubaidi, U., Holipah, M., Mahmud, M. A., & Paradina, R. (2024). Comparing the Performance of LoRaWAN and MQTT Protocols for IoT Sensor Networks. *Jurnal Informasi dan Teknologi Digital*, 6(2), 221–228. <https://doi.org/10.60083/jidt.v6i2.565>
- [27] Mittal, M., et al. (2021). Machine Learning Techniques for Energy Efficiency and QoS in Wireless Sensor Networks. *Energies*, 14(11), 3125. Doi: 10.3390/en14113125.
- [28] Chen, S., et al. (2020). Indoor Temperature Monitoring Using Wireless Sensor Networks: A SMAC Application in Smart Cities. *Sustainable Cities and Society*, 61, 102333. Doi: 10.1016/j.scs.2020.102333.
- [29] Duobiene, S., et al. (2022). Development of Wireless Sensor Network for Environment Monitoring and Its Implementation Using SSAIL Technology. *Sensors*, 22(14), 5343. Doi: 10.3390/s22145343.
- [30] Pundir, M., et al. (2021). A Systematic Review of Quality of Service in Wireless Sensor Networks for Real-Time Applications. *Computers & Electrical Engineering*, 93, 107235. Doi: 10.1016/j.compeleceng.2021.107235.
- [31] Martínez-Ortega, J.-F., et al. (2007). QoS in Wireless Sensor Networks: Survey and Approach. *ACM Computing Surveys*. Doi: 10.1145/1352694.1352715.
- [32] Putra, F. P. E., Ubaidi, U., Mayangsari, D., & Hasanah, N. (2024). Netvista Public Wireless Network Quality Analysis Using Quality Of Service Parameters. *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, 4(1), 443–452. <https://doi.org/10.47709/brilliance.v4i1.4388>
- [33] Sharma, R., & Singh, D. (2020). Modelling and Simulation Frameworks for Wireless Sensor Networks. *IET Wireless Sensor Systems*. Doi: 10.1049/iet-wss.2020.0046.
- [34] Putra, F. P. E., Ubaidi, U., Mayangsari, D., & Hasanah, N. (2024). Netvista Public Wireless Network Quality Analysis Using QoS Parameters. *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, 4(1), 443–452. Doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4388.
- [35] Putra, F. P. E., Ubaidi, U., Mahendra, M., Surur, M., & Rizki, A. (2024). Effect of Distance on Wi-Fi Signal Quality in the Home Environment. *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, 4(1). <https://doi.org/10.47709/brilliance.v4i1.4319>
- [36] Putra, F. P. E., & Safiuddin, S. (2023). Strategi Efisiensi Wireless Sensor Network (WSN). *ITBI – Informatics for Educators and Professionals: Journal of Informatics*, 8(1), 52-56. Doi: 10.51211/itbi.v8i1.2441
- [37] Kim, B.-S., et al. (2019). Wireless Sensor Networks for Big Data Systems. *Sensors*, 19(7), 1565. Doi: 10.3390/s19071565.
- [38] Arbula, D., & Lenac, K. (2013). Pymote: High Level Python Library for Event-Based Simulation and Evaluation of Distributed Algorithms. *Int. J. of Distributed Sensor Networks*. Doi: 10.1155/2013/797354.
- [39] Donta, P. K., et al. (2022). Delay-aware Data Fusion in Duty-Cycled Wireless Sensor Networks: A Q-learning Approach. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 33, 100642. Doi: 10.1016/j.suscom.2021.100642.
- [40] Sabri, Y., et al. (2024). An IoT-Based 5G Wireless Sensor Network: Design and Security Considerations. *Emerging Telecommunications Technologies*. Doi: 10.1002/ett.70025.
- [41] Enache, B. A., Banica, C. K., & Bogdan, A. G. (2023). Performance Analysis of MQTT Over WebSocket for IoT Applications. *Scientific Bulletin of Electrical Engineering Faculty*. Doi: 10.2478/sbeef-2023-0008.
- [42] Mittal, M., et al. (2021). Machine Learning Techniques for Energy Efficiency and QoS in Wireless Sensor Networks. *Energies*, 14(11), 3125. Doi: 10.3390/en14113125.
- [43] Putra, F. P. E., Ubaidi, U., Huda, M. A., Hasbullah, H., & Rohman, A. (2024). Computer Network Management Optimization Through Big Data Analysis Using Time Series Analysis Method. *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, 4(1), 434–442. Doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4373.
- [44] Putra, F. P. E., Ubaidi, U., Mayangsari, D., & Hasanah, N. (2024). Netvista Public Wireless Network Quality Analysis Using Quality Of Service Parameters. *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, 4(1), 443–452. <https://doi.org/10.47709/brilliance.v4i1.4388>
- [45] Putra, F. P. E., Ubaidi, U., Aziz, M., Irfan, M., & Alim, R. (2024). Improving Network Service Quality in parts of Sampang City: QoS Evaluation and User Perception of QoE. *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, 4(1), 408–412. Doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4311.
- [46] Martínez-Ortega, J.-F., et al. (2007). QoS in Wireless Sensor Networks: Survey and Approach. *ACM Computing Surveys*. Doi: 10.1145/1352694.1352715.
- [47] Sharma, R., & Singh, D. (2020). Modelling and Simulation Frameworks for Wireless Sensor Networks. *IET Wireless Sensor Systems*. Doi: 10.1049/iet-wss.2020.0046.
- [48] Arbula, D., & Lenac, K. (2013). Pymote: High Level Python Library for Event-Based Simulation and Evaluation of Distributed Algorithms. *Int. J. of Distributed Sensor Networks*. Doi: 10.1155/2013/797354.
- [49] Mittal, M., et al. (2021). Machine Learning Techniques for Energy Efficiency and QoS in Wireless Sensor Networks. *Energies*, 14(11), 3125. Doi: 10.3390/en14113125.
- [50] Rachman, A. F., Putra, F. P. E., Syirofi, S., & Wahid, D. (2024). Case Study of Computer Network Development for the Internet of Things (IoT) Industry in an Urban Environment. *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, 4(1), 399-407. Doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4302.