

Sistem Monitoring Dan Controlling Lampu Lalu Lintas Berbasis Wireless Sensor Network Menggunakan Lora

Gabril Hozanna 1¹⁾, Dahlia Nur 2²⁾, Kasim 3³⁾

¹ Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang
gabrielhozana97@gmail.com

² Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang
dahlia@poliupg.ac.id

³ Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang
kasim@poliupg.ac.id

Abstrak

Lampu lalu lintas berperan penting dalam mengendalikan arus lalu lintas. Berupa penanda kapan kendaraan diberikan ijin untuk berjalan dan berhenti. Lampu lalu lintas juga dapat menjadi salah satu faktor penyebab kemacetan, disebabkan karena pengaturan lama waktu lampu yang berganti. Penelitian ini dilakukan untuk menangani masalah lama waktu pergantian lampu lalu lintas dengan menggunakan LoRa. *Node* sensor PIR dengan transmisi LoRa berperan untuk mendeteksi kepadatan kendaraan, LoRa *gateway* sebagai *transceiver* dan *receiver* data dan menggunakan protokol MQTT untuk komunikasi WSN *node* ke server. Berdasarkan hasil penelitian dihasilkan perangkat untuk mengontrol pergantian lampu lalu lintas secara otomatis berdasarkan kepadatan kendaraan. *Delay* untuk nilai rata-rata dari jumlah keseluruhan *delay* pergantian lampu adalah 84.6 detik. Jarak jangkauan akan mempengaruhi performa pengiriman dan penerimaan data. Semakin jauh jangkauan pengiriman dan penerimaan data semakin kecil nilai RSSI dan SNR yang dihasilkan. Maksimal *packet* data yang dikirimkan dari *node* sensor ke LoRa *gateway* adalah 122 *byte* sedangkan untuk maksimal pengiriman *packet* data dari server ke *node* aktuator dalam hal ini prototipe lampu lalu lintas adalah 245 *byte*.

Keywords: *Wireless Sensor Network, LoRa, LoRa Gateway, Traffic Light.*

I. PENDAHULUAN

Lampu lalu lintas merupakan alat yang difungsikan dalam mengendalikan arus lalu lintas disuatu persimpangan jalan, tempat penyeberangan pejalan kaki dan tempat arus lalu lintas lainnya[1]. Lampu lalu lintas sebagai penanda kapan kendaraan diberikan ijin untuk bergerak dan berhenti. Namun lampu lalu lintas juga dapat menjadi salah satu faktor penyebab kemacetan, disebabkan karena pengaturan lama waktu lampu yang berganti. Contohnya di pertigaan antara Jatinegara menuju Martaman pengaturan waktu lampu merah mencapai 180 detik atau 3 menit sedangkan lampu hijau hanya 30 detik. Hal tersebut menyebabkan kemacetan panjang hingga 3 kilometer[2].

Pengaturan lama waktu lampu lalu lintas perlu disesuaikan dengan kondisi disekitar agar tidak menimbulkan terjadinya kemacetan. Terdapat dua jenis sistem dalam pengaturan lampu lalu lintas, yakni dengan sistem *Automatic Traffic Control System (ATCS)* sebagai sistem pengedali otomatis berbasis *network* dan *stand-alone* sebagai sistem pengendali disetiap lokasi lampu lalu lintas yang diatur oleh petugas secara terpisah[3]. Namun kedua sistem tersebut memiliki kendala seperti pada pembangunan sistem jaringan kabel yang rumit diterapkan pada sistem berbasis *network* dan sistem *stand-alone* dengan masalah pada pengaturannya yang harus datang ke lokasi[4]. Menggunakan jaringan nirkabel merupakan solusi yang tepat karena menggunakan gelombang radio untuk saling berkomunikasi dan pemasangan cukup mudah serta dapat menjangkau area geografis yang cukup luas.

Salah satu penerapan jaringan nirkabel adalah dengan menggunakan LoRa pada sistem lampu lalu lintas dengan memantau kemacetan berdasarkan pembacaan sensor disetiap jalur persimpangan jalan. Data dari hasil pembacaan sensor akan dikirimkan ke *gateway* dengan radius 15 kilometer[5]. Sedangkan penerapan lainnya melakukan kontrol otomatis dengan menghentikan lalu lintas di jalur lain di persimpangan jalan terhadap mobil *ambulance* yang akan melewati jalur lalu lintas tempat mobil *ambulance* akan lewat. Dengan menggunakan sensor deteksi suara untuk mendeteksi suara sirene mobil *ambulance* dan menggunakan kamera untuk memverifikasi apakah kendaraan tersebut merupakan mobil *ambulance* atau bukan[6]. Berdasarkan penerapan tersebut akan lebih efektif jika menggunakan LoRa sebagai sistem *monitoring* dan *controlling* pada lampu lalu lintas. LoRa juga memiliki keunggulan jangkauan komunikasi yang lebih luas.

Sehingga pada penelitian ini akan dirancang sebuah prototipe atau purwarupa sistem *monitoring* dan *controlling* lampu lalu lintas berbasis *wireless sensor network* menggunakan LoRa untuk menangani masalah lama waktu pergantian lampu lalu lintas. *Node* sensor dengan transmisi LoRa berperan untuk mendeteksi kepadatan kendaraan, LoRa *gateway* sebagai *transceiver* dan *receiver* data dan menggunakan protokol MQTT untuk komunikasi WSN *node* ke server. Selain lampu lalu lintas dapat dikontrol, dapat juga memantau kondisi lalu lintas secara *realtime*. Hal tersebut dapat meminimalisir dan mengontrol lampu

lalu lintas lebih cepat sehingga kendaraan dapat terhindar dari kemacetan.

II. KAJIAN LITERATUR

A. Lampu Lalu Lintas

Menurut UU no.22/2009 tentang Lalu lintas dan Angkutan Jalan: “Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas atau APILL adalah perangkat elektronik yang menggunakan lampu sebagai isyarat untuk mengatur arus lalu lintas orang dan/atau kendaraan di persimpangan atau pada ruas/jalan”. Pengaturan lampu lalu lintas bertujuan untuk mengendalikan pergerakan kelompok arus kendaraan agar dapat bergerak secara bergantian sehingga tidak saling mengganggu antar arus yang lain[7].

B. LoRa

Long Range (LoRa) adalah teknologi nirkabel yang menggunakan spektrum radio nirkabel dengan standar protokol komunikasi 802.15.4g yang mencakup jangkauan konektivitas jaringan area luas. LoRa *Physical Layer Protocol* bekerja pada pita frekuensi 433-, 868-, 915-, 923-MHz bergantung pada regulasi tiap negara[8]. LoRa bukan hanya *module* komunikasi saja tetapi LoRa juga merupakan perangkat yang berdaya rendah sehingga cocok untuk *throughput* yang rendah dan aplikasi IoT yang membutuhkan daya yang hemat.

LoRa *Alliance* mengembangkan sebuah arsitektur jaringan protokol yang dibangun diatas LoRa yang disebut dengan LoRaWAN. LoRaWAN memungkinkan perangkat yang dioperasikan dengan baterai seperti sensor untuk berkomunikasi pada *low-bit rate* dan dapat mencakup jangkauan yang jauh. Umumnya arsitektur jaringan LoRaWAN terdiri dari *node-node* dan *gateway* yang menghubungkan jaringan server dengan protokol seragam yang menyebarkan paket *routing* dari protokol *heterogeneous*[9].

C. Wireless Sensor Network (WSN)

Wireless Sensor Network adalah salah satu teknologi yang dapat mendukung sistem transmisi data berbasis *wireless* sehingga memudahkan dalam penerapannya[10]. *Wireless Sensor Network* merupakan sebuah *self-organizing* jaringan yang terdiri dari *node-node* yang melalui komunikasi nirkabel multi-hop. Umumnya *node-node* pada *Wireless Sensor Network* terdiri dari *node master* dan *node slave*. *Wireless Sensor Network* adalah kombinasi dari beberapa teknologi, teknologi ini saling bekerja sama secara efektif untuk melengkapi persepsi secara *realtime* dari informasi data, *monitoring*, akuisisi, analisis dan transmisi. Terdapat tiga elemen utama jaringan sensor yang meliputi sensor, objek penginderaan (*sense*), dan pengamat (*observers*)[11].

D. Protokol Komunikasi

Protokol komunikasi yang digunakan adalah protokol MQTT. Protokol *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) merupakan protokol yang dirancang untuk

komunikasi data *machine to machine* (M2M) yang berjalan diatas stack TCP/IP. Prinsip yang digunakan dari desain protokol MQTT adalah untuk meminimalkan bandwidth jaringan dan kebutuhan *resource* perangkat yang digunakan serta memastikan *reliability* dan jaminan pengiriman data[12]. Secara umum protokol MQTT terdiri dari *publish* dan *subscribe* (*pub/sub*), *topic*, *messages* dan broker.

E. Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan komputer kecil yang dikemas dalam bentuk *chip Integrated Circuit* (IC) dan dirancang untuk melakukan tugas atau operasi tertentu. Mikrokontroler yang digunakan adalah ESP8266 dengan *firmware* NodeMCU. NodeMCU merupakan *open-source firmware* berbasis LUA untuk ESP8266 WiFi *System on a Chip* (SoC) serta sebagai bahasa pemrogramannya dan pengembangan kit yang membantu untuk protipe produk Internet of Things (IoT)[13].

F. Sensor PIR

Sensor PIR adalah sensor yang dapat mendeteksi sebuah gerakan. Sensor PIR memiliki dua slot, masing-masing *slot* terbuat bahan khusus yang sensitif terhadap IR. Ketika sensor dalam keadaan *idle*, kedua slot mendeteksi jumlah IR yang sama, jumlah pancaran IR berdasarkan jumlah yang terpancar dari ruangan atau dinding atau di luar ruangan di sekitarnya. Ketika pancaran suhu hangat pada tubuh seperti manusia atau hewan yang lewat, pertamanya akan menangkap setengah dari sensor PIR yang menyebabkan perubahan diferensial positif antara kedua bagian. Saat pancaran suhu hangat pada tubuh menjauhi area deteksi sensor, sensor akan menghasilkan perubahan diferensial negatif. Perubahan pulsa berdasarkan apa yang terdeteksi[14].

Algoritma cerdas telah dikembangkan untuk menghitung secara akurat jumlah objek yang lewat dalam area fokus sensor PIR. Algoritma ini menggunakan dua variabel seperti variabel *flag* dan variabel *counter*. Awalnya, variabel *flag* diberikan *state* LOW atau status LOW. Ketika setiap objek memasuki area fokus sensor PIR, *state* LOW akan berganti ke *state* HIGH dan tetap pada *state* HIGH selama durasi tertentu sebelum kembali ke *state* LOW. Karena perubahan *state* sensor PIR dari LOW ke HIGH, nilai variabel *counter* dinaikkan satu dan segera *state* variabel *flag* diubah ke *state* HIGH. Algoritma ini mencegah perhitungan lebih dari satu kali untuk durasi yang dibutuhkan oleh objek untuk melintasi area cakupan sensor PIR. Setelah sensor menjadi LOW, *state* variabel *flag* diubah menjadi LOW dan menunggu objek berikutnya lewat. Secara matematis algoritma ini menghitung jumlah objek berdasarkan kenaikan dari variabel *counter* yang dapat dilihat pada persamaan (1)[15].

$$N_c \approx \text{round off} \left(\frac{TDHS}{ATC} \right) \quad (1)$$

$$ATC = \frac{d_p}{V_p} \quad (2)$$

Dimana *the time duration at HIGH* (TDHS) merupakan durasi waktu pada *state HIGH* sensor. *Average time of crossing* (ATC) merupakan area jangkauan sensor PIR oleh objek. Waktu rata-rata yang dibutuhkan objek untuk melintasi area jangkauan sensor PIR (*dp*) dengan kecepatan (*Vp*).

Untuk menghitung jumlah keseluruhan objek dari setiap sensor PIR maka diperoleh rumus sebagai berikut:

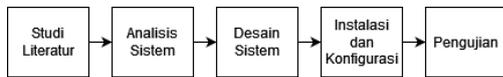
$$N_{total} = \sum N_c \quad (3)$$

G. Database

Database merupakan tempat penyimpanan data agar data dapat terorganisir. *Database* yang digunakan adalah InfluxDB. InfluxDB adalah *open source time series database* yang dirancang untuk menangani *high write* dan permintaan *query*[16]. Versi *open source* pada InfluxDB disebut TICK (Telegraf, InfluxDB, Chronograf, Kapacitor), versi tersebut mendukung penuh *time series database platform* dengan berbagai layanan termasuk *uxDC core* dan dapat berjalan di *cloud*[17]. InfluxDB menggunakan TCP, HTTP dan UDP untuk menyimpan informasi.

III. METODE PENELITIAN

Prosedur penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Prosedur Penelitian

A. Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan dalam metode penelitian ini dengan membaca dokumentasi, serta mempelajari literatur ilmiah berupa jurnal atau dokumentasi lainnya.

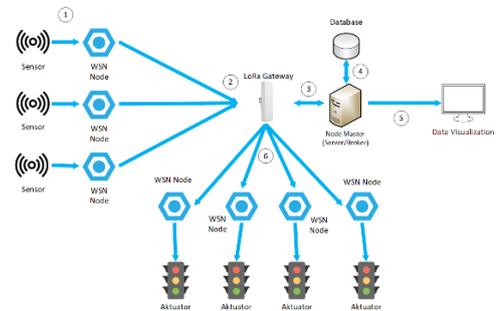
B. Analisis Sistem

Sistem *controlling* lampu lalu lintas berbasis *Wireless Sensor Network* (WSN) menggunakan LoRa yang merupakan komunikasi jaringan *wireless* yang dirancang menggunakan modul *transceiver long range* LoRa HopeRF RFM95W 915 Mhz pada setiap *node* sensor, dilengkapi dengan sensor PIR untuk mendeteksi kepadatan kendaraan dengan *controller* ESP8266 pada *node* untuk pengiriman data. *Transceiver* dan *Receiver* data menggunakan LoRa Gateway OLG01-N dan PC sebagai *node master* dalam hal ini sebagai server atau broker untuk memproses data yang diterima serta meneruskan hasil data yang telah diproses ke *database* dan *node* aktuator. Selanjutnya menggunakan modul *receiver long range* LoRa HopeRF RFM95W 915 Mhz disetiap sistem pada *node* lampu lalu lintas (aktuator) untuk melakukan *controlling* lampu lalu lintas.

C. Desain Sistem

Pada Gambar 2 diperlihatkan secara umum desain sistem yang terdiri dari beberapa WSN *node* yang berperan sebagai I/O dan *node Master* yang berperan untuk memproses data baik itu dari atau ke WSN *node*. Dimana sensor PIR akan mendeteksi kepadatan kendaraan pada tiap

persimpangan dan data yang diterima akan diteruskan ke *gateway* menggunakan *module* transmisi LoRa HopeRF RFM95W 915 Mhz. *Gateway* akan meneruskan data ke *node master* (server/broker). *Node master* akan memproses data yang diterima dari *node* sensor. Data yang telah diproses akan disimpan kedalam *database* sekaligus melakukan visualisasi data dan akan mengirimkan perintah aksi ke WSN *node* lampu lalu lintas (aktuator) untuk *controlling* lampu lalu lintas.

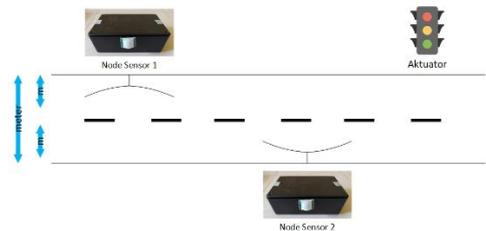


Gambar 2. Desain Sistem

Dari Gambar 2 dapat dijelaskan beberapa proses atau prinsip kerja yang akan diimplementasikan.

1) Prinsip Kerja Node Sensor

Dalam pengambilan data kepadatan kendaraan disetiap persimpangan jalan, masing-masing menggunakan dua buah sensor yang ditaruh disetiap pinggir jalan. Kedua buah sensor tersebut akan diatur jarak maksimal yang dapat mendeteksi sebuah objek berdasarkan panjang ruas jalan. Sensor 1 akan ditaruh paling awal disebelah kiri jalan untuk mendeteksi objek yang bergerak disebelah kiri jalan dan sensor 2 akan ditaruh disebelah kanan jalan untuk mendeteksi objek yang bergerak disebelah kanan jalan yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Prinsip Kerja Node Sensor

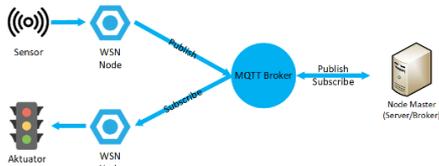
2) Proses Komunikasi

Untuk proses komunikasi menggunakan *protocol* MQTT. Protokol ini digunakan sebagai jembatan untuk proses komunikasi dalam hal *transceiver* dan *receiver* data yang dapat dilihat pada Gambar 4.

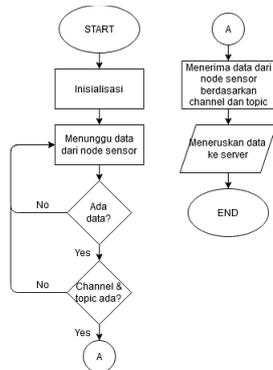
3) Proses Data di Gateway

Terdapat dua proses yang dilakukan di *gateway*, yakni proses menerima data dari *node* sensor dan proses mengirim data ke aktuator. Pada proses penerimaan data, *gateway* akan menunggu data dari *node* sensor, *node* sensor akan mengirimkan data ke *gateway* dengan format spesifik (*payload*). *Payload* berisi *value* data dan *node* id atau id *channel gateway*. *Gateway* akan menerima data dan mencocokkan *payload* dari id *channel* yang tersedia pada

gateway. Setelah mendapatkan *payload* yang sesuai, menggunakan protokol MQTT untuk melakukan *publish* data ke broker. Proses penerimaan data di *gateway* dapat dilihat pada Gambar 5.

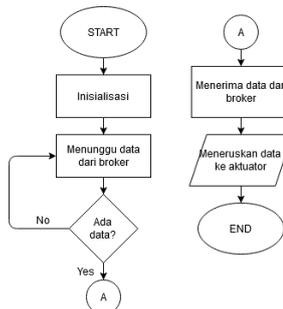


Gambar 4. Proses Komunikasi



Gambar 5. Penerimaan Data di Gateway

Pada proses mengirim data dari broker ke *node* aktuator. Gateway akan *subscribe* sebuah *topic* dari broker. Gateway akan menunggu data dari broker dan ketika gateway mendapatkan data dari broker maka gateway akan melakukan *broadcast* ke jaringan LoRa dalam hal ini mengirim data yang diterima ke *node* aktuator. Proses pengiriman data di gateway dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengiriman Data di Gateway

4) Proses Manajemen Data

Proses manajemen data terbagi menjadi dua yakni manajemen data pada saat melakukan *transceiver* dan melakukan *receiver*. Pada proses *transceiver*, data akan dikirim tiap 60 detik dari hasil deteksi sensor dan disimpan pada *database* InfluxDB. Pada proses *receiver*, data akan diterima dari *Node Master* dan akan membaca data yang diterima jika *delay* yang diberikan 66 detik telah selesai sehingga dapat memberikan aksi ke lampu lalu lintas.

D. Implementasi Sistem

Pada tahapan ini dilakukan implementasi sistem dimulai dari pengadaan kebutuhan perangkat, instalasi dan

konfigurasi sistem serta melakukan *deploy service* yang akan diimplementasikan pada sistem.

E. Pengujian

Pada tahapan ini dilakukan pengujian terhadap sistem yang dibangun. Pengujian terdiri dari pengujian *controlling* lampu lalu lintas yang berupa prototipe, pengujian lama waktu pergantian lampu lalu lintas, pengujian performa LoRa dalam hal jarak jangkauan penerimaan data dan pengujian *packet* data.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan perancangan yang telah dibuat, maka telah dilakukan implementasi dan pengujian sistem untuk mengetahui tingkat keberhasilan sistem.

A. Implementasi

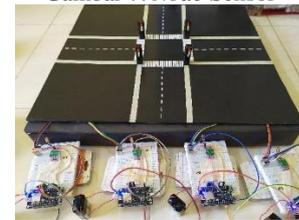
Implementasi dilakukan terdiri dari dua bagian, yaitu implementasi perangkat keras dan implementasi perangkat lunak.

1) Implementasi Perangkat Keras

Meliputi perangkat *node* sensor dan *node* aktuator yang dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7. Node Sensor



Gambar 8. Node Aktuator

Masing-masing pada *node* sensor dan *node* aktuator terdiri dari NodeMCU ESP8266 yang ditambahkan dengan transmisi HopeRF RFM95W 915 Mhz.

2) Implementasi Perangkat Lunak

Gambar 9 merupakan halaman visualisasi data yang bertujuan untuk *monitoring* kepadatan kendaraan di tiap ruas persimpangan jalan.

B. Pengujian

1) Controlling Lampu Lalu Lintas

Pengujian ini dilakukan untuk melihat keberhasilan pergantian lampu lalu lintas berdasarkan data yang diterima. Pada Tabel 1 merupakan hasil pengujian *controlling* lampu lalu lintas pada node aktuator. *Node* aktif akan diberikan nilai 1 dan 0 untuk node tidak aktif.

2) Lama Waktu Pergantian Lampu Lalu Lintas

Pada Tabel 2 merupakan hasil pengujian untuk melihat jumlah lama waktu pergantian lampu lalu lintas dan rata-

rata lama waktu pergantian lampu lalu lintas. Dilakukan pengujian sebanyak 10 kali untuk melihat lama waktu pergantian lampu lalu lintas. Dari hasil pengujian, lama waktu pergantian setiap LED dilakukan akumulasi untuk mengetahui jumlah *delay* yang terjadi disetiap pengujian. Dari pengujian sebanyak 10 kali tersebut akan dihitung nilai rata-rata dari jumlah *delay* yang dihasilkan dari 10 kali pengujian.



Gambar 9. Halaman Visualisasi Data

Tabel 1. Pengujian Controlling Lampu Lalu Lintas

Kepadatan Terbesar	Node Aktif				Hasil Pengujian
	Node 1	Node 2	Node 3	Node 4	
Node 1	1	0	0	0	Berhasil
Node 3	0	1	0	0	Berhasil
Node 3	0	0	1	0	Berhasil
Node 1	1	0	0	0	Berhasil
Node 3	1	0	0	0	Gagal
Node 4	0	0	1	0	Gagal
Node 2	0	0	1	0	Berhasil
Node 2	0	1	0	0	Berhasil
Node 4	0	0	0	1	Berhasil
Node 3	0	0	1	0	Berhasil

Tabel 2. Lama Waktu Pergantian Lampu Lalu Lintas

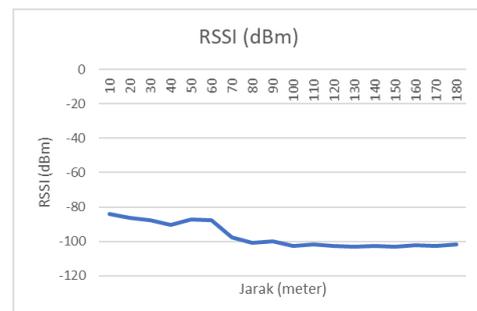
Pengujian Ke-	Jumlah <i>Delay</i> (detik)
1	76
2	115
3	80
4	76
5	85
6	76
7	98
8	94
9	80
10	66
Rata-rata	84.6

3) Pengujian Performa LoRa dalam hal Jarak Jangkauan Penerimaan Data

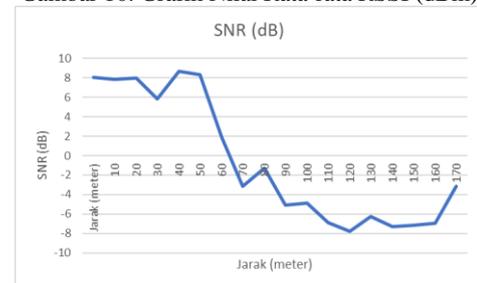
Pada Tabel 3 menunjukkan nilai rata-rata hasil performa LoRa dalam hal jarak jangkauan penerimaan data. Pengujian yang dilakukan dengan mengukur performa penerimaan data pada LoRa tanpa penghalang. Dilakukan sebanyak 10 kali percobaan dengan interval jarak 10 meter dan menggunakan *serial monitor* arduino dan *linux console* dari LoRa *Gateway* untuk melihat nilai RSSI dan SNR *node* sensor.

Tabel 3. Hasil Pengujian Performa LoRa dalam hal Jarak Jangkauan Penerimaan Data

Jarak (meter)	RSSI (dBm)	SNR (dB)
10	-84	8.05
20	-86.3	7.825
30	-87.6	7.975
40	-90.4	5.85
50	-87.3	8.7
60	-87.8	8.3
70	-97.7	1.875
80	-100.9	-3.125
90	-100.1	-1.275
100	-102.5	-5.075
110	-102	-4.875
120	-102.6	-6.875
130	-103.1	-7.75
140	-102.7	-6.225
150	-103.1	-7.325
160	-102.1	-7.125
170	-102.6	-6.975
180	-101.6	-3.175



Gambar 10. Grafik Nilai Rata-rata RSSI (dBm)



Gambar 11. Grafik Nilai Rata-rata SNR (dB)

4) Pengujian *Packet* Data

Pada Tabel 4 merupakan hasil pengujian *packet* data. Pengujian yang dilakukan dengan menguji pengiriman data dengan interval 50 *byte*. Setiap interval 50 *byte* dilakukan pengujian sebanyak 10 kali untuk melihat data yang dikirim dapat diterima. Pengujian terbagi menjadi tiga bagian,

yakni pengujian pada pengiriman data transmisi ke LoRa gateway, pengujian pengiriman data dari broker ke LoRa gateway dan pengujian pengiriman data dari transmisi ke transmisi atau LoRa gateway ke node aktuator.

Tabel 4. Hasil Pengujian Packet Data

No	Klasifikasi	Packet Size (byte)												
		50	100	122	123	150	200	245	246	250	300	348	349	350
1	Transmisi - LoRa Gateway (Node - Broker)	■	■	■										
2	Broker - LoRa Gateway	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
3	Transmisi - Transmisi - LoRa Gateway (Aktuator)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian pada penelitian ini, maka didapatkan kesimpulan.

- 1) Mengontrol lampu lalu lintas berbasis *Wireless Sensor Network* menggunakan LoRa telah berhasil diterapkan. Dimana telah dilakukan pengujian untuk mengontrol pergantian lampu lalu lintas secara otomatis berdasarkan kepadatan kendaraan.
- 2) Dari hasil pengujian diperoleh *delay* untuk nilai rata-rata dari LED orange yang aktif adalah 18.6 detik dan rata-rata dari jumlah keseluruhan *delay* berdasarkan 10 kali pengujian adalah 84.6 detik.
- 3) Jarak jangkauan akan mempengaruhi performa pengiriman dan penerimaan data. Semakin jauh jangkauan pengiriman dan penerimaan data semakin kecil nilai RSSI dan SNR yang dihasilkan.
- 4) Untuk menghindari terjadinya *error* pada saat pengiriman *packet* data dari *node* sensor ke LoRa gateway sebaiknya maksimal *packet* data yang dikirimkan adalah 122 *byte* sedangkan untuk maksimal pengiriman *packet* data dari server ke *node* aktuator dalam hal ini prototipe lampu lalu lintas adalah 245 *byte*.

REFERENSI

- [1] Ghazal, B., Elkhatib, K., Chahine, K., & Kherfan, M. (2016). Smart traffic light control system. *2016 3rd International Conference on Electrical, Electronics, Computer Engineering and Their Applications, EECEA 2016, October 2017*, 140–145. <https://doi.org/10.1109/EECEA.2016.7470780>.
- [2] Kompas. (2019). Lampu Merah 180 Detik Sebabkan Kemacetan Matraman Raya. Diakses 15 Februari 2021, Kompas: <https://megapolitan.kompas.com/read/2019/03/11/21170611/lampu-merah-180-detik-sebabkan-kemacetan-mengular-di-jalan-matraman-raya>.
- [3] On, T. M., Mardjoko, P. B., & Martanto, N. (2007). Sistem Pengaturan Lampu Lalu Lintas Secara Sentral Dari Jarak Jauh. *TESLA Jurnal Teknik Elektro UNTAR*, 9(2), PP. 71-78.
- [4] Andri, A. (2017). Sistem Pengatur Traffic Light Menggunakan Gelombang Radio Berbasis

- Mikrokontroler. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, 1(1).
- [5] Nor, R. F. A. M., Zaman, F. H. K., & Mubdi, S. (2017). Smart traffic light for congestion monitoring using LoRaWAN. *2017 IEEE 8th Control and System Graduate Research Colloquium, ICSGRC 2017 - Proceedings, August*, 132–137. <https://doi.org/10.1109/ICSGRC.2017.8070582>.
 - [6] N, D., K, D., & Badage, A. (2019). *IoT Based Automated Traffic Light Control System For Emergency Vehicles Using LoRa*. 6(1), 23–29. <https://doi.org/10.31219/osf.io/93wrt>.
 - [7] Ridwan, M., Notosudjono, D., & Wismiana, E. (2009). *RANCANG BANGUN MINIATUR TRAFFIC LIGHT EMPAT SIMPANG BERBASIS PLC OMRON CPMIA 40CDR AV1 Oleh* : 1–10.
 - [8] LoRa Alliance, (n.d). LoRa Alliance. Diakses 17 Juni 2020. LoRa Alliance: <https://lora-alliance.org>.
 - [9] Hanaffi, H., Mohamad, R., Suliman, S. I., Kassim, M., Anas, N. M., & Bakar, A. Z. A. (2020). Single-Channel LoRaWAN Gateway for Remote Indoor Monitoring System: An Experimental. *2020 8th International Electrical Engineering Congress, IEECON 2020, 2–5*. <https://doi.org/10.1109/IEECON48109.2020.229479>.
 - [10] Aroebesman, F. N., Ichsan, M. H. H., & Pramananda, R. (2019). Analisis Kinerja LoRa SX1278 Menggunakan Topologi Star Berdasarkan. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 3(4), 3860–3865.
 - [11] Li, Y. (2020). Research on Badminton Sports System Based on Wireless Sensor Network. *Journal of Physics: Conference Series*, 1550, 32029. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1550/3/032029>.
 - [12] MQTT, (n.d). FAQ. Diakses 21 Juni 2020, MQTT: <https://mqtt.org/faq/>
 - [13] Hakim, D., Budijanto, A., & Widjanarko, B. (2019). Sistem Monitoring Penggunaan Air PDAM pada Rumah Tangga Menggunakan Mikrokontroler NODEMCU Berbasis Smartphone ANDROID. *Jurnal IPTEK*, 22, 9–18. <https://doi.org/10.31284/j.iptek.2018.v22i2.259>
 - [14] Ada, Lady. (2020). Adafruit Learning System: PIR Motion Sensor. *Adafruit Learning System*, 1–28. <https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/pir-passive-infrared-proximity-motion-sensor.pdf?timestamp=1585441256>.
 - [15] Akhter, F., Khadivizand, S., Siddiquei, H. R., Alahi, M. E. E., & Mukhopadhyay, S. (2019). Iot enabled intelligent sensor node for smart city: Pedestrian counting and ambient monitoring. *Sensors (Switzerland)*, 19(15). <https://doi.org/10.3390/s19153374>
 - [16] InfluxData. (2020). Time series platform. Diakses 23 Juni 2020 InfluxData: <https://www.influxdata.com/time-series-platform/>
 - [17] Noor, S., Naqvi, Z., Yfantidou, S., & Zi, E. (2017). *Universi e libre de Bruxelles Advanced Databases Time Series Databases and InfluxDB*. 000455274. http://cs.ulb.ac.be/public/_media/teaching/influxdb_2017.pdf