

ANALISIS KINERJA SISTEM KOMUNIKASI NIRKABEL NB-IOT UNTUK MONITORING SUNGAI

Roni Apriantoro¹, Amin Suharjono², Sheila Maharani Putri³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Semarang

Jl. Prof. Sudarto SH, Tembalang, Indonesia, 50275

roni.apriantoro@polines.ac.id¹, amin@polines.ac.id², sheilamaharaniputri8@gmail.com²

Abstrak

Mobile Internet of Things (M-IoT) termasuk dalam kategori Internet of Things (IoT) dan merupakan istilah dari GSMA yang mengacu pada teknologi low-power wide area network (LPWAN) standar 3GPP yang menggunakan pita spektrum berlisensi yang lebih rendah, seperti LTE-M, EC-GSM-IoT, dan NB-IoT. NB-IoT memiliki karakteristik cakupan jaringan luas, konsumsi daya rendah, dan kapasitas koneksi yang besar serta mendukung koneksi Long Term Evolution (LTE), sehingga dapat mengirimkan data lebih stabil. Dengan kelebihan tersebut, jaringan NB-IoT cocok diimplementasikan untuk sistem pemantau parameter bencana banjir akibat luapan air sungai. Pada penelitian ini, performa jaringan NB-IoT diuji dan dievaluasi untuk mengetahui kualitas layanan atau Quality of Service (QoS) dengan parameter uji meliputi end-to-end delay dan packet loss. Lokasi pengujian jaringan NB-IoT dilakukan di beberapa tempat seperti, Kopma Polines, Kos Wisma Putri, dan di Belakang PKM Polines. Berdasarkan hasil pengujian, packet loss terbaik yaitu 5% saat interval pengiriman 20000 ms di Kos Wisma Putri. Sementara delay terbaik pada penelitian ini yaitu, 178 ms dengan interval pengiriman 5000 ms di Belakang PKM Polines.

Kata Kunci: M-IoT, NB-IoT, QoS, LPWAN, banjir.

Abstract

Mobile Internet of Things (M-IoT) is included in the Internet of Things (IoT) category and is a term from the GSMA that refers to 3GPP standard low-power wide area network (LPWAN) technology that uses lower licensed spectrum bands, such as LTE- M, EC-GSM-IoT, and NB-IoT. NB-IoT has the characteristics of wide network coverage, low power consumption, and large connection capacity and supports Long Term Evolution (LTE) connections, so it can transmit data more stably. With these advantages, the NB-IoT network is suitable for implementation as a system for monitoring flood disaster parameters due to overflowing river water. In this research, the performance of the NB-IoT network is tested and evaluated to determine the quality of service (QoS) with test parameters including end-to-end delay and packet loss. The NB-IoT network testing locations were carried out in several places such as Kopma Polines, Kos Wisma Putri, and behind PKM Polines. Based on test results, the best packet loss is 5% when the delivery interval is 20,000 ms at Kos Wisma Putri. Meanwhile, the best delay in this research was 178 ms with a delivery interval of 5000 ms behind PKM Polines.

Keywords: M-IoT, NB-IoT, QoS, LPWAN, flood.

1. Pendahuluan

Internet of Things (IoT) mengacu pada interkoneksi dan pertukaran data antar perangkat. Untuk mendukung IoT, diperlukan komunikasi *machine-to-machine (M2M)*. M2M didefinisikan sebagai teknologi jaringan yang memungkinkan perangkat untuk berkomunikasi satu sama lain tanpa perlu adanya interaksi manusia (Shafique *et al.*, 2020). Contoh layanan IoT adalah keamanan, pelacakan, pembayaran, *smart grid*, dan *remote* pemeliharaan/pemantauan. Selain itu M-IoT juga termasuk dalam bagian dari IoT. M-IoT merupakan istilah GSMA yang mengacu

pada teknologi area lebar daya rendah standar 3GPP menggunakan pita spektrum berlisensi seperti LTE-M, NB-IoT dan EC-GSM-IoT (Alnahdi and Liu, 2017).

Narrowband Internet of Things (NB-IoT) merupakan evolusi teknologi jaringan seluler yang dikembangkan oleh 3GPP, yakni 2G, 3G, dan 4G. NB-IoT lebih diperuntukkan sebagai jaringan pada *sensor node* IoT, karena dukungan *bandwidth* yang tak terlalu besar. Saat ini NB-IoT merupakan solusi yang saling melengkapi untuk jaringan area luas dengan daya rendah atau biasa disebut *Low Power Wide Area Network (LPWAN)*. NB-IoT memiliki karakteristik

cakupan jaringan tinggi (peningkatan 20dB dari GPRS), konsumsi daya rendah, dan kapasitas koneksi yang besar serta mendukung koneksi *Long Term Evolution* (LTE). Jika dibandingkan dengan GSM yang menggunakan teknologi GPRS, NB-IoT memiliki jangkauan yang lebih luas dan dapat mengirimkan data lebih stabil karena jaringan berbasis LTE (Rastogi *et al.*, 2020). Selain NB-IoT terdapat beberapa teknologi jaringan yang digunakan untuk sistem IoT khususnya untuk sistem monitoring sungai.

Pada penelitian sebelumnya Suharjono *et al.*, (2020) mengimplementasikan sistem radio LoRa untuk sistem komunikasi *wireless sensor network* (WSN) prototipe monitoring sungai. Sistem monitoring sungai tersebut terdiri dari tiga *sensor node* dengan topologi jaringan *multi-hop*. Penelitian tersebut secara spesifik membahas tentang kinerja sistem komunikasi WSN menggunakan LoRa yang dilihat dari dua parameter QoS yaitu *packet loss* dan *delay* yang dilakukan dengan mengukur dari masing-masing *sensor node* menuju *gateway*. *Packet loss* yang dihasilkan pada penelitian tersebut cukup besar, yaitu 35,91% dengan *delay* 796 ms, saat interval pengiriman data adalah 1000 ms.

Penelitian lain yang juga dilakukan oleh Suharjono *et al.*, (2023) yang membuat *platform* IoT untuk monitoring banjir, jaringan LoRa dan protokol MQTT diimplementasikan di dalam alatnya tersebut. Jarak jangkauan LoRa dalam penelitian ini hanya mencapai 500 meter dengan pemasangan antena yaitu 1,5 meter dari permukaan tanah. Pemanfaatan protokol MQTT pada penelitian ini cukup memberikan dampak yang signifikan dalam komunikasi *uplink*, yaitu *delay* <150 ms dan *packet loss* <2 %.

Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Hermawan *et al.*, (2023) dan Hendrawati, Maulana and Al Tahtawi, (2019), para peneliti tersebut memanfaatkan teknologi jaringan sensor berfrekuensi 2,4 GHz untuk membuat sistem monitoring sungai. Para peneliti tersebut memanfaatkan ESP8266 sebagai pengolah dan pengirim data sensor ke server. Namun, penggunaan jaringan berfrekuensi 2,4 GHz ini hanya memiliki jangkauan tidak lebih dari 150 meter, dan relatif kurang efisien dalam penggunaan sumber daya dari baterai.

Beberapa penelitian sebelumnya yang memanfaatkan jaringan LoRa dan jaringan nirkabel berfrekuensi 2,4 GHz, memiliki jangkauan jaringan yang relatif sempit, yaitu hanya mampu mencapai radius lebih dari 1 km

berdasarkan konfigurasinya masing-masing. Berdasarkan permasalahan tersebut, penulis melakukan penelitian untuk menerapkan teknologi NB-IoT dan menguji performanya sebagai sistem komunikasi jaringan nirkabel untuk sistem monitoring kualitas dan ketinggian air sungai menggunakan modul SIM7000C. Koneksi NB-IoT dipilih karena keunggulannya sebagai evolusi dari teknologi jaringan seluler dengan konsumsi daya yang rendah, jangkauan yang luas, serta kecepatan yang stabil. Penelitian ini menganalisis performa jaringan NB-IoT berdasarkan parameter *latency/delay* dan *packet loss*. Parameter tersebut dipilih karena sudah mampu mewakili gambaran performa suatu jaringan. Untuk memantau kualitas dan ketinggian air sungai, sensor yang digunakan pada penelitian ini adalah sensor *Electro Conductivity* (EC), sensor pH, sensor suhu DSB1820, sensor *rain gauge*, dan sensor HCSR04.

2. Landasan Teknis

Sistem IoT/M-IoT didukung oleh beberapa komponen seperti jaringan sensor nirkabel, protokol jaringan, dan server. Pada bab ini, penulis menjelaskan berbagai landasan teknis dalam sistem M-IoT berbasis NB-IoT yang mana jaringan sensor nirkabel dan IoT dideskripsikan pada sub bab 2.1, NB-IoT dideskripsikan pada sub bab 2.3, dan parameter jaringan dijelaskan pada sub bab 2.4.

2.1 Jaringan Sensor Nirkabel dan IoT

Jaringan sensor nirkabel atau *wireless sensor network* (WSN) adalah sebuah sistem yang menggabungkan sensor, komputasi dan komunikasi ke dalam satu perangkat sekaligus. Komponen utama pada WSN terdiri dari tiga jenis, yakni *sensor node*, *coordinator node*, dan *gateway*. WSN bekerja pada lapisan kedua di sistem jaringan IoT. Setiap *sensor node* saling berkomunikasi dengan satu sama lain, dan/atau berkomunikasi dengan *coordinator node* untuk bertukar data. Data yang telah diakusisi tersebut, kemudian dikirim ke *gateway* agar dapat diteruskan ke internet (Nourildean, Hassib and Mohammed, 2022).

Sementara itu, IoT adalah sebuah struktur teknologi jaringan, di mana objek, dan orang disediakan dengan identitas eksklusif, serta kemampuan untuk transfer data melalui jaringan tanpa memerlukan interaksi dua arah antara manusia ke manusia, maupun interaksi manusia ke komputer. Arsitektur umum aplikasi IoT dapat

dibagi menjadi tiga lapisan, yaitu lapisan penginderaan, lapisan *transport* dan lapisan aplikasi (Mansour *et al.*, 2023).

2.2 NB-IoT

Teknologi radio akses NB-IoT merupakan salah satu jenis teknologi jaringan LPWA yang dikembangkan oleh 3GPP yang memungkinkan perangkat *sensor node* dapat beroperasi hingga bertahun-tahun tanpa pengisian ulang daya baterai, sehingga sangat menghemat biaya. NB-IoT ditujukan untuk penggunaan IoT yang bekerja menghubungkan sensor dan *devices* dalam jumlah yang sangat besar, dengan jangkauan area yang lebar. (Mwakwata *et al.*, 2019).

2.3 Parameter Jaringan

HTTP

Hypertext Transfer Protocol (HTTP) adalah sebuah protokol jaringan yang bekerja pada lapisan aplikasi dan digunakan untuk sistem informasi terdistribusi, kolaboratif, dan menggunakan hipermedia. Protokol HTTP merupakan protokol sederhana yang telah banyak digunakan, sehingga didukung oleh banyak perangkat. Sistem ini secara garis besar dapat dibagi ke dalam empat komponen, yaitu: komponen komunikasi, komponen *security*, komponen manajemen data dan komponen *web console* (Hamid and Alisa, 2021).

Packet Loss

Packet loss merupakan sebuah parameter yang menggambarkan suatu kondisi yang menunjukkan jumlah total paket yang hilang akibat terjadinya *collision* dan *congestion* pada jaringan (Mazhar *et al.*, 2023). Kategori nilai *packet loss* dalam sebuah jaringan dideskripsikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kategori *Packet Loss*

Kategori Degradasi	Packet Loss (%)	Indeks
Sangat Bagus	0	4
Bagus	3	3
Sedang	15	2
Jelek	25	1

(sumber : TIPHON)

Delay

Delay (Latency) merupakan waktu yang dibutuhkan paket data untuk menempuh jarak dari asal ke tujuan. *Delay* dapat dipengaruhi oleh jarak, media fisik, *congestion* atau juga waktu

proses yang lama. *End-to-end delay* merupakan lamanya waktu yang diperlukan oleh suatu paket data yang dikirimkan dari *source* menuju ke *destination* tanpa dikemalikan lagi oleh server/perangkat tujuan (Yousuf *et al.*, 2020). Kategori *delay* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Kategori *Delay*

Kategori Latensi	Besar Delay (ms)	Indeks
Sangat Bagus	< 150 ms	4
Bagus	150 ms s/d 300 ms	3
Sedang	300 ms s/d 450 ms	2
Jelek	> 450 ms	1

(sumber : TIPHON)

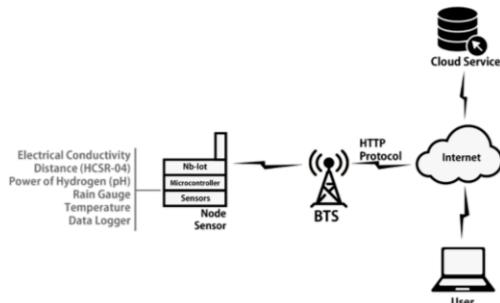
3. Metode Penelitian

3.1. Perancangan Sistem

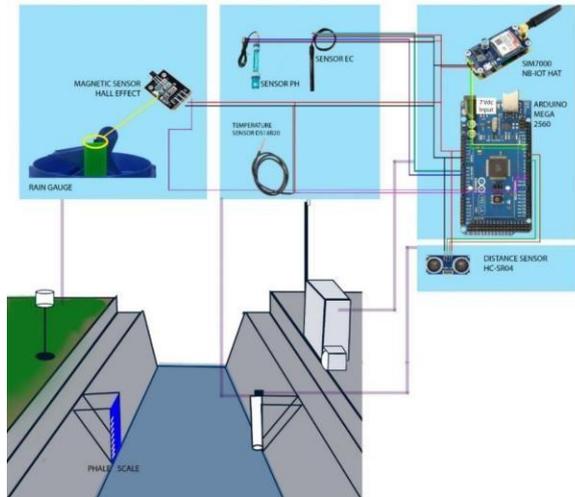
Sistem dari purwarupa pemantau sungai ini terdiri dari sensor-sensor yang dirangkai pada Arduino Mega 2560 yang disebut sebagai *sensor node*. *Sensor node* tersebut terdiri dari sensor *hall effect* sebagai sensor curah hujan, DS18B20 sebagai sensor temperatur, sensor PH, sensor EC, HCSR04 sebagai sensor ketinggian air dan *data logger* untuk data cadangan dan validasi data hasil pembacaan sensor.

Berdasarkan Gambar 1 yang mendeskripsikan diagram blok sistem secara keseluruhan, data hasil pembacaan sensor dikirimkan ke server oleh SIM7000C melalui BTS dengan jaringan NB-IoT menuju ke *IoT Cloud Platform* menggunakan protokol HTTP. Dalam hal pengiriman data, modul SIM7000C HAT berkomunikasi dengan Arduino mega 2560 menggunakan *UART Communication*. Dengan *website* monitoring yang dipasang pada server *cloud*, pengguna dapat mengakses dan memantau parameter sungai menggunakan komputer atau *smart phone* melalui jaringan internet.

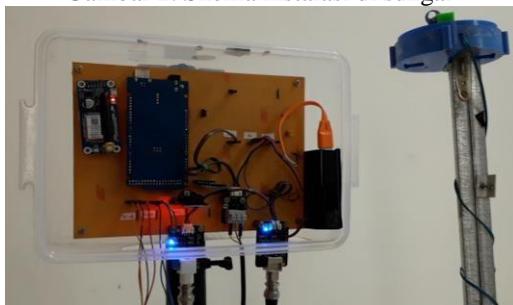
Gambar 2 merupakan skema instalasi *hardware* prototipe monitoring sungai. Terdapat box utama yang berisi *sensor node* dan sistem power seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Sementara itu, sensor suhu, konduktivitas (EC), pH, dan sensor ultrasonik dirangkai di dalam pipa panjang berwarna putih yang dipasang di tepi sungai. Selain itu, sensor *rain gauge* yang berfungsi untuk menghitung curah hujan, diletakkan pada tabung berwarna putih yang dipasang diatas tiang agar akurasi pembacaanya lebih akurat dan terhindar dari pengaruh tetesan air dari objek lain. Untuk kalibrasi ketinggian air, *pail scale* juga dipasang di tepi sungai.



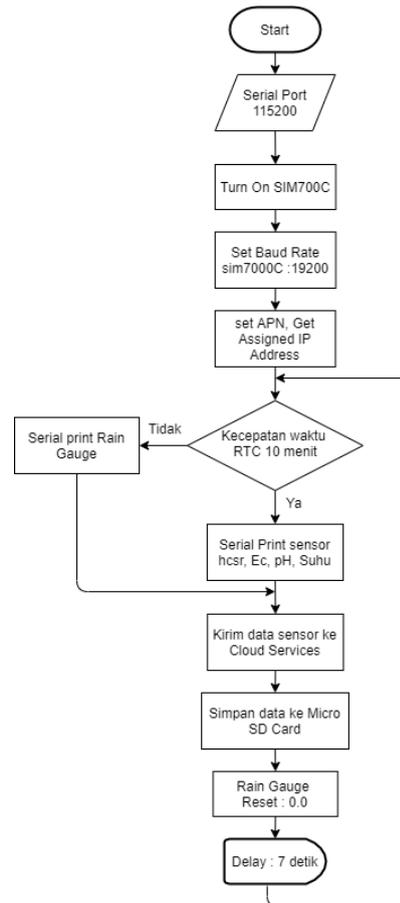
Gambar 1. Skema sistem keseluruhan



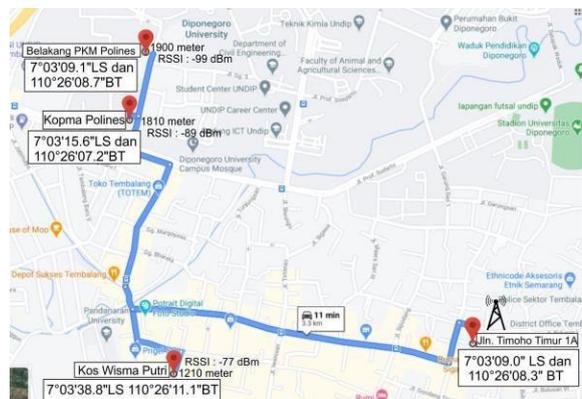
Gambar 2. Skema instalasi di sungai



Gambar 3. Perangkat keras sensor node



Gambar 4. Digram Alir Sistem Komunikasi



Gambar 5. Lokasi Pengujian Sistem

Sementara itu, Gambar 4 menjelaskan diagram alir *firmware* pada *sensor node*. Ketika *sensor node* pertama kali dinyalakan, mikrokontroler akan memberikan perintah untuk mengaktifkan SIM7000C HAT dan mengatur nilai *baud rate*, dilanjutkan mengatur APN. *Setting* APN dan *Get Assigned IP Address* berguna sebagai indikator SIM7000C agar terhubung dengan jaringan NB-IoT. Di sisi lain, pembacaan sensor dilakukan 10 menit sekali, kecuali sensor *rain gauge* yang melakukan

pembacaan sensor secara kontinyu. Setelah semua data sensor diakusisi oleh mikrokontroler, data yang diambil setiap 10 menit sekali tersebut disimpan pada *data logger (micro SD module)* dan dikirimkan ke *Cloud IoT Platform* yaitu Ubidots.

3.2. Metode Pengujian

Penelitian ini difokuskan untuk menguji dan mengevaluasi performa jaringan melalui analisis QoS dengan parameter *packet loss* dan *end-to-end delay* pada jaringan NB-IoT. Pengujian jaringan dilakukan di tiga lokasi yang berbeda yaitu di Kos Wisma Putri, KOPMA Polines, dan di belakang PKM Polines. Lokasi tersebut dipilih berdasarkan jarak dan nilai RSSI yang diterima. Detail titik lokasi pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.

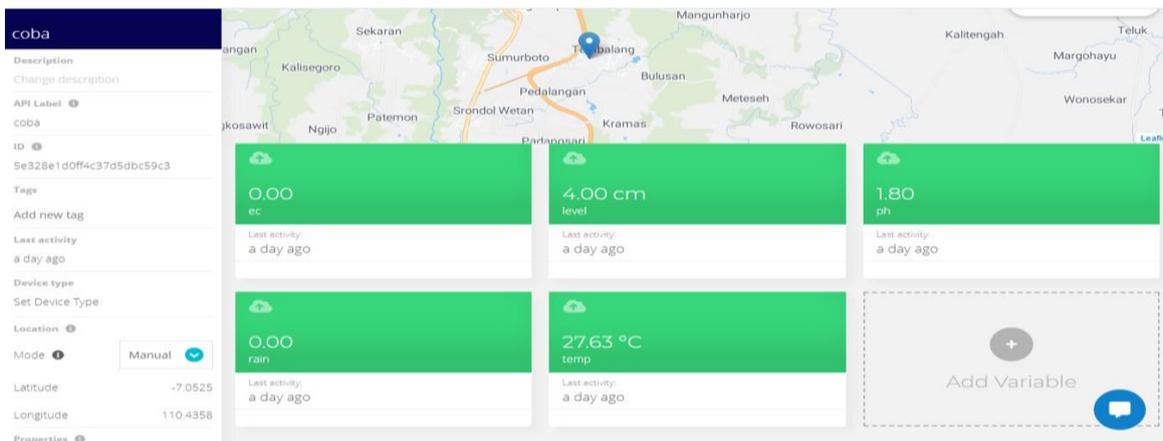
Pengujian *packet loss* dan *end-to-end delay* pada penelitian ini dilakukan menggunakan data *dummy* dan data asli sensor. Pengujian menggunakan data *dummy* dilakukan dengan

cara mengirimkan data sejumlah 150 buah, serta pengaturan interval pengiriman data yang berbeda. Pengujian berdasarkan data asli sensor dilakukan selama 3 menit dengan mengubah interval pengiriman. Interval pengiriman data yang digunakan yaitu, 1000 ms, 5000 ms, 10000 ms, dan 20000 ms. Untuk keperluan validasi, dilakukan pengulangan pengujian sebanyak 5 kali. Selanjutnya dihitung nilai rata-rata *packet loss* dan *delay* yang dihasilkan dari masing-masing interval pengiriman yang digunakan selama pengujian. Untuk mendapatkan nilai *packet loss* dan *end-to-end delay*, penulis menggunakan persamaan (1) dan (2), secara berurutan (Wulandari, 2016).

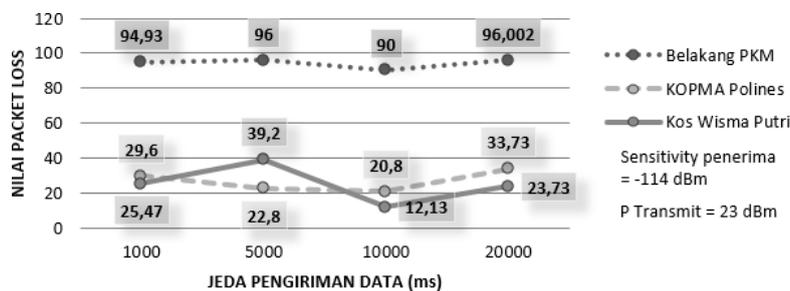
$$Packet\ Loss\ (\%) = \frac{P_t - P_r}{P_t} \times 100 \tag{1}$$

$$Delay\ (ms) = waktu\ P_r - waktu\ P_t \tag{2}$$

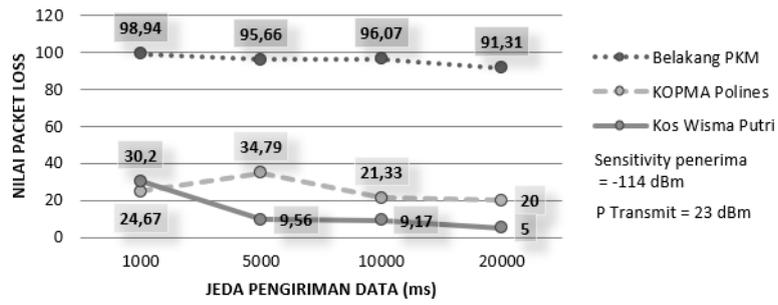
dimana P_t adalah paket yang dikirim, dan P_r adalah paket yang diterima.



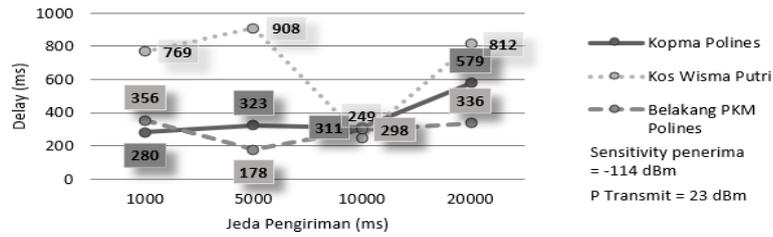
Gambar 6. Tampilan *dashboard monitoring*



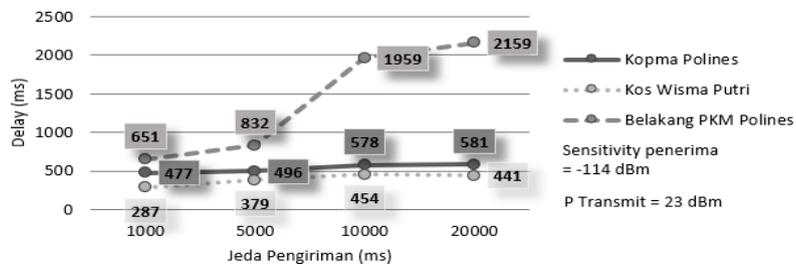
Gambar 7. Grafik *packet loss* berdasarkan data *dummy*



Gambar 8. Grafik *packet loss* berdasarkan data asli sensor



Gambar 9. Grafik *delay* berdasarkan data *dummy*



Gambar 10. Grafik *delay* berdasarkan data asli sensor

4. Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini, penulis membahas tentang hasil pengujian QoS jaringan NB-IoT dan analisisnya. Hasil pengujian dan analisis *parameter packet loss* dijelaskan pada sub bab 4.1. Sementara hasil pengujian dan analisis parameter *delay* dideskripsikan pada sub bab 4.2. Disisi lain, tampilan *dashboard monitoring* sistem monitoring sungai dapat dilihat pada Gambar 6.

4.1. Pengujian *Packet Loss*

Pada pengujian *packet loss* berdasarkan data *dummy*, diperoleh hasil sesuai yang ditunjukkan pada Gambar 7. Nilai *packet loss* terbesar terjadi ketika interval pengiriman paket data diatur 20000 ms di Belakang PKM Polines dengan RSSI adalah -99 dBm, yaitu 96.002%. Berdasarkan hasil tersebut, *packet loss* dikategorikan sangat buruk. Sedangkan nilai *packet loss* terbaik terjadi saat interval pengiriman paket data diatur 10000 ms dengan RSSI adalah -77 dBm, yaitu 12.13% di Kos Wisma Putri. Nilai rata-rata *packet loss* tersebut dikategorikan baik menurut standar TIPHON.

Sementara itu, pada pengujian *packet loss* menggunakan data asli sensor, diperoleh hasil sesuai yang ditunjukkan oleh Gambar 8. Nilai *packet loss* terbesar terjadi ketika interval pengiriman paket data diatur 1000 ms di Belakang PKM Polines dengan rata-rata RSSI -99 dBm, yaitu 98,94%. Sehingga, nilai *packet loss* tersebut dikategorikan sangat buruk. Sedangkan nilai *packet loss* terbaik terjadi saat interval pengiriman paket data diatur 20000 ms, yakni 5% di Kos Wisma Putri dengan rata-rata RSSI yang didapatkan adalah -77 dBm. Nilai *packet loss* tersebut dikategorikan baik berdasarkan standar TIPHON.

4.2. Pengujian *Delay*

Pada pengujian *delay* jaringan NB-IoT menggunakan data *dummy*, diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 9. *Delay* terbesar yaitu 908 ms terjadi ketika interval pengiriman paket data diatur 5000 ms di Kos Wisma Putri dengan rata-rata RSSI adalah -99 dBm. Sehingga nilai *delay* tersebut dikategorikan sangat buruk menurut standar TIPHON. Sedangkan *delay* terbaik adalah 178 ms, terjadi di Belakang PKM Polines ketika interval pengiriman paket data diatur 5000 ms dengan rata-rata RSSI saat itu adalah -99 dBm.

Sementara itu, pada pengujian *delay* berdasarkan data asli sensor, diperoleh hasil sesuai yang ditunjukkan oleh Gambar 10. *Delay* terbesar adalah 2159 ms, terjadi ketika interval pengiriman paket data diatur 20000 ms di Belakang PKM Polines dengan RSSI saat itu adalah -99 dBm. Sehingga nilai tersebut dapat dikategorikan sangat buruk. Sedangkan *delay* terkecil adalah 287 ms, terjadi di Kos Wisma Putri saat interval pengiriman paket data diatur 1000 dengan RSSI saat itu -77 dBm. Dalam hal ini, *delay* yang dihasilkan berbanding lurus terhadap interval pengiriman paket data. Semakin besar interval pengiriman paket data, maka *delay* yang dihasilkan cenderung mengalami tren kenaikan.

Jika dilakukan *benchmarking* dengan penelitian yang dilakukan oleh Suharjono *et al.*, (2020), parameter *delay* dan *packet loss* pada penelitian ini cenderung lebih baik untuk penerapan WSN sistem monitoring sungai berbasis LPWAN. Pada pengujian penelitian sebelumnya tersebut, *packet loss* dan *delay* yang dihasilkan saat interval pengiriman 1000 ms dengan jarak transmisi adalah 300 meter yaitu 35,91% dan 796 ms, secara berurutan. Sedangkan pada penelitian ini, *packet loss* dan *delay* yang dihasilkan saat interval pengiriman 1000 ms dengan jarak transmisi adalah 1210 meter yaitu 30,20% dan 287ms, secara berurutan. Dari hasil tersebut terlihat bahwa sistem berbasis NB-IoT menghasilkan *packet loss* dan *delay* lebih kecil dibandingkan dengan sistem WSN berbasis LoRa pada penelitian sebelumnya.

5. Kesimpulan

Didalam penelitian ini, penulis telah berusaha untuk melakukan pengujian dan evaluasi QoS jaringan NB-IoT di wilayah Kota Semarang, khususnya di area Tembalang. Berdasarkan hasil pengujian, performa jaringan tersebut relatif baik, namun persebaran BTS yang menyediakan jaringan NB-IoT ini masih belum merata.

DAFTAR PUSTAKA

- Alnahdi, A. and Liu, S.-H. (2017) 'Mobile Internet of Things (MIoT) and Its Applications for Smart Environments: A Positional Overview', in *2017 IEEE International Congress on Internet of Things (ICIOT)*, pp. 151–154. doi: 10.1109/IEEE.ICIOT.2017.26.

- Hamid, H. G. and Alisa, Z. T. (2021) 'Survey on IoT application layer protocols', *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 21(3), pp. 1663–1672. doi: 10.11591/ijeecs.v21.i3.pp1663-1672.
- Hendrawati, T. D., Maulana, N. and Al Tahtawi, A. R. (2019) 'Sistem Pemantauan Kualitas Air Sungai di Kawasan Industri Berbasis WSN dan IoT', *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, 4(2), p. 283. doi: 10.31544/jtera.v4.i2.2019.283-292.
- Hermawan, R. *et al.* (2023) 'Pemanfaatan Sensor Curah Hujan Dan Debit Air Sungai Untuk Monitoring Banjir Berbasis Internet of Things', *Power Elektronik : Jurnal Orang Elektro*, 12(1), p. 62. doi: 10.30591/polektro.v12i1.4789.
- Mansour, M. *et al.* (2023) 'Internet of Things: A Comprehensive Overview on Protocols, Architectures, Technologies, Simulation Tools, and Future Directions', *Energies*, 16(8). doi: 10.3390/en16083465.
- Mazhar, T. *et al.* (2023) 'Quality of Service (QoS) Performance Analysis in a Traffic Engineering Model for Next-Generation Wireless Sensor Networks', *Symmetry*, 15(2). doi: 10.3390/sym15020513.
- Mwakwata, C. B. *et al.* (2019) 'Narrowband Internet of Things (NB-IoT): From Physical (PHY) and Media Access Control (MAC) Layers Perspectives', *Sensors*, 19(11). doi: 10.3390/s19112613.
- Nourildean, S. W., Hassib, M. D. and Mohammed, Y. A. (2022) 'Internet of things based wireless sensor network: a review', *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 27(1), pp. 246–261. doi: 10.11591/ijeecs.v27.i1.pp246-261.
- Rastogi, E. *et al.* (2020) 'Narrowband Internet of Things: A Comprehensive Study', *Computer Networks*, 173, p. 107209. doi: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107209>.
- Shafique, K. *et al.* (2020) 'Internet of Things (IoT) for Next-Generation Smart Systems: A Review of Current Challenges, Future Trends and Prospects for Emerging 5G-IoT Scenarios', *IEEE Access*. IEEE, 8, pp. 23022–23040. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2970118.
- Suharjo, A. *et al.* (2020) 'Performance Evaluation of The Sensors Accuration on River Monitoring System Based-on Heterogeneous Wireless Sensor Network', in *AIP Conference Proceedings*. AIP Publishing, pp. 0300351–0300357. doi: 10.1063/5.0000501.
- Suharjo, A. *et al.* (2023) 'MiSREd: A Low Cost IoT-Enabled Platform Based on Heterogeneous Wireless Network for Flood Monitoring', *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 13(3), pp. 1137–1146. doi: 10.18517/ijaseit.13.3.18296.
- Wulandari, R. (2016) 'Analysis of QoS (Quality of Service) on the Internet Network (Case Study : UPT Loca Test of Jampang Kulon Mining Engineering - LIPI)', *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, 2(2), pp. 162–172. doi: 10.28932/jutisi.v2i2.454.
- Yousuf, M. A. *et al.* (2020) 'Round-Trip Time and Available Bandwidth Estimation Based Congestion Window Reduction Algorithm of MPTCP in Lossy Satellite Networks', *Journal of Physics: Conference Series*, 1624(4). doi: 10.1088/1742-6596/1624/4/042024.