

RANCANG BANGUN SMART LIGHTING DAN MONITORING KONDISI LAMPU JALAN BERBASIS WIRELESS SENSOR NETWORK MENGGUNAKAN LORA

DESIGN OF SMART LIGHTING AND MONITORING CONDITION OF ROAD LIGHTS BASED ON WIRELESS SENSOR NETWORK USING LORA

Dimas Surya Putra¹, Nyoman Bogi A.K, S.T., MSEE², Ratna Mayasari, S.T, M.T.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹dimassputra@student.telkomuniversity.ac.id, ²aditya@telkomuniversity.co.id,

³ratnamayasari@telkomuniversity.co.id

Abstrak

Lampu merupakan hal yang penting untuk penerangan jalan di malam hari. banyaknya kecelakaan lalu lintas bahkan kejahatan seperti pembegalan yang dikarenakan rusaknya penerangan jalan. Tersedianya aplikasi untuk melaporkan lampu jalan yang rusak masih kurang efisien. Pada saat ini juga penggunaan lampu jalan di malam hari sangat banyak mengkonsumsi daya listrik. Untuk mengatasi masalah tersebut, diperlukan adanya pemantauan kondisi lampu jalan secara realtime dan menggunakan pengaturan intensitas cahaya agar konsumsi daya lebih efisien.

Dalam penelitian ini didesain suatu lampu jalan yang berbasis Smart Lighting dan website sebagai monitoring kondisi lampu jalan secara realtime. Cara kerja sistem ini diawali dengan sensor Light Dependent Resistor (LDR) mendeteksi intensitas cahaya untuk menandakan kapan lampu menyala atau tidak, kemudian sensor Microwave akan mendeteksi adanya pergerakan atau tidak pada objek. Selanjutnya data akan diproses oleh arduino dan hasil data tersebut akan dikirimkan melalui LoRa. Data yang diterima berupa konsumsi energi listrik pada lampu yang akan di tampilkan pada Website. Jika lampu tidak mengirimkan data, maka diasumsikan lampu tersebut rusak, saat itu juga akan dikirimkan sebuah notifikasi ke email untuk memudahkan proses monitoring lampu jalan yang rusak.

Dengan Sistem ini, Penggunaan Lampu jalan menjadi lebih efisien karena lampu menyala terang 48% dari 12 jam bekerja dan user dengan mudah untuk memonitoring lampu jalan yang rusak secara langsung menggunakan jaringan internet.

Kata kunci: LDR, LoRa, Sensor Microwave, Smart Lighting

Abstract

Lights are important for street lighting at night. The damaged of the street light caused the number of the traffic accidents and the traffic crimes increased. The facilities of applications to report the street light damaged are still inefficient. In the other side, the use of street light at night makes a lot of waste on electric power. To solve this problem, it is necessary to monitor the condition of street lights at a real time and use an effective and efficient light setting to make the power use are efficiently controlled.

In this research, the researcher designed and developed a street light with smart lighting and web browser basis to monitor the conditions of the traffic street light at a real time. The system works begins with the Light Dependent Resistor (LDR) that detect the environmental light as an indicator to make the street light on, then the ultrasonic censor and PIR will detect the existence of object movement. Furthermore, the data will be processed by Arduino and the results of the data processed will be sent by using LoRa. Data will be received and displayed on the web browser.

The research result revealed that by using this system, the used of the street lights decrease to 48% from 12 works hour and it becomes more efficient compared with before. Another advantage is the user can monitor the damaged of the street lights without a hitch directly by using the internet.

Keywords: Smart Lighting, Sensor Ultrasonik, LDR, LoRa.

1. Pendahuluan

Pengadaan lampu di jalan raya sangatlah penting, terlebih lagi pada saat malam hari. kecelakaan lalu lintas sering terjadi karena beberapa faktor. Salah satunya karena jalan yang terlalu gelap. [1] Selain kecelakaan, kasus kejahatan juga banyak terjadi pada saat minimnya penerangan jalan. Kejahatan yang sering kita dengar saat ini adalah pembegalan. Seperti pada kasus pembegalan yang terjadi di Jalan Radio, Kampung/Desa Citeureup, Kecamatan Dayeuhkolot, Kabupaten Bandung, yang mengakibatkan meninggalnya mahasiswa Telkom University. [2] Banyak sekali penerangan jalan yang rusak dan tak kunjung diperbaiki. Adanya aplikasi untuk melaporkan permasalahan lampu jalan menjadi solusi pemerintah saat ini. Tetapi rupanya masih kurang efisien pada aplikasi tersebut. Karena pemerintah harus menunggu masyarakat yang lebih peka terhadap permasalahan lampu jalan yang rusak.

Berdasarkan permasalahan di atas dan semakin berkembangnya teknologi *Internet of Things* (IoT) yang semakin pesat, diperlukan suatu media yang dapat memonitoring keadaan lampu jalan yang lebih efisien. Melihat dari penerapan konsep *Smart City*, Seperti *Smart Environment*, *Smart Grid*, *Smart Building*, *Smart Home*, *Smart Lighting* dan sebagainya. [3] Penulis ingin menerapkan konsep *Smart lighting* pada sistem monitoring keadaan lampu jalan. Sistem ini menggunakan *Long Range* (LoRa) yang berfungsi sebagai *Tranceiver*. Selain itu, konsep *Smart lighting* ini terdapat sistem otomatis pada lampu jalan. Dengan menggunakan sensor *Microwave*, lampu

jalan akan redup jika tidak ada objek yang melewatinya. Kondisi ini bertujuan untuk penghematan daya listrik, Mengingat konsumsi daya listrik di negeri ini yang sangat tinggi. Sistem ini menggunakan *web browsing* sebagai *interface* dengan pengguna.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Smart Lighting

Smart lighting adalah suatu manajemen pencahayaan yang terintegrasi dengan berbagai sensor dan kontrol teknologi, Bersama dengan informasi dan komunikasi teknologi dengan tujuan mencapai efisiensi yang lebih tinggi dan dampak negatif yang lebih rendah dari penggunaan energi untuk penerangan, dalam kombinasi dengan peningkatan kecerdasan fungsionalitas dan *interface* pencahayaan di publik. [4] *Smart lighting* terdiri dari integrasi kecerdasan fungsional dan antarmuka di empat tingkat yang saling melengkapi yaitu sebagai berikut:

1. *embedded level* adalah tingkat integrasi ada pada mesin atau sumber lampu penerangan. [4]
2. *System Level* adalah tingkat integrasi ada pada sistem pencahayaan. [4]
3. *Grid Level* adalah manajemen dan pemantauan sumber energi dan distribusi energi. [4]
4. *Communication and Sensing Level* adalah solusi pencahayaan lengkap dengan pemantauan, kontrol, dan manajemen aplikasi. [4]

2.2 Wireless Sensor Network

Wireless Sensor Network adalah bagian dari aplikasi jaringan nirkabel yang focus terhadap konektivitas tanpa kabel untuk terhubung ke sensor dan aktuator. *Wireless Sensor Network* ini di desain untuk mengumpulkan informasi dari sensor nirkabel dan mengirimkan perintah kontrol ke aktuator yang terhubung ke jaringan nirkabel. *Wireless Sensor Network* melakukan pemantauan dan pengendalian lingkungan fisik pada suatu lokasi dengan akurasi yang lebih baik. [5] WSN memiliki aplikasi dalam berbagai bidang seperti pemantauan lingkungan, tujuan militer dan pengumpulan informasi penginderaan di lokasi sulit dijangkau. WSN juga sudah digunakan dalam bidang industri dan penggunaan untuk kemudahan masyarakat sipil, melingkupi pengawasan dan pengontrolan dalam proses perindustrian, pemantau kondisi lingkungan, aplikasi untuk kesehatan, pengaturan lalu lintas, dan sebagainya. WSN umumnya digunakan untuk monitoring, *tracking* dan *controlling*. [6]

2.3 LoRa (Long Range)

LoRa (*Long Range*) merupakan teknik modulasi *spread spectrum* yang berasal dari teknologi *chirp spread spectrum* (CSS). LoRa juga bisa disebut sebagai *platform* nirkabel berdaya panjang jarak jauh yang telah menjadi teknologi untuk jaringan *Internet of Things* (IoT) di seluruh dunia. [7] Pada bidang IoT, LoRa digunakan untuk komunikasi M2M (*Machine To Machine*). Dengan adanya LoRa, sensor-sensor dapat berinteraksi langsung dengan manusia atau mesin dimana saja dan kapan saja. LoRa mempunyai fitur *Geolocation* yang berfungsi untuk mendeteksi keberadaan suatu benda tanpa biaya. selain itu, LoRa mengkonsumsi daya yang rendah. Konsumsi daya yang dibutuhkan hanya berkisar 13Ma hingga 15Ma. Sehingga baterai dapat bertahan dari 10 hingga 20 tahun. Satu unit LoRa dapat memancarkan sinyal hingga 100km. penggunaan LoRa terbilang aman karena sudah tertanam end-to-end Enkripsi AES128. [8]

2.4 Sensor LDR, Ultrasonik dan PIR

Light Dependent Resistor (LDR) adalah komponen yang hambatannya berubah-ubah tergantung cahaya yang diterima di permukaannya. LDR sering disebut sebagai sensor yang peka terhadap cahaya. Pada sistem, sensor LDR berfungsi sebagai saklar dari lampu jalan. Saat sensor LDR menerima cahaya dari luar maka lampu jalan akan berada pada kondisi OFF. Begitu juga sebaliknya. [9]

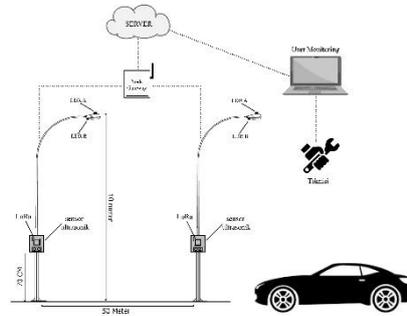
Sensor ultrasonik adalah sensor yang bekerja berdasarkan prinsip pantulan gelombang suara dan digunakan untuk mendeteksi keberadaan suatu objek atau benda tertentu di depan frekuensi kerja pada daerah diatas gelombang suara dari 20 kHz hingga 2 MHz. [9] Pada sistem ini sensor ultrasonik berfungsi untuk mendeteksi objek yang akan melewati lampu jalan.

Sensor PIR merupakan sebuah sensor berbasis *infrared*. [9] Pada sistem ini PIR berfungsi sebagai pendeteksi penyebrang jalan yang melewati lampu.

3 Perancangan Sistem

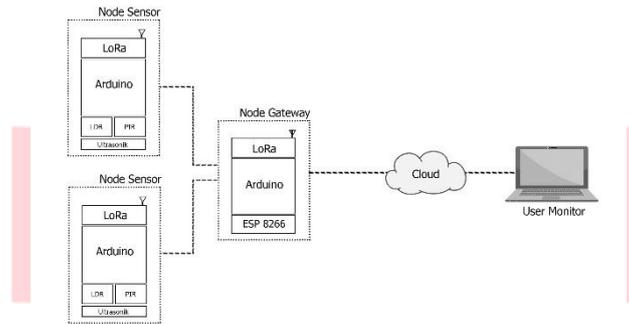
3.1 Desain Sistem

Smart Lighting dan *monitoring* lampu jalan yang rusak di aplikasikan seperti pada gambar 3.1. Sistem ini akan di tempatkan pada jalan Soekarno Hatta Bandung dengan lebar jalan 6 meter dengan kecepatan mobil rata-rata 20-30 km/h. Pada sistem lampu jalan, jarak antar lampu yaitu 50 meter dengan tinggi lampu 10 meter. Sensor ultrasonic, pir, dan LoRa akan diletakkan pada tiang lampu dengan jarak 70cm dari tanah. Sedangkan sensor ldr A dan B di letakan dekat dengan lampu. Metode yang digunakan pada sistem ini adalah *Wireless Sensor Network* (WSN) yang terdiri dari perangkat *gateway* dan sensor node. Pada saat malam hari lampu akan menyala redup dan pada saat mobil melewati sensor Ultrasonik atau sensor pir yang mendeteksi adanya pergerakan manusia lampu jalan akan menyala dengan terang. Ldr B akan menganalisa keadaan lampu kemudian data tersebut dikirimkan ke server dan akan terlihat pada sistem *monitoring*. Pada sistem *monitoring* lampu jalan yang rusak akan dirancang sebuah *website*. Admin akan memberitahu kepada teknisi jika ada lampu jalan yang rusak.



Gambar 1 Desain Sistem.

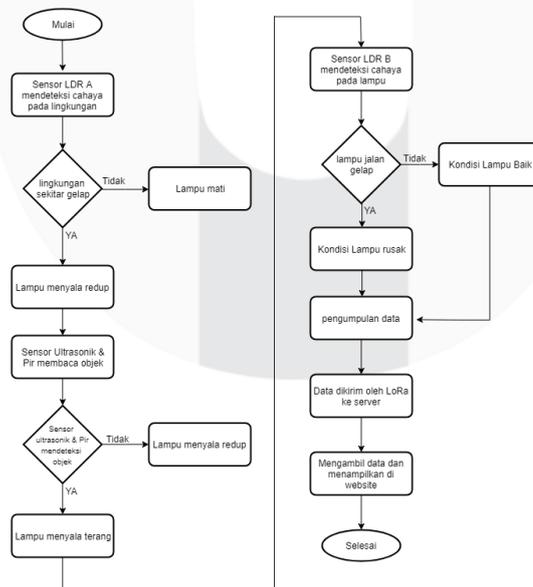
3.1.1 Diagram Blok



Gambar 2 Diagram Blok Sistem

Untuk merancang *Smart Lighting* dan *monitoring* kondisi lampu jalan terbagi menjadi tiga bagian diantaranya dua sensor node, gateway, dan user monitor untuk monitoring lampu jalan tersebut. Sensor node terdiri tiga macam sensor yaitu sensor LDR, sensor Ultrasonik dan sensor PIR. Node sensor ini berfungsi untuk menghubungkan antara sensor LDR, sensor Ultrasonik, sensor PIR, arduino, dan lampu jalan. Node *gateway* digunakan sebagai media penyimpanan data yang telah dikirim dari sensor node. *User monitor* digunakan untuk memonitoring kondisi lampu jalan secara langsung dengan menggunakan *web browser*. *Web browser* akan menampilkan kondisi pada lampu jalan dan monitoring lampu jalan yang rusak secara *realtime*.

3.1.2 Diagram Alir Sistem



Gambar 3 Diagram Alir Sistem

Dari gambar 3 menunjukkan diagram alir dari sistem. Sistem diawali dengan sensor LDR mendeteksi adanya cahaya atau tidak pada lingkungan sekitar. ketika sensor LDR menerima cahaya akan dikatakan dengan kondisi *LOW*, kondisi ini akan membuat lampu jalan menjadi mati. ketika sensor LDR tidak menerima cahaya akan dikatakan dengan kondisi *HIGH*, kondisi ini akan membuat lampu jalan menjadi menyala dalam keadaan redup dan sistem akan melanjutkan ke tahap selanjutnya. Tahap selanjutnya adalah sensor ultrasonik dan sensor PIR membaca ada tidaknya objek yang melewati, apabila terdapat objek maka lampu akan menyala terang, apabila tidak ada objek lampu akan menyala redup. Selanjutnya kondisi lampu jalan akan diidentifikasi oleh sensor ldr

dimana jika lampu mati maka lampu tersebut dinyatakan rusak. Data akan dikirimkan melalui LoRa kepada server *cloud*. setelah data masuk ke *cloud*, *web browser* akan mengambil dan menampilkan data tersebut.

3.3 Pemrograman Node Pada Mikrokontroler

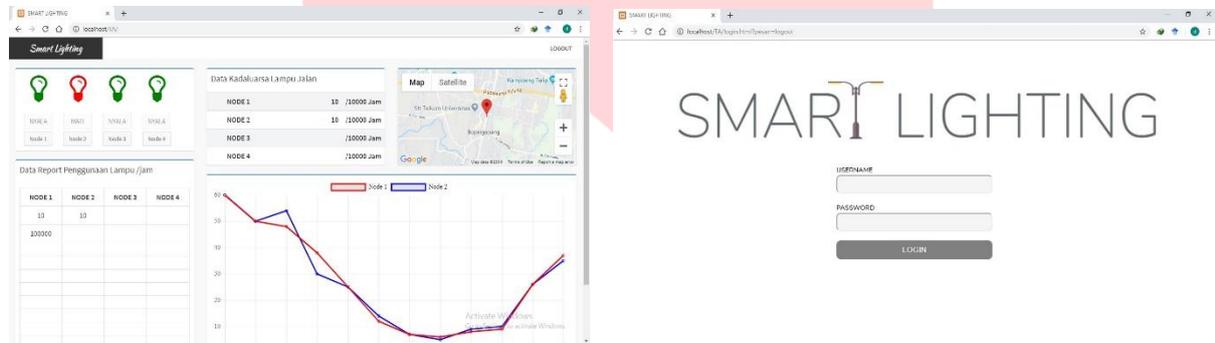
Pada perancangan node yang akan dibuat pada sistem ini diperlukan pemrograman pada node. pemrograman node ini menggunakan *software* Arduino IDE. Jumlah data pada perancangan node ini adalah 4byte yang terdiri dari karakter '@#' yang merupakan karakter identitas dari node dan 1,2 yang merupakan kode dari kondisi lampu. Berikut format data yang akan digunakan pada pemrograman node sensor.

Tabel 1 Format Data

Karakter	Keterangan
@	Node 1
#	Node 2
1	Lampu Menyala Terang
2	Lampu Tidak Menyala/ Mengalami Kerusakan

3.4 Perangkat Lunak Web Browser

Perancangan monitoring pada sistem ini menggunakan *web browser*. Pada *web browser* ini terdapat dua bagian yaitu *login page* dan *dashboard page*. *Web browser* ini akan menampilkan data monitoring lampu jalan yang telah diambil di *platform server* antares. pada *login page* admin akan diminta untuk memasukkan *username* dan *password* yang telah terdaftar pada *database*.



Gambar 5 Tampilan Web Browser

3.5 Skenario Pengujian Sistem

Pengujian sistem pada jurnal ini bertujuan untuk mengetahui jangkauan maksimum dari perangkat komunikasi LoRa dan untuk mengetahui *Quality of Service* (QoS) sistem ketika melakukan transmisi data. Ada 3 parameter yang akan diujikan untuk mengetahui *Quality of Service* (QoS) dari sistem ini, parameter tersebut adalah parameter *Throughput*, *packet loss*, dan *delay*. Selain itu, akan dilakukan pengujian untuk mengukur efisiensi daya pada lampu jalan yang telah menggunakan konsep *Smart Lighting*.

3.5.1 Parameter Pengukuran

Parameter – parameter yang diukur dan dianalisa pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. *Throughput* didefinisikan sebagai kecepatan transfer data efektif, yang diukur dalam *byte per second* (Bps) sebagai jumlah total paket yang diterima dalam bit dibagi jumlah waktu pengiriman.

$$\text{Throughput} = \frac{\sum \text{Ukuran paket yang diterima}}{\sum \text{Durasi pengukuran}}$$

2. *Delay* yaitu waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk pengiriman paket mulai dari *end node* pengirim sampai pada *end node* penerima.

$$\text{Delay} = \frac{\text{waktu penerimaan paket} - \text{waktu pengiriman paket}}{\sum \text{paket yang diterima}}$$

3. *Packet loss* merupakan banyaknya suatu paket yang hilang pada saat dilakukan proses transmisi yang disebabkan oleh tabrakan, penuhnya kapasitas ketika melakukan pengiriman data dan penurunan paket yang disebabkan oleh habisnya TTL (*Time to Live*) paket. Berikut merupakan rumus untuk mencari nilai dari *packet loss*:

$$\text{Packet Loss} = \frac{\text{Data yang dikirim} - \text{Data yang diterima}}{\text{Data yang dikirim}} \times 100\%$$

3.6.1 Skenario Pengujian Komunikasi Data

Skenario pengujian dilakukan dengan melakukan transmisi data antara node. Pengujian transmisi data dilakukan dari node sensor ke node gateway. Skenario pengujian dilakukan dengan kondisi seperti berikut:

1. Pengujian akan dilakukan pada Jalan Soekarno Hatta Bandung.
2. Interval jarak antar node pada pengujian ini adalah 50 m, 100 m, 150 m, 200 m, 250 m, 300 m, dan 350 m.
3. Transmisi data dilakukan sebanyak 10 kali dengan interval waktu pengiriman 5 detik.
4. Menggunakan modul RTC sebagai modul tambahan untuk mendapatkan parameter waktu pada saat mengirim data.

5. Pengambilan data pada node *gateway* diambil dari database Antares.
6. Jarak antara alat dengan tanah 70cm.

3.6.1 Skenario Pengujian Efisiensi Energi Listrik

Pada skenario ini, data yang diambil adalah data berapa lama lampu jalan menyala terang selama lampu tersebut bekerja. lampu jalan akan menyala terang selama 10 detik jika sensor mendeteksi objek yang melewatinya. Pengujian ini akan dilakukan dengan kondisi sebagai berikut:

1. Pengujian akan dilakukan pada jalan Soekarno Hatta Bandung dan hanya menggunakan satu jalur saja.
2. Pengujian akan berlangsung selama 12 jam pada jam 18.00 sampai 06.00.
3. Sensor tidak terpasang dengan lampu jalan.
4. Jarak antara alat dengan tanah 70cm.

4. Hasil dan Analisis

Analisis dilaksanakan untuk mengetahui jangkauan maksimum dari perangkat komunikasi yang digunakan yaitu LoRa dan untuk mengetahui *Quality of Service* (QOS) sistem setelah dilakukan pengujian dengan parameter pengujian tersebut adalah parameter *Throughput*, *Packet loss*, dan *delay*. Selain itu, terdapat hasil pengujian untuk mengukur efisiensi daya pada lampu jalan yang telah menggunakan konsep *Smart Lighting*.

4.1 Analisis Pengujian Komunikasi Data

4.1.1 Analisis Jarak Komunikasi Data

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui jangkauan maksimum LoRa yang digunakan saat melakukan pengujian transmisi data antar node. Pengujian transmisi data dilakukan antara node 1 dan node 2 dengan node *gateway*. Berikut merupakan hasil dari analisis pengujian jarak komunikasi data:

Tabel 2 Jangkauan Transmisi Data Node Sensor – Node *Gateway*

Jarak (m)	Node 1	Node 2
50	Terkirim	Terkirim
100	Terkirim	Terkirim
150	Terkirim	Terkirim
200	Terkirim	Terkirim
250	Terkirim	Terkirim
300	Terkirim	Terkirim
350	Tidak Terkirim	Tidak Terkirim
400	Tidak Terkirim	Tidak Terkirim

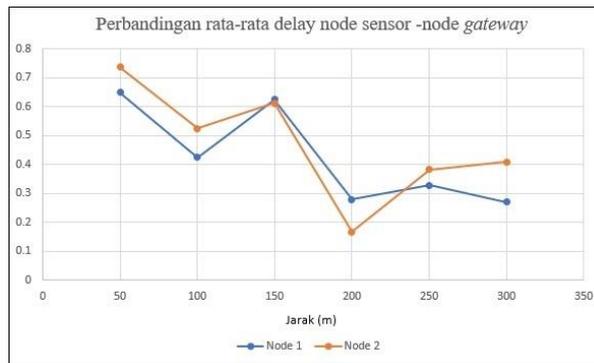
Pada transmisi data dari node 1 - node *gateway* dan node 2 - node *gateway* jarak komunikasi data dari perangkat LoRa di jalan Soekarno Hatta Bandung sama-sama mampu menjangkau 300 meter.

4.1.2 Analisis Delay

Analisis pengukuran *delay* dilakukan untuk mengetahui perbedaan waktu pengiriman dan waktu penerimaan data yang dinyatakan dengan waktu rata-rata *delay* ketika pengujian transmisi data. Berikut adalah hasil dari analisis pengujian *delay*:

Tabel 3 Rata-rata Waktu Delay Node Sensor – Node *Gateway*

Jarak (m)	Node 1	Node 2
	Rata-rata Delay (s)	Rata-rata Delay (s)
50	0.65	0.738
100	0.425	0.525
150	0.625	0.613
200	0.279	0.167
250	0.328	0.383
300	0.271	0.409



Gambar 6 Grafik Perbandingan Rata-rata Delay Node Sensor – Node Gateway

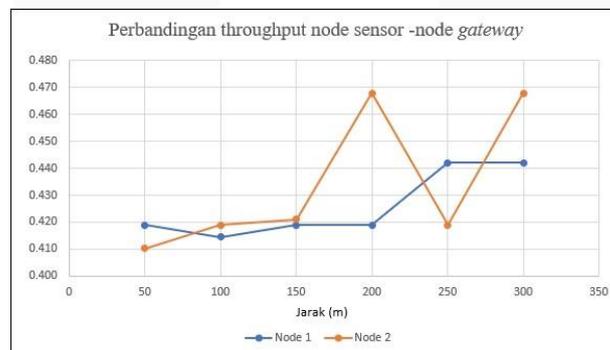
Pada saat melakukan transmisi data dari node sensor – node gateway rata-rata waktu *delay* yang dihasilkan oleh node 1 yaitu 0.430 detik dan rata-rata waktu *delay* yang dihasilkan oleh node 2 yaitu 0.473 detik.

4.1.3 Analisis *Throughput*

Analisis *throughput* dilakukan untuk mengukur sejumlah paket data yang dikirimkan dari pengirim menuju penerima pada suatu satuan tertentu. Pada analisis *throughput* ini satuan yang digunakan ialah Byte per detik (byte/s). Berikut adalah hasil dari analisis pengujian *throughput*:

Tabel 4 *Throughput* Node Sensor – Node Gateway

Jarak (m)	Node 1 <i>throughput</i> (byte/s)	Node 2 <i>throughput</i> (byte/s)
50	0.419	0.410
100	0.415	0.419
150	0.419	0.421
200	0.419	0.468
250	0.442	0.419
300	0.442	0.468



Gambar 6 Grafik Perbandingan *Throughput* Node Sensor – Node Gateway

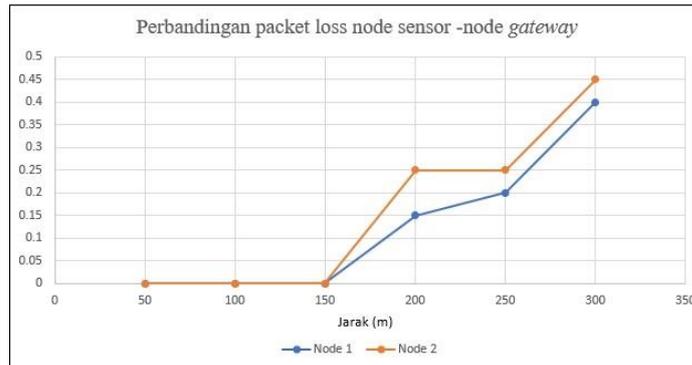
Pada saat melakukan transmisi data dari node sensor – node gateway rata-rata *Throughput* yang dihasilkan oleh node 1 yaitu 0.426 (Byte/s) dan rata-rata *Throughput* yang dihasilkan oleh node 2 yaitu 0.434 (Byte/s).

4.1.4 Analisis *Packet Loss Ratio*

Analisis *packet loss ratio* merupakan perbandingan antara jumlah paket data yang hilang terhadap jumlah paket data. Pada analisis *packet loss ratio* ini satuan yang digunakan yaitu *percent*. Berikut adalah hasil dari analisis pengujian *packet loss ratio*:

Tabel 5 Packet Loss Ratio Sensor – Node Gateway

Jarak (m)	Node 1			Node 2		
	Data yang Dikirim (byte)	Data yang Diterima (byte)	Packet Loss (%)	Data yang Dikirim (byte)	Data yang Diterima (byte)	Packet Loss (%)
50	80	80	0	80	80	0
100	80	80	0	80	80	0
150	80	80	0	80	80	0
200	80	68	0.15	80	60	0.25
250	80	64	0.2	80	60	0.25
300	80	48	0.4	80	44	0.45



Gambar 7 Grafik Perbandingan Packet Loss Node Sensor – Node Gateway

Pada saat melakukan transmisi data dari node sensor - node gateway rata-rata packet loss yang dihasilkan oleh node 1 yaitu 0.125%. dan rata-rata packet loss yang dihasilkan oleh node 2 yaitu 0.158%.

4.2 Analisis Pengujian Efisiensi Energi Listrik

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui berapa lama lampu jalan menyala terang pada saat lampu bekerja dan seberapa besar tingkat efisiensi lampu dengan menggunakan konsep smart lighting. Pengujian dilakukan dengan melihat objek yang melewati sensor. Berikut merupakan hasil dari analisis efisiensi Energi listrik:

Tabel 6 Data Pemakaian Lampu Jalan

Jam	Lama waktu lampu menyala terang (menit)	Persentase
18:00-19:00	60	100%
19:00-20:00	54	90%
20:00-21:00	48	80%
21:00-22:00	37.3	62%
22:00-23:00	24.5	41%
23:00-24:00	13	22%
24:00-01:00	9.3	16%
01:00-02:00	7.6	13%
02:00-03:00	9.1	15%
03:00-04:00	12.6	21%
04:00-05:00	26	43%
05:00-06:00	43.3	72%



Gambar 8 Grafik Data Pemakaian lampu Jalan

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 4.5. dan gambar 4.5 lama waktu lampu menyala terang yaitu 344.7 menit atau 5.745 jam selama 12 jam bekerja. Sedangkan, lampu jalan biasa pada umumnya menyala terang selama 720 menit atau 12 jam. lampu jalan dengan menggunakan konsep *smart lighting* lebih efisien dari pada lampu jalan biasa karena hanya menyala 48% dari 12 jam.

5. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil pengujian dan analisis pada sebelumnya yaitu pada pengujian di jalan Soekarno Hatta Bandung. Pada pengujian node 1, Maksimal jarak transmisi data dari node sensor - node gateway yaitu 300 meter dengan rata-rata *delay* 0.430 detik, *throughput* 0.426 *byte/s* dan *packet loss* 0.125%.

Pada pengujian node 2, maksimal jarak transmisi data dari node sensor - node gateway yaitu 300 meter dengan rata-rata *delay* 0.473 detik, *throughput* 0.434 *byte/s* dan *packet loss* 0.158%.

Pada pengujian efisiensi energi listrik, lama waktu lampu jalan menyala terang yaitu 5.745 jam atau 48% dari 12 jam.

Dari hasil pengujian dan analisis tersebut dapat disimpulkan bahwa pada pengujian node 1, *Quality of Service* (QoS) yang dihasilkan memiliki rata-rata *delay*, *throughput*, dan *packet loss* yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan hasil pengujian pada node 2. Pada pengujian efisiensi energi listrik dengan menggunakan konsep *smart lighting*, lampu jalan menyala 48% dari 12 jam bekerja oleh karena itu lampu jalan dengan konsep *smart lighting* bisa dikatakan lebih efisien dari pada lampu jalan biasa.

Daftar Pustaka

- [1] Republika, "Kondisi Jalan Gelap Penyebab Tingginya Kecelakaan," [Online]. Available: <https://www.republika.co.id/berita/nasional/daerah/15/03/10/nkzha4-kondisi-jalan-gelap-penyebab-tingginya-kecelakaan>. [Accessed 17 September 2018].
- [2] T. Jabar, "Karena Sepi dan Gelap TKP kematian Mahasiswa Telkom Jadi Langganan Aksi Begal," [Online]. Available: <http://jabar.tribunnews.com/2018/03/12/karena-sepi-dan-gelap-tkp-kematian-mahasiswa-telkom-jadi-langganan-aksi-begal>. [Accessed 17 September 2018].
- [3] R. M. R. M. Ratih L. N., "PROTOTYPE SMART STREET LIGHTING DI WIRELESS SENSOR NETWORK (Prototype Smart Street Lighting in Wireless Sensor Network)," *Universitas Telkom*, 2015.
- [4] M. J. A. J. S. A. F. G. Castro, "Smart lighting solutions for smart cities," *27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*, 2013.
- [5] I. E. Commission, "Internet of Things: Wireless Sensor Networks," *Internation Electronic Commision*, 2014.
- [6] F. L. Lewis, "Smart Environments: Technologies, Protocols, and Applications," *IEEE*, 2015.
- [7] V. J. R. U. Bor Martin, "LoRa for the Internet of Things," *Ewsn '16*, 2016.
- [8] I. B. A.-M. A. M. Khutsoane Oratile, "IoT devices and applications based on LoRa/LoRaWAN," *IEEE*, 2017.
- [9] A. Kadir, ARDUINO DAN SENSOR, 2018.