

Kinerja Protokol *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) pada Jaringan Nirkabel Heterogen untuk Implementasi Sistem Pemantau Air Sungai

Amin Suharjono¹, Diding Suhardi²

¹ Politeknik Negeri Semarang, Semarang

² Program Profesi Insinyur, Universitas Muhammadiyah Malang, Jl. Raya Tlogomas 246 Malang

Kontak Person:

Amin Suharjono

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang, Semarang

E-mail: amin@polines.ac.id

Abstrak

Air merupakan sumber daya alam yang memegang peran penting di setiap lini kehidupan makhluk hidup di bumi. Salah satu sumber air yang sering dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan manusia dan makhluk hidup lainnya bersumber dari sungai. Namun dalam proses pengalirannya sering terjadi pencemaran berupa zat kimia maupun limbah domestik rumah tangga. Selain itu, air sungai juga dapat menimbulkan bencana alam seperti banjir. Oleh karena itu perlu adanya sistem terintegrasi yang mampu melakukan realtime monitoring pada kualitas dan ketinggian air sungai untuk mencegah permasalahan tersebut. Sistem deteksi dini banjir dan monitoring kualitas air sungai dirancang dengan menggabungkan kelebihan dari teknologi WLAN, LoRa dan protokol MQTT untuk membentuk jaringan sensor nirkabel yang hemat biaya, hemat energi dan mempunyai tingkat reliabilitas yang tinggi walaupun berada di jaringan internet yang fluktuatif dengan latency yang tinggi. Hasil pengujian yang telah dilakukan tanpa pengaruh mobility menunjukkan bahwa desain jaringan tersebut menghasilkan delay 66,25176 ms dan packet loss 4,00128%. Pengujian dengan pengaruh mobility di daerah Rural menghasilkan delay 63,1225 ms dan packet loss 3,614% pada kecepatan 60 km/jam. Sedangkan pengujian dengan pengaruh mobility di daerah Urban menghasilkan delay 93,1225 ms dan packet loss 3,161% pada kecepatan 60 km/jam.

Kata kunci: MQTT, LoRa, WLAN, banjir, sungai

1. PENDAHULUAN

Air merupakan sumber daya alam yang memegang peran penting di setiap lini kehidupan makhluk hidup di bumi. Salah satu sumber air yang sering dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan manusia dan makhluk hidup lainnya adalah sungai. Sungai merupakan ekosistem yang sangat penting bagi manusia yang mana sering dimanfaatkan untuk berbagai keperluan dan kegiatan seperti pertanian, industri maupun keperluan domestik rumah tangga [1].

Air sungai yang keluar dan mengalir dari mata air awalnya memiliki kualitas yang sangat baik. Namun dalam proses pengalirannya, air tersebut akan terkontaminasi dengan berbagai macam bahan pencemar berupa zat kimia dan logam berat, terutama jika aliran sungai tersebut melewati pemukiman penduduk dan dekat dengan daerah industri [2]. Berdasarkan data yang dirilis oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan tahun 2016, dari 140 sungai di 34 provinsi di Indonesia, sebanyak 73,24% dalam status tercemar dan hanya 2,01% sungai yang memenuhi standar baku mutu air kelas dua [3]. Indikasi pencemaran kualitas air dapat diketahui dengan melihat perubahan kualitas air secara fisika, kimia dan biologi. Parameter fisika berupa temperatur air tergantung pada sumbernya. Temperatur normal air di alam (tropis) sekitar 20oC sampai 30oC [4]. Sedangkan nilai electric conductivity perairan alami memiliki nilai sekitar 20–1500 μ mhos/cm [5]. Air dengan nilai pH sekitar 6,5–7,5 merupakan air normal yang memenuhi syarat untuk suatu kehidupan [6].

Selain itu, letak geografis Indonesia yang berada di dalam wilayah lempeng tektonik Ring of Fire menyebabkan Indonesia menjadi kawasan yang rawan bencana banjir, tanah longsor dan bencana hidrometeorologi. Curah hujan lebat yang terjadi dalam kurun waktu yang cukup lama dapat menyebabkan kenaikan debit air pada aliran sungai, sehingga melampaui daya tampungnya. Akibatnya air di aliran sungai tersebut meluap dan menyebabkan banjir bandang. Menurut [7], klasifikasi curah dibagi menjadi empat. Kategori curah hujan ringan adalah 1 –5 mm/jam, curah hujan sedang 5 –10

mm/jam, curah hujan lebat 10 –20 mm/jam dan curah hujan sangat lebat lebih dari 20 mm/jam. Data parameter fisik penentu kualitas air sungai dan banjir dapat dilihat pada Tabel I

Tabel 1 Parameter fisik penentu kualitas air sungai dan banjir

Parameter	Threshold
Temperatur	20oC-30oC
Electric Conductivity	20 – 1500 μ mhos/cm
pH	6.5-7.5
Curah Hujan	20 mm/jam
Ketinggian Air	Disesuaikan dengan kedalaman sungai

Pusat Data dan Informasi Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) tahun 2016 mencatat bahwa Indonesia telah dihantam banjir sebanyak 535 kali. Banjir disertai dengan tanah longsor terjadi sebanyak 41 kali. Sedangkan tanah longsor sendiri terjadi 323 kali. Berdasarkan data BNPB, dari 450 Daerah Aliran Sungai (DAS) di Indonesia, 118 DAS dalam kondisi kritis [8]. Oleh karena itu, perlu adanya sistem *Internet of Things* yang mampu melakukan pengawasan pada kualitas air dan debit air sungai untuk mencegah berbagai macam hal negatif yang telah disebutkan di atas. *Internet of Things* dalam penerapannya dapat mengidentifikasi, melacak, memantau objek, memicu suatu *event* dan memberikan notifikasi secara otomatis dan *realtime* [9]. Salah satu penerapan yang cukup vital adalah pada bidang medis, keamanan dan mitigasi bencana alam.

Peran teknologi transmisi data dan protokol jaringan yang digunakan pada jaringan komunikasi *Internet Of Things* menjadi sangat vital untuk menekan kegagalan dalam proses transmisi data. Tingkat *availability*, *reliability* dan fleksibilitas pada jaringan komunikasi sangat diperlukan untuk mendukung kemudahan yang ditawarkan oleh teknologi *Internet of Things* untuk komunikasi *Machine-to-Machine*. Jaringan seluler sering kali digunakan pada teknologi tersebut karena fleksibilitas yang ditawarkan. Namun, kelemahan pada jaringan ini adalah tingkat *unreliability* yang cukup besar, yang mana merefleksikan tingginya *latency* dalam transmisi data, terutama pada daerah pegunungan dan daerah Rural dengan tingkat ketersediaan konektivitas yang fluktuatif dan cenderung tidak stabil. Apabila dibutuhkan peralatan *realtime monitoring* yang mengharuskan adanya pergerakan sensor untuk melakukan pemetaan atau aplikasi lainnya terkait *mapping*, tentu saja hal tersebut akan menjadi masalah jika dilakukan di daerah dengan *coverage* jaringan internet seluler yang tidak stabil dengan *latency* yang tinggi. Hal tersebut dapat menyebabkan banyak *packet expired* sebelum mencapai *server*. Oleh karena itu diperlukan sebuah desain jaringan dengan protokol yang mampu bekerja secara optimal pada jaringan yang *unreliable* dengan *latency* yang cukup tinggi, sehingga mampu menjamin terkirimnya data.

Heterogeneous wireless networks (HetNet) hadir dengan konsep jaringan multiprotokol yang hemat biaya dan hemat energi. Protokol MQTT, LoRa dan IEEE 802.11 (WLAN) digunakan pada jaringan *prototype* sistem deteksi banjir dan kualitas air sungai dengan teknik penggabungan masing-masing keuntungan dari protokol tersebut. *Heterogeneous Network* (HetNet) adalah jaringan yang menghubungkan komputer dan perangkat lain (*sensor node*) dengan sistem operasi dan atau protokol yang berbeda. *Heterogeneous Network* juga digunakan dalam jaringan *wireless* menggunakan teknologi akses yang berbeda, seperti jaringan nirkabel yang menyediakan layanan melalui WLAN dan mampu mempertahankan layanan ketika beralih ke jaringan seluler, inilah yang kemudian disebut *Heterogeneous Wireless Network* [10] [11].

LoRa merupakan singkatan dari Long Range dan merupakan bagian dari Semtech *proprietary spread spectrum modulation*, yaitu teknik modulasi LoRa yang menggunakan *physical layer* untuk berkomunikasi secara *wireless* di bawah standarisasi LoRa Alliance. Keunggulan teknik modulasi Lora dibandingkan dengan teknik modulasi lainnya adalah penggunaan teknik *Chirp Spread Spectrum* (CSS), tahan terhadap gangguan dan *Signal to Noise Ratio* (SNR) minimum yang sangat rendah pada sisi penerima, sehingga penerima dapat melakukan demodulasi sinyal dengan baik. *Chirp signal* mempunyai pulsa frekuensi linier yang termodulasi pada pita *wideband*, yang mana pulsa frekuensi tersebut

bervariasi berdasarkan pada informasi yang disandikan (*encoded*). Hal tersebut dapat meningkatkan sensitivitas *receiver* dengan membuat *timing* dan frekuensi *offset* setara pada sisi *transmitter* dan *receiver* serta mengurangi gangguan akibat efek Doppler [12].

Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) adalah protokol komunikasi yang berjalan di atas *stack* TCP/IP, didesain untuk komunikasi *Machine-to-Machine* (M2M), bersifat *open sources* dan *lightweight*, mempunyai *protocol overhead* yang rendah (minimum 2 bytes) sehingga berefek pada konsumsi daya yang kecil dan mampu bekerja pada *latency* yang tinggi serta *bandwidth* yang kecil [13]. Penelitian terkait pengujian kualitas protokol MQTT dilakukan oleh [14]. Pengujian dilakukan pada protokol MQTT untuk menganalisis hubungan *packet loss* dan *delay* pada setiap tingkatan level QoS protokol MQTT. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *delay* dan *packet loss* memiliki hubungan positif atau saling mempengaruhi. Kelemahan pengujian ini adalah tidak disebutkan spesifikasi tempat pengujian.

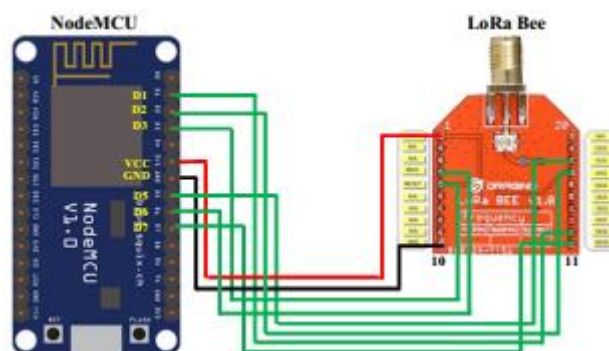
Penelitian tentang analisis protokol M2M pada jaringan seluler dilakukan oleh [15] dengan menguji *delay* pada jaring seluler 2G/3G/4G di lingkungan laboratorium. Kelemahan pengujian ini adalah tidak adanya pembebanan *bandwidth* oleh *user* lain sehingga performa asli belum bisa diketahui dengan pasti. Penelitian tentang pengujian pengaruh *handover* pada protokol MQTT dan AMQP di jaringan *wifi* dilakukan oleh [16], namun kelemahan pada pengujian ini adalah tidak disebutkan secara spesifik kecepatan *mobility* yang digunakan. Penelitian mengenai pengujian pengaruh *user mobility* pada protokol MQTT pada jaringan seluler *public* fluktuatif di daerah Rural dilakukan oleh [17]. Kelemahan pada penelitian tersebut adalah tidak disebutkan kecepatan spesifik yang digunakan, sehingga belum bisa diketahui pasti performa MQTT terhadap pengaruh *mobility*.

Penelitian terkait pengembangan jaringan Hetnet dilakukan oleh [18] dengan menggabungkan jaringan 802.15.4 dan 802.11 menggunakan protokol MQTT. Kelemahan pada penelitian ini adalah jangkauan dari jaringan 802.15.4 hanya mencapai maksimal 100 meter. Pada artikel ini kami melakukan pengembangan untuk membuat jaringan nirkabel heterogen yang memiliki jarak jangkauan antara sensor *node* dengan koordinator melebihi jarak 100 meter serta untuk mengusulkan desain dan mengevaluasi performa *heterogeneous wireless networks* menggunakan LoRa dan WLAN berdasarkan nilai *delay* dan *packet loss* pada level QOS 0 protokol MQTT pada jaringan seluler *public* 3G dan 4G di daerah Urban dan Rural dengan pengaruh *user mobility* dan tanpa pengaruh *user mobility*

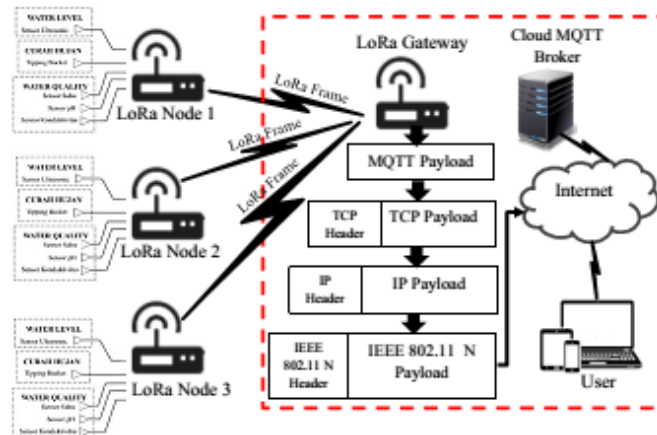
2. METODE PENELITIAN

A. Desain Alat dan Jaringan

Sistem yang dibuat pada *prototype* ini terbagi menjadi dua, yaitu sensor *node* dan LoRa Gateway. Sensor *node* terdiri dari Arduino Leonardo, perangkat radio *transceiver* LoRa Shield, sensor suhu, sensor pH, sensor ultrasonik, sensor konduktivitas elektrik air dan sensor curah hujan. LoRa Gateway terdiri dari NodeMCU dan perangkat radio *transceiver* LoRa Bee yang terhubung dengan *Wireless Router* (WLAN / IEEE 802.11 Network). Desain LoRa Gateway dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar. 1. *Wiring diagram* LoRa Gateway



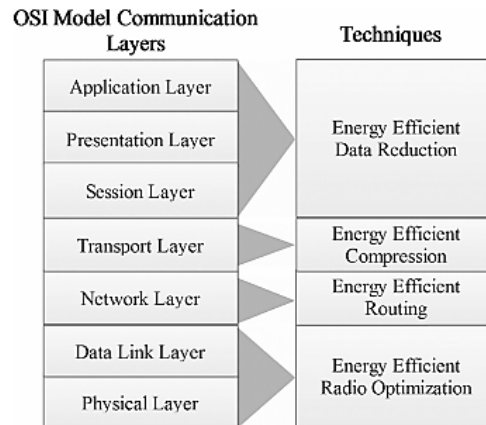
Gambar 2. Desain Hetnet dan enkapsulasi data pada Hetnet

Sistem jaringan pada artikel ini difokuskan untuk pengembangan jaringan IoT *multiprotocol / Heterogeneous Network* khususnya untuk pengembangan jaringan IoT menggunakan protokol MQTT. *Heterogeneous wireless network* pada artikel ini didesain menggunakan standar IEEE 802.11 (WLAN) dan LoRa Networks yang mana WLAN digunakan sebagai jaringan *backbone* untuk menghubungkan LoRa Network ke jaringan internet. WLAN mempunyai ukuran *payload* yang lebih besar dibandingkan dengan LoRa. Ukuran maksimum *payload* pada WLAN adalah 2312 bytes per *frame* lebih besar dari LoRa yang hanya 250 bytes per *frame*. Hal ini dapat memberikan pernyataan bahwa LoRa hanya dapat digunakan pada jaringan dengan *data rate* yang rendah. Efek dari penggunaan *data rate* yang rendah adalah konsumsi energi yang sedikit dengan jangkauan yang jauh [18].

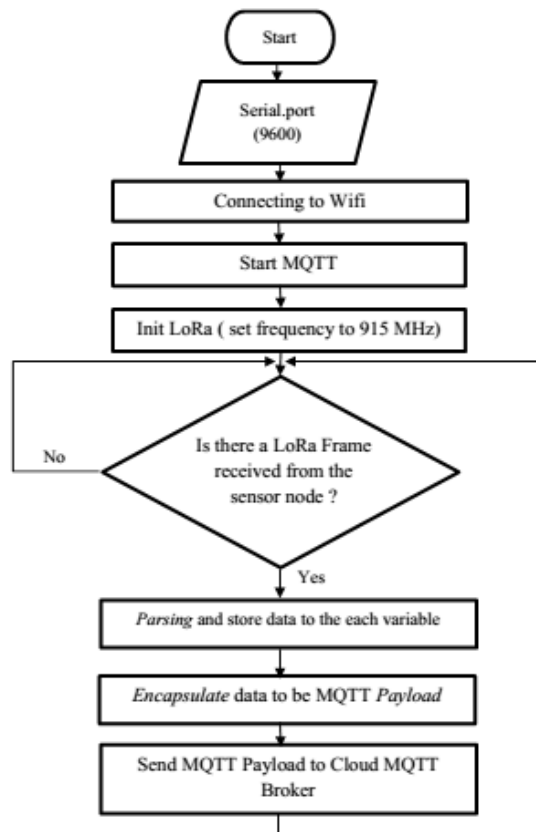
Sementara itu, penggunaan WLAN sebagai *backbone* didasarkan pada spesifikasi dan performanya yang mampu mengangkut data dengan *payload* yang besar. Selain itu, WLAN juga mempunyai *bandwidth* yang lebar, *data-rate* yang tinggi dan jarak jangkauan *wireless* yang cukup jauh. Namun, hal tersebut berimbas pada konsumsi energi yang cukup besar. *Heterogeneous wireless network* pada artikel ini didesain untuk mengkombinasikan jaringan dengan frekuensi 2,4 GHz pada WLAN dan jaringan dengan frekuensi 915 MHz pada LoRa yang mana kedua jaringan tersebut tidak saling kompatibel pada *radio channel*, *bandwidth*, skema modulasi dan *frame format*. Untuk mengkombinasikannya diperlukan perangkat *gateway* yang didesain sebagai *bridge*. *Gateway* terdiri dari perangkat *microcontroller* yang terhubung secara serial dengan LoRa Bee sebagai perangkat radio *transceiver* sekaligus sebagai LoRa koordinator. Modul *gateway* dapat dikonfigurasi agar mampu melakukan *mapping* dari format *frame* LoRa menjadi MQTT *topic*. Pesan di dalam *broker* dibedakan dan difilter menggunakan *topic* yang mana setiap pesan yang dikirimkan ke *broker* diberi *tag* atau penanda oleh *publisher* untuk membedakan setiap data [19].

MQTT merupakan jenis protokol *data-agnostic* yang mana data yang mampu dikirimkan tidak terbatas pada jenis data tertentu, namun semua jenis data dapat dikirimkan seperti data binary, text, XML maupun JSON [19]. MQTT bekerja di atas TCP/IP *stack* di level *application layer* pada standar sistem OSI [19]. Protokol ini menerapkan teknik kompresi data dan *data reduction* untuk melakukan efisiensi energi [19][20]. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 3 [20]. Protokol MQTT pada artikel ini diimplementasikan pada dua teknologi jaringan yaitu LoRa Networks dan IEEE 802.11. Gambar 2 merupakan penjelasan tentang urutan enkapsulasi data pada *Protocol Data Units* (PDU) yang berbeda. Sensor *nodes* yang menggunakan modul LoRa secara fisik terhubung dengan sensor melakukan enkapsulasi data pada *frame* LoRa. Semua data pada LoRa Network diteruskan ke LoRa koordinator yang terhubung dengan *gateway*. Modul *software* pada *gateway* yang tertanam pada NodeMCU akan melakukan *capture* dari LoRa *frame*, kemudian melakukan ekstraksi data sensor dari *payload* LoRa. Data sensor tersebut kemudian dienkapsulasi menjadi MQTT *Payload*. Sebelum dikirim menuju Cloud MQTT Broker, MQTT *Payload* di enkapsulasi menjadi TCP Segment. TCP Segment kemudian dienkapsulasi pada IP Datagram, selanjutnya dienkapsulasi lagi menjadi frame IEEE 802.11, setelah itu

data ditransmisikan melalui internet dan didekapsulasi oleh MQTT Broker untuk dilakukan penyimpanan data pada cloud database. Flowchart cara kerja gateway dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3. Teknik efisiensi energi pada OSI Layer



Gambar 4. Flowchart gateway

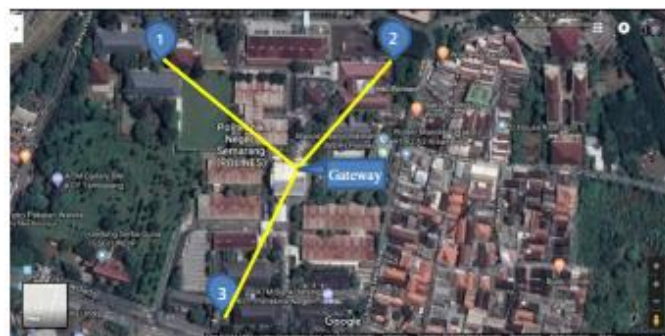
B. Metode Pengujian

Pada artikel ini, kami menggunakan metode pengujian dari [14] untuk menghitung packet data pada jaringan seluler publik LTE yang sebenarnya untuk menganalisis delay dan packet loss berdasarkan pada jumlah sensor dan node sensor yang dikirim dari gateway ke MQTT Broker. Pada penelitian ini, server dari Mydevices (cayenne.mydevices.com) kami gunakan sebagai Cloud MQTT Broker. Sementara itu, Wireshark kami gunakan untuk menangkap packet yang dikirimkan oleh MQTT pada QOS 0 melalui jaringan seluler publik LTE. Kami melakukan analisis pada packet loss dan delay dengan melakukan capture packet antara gateway dengan MQTT Broker selama lima menit. Delay dihitung

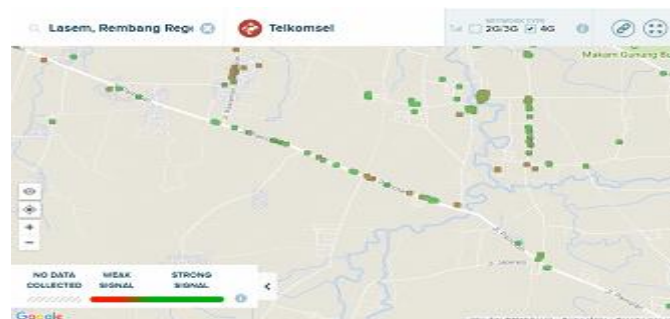
berdasarkan rata-rata nilai delay roundtrip antara gateway dan MQTT Broker. Delay roundtrip dapat dihitung menggunakan rumus (1).

$$D_n - D_{prop} = D_{proc} + D_q + D_{tr} \quad (1)$$

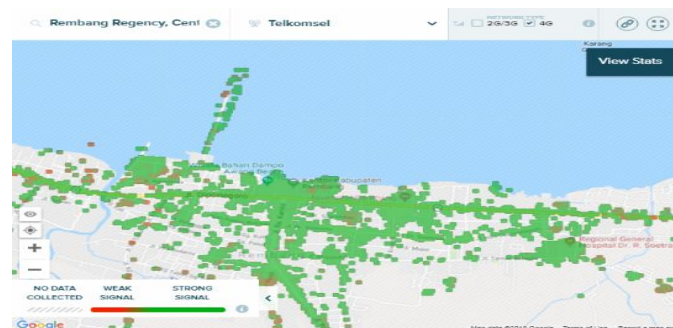
D_n merupakan delay node. D_{prop} adalah delay pada propagasi. Pada roundtrip delay, delay propagasi dihitung dua kali di sisi client. D_{proc} merupakan delay processing. Sementara D_q adalah delay queuing dan D_{tr} adalah delay transmission. Packet loss dihitung berdasarkan paket retransmission selama proses pengujian dalam jangka waktu 5 menit di setiap bagiannya [14]. Kami melakukan tiga kali pengulangan pengujian untuk tujuan validasi data. Kami melakukan analisis pada delay dan packet loss data yang dikirimkan dari gateway menuju MQTT Broker berdasarkan pembebanan jumlah sensor dan jumlah node sensor. Pada penelitian ini kami menggunakan tiga buah node sensor. Setiap node sensor terdiri dari lima buah sensor.



Gambar 5. Lokasi pengujian tanpa pengaruh *mobility*



Gambar 6. Lokasi pengujian daerah Rural dan 4G *networks coverage*



Gambar 7. Lokasi pengujian di daerah urban dan 4G *network coverage*

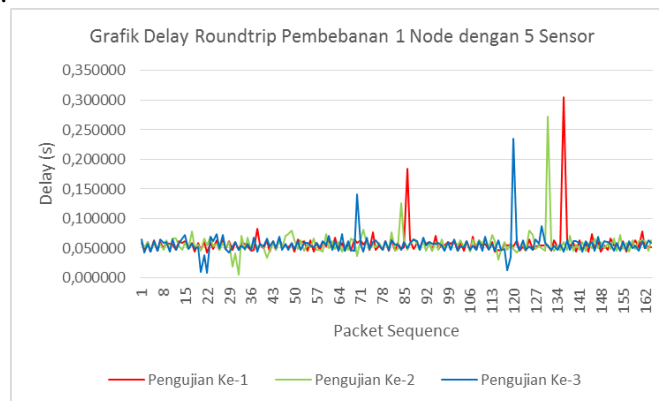
Pengujian pertama dilakukan di daerah Kampus Politeknik Negeri Semarang tanpa pengaruh user mobility. Denah pengujian dapat dilihat pada Gambar 5. Pengujian kedua kami lakukan di daerah

Rural Kabupaten Rembang dengan pengaruh user mobility. Denah lokasi dan network coverage dapat dilihat pada Gambar 6. Pengujian ketiga kami lakukan di daerah Urban Kabupaten Rembang dengan pengujian performa jaringan terhadap pengaruh user mobility. Denah lokasi dan network coverage dapat dilihat pada Gambar 7.

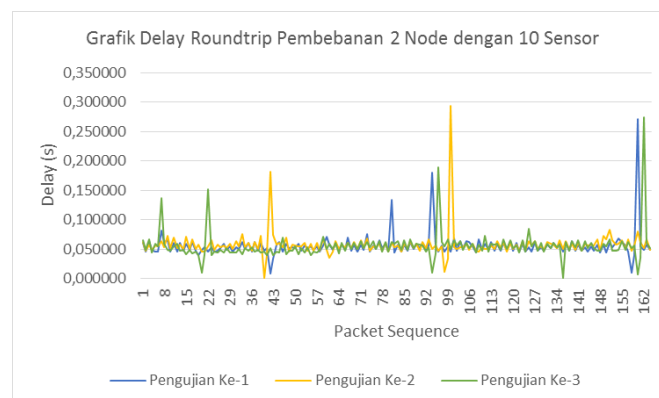
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengujian ini, *delay* dihitung berdasarkan nilai rata-rata *delay* dari paket yang telah dicapture menggunakan Wireshark selama lima menit pada jaringan seluler publik 4G/LTE. Pengujian dilakukan dengan menambah jumlah sensor dan jumlah *node* secara bertahap. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dengan pembebanan jaringan menggunakan sebuah *node* dengan jumlah sensor sebanyak lima buah, *delay* yang dihasilkan dari pengujian tersebut adalah 56,54830 ms. Grafik hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 8.

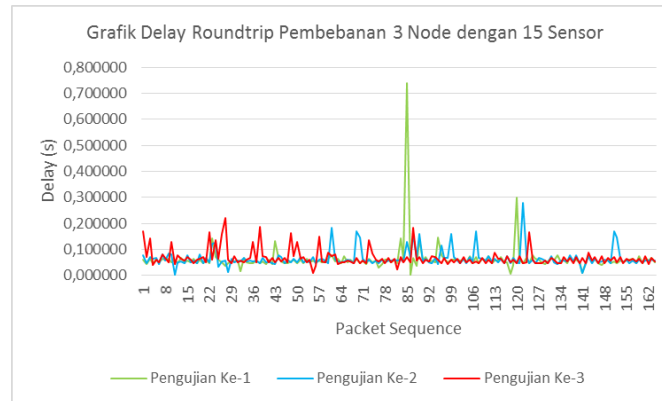
Pengujian selanjutnya dilakukan dengan menambah jumlah *node* menjadi dua buah. *Node* 1 dipasang dengan lima buah sensor, sementara itu *node* 2 dipasang satu hingga lima buah sensor yang dipasangkan secara bertahap. Pada pengujian pembebanan jaringan menggunakan sepuluh sensor atau pembebanan jaringan menggunakan dua *node* dengan pemasangan sensor dalam jumlah maksimal, *delay* yang dihasilkan dari percobaan tersebut adalah sebesar 55,56569 ms. Grafik hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 8. Grafik pengujian 1 *node*



Gambar 9. Grafik pengujian 2 *node*



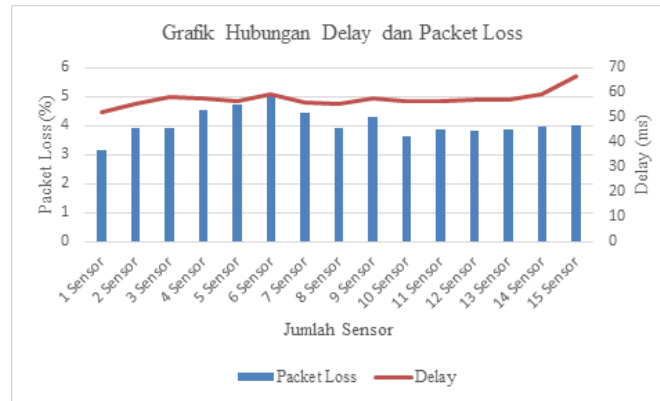
Gambar 10. Grafik pengujian 3 node

Percobaan dilanjutkan dengan melakukan pembebanan jaringan menggunakan tiga buah *node*. Pada pengujian performa jaringan menggunakan pembebanan lima belas sensor pada tiga buah *node* yang terhubung ke LoRa Gateway secara simultan, *delay* yang dihasilkan pada percobaan ini adalah sebesar 66,25176 ms. Grafik hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 10. Sementara rangkuman pengujian pembebanan setiap sensor dapat dilihat pada Tabel II dan Gambar 11. Berdasarkan hasil percobaan secara keseluruhan, pembebanan jaringan untuk mengukur *delay* pada jaringan sensor *wireless* menggunakan protokol MQTT, nilai *delay* mengalami kenaikan cukup signifikan dengan bertambahnya jumlah *node* dengan pembebanan jumlah sensor secara maksimal pada masing-masing *node*.

Hubungan pengaruh jumlah *node* dengan *delay* dapat dilihat berdasarkan pengujian dengan jumlah sensor lima, sepuluh dan lima belas yang mana menghasilkan *delay* secara berturut-turut sebesar 56,54830 ms, 56,56569 ms dan 66,25176 ms. Jumlah *delay* tersebut masih tergolong dalam kategori sangat bagus (<150 ms) dilihat dari standar yang dikeluarkan oleh *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI). Kenaikan nilai *delay* tersebut juga dipengaruhi oleh adanya kesalahan *framing* yang terjadi pada *frame* LoRa yang masuk maupun *retransmission packet* pada TCP/IP. Akibat adanya *retransmission packet* adalah selisih waktu pada paket data yang dikirim dengan paket ACK menjadi bertambah.

Kenaikan pembebanan jumlah sensor pada masing-masing *node* tidak menyebabkan kenaikan nilai *delay* secara signifikan karena jumlah *payload* yang dikirimkan ke *Cloud MQTT Broker* dari setiap sensor *node* adalah sama. Setiap data yang masuk dari masing-masing sensor *node* diproses secara bergantian. Namun sewaktu data sensor yang masuk ke LoRa Gateway datang pada waktu yang bersamaan, maka salah satunya akan dieliminasi, sehingga pada momen ini sering terjadi kesalahan pada *frame segment* yang berimbas pada bertambahnya nilai *delay*.

Pengujian *packet loss* merupakan satu-kesatuan dari pengujian *delay*. Nilai *packet loss* dihitung berdasarkan *packet* yang mengalami *retransmission*. Pada dasarnya penggunaan protokol MQTT untuk mengirimkan data tidak akan ada *packet loss* yang terhitung oleh Wireshark. Setiap hasil *capture* paket pada masing-masing pengujian yang telah dilakukan menunjukkan nilai *drop packet* sebesar 0%. Hal ini disebabkan karena *stack* TCP/IP yang digunakan oleh protokol MQTT.

Gambar 11. Rekapitulasi pengujian *delay* dan *packet loss*Tabel 2 Rekapitulasi data pengujian *delay* dan *packet loss* tanpa pengaruh *mobility*

Nama Node	Σ Sensor	Delay (ms)	Packet Loss (%)
Sensor Node 1	1 Sensor	52,23749	3,16323
	2 Sensor	55,39557	3,88731
	3 Sensor	58,34607	3,89932
	4 Sensor	57,42991	4,52144
	5 Sensor	56,54830	4,73018
Sensor Node 2	6 Sensor	58,99602	5,00234
	7 Sensor	56,05342	4,41061
	8 Sensor	55,14104	3,92277
	9 Sensor	57,66626	4,26826
	10 Sensor	56,56569	3,61575
Sensor Node 3	11 Sensor	56,66839	3,86250
	12 Sensor	56,71297	3,80743
	13 Sensor	57,16212	3,87787
	14 Sensor	59,23255	3,95307
	15 Sensor	66,25176	4,00128

TCP/IP bekerja dengan cara meminta paket yang gagal terkirim karena sebab tertentu seperti paket yang mengalami *expired* akibat habisnya *Time to Live*. Hal tersebut tentu saja akan berimbas pada bertambahnya nilai *delay*. Walaupun pada Wireshark tidak ada *drop packet* atau *packet loss* yang terdeteksi, namun demikian berdasarkan metode pengujian yang dilakukan oleh [14], *packet loss* dapat dihitung berdasarkan paket yang mengalami *retransmission* pada *layer* empat OSI.

Pembebanan jaringan menggunakan sebuah *node* dengan jumlah sensor maksimal atau sebanyak lima buah menghasilkan *packet loss* sebesar 4,73018%. Sementara untuk pembebanan menggunakan dua buah *node* dengan jumlah sensor sebanyak sepuluh buah menghasilkan *packet loss* sebesar 3,61575%. Terjadi penurunan persentase *packet loss* dari percobaan sebelumnya sebesar 1,11442%. Pada percobaan pembebanan jaringan menggunakan tiga buah *node* dengan jumlah sensor lima belas buah terjadi peningkatan kembali persentase *packet loss* sebesar 0,38553%. Persentase *packet loss* pada percobaan tersebut adalah sebesar 4,00128%.

Delay dan *packet loss* mempunyai hubungan berbanding lurus. Namun, penyebab terjadinya *packet loss* bukan hanya ditentukan oleh besarnya *delay*, namun ada faktor lain yang menyebabkan terjadinya *packet loss* seperti *congestion* dan *overload traffic*. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 11 yang mana dapat kita lihat bahwa kenaikan *delay* tidak selalu membuat nilai *packet loss* naik. Namun demikian, *delay* dan *packet loss* mempunyai korelasi yang cukup dekat [14].

4. KESIMPULAN

Berdasarkan semua eksperimen yang telah dilakukan menunjukkan bahwa performa jaringan Heterogeneous Wireless Network pada prototype sistem deteksi dini banjir dan monitoring kualitas air sungai mempunyai delay dalam kategori sangat bagus dan packet loss termasuk dalam kategori bagus berdasarkan standar ETSI. Kecepatan mobility pada node dan LoRa Gateway tidak memberikan pengaruh secara signifikan terhadap delay dan packet loss pada data yang dikirim menggunakan protokol MQTT QoS 0 melalui jaringan publik seluler Telkomsel

REFERENSI

- [1] R. Siahaan, A. Indrawan, D. Soedharma, and L. B. Prasetyo, "Kualitas Air Sungai Cisadane , Jawa Barat - Banten (Water Quality of Cisadane River , West Java - Banten) Water Quality Of Cisadane River, West Java-Banten," *J. Imliah Sains*, vol. 11, no. 9, p. 2, 2011.
- [2] Y. Sofia, Tontowi, and S. Rahayu, "Penelitian Pengolahan Air Sungai Yang Tercemar Oleh Bahan Organik," *J. Sumber Daya Air*, vol. 6, pp. 145–160, 2010.
- [3] Hariandja, "Tingkat Pencemaran Sungai Tinggi," www.mediaindonesia.com, 2017. .
- [4] Suripin, *Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air*. 2002.
- [5] H. Effendi, *Telaah Kualitas Air*. 2003.
- [6] W. Wardhana, *Dampak Pencemaran Lingkungan*. 2004.
- [7] BMKG, "Kondisi Cuaca Ekstrem dan Iklim Tahun 2010-2011," www.bmkg.go.id, 2010. .
- [8] H. Widhana, D, "Suramnya Mutu Air Sungai Indonesia," www.tirto.id, 2017. .
- [9] Q. Zhou and J. Zhang, "Internet of Things and Geography Review and Prospect," in *Proceedings - 2011 International Conference on Multimedia and Signal Processing, CMSP 2011, 2011*, vol. 2, pp. 47–51.
- [10] A. Delphinanto, B. A. G. Hillen, I. Passchier, B. H. A. Van Schoonhoven, and F. T. H. Den Hartog, "Remote Discovery and Management of End-User Devices in Heterogeneous Private Networks," in *6th IEEE Consumer Communications and Networking Conference, CCNC, 2009*, pp. 1–5.
- [11] O. Olvera-Irigoyen, A. Kortebi, L. Toutain, and D. Ros, "End-to-End Available Bandwidth Probing in Hybrid Home Networks," in *IEEE Workshop on Local and Metropolitan Area Networks, 2011*, pp. 431–435.
- [12] J. Petäjajarvi, K. Mikhaylov, M. Pettissalo, J. Janhunen, and J. Iinatti, "Performance of a Low-Power Wide-Area Network Based on LoRa Technology: Doppler Robustness, Scalability, and Coverage," *Int. J. Distrib. Sens. Networks*, vol. 13, no. 3, 2017.
- [13] A. Augustin, J. Yi, T. Clausen, and W. M. Townsley, "A Study of LoRa : Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things," *Sensors*, vol. 16, no. 9, pp. 1–18, 2016.
- [14] S. Lee, H. Kim, D. KweonHong, and H. Ju, "Correlation analysis of MQTT loss and delay according to QoS level," in *The International Conference on Information Networking 2013 (ICOIN), 2013*, pp. 714–717.
- [15] L. Dürkop, B. Czybik, and J. Jasperneite, "Performance evaluation of M2M protocols over cellular networks in a lab environment," in *2015 18th International Conference on Intelligence in Next Generation Networks, ICIN 2015, 2015*, pp. 70–75.
- [16] J. E. Luzuriaga, M. Perez, P. Boronat, J. C. Cano, C. Calafate, and P. Manzoni, "A comparative evaluation of AMQP and MQTT protocols over unstable and mobile networks," in *2015 12th Annual IEEE Consumer Communications and Networking Conference, CCNC 2015, 2015*, pp. 931–936.
- [17] J. Bauer and N. Aschenbruck, "Measuring and Adapting MQTT in Cellular Networks for Collaborative Smart Farming," in *2017 IEEE 42nd Conference on Local Computer Networks (LCN), 2017*, pp. 294–302.
- [18] A. Mishra, "Design and Deployment of MQTT Based HeTNeT Using IEEE 802 . 15 . 4 and IEEE 802 . 11 for Internet," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 4, no. November, pp. 2–12, 2017.
- [19] S. Pal, S. Ghosh, and S. Bhattacharya, "Study and Implementation of Environment Monitoring System Based on MQTT," *Environ. Earth Sci. Res. J.*, vol. 4, no. 1, pp. 23–28, 2017.
- [20] A. Ali, G. A. Shah, and J. Arshad, "Energy Efficient Techniques for M2M Communication: A survey," *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 68, pp. 42–55, 2016.