

PERANCANGAN LAMPU LALU LINTAS PINTAR UNTUK SMART CITY MENGUNAKAN WIRELESS SENSOR NETWORK

PROTOTYPE SMART TRAFFIC LIGHT FOR SMART CITY USING WIRELESS SENSOR NETWORK

Ardhi Anzala Muhammad¹, Dr. Ir . Rendy Munadi,M.T.², Ratna Mayasari,S.T.,M.T.³

Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹ardhianzala@student.telkomuniversity.ac.id, ²rendymunadi@telkomuniversity.ac.id,

³ratnamayasari@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Menurut Badan Pusat Statistik, peningkatan jumlah alat transportasi darat selalu meningkat setiap tahun, peningkatan ini tentunya menimbulkan masalah baru yaitu kemacetan. Kemacetan adalah masalah utama di kota-kota besar di Indonesia yang sudah terjadi sejak lama di kota – kota besar di Indonesia, terutama di jam pergi dan pulang kantor. Kemacetan sering terjadi dimana saja termasuk di persimpangan jalan ibukota dan sudah menjadi hal yang bisa dilihat hampir setiap hari.

Berdasarkan permasalahan diatas penulis membuat alat yang bisa mengatur lampu lalu lintas agar tidak terjadi hal tersebut dengan memanfaatkan sensor ultrasonic yang nantinya sensor ini akan mendeteksi kepadatan kendaraan yang ada di ruas jalan, sensor ultrasonic ini akan mengirimkan data melalui wireless ke NodeMCU yang mejadi otak dari sistem ini setelah itu NodeMCU akan menerima data dimana ruas jalan yang paling padat dan akan memberikan lampu hijau ke ruas jalan yang padat tersebut.

Berdasarkan hasil perancangan *prototype smart traffic light*, sistem dapat memantau setiap jalur dan mengontrol nyala lampu di *traffic light*. Nilai rata-rata akurasi sensor ultrasonik adalah 99.18% dengan maksimal jarak pembacaan adalah 635 cm dan jarak pembacaan efektif adalah 350 cm. Kemudian, nilai QoS seperti *delay* dari jaringan yang digunakan menunjukkan bahwa *delay* dipengaruhi oleh banyaknya *node* yang aktif, semakin banyak *node* yang aktif dan terkoneksi dengan *Broker* maka *delay* akan meningkat. Oleh karena itu, setelah dilakukan pengujian pada sistem ini didapatkan nilai rata-rata *Availability* adalah 99.919% dan *Reliability* adalah 99.919%.

Kata kunci : *Traffic Light, Smart Traffic Light, Wireless Sensor Network, Sensor Ultrasonic, NodeMCU.*

Abstract

According to the Central Bureau of Statistics, the increase in the number of land transportation equipment is always increasing every year, this increase certainly raises a new problem, namely congestion. Congestion is a major problem in big cities in Indonesia that have been going on for a long time in big cities in Indonesia, especially in the hours of going to work and going home. Congestion often occurs anywhere including at the capital's crossroads and has become something that can be seen almost every day.

Based on the above problems the author makes a tool that can regulate traffic lights so that it does not happen by using an ultrasonic sensor which will detect the density of vehicles on the road, this ultrasonic sensor will transmit data via wireless to NodeMCU which becomes the brain of the system after this, the NodeMCU will receive data where the road is the most congested and will give a green light to the congested road section.

Based on the results of the design of the smart traffic light prototype, the system can monitor each path and control the lights on the traffic light. The average accuracy of the ultrasonic sensor is 99.18% with a maximum reading distance of 635 cm and the effective reading distance is 350 cm. Then, the QoS value such as delay from the network used shows that delay is affected by the number of active nodes, the more nodes that are active and connected to the Broker, the delay will increase. Therefore, after testing on this system, the Availability average value is 99.919% and Reliability is 99.919%.

Keywords: *Traffic Light, Smart Traffic Light, Wireless Sensor Network, Sensor Ultrasonic, NodeMCU.*

1. Latar Belakang

Perkembangan di dunia saat ini sangat cepat jika dilihat dari segala aspek, termasuk dunia otomotif. Terutama kebutuhan akan moda transportasi darat baik mobil ataupun motor yang meningkat secara signifikan

dari tahun ke tahun^[1], peningkatan ini berdampak pada padatnya jalan terutama pada saat jam pergi dan pulang kantor. Kepadatan ini sering terjadi di jalan utama menjelang lampu merah (*traffic light*) persimpangan dimana lamanya waktu tunggu yang ada di lampu merah (*traffic light*) saat ini yang masih menggunakan cara lama yaitu dengan menetapkan waktu yang ada di setiap lampu merah secara manual.

Penggunaan cara ini masih dirasa kurang efisien karena dapat menyebabkan antrian panjang di salahsatu ruas yang memiliki *volume* kendaraan datang yang tinggi, kekurangan dari cara manual ini juga sering kita rasakan dimana saat kita mendapat lampu merah di ruas jalan yang kita lalui, dan lampu itu akan terus menyala merah meskipun ruas jalan lain yang *traffic light* nya menyala hijau sudah tidak ada kendaraan yang melintas atau sudah kosong, hal ini menyebabkan beberapa pengguna jalan melakukan pelanggaran dengan menerobos lampu merah dan kurang efisien jika dilihat dari segi waktu dan penggunaan bahan bakar.

Berdasarkan hal tersebut beberapa penelitian sudah dilakukan seperti menganalisa kepadatan tiap ruas dan membuat sistem lampu lalu lintas yang baru. Proyek ini akan membuat suatu prototype alat yang bisa mengefisiensi waktu tunggu yang ada di lampu merah (*traffic light*) dengan cara mendeteksinya sehingga tidak ada lagi antrian panjang dan hal lain yang merugikan karena waktu tunggu yang tidak efisien^[2]. Alat ini akan membaca ruas jalan mana yang paling padat dan akan memerikan lampu hijau ke ruas jalan yang paling padat tersebut sehingga antrian kendaraan menjelang *traffic light* tidak panjang.

2. Dasar Teori

A. Traffic Light

Traffic Light adalah lampu yang digunakan untuk mengendalikan arus lalu lintas di sebuah persimpangan. Lampu lalu lintas ini yang mengatur pergerakan kendaraan pada masing – masing ruas jalan, lampu ini terdiri dari tiga warna lampu yaitu merah, kuning, dan hijau. Arti dari setiap warna lampu tersebut adalah lampu merah berarti harus berhenti, lampu kuning berarti bersiap untuk jalan jika kondisi sebelumnya dalam keadaan berhenti dan menurunkan kecepatan jika kondisi sebelumnya dalam keadaan berjalan, serta lampu hijau yang berarti dapat berjalan.

B. Internet of Things

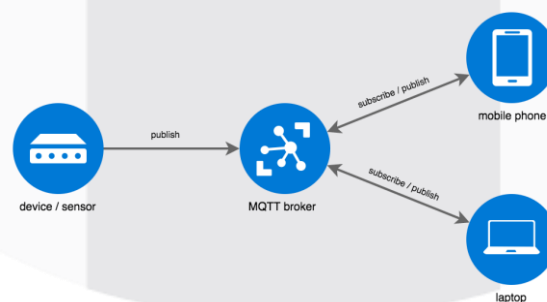
Internet of Things (IoT) merupakan sebuah konsep atau skenario dimana sebuah objek dapat mengirim/mentransfer data melalui jaringan secara langsung tanpa adanya campurtangan manusia. “*A Things*” pada kata *Internet of Things* didefinisikan sebagai sebuah subjek misal sebuah mobil dengan sensor yang akan memperingatkan apabila kecepatan terlalu tinggi atau tekanan ban terlalu rendah, hewan peternakan dengan transonder biochip dan seseorang dengan monitor implant jantung. Berdasarkan prediksi perusahaan IT terkemuka yaitu CISCO, pada tahun 2020, setidaknya akan ada 50 milyar alat yang akan terkoneksi dengan internet dan 400 juta diantaranya adalah perangkat dengan kategori *wearables*, dan IoT dapat memberikan manfaat hamper di seluruh aspek kehidupan

C. Wireless Sensor Network (WSN)

Wireless Sensor Network atau biasa disebut wsn adalah sebuah konsep jaringan nirkabel yang luas dengan jumlah node sensor yang banyak dimana tiap node dilengkapi dengan sensor untuk melakukan deteksi, seperti deteksi cahaya, suhu, tekanan, kelembapan dan lain-lain. Hasil pembacaan dari sensor dapat diinformasikan secara realtime dengan keamanan data yang terjamin hingga diterima oleh tujuannya. *Wireless Sensor Network* merupakan sebuah metode baru dalam membangun sistem informasi dan komunikasi yang dapat meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem infrastruktur. Jika dibandingkan dengan penggunaan kabel, sistem yang menggunakan komunikasi nirkabel memiliki fleksibilitas yang lebih baik dan ditambah dengan perkembangan teknologi sensor yang cepat, dimasadepan WSN akan mejadi teknologi kunci untuk IoT.

D. Protokol MQTT

Message Queue Telemetry Transport atau biasa disebut MQTT adalah suatu transmisi protokol yang berjalan diatas protokol TCP/IP dikembangkan oleh IBM. MQTT seringkali dimanfaatkan untuk proyek Internet of Things karena keunggulannya dalam penggunaan daya yang sedikit, tidak mengkonsumsi banyak



bandwidth, media penyimpanan yang minimum, dan MQTT juga di desain untuk melakukan publish / subscribe transmisi pesan yang ringan. Beberapa penelitian yang telah dilakukan menyatakan bahwa MQTT dapat menjadi solusi dari sistem remote wireless pada pot cerdas. Protokol MQTT juga dapat bekerja dengan baik apabila dikombinasikan dengan teknologi WAN karena delay yang kecil dan akurasi pengiriman yang sempurna.

Gambar 2.1 Protokol MQTT

E. *Virtual Private Server (VPS)*

VPS adalah metode untuk membagi suatu sumber daya atau *resource* dari sebuah *server* fisik menjadi beberapa *server* virtual. Beberapa *server* virtual tersebut dapat berjalan dengan menggunakan sistem operasi sendiri layaknya sebuah *server*, dan pengguna dapat meng-*custom* sendiri spesifikasi *server* virtual yang akan dipakai sesuai dengan kebutuhan. *Server* virtual ini dapat beroperasi secara mandiri untuk melayani sistem operasi dan perangkat lunak. Tiap-tiap *server* pun memiliki *IP address*, *port number*, *routing rules*, *table filtering* dan pengguna vps dapat mengendalikannya dari jarak jauh dengan memanfaatkan aplikasi Putty untuk sistem operasi Windows dan terminal untuk Linux.

F. *NodeMCU*

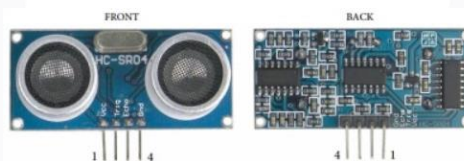
NodeMCU adalah sebuah platform IoT *open source* berbasis *hardware* yang sudah dilengkapi dengan fitur WiFi dan menggunakan Lua sebagai bahasa pemrograman atau bisa dengan menggunakan sketch arduino IDE untuk membuat prototype IoT, tujuan dari diciptakan NodeMCU adalah untuk menjadikan rangkaian dan pemrograman mikrokontroler menjadi lebih mudah untuk dipelajari oleh orang baru.



Gambar 3.1 *NodeMCU*

G. *Sensor Ultrasonic HC-SR04*

HC-SR04 adalah Sensor yang berbasis gelombang ultrasonik, frekuensi yang digunakan adalah 40KHz. Sensor ini memiliki 2 komponen utama yaitu *transmitter* dan *receiver*, fungsi *transmitter* adalah untuk mengeluarkan atau memancarkan gelombang ultrasonik 40 KHz tersebut, dan fungsi *receiver* adalah untuk mendeteksi atau menangkap gelombang yang telah dipancarkan oleh *transmitter* yang memantul karena terkena suatu objek. Cara sensor ini mendeteksi jarak adalah dengan memancarkan gelombang ultrasonik dan mendeteksi gelombang ultrasonik tersebut waktu antara pancaran dan pendeteksian tersebut adalah representasi dari jarak objek. Jarak deteksi dari modul ini adalah 2cm sampai 6 meter.



Gambar 3.1 *NodeMCU*

H. *Wemos*

ESP8266 adalah modul wifi yang bisa menghubungkan antar mikrokontroler arduino dengan menggunakan wireless, modul ini dapat difungsikan sebagai akses point, station dan bisa difungsikan sebagai akses point sekaligus station. Modul ini support standart IEEE802.11 b/g/n, dan protokol TCP/IP. Modul ini bersifat SoC (System on Chip) yang berarti penggunaannya dapat melakukan programming langsung ke ESP8266 tanpa mikrokontroler tambahan ada juga cara lain yaitu dengan menggunakan UART.

3. Perancangan

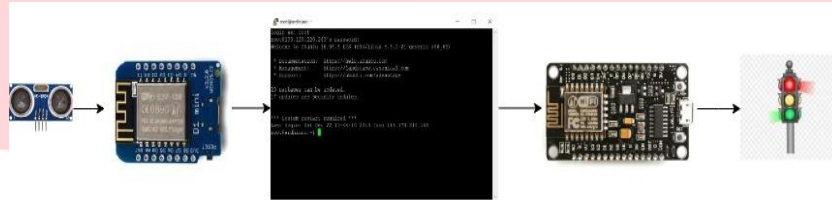
A. *Perancangan Sistem*

Sistem lampu lalu lintas cerdas berbasis *Wireless Sensor Network* ini dirancang untuk melakukan pemantauan lalu lintas di sebuah ruas jalan dan mengirimkan informasi mengenai pemantauan tersebut ke server yang mengatur lampu lalu lintas di perempatan tersebut, output dari sistem ini adalah *traffic light* akan memilih jalur

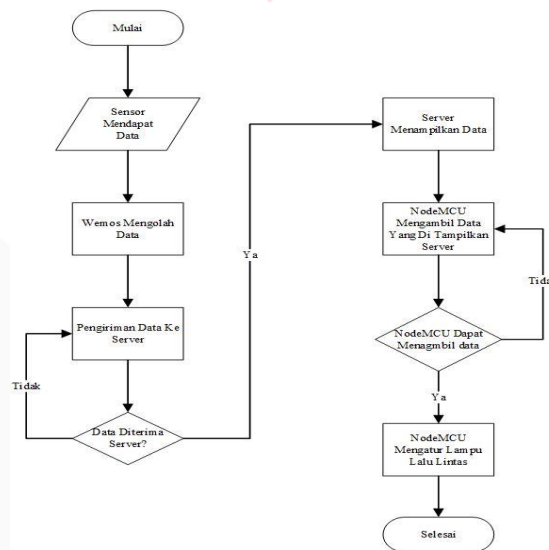
yang paling padat untuk diberikan lampu hijau terlebih dahulu. Output dari sistem ini diharapkan tidak ada lagi antrian panjang yang ada di ruas jalan.

Sistem yang akan dibuat adalah rancang bangun sistem perangkat keras yaitu modul sensor HC-SR04 untuk membaca parameter fisik yaitu keberadaan kendaraan, modul wireless Wemos yang tersambung dengan sensor HC-SR04 untuk mengirim hasil bacaan data dan modul NodeMCU yang berfungsi untuk menerima data hasil bacaan dari sensor dan berperan sebagai pengatur lampu lalu lintas.

Pada perancangan sistem lampu lalu lintas cerdas berbasis WSN ini terdapat tiga bagian utama yaitu bagian sensor , bagian server dan bagian pengatur lampu.



Gambar 3.1 Bagian utama sistem



Gambar 3.2 Diagram Alir Utama Sistem

B. Perangkat Yang Digunakan Pada Sistem *Smart Traffic Light*

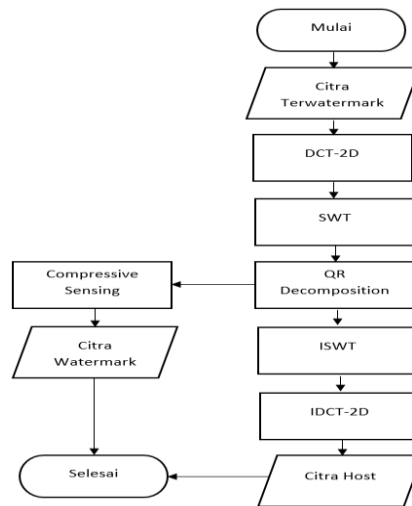
Pada bagian ini akan membahas mengenai perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan dalam sistem ini. Pembahasan meliputi penggunaan NodeMCU, Wemos dan perancangan sistem dari sensor. Secara keseluruhan prinsip kerja dari sistem smart traffic light ini merupakan sebuah alat yang difungsikan sebagai pengatur lampu lalu lintas otomatis. Berikut ini adalah komponen yang digunakan pada sistem:

Tabel 3.1 Perangkat keras yang digunakan

No	Nama Komponen	Jumlah
1	Wemos D1 Mini Lite	8
2	NodeMCU V3 Lolin	1
3	Ultrasonik HC-SR04	8
4	LED	16

C. Skenario Pengujian

Proses ekstraksi adalah proses untuk mengambil data *watermark* yang telah disisipkan ke dalam host audio pada proses *embedding*.



Gambar 3.3 Proses *Extraction*

D. Perangkat Yang Digunakan Pada Sistem *Smart Traffic Light*

Pada bagian ini akan membahas mengenai perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan dalam sistem ini. Pembahasan meliputi penggunaan NodeMCU, Wemos dan perancangan sistem dari sensor. Secara keseluruhan prinsip kerja dari sistem smart traffic light ini merupakan sebuah alat yang difungsikan sebagai pengatur lampu lalu lintas otomatis. Berikut ini adalah komponen yang digunakan pada sistem:

Tabel 3.2 Perangkat keras yang digunakan

No	Nama Komponen	Jumlah
1	Wemos D1 Mini Lite	8
2	NodeMCU V3 Lolin	1
3	Ultrasonik HC-SR04	8
4	LED	16

4. Hasil dan Analisis

A. Pengujian Jarak Maksimal dan Akurasi Sensor

Pengujian ini bertujuan untuk menguji keakuratan dari sensor *ultrasonic* dan jarak maksimal yang dapat dibaca oleh sensor dan perbandingan antara jarak yang terbaca oleh sensor dengan jarak sebenarnya. Pengujian dilakukan sebanyak 30 kali dengan kelipatan jarak 20 meter dan didapat hasil maksimal bacaan sensor adalah 635 cm.

Tabel 4. 1 Pengujian Akurasi Sensor

Jarak (cm)		Selisih (cm)	Akurasi (%)	Jarak (cm)		Selisih (cm)	Akurasi (%)
Real	Sensor			Real	Sensor		
10	9.91	0.09	99.10%	210	208.66	1.34	99.36%
20	19.97	0.03	99.85%	220	218.7	1.3	99.41%
30	29.73	0.27	99.10%	230	228.61	1.39	99.40%
40	39.83	0.17	99.58%	240	238.61	1.39	99.42%
50	49.55	0.45	99.10%	250	248.64	1.36	99.46%
60	59.64	0.36	99.40%	260	258.44	1.56	99.40%
70	68.4	1.60	97.71%	270	268.33	1.67	99.38%
80	79.67	0.33	99.59%	280	279.07	0.93	99.67%
90	89.3	0.70	99.22%	290	289.19	0.81	99.72%
100	99.35	0.65	99.35%	300	298.28	1.72	99.43%
110	109.2	0.80	99.27%	310	308.48	1.52	99.51%
120	119.15	0.85	99.29%	320	318.27	1.73	99.46%
130	129.08	0.92	99.29%	330	329.07	0.93	99.72%
140	138.21	1.79	98.72%	340	334.78	5.22	98.46%
150	149.48	0.52	99.65%	350	349.28	0.72	99.79%
160	158.7	1.30	99.19%	360	355.31	4.69	98.70%
170	169.45	0.55	99.68%	370	362.76	7.24	98.04%
180	178.95	1.05	99.42%	380	371.53	8.47	97.77%

190	189.42	0.58	99.69%	390	385.24	4.76	98.78%
200	198.52	1.48	99.26%	400	388.2	11.8	97.05%
				Rata-rata (%)		99.18%	
				Rata-rata Error (%)		1.82%	

B. Packet Loss

Pengujian *packet loss* ini dilakukan dengan menghitung selisih antara paket yang diterima dengan paket yang telah dikirim melalui MQTT *Broker*. Pengujian dilakukan sebanyak 8 kali dimulai dari hanya 1 node yang aktif hingga 8 node aktif.

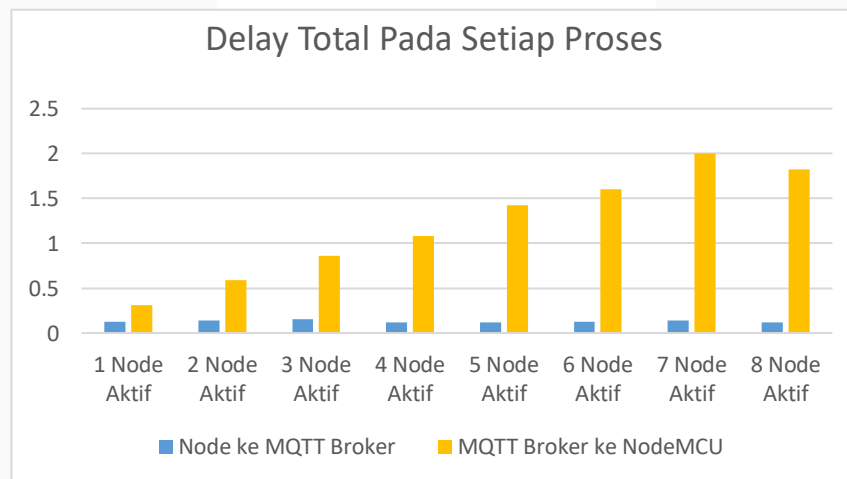
Tabel 4. 2 *Packet Loss*

No	Node Aktif	Paket Dikirim	Paket Diterima	Packet Loss (%)
1	1 Node	2322.2	2317.5	0.20%
2	2 Node	3784	3780	0.11%
3	3 Node	4611.6	4605.9	0.12%
4	4 Node	5561.4	5557.5	0.07%
5	5 Node	6898	6894	0.06%
6	6 Node	8901.3	8894.6	0.08%
7	7 Node	10504.3	10498.6	0.05%
8	8 Node	12456.6	12449.3	0.06%

Pada Tabel 4.2 ditunjukkan bahwa resolusi citra *host* yang paling baik adalah resolusi 1024x1024 karena memiliki nilai PSNR yang paling tinggi dan Citra *Watermark* Kotak resolusi 128x128 karena memiliki BER yang paling rendah.

C. Delay

Delay adalah waktu tunda yang terjadi dalam proses pengiriman mulai dari titik awal pengiriman sampai ke titik tujuan. *Delay* yang diamati dalam pengujian ini adalah *delay* proses antara Wemos dengan MQTT *Broker* dan *delay* antara MQTT *Broker* dengan *NodeMCU*. Pengujian *delay* diamati menggunakan *software* Wireshark yang telah terinstall pada server, sehingga setiap paket yang melalui server akan dapat diamati langsung. Pengujian dilakukan sebanyak 8 kali dimulai dari hanya 1 node yang aktif hingga 8 node aktif.



Gambar 4.1 Grafik *delay* pada setiap proses

Gambar 4.1 adalah grafik dari rata-rata nilai *delay* pada setiap proses pengiriman dari *Node* ke MQTT *Broker* dan dari MQTT *Broker* ke *NodeMCU*. Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa proses *publish* data dari *Node* ke MQTT *Broker* terlihat stabil, tidak ada kenaikan atau penurunan *delay* yang signifikan.

Berbeda halnya dengan *delay* yang terjadi pada proses dari MQTT *Broker* ke *NodeMCU* yang meningkat seiring dengan bertambahnya node yang aktif, hal ini terjadi karena ketika semakin banyak node aktif maka akan semakin banyak juga data yang *publish* oleh setiap node ke MQTT *Broker* ataupun data yang harus *unsubscribe* oleh *NodeMCU* dari MQTT *Broker* pada waktu yang singkat. Hal tersebut menyebabkan *NodeMCU* kewalahan dalam *subscribe* data yang masuk dan yang akan diproses sesuai dengan perintah.

D. Availability dan Reliability

Pengujian dilakukan dengan mengamati data yang masuk ke dalam MQTT *Broker*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai *Availability* dan *Reliability* dari sistem *smart traffic light*. Nilai *Availability*

dan *Reliability* dipengaruhi oleh jumlah paket yang gagal dikirim oleh *broker*, jumlah paket yang gagal dapat diketahui dengan menghitung selisih antara jumlah paket yang masuk ke MQTT *Broker* dengan jumlah paket yang dikirim dari MQTT *Broker*. Hasil perhitungan *Availability* dan *Reliability* ditunjukkan pada tabel 4.17:

Tabel 4. 3 Tabel Availability dan Reliability

No	Node Aktif	Rata-rata paket masuk ke MQTT	Rata-rata paket dikirim dari MQTT	Availability (%)	Reliability (%)
1	1 Node	2322.2	2317.5	99.798%	99.798%
2	2 Node	3784	3780	99.894%	99.894%
3	3 Node	4611.6	4605.9	99.877%	99.876%
4	4 Node	5561.4	5557.5	99.930%	99.930%
5	5 Node	6898	6894	99.942%	99.942%
6	6 Node	8901.3	8894.6	99.925%	99.925%
7	7 Node	10504.3	10498.6	99.946%	99.946%
8	8 Node	12456.6	12449.3	99.941%	99.941%

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis sistem yang telah dilakukan, kesimpulan yang dapat ditarik adalah sebagai berikut:

1. *Prototype* sistem *smart traffic light* yang telah dirancang dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan yang diharapkan dan dapat memonitor dan mengontrol *traffic light*.
2. Sensor Ultrasonik yang digunakan dalam sistem ini layak digunakan karena memiliki keakuratan sebesar 99.18%.
3. Pada pengujian jarak jangkauan maksimum dari *NodeMCU* dengan menghubungkan *NodeMCU* ke modem wifi saat kondisi LOS dan NLOS, didapatkan jarak maksimum yang dapat dijangkau oleh *NodeMCU* pada kondisi LOS adalah 140 meter dan pada kondisi NLOS adalah 40 meter.
4. Pada pengujian jarak jangkauan maksimum dari *Wemos* dengan menghubungkan *Wemos* ke modem wifi saat kondisi LOS dan NLOS, didapatkan jarak maksimum yang dapat dijangkau oleh *Wemos* pada kondisi LOS adalah 140 meter dan pada kondisi NLOS adalah 40 meter.
5. Pada pengujian *delay* antara *Node* menuju MQTT *Broker* dan MQTT *Broker* menuju ke *NodeMCU* didapat bahwa rata-rata nilai *delay* proses pengiriman / *publish* data dari *Node* menuju MQTT *Broker* adalah stabil dan berada di rata-rata nilai 0.125 milisekon meskipun node yang terhubung ke MQTT *Broker* bertambah.
6. Pada pengujian *delay* antara *Node* menuju MQTT *Broker* dan MQTT *Broker* menuju ke *NodeMCU* didapat bahwa rata-rata nilai *delay* proses *subscribe* data dari MQTT *Broker* menuju ke *NodeMCU* meningkat seiring dengan bertambahnya *Node* yang terhubung ke *Broker* dengan nilai *delay* terbesar yang didapatkan adalah 2.002 milisekon.
7. Pengujian *Availability* dan *Reliability* pada sistem yang telah dibuat didapatkan nilai rata-rata sebesar 99.907%.

5.2 Saran

Berdasarkan penjabaran pengujian analisis dan kesimpulan dari *prototype* yang telah dibuat, masih terdapat beberapa kekurangan. Untuk itu penulis memberikan saran untuk penelitian selanjutnya agar *prototype* bias berjalan dengan lebih baik, yaitu:

1. Menggunakan modul wireless yang memiliki spesifikasi lebih baik.
2. Menggunakan sensor ultrasonik dengan spesifikasi yang lebih baik.
3. Menggunakan Protokol yang berbeda.
4. Dapat diimplementasikan pada lampu lalu lintas berskala besar guna membantu mengurangi kepadatan.

Daftar Pustaka:

- [1] Badan Pusat Statistik, 2016. Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis, 1949-2015. <https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/1133>.
- [2] Bilal Ghazal, Khaled ElKhatib, Khaled Chahine, Mohamad Kherfan, 2016. Smart traffic light control system.
- [3] Mario Collotta, Giovanni Pau, Gianfranco Scata, Tiziana Campist, 2014. A dynamic traffic light management system based on wireless sensor networks for the reduction of the red-light running phenomenon.
- [4] Khalil M. Yousef, Jamal N. Al-Karaki, Ali M. Shatnawi, 2010. Intelligent traffic light flow control system using wireless sensor networks.
- [5] Tae-Gue Oh, Chung-Hyuk Yim, Gyu Sik Kim, 2017. ESP8266 Wi-Fi module for monitoring system application.
- [6] Fandi Nugraha K, 2016. Tugas Sensor Ultrasonik HC-SR04. Makalah. Jurusan D4 Teknik Elektro Universitas Hasanuddin.
- [7] Yi-Sheng Huang, Ta-Hsiang Chung, 2014. Modeling and analysis of urban traffic lights control system using timed CP-nets.
- [8] Roads Departement, 2004. Traffic Data Collection and Analysis. Ministry of Works and Transport.
- [9] Milda Pangestiani, 2012. Desain dan Implementasi Pendeteksi Kendaraan pada Sistem Smart Traffic Light. Jurusan D3 Teknik Telekomunikasi Universitas Telkom.
- [10]Rr. Desty Pratiwi, 2017. Implementasi dan Analisa Kinerja Jaringan Wireless pada Smart Traffic Light berbasis Mikrikontroller. Jurusan S1 Teknik Telekomunikasi Universitas Telkom.
- [11]Yudha Yudhanto, 2007. "Apa itu IOT(*Internet of Things*)?".
- [12]Dr. Shu Yinbiao, Dr. Kang Lee, 2014. "*Internet of Things: Wireless Sensor Networks*". Switzerland : International Electrotechnical Commission.
- [13]Galih Yudha Saputra, Ahimsa Denhas Afrizal, Fakhris Khusnu Reza Mahfud, Farid Angga Pribadi, Firman Jati Pamungkas." PENERAPAN PROTOKOL MQTT PADA TEKNOLOGI WAN (STUDI KASUS SISTEM PARKIR UNIVERISTAS BRAWIJAYA)" Vol. 12, No. 2 September 2017.
- [14]Handson Technology. "ESP8266 NodeMCU WiFi Devkit".
- [15]Dian Mustika Putri, 2017. "Mengenal Wemos D1 Mini dalam dunia IOT".