

ANALISIS PERBANDINGAN PROTOKOL KOMUNIKASI ZigBee DAN RF 2.4 GHz PADA IMPLEMENTASI SISTEM PENYAJIAN INFORMASI LALU LINTAS KENDARAAN BERBASIS WIRELESS SENSOR NETWORK

COMPARISON ANALYSIS OF ZigBee AND 2.4 GHz RF COMMUNICATION PROTOCOL ON IMPLEMENTATION OF VEHICLE TRAFFIC INFORMATION SYSTEM BASED ON WIRELESS SENSOR NETWORK

Wisma Dwi Kurnia, Dr. Ir. Rendy Munadi, M.T.², Gustommy Bisono, S.T, M.T³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik, Universitas Telkom
¹wismadwi@students.telkomuniversity.ac.id, ² rendymunadi@telkomuniversity.co.id
³ bisono@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Infrastruktur yang belum memadai serta kurangnya informasi tentang jalur alternatif dan kepadatan suatu ruas jalan mengakibatkan kemacetan yang menjadi sebuah masalah tersendiri pada negara berkembang seperti Indonesia. Pentingnya tentang informasi kepadatan suatu ruas jalan akan memberikan solusi tersendiri dan diharapkan informasi yang real time akan sangat membantu pengendara untuk mendapatkan informasi kepadatan lalu lintas dan memberikan solusi untuk pengembangan sistem smart traffic.

Untuk mewujudkan informasi kepadatan lalu lintas secara realtime pada penelitian ini digunakan suatu sistem Wireless Sensor Network (WSN) dengan menggunakan perangkat sensor ultrasonik sebagai perangkat masukan dan perangkat mikrokontroler open source yang diharapkan mampu untuk mendeteksi kepadatan lalu lintas dan disajikan melalui laman web. Untuk mewujudkan sistem tersebut dibutuhkan protokol komunikasi yang optimal.

Pada penelitian kali ini, dilakukan pencarian akurasi sistem dalam mendeteksi kemacetan dan perbandingan untuk dua buah protokol komunikasi yakni protokol ZigBee dan RF 2.4 GHz. Hasil analisis yang didapat berupa rata-rata delay dan throughput untuk membandingkan kedua buah protokol tersebut dari parameter QoS yang dihasilkan.

Akurasi sensor yang didapat adalah 95,31 % untuk membaca kecepatan kendaraan. Kedua protokol komunikasi dapat diimplementasikan untuk sistem ini, namun teknologi RF 2.4 Ghz yang diimplementasikan pada modul komunikasi nRF24L01 dinilai lebih baik untuk digunakan dengan rata-rata delay 2.782562 uS dan rata-rata throughput 24,8722 Byte/s untuk jangkauan jarak hingga 102 meter. sedangkan Protokol Zigbee pada modul XBee S2C menghasilkan rata-rata delay 6.065685 dan rata-rata throughput 20.27232 Byte/s meskipun jangkauan jaraknya hingga 112 meter.

Kata Kunci : WSN, Ultrasonik, ZigBee, RF 2,4 GHz

Abstract

Inadequate infrastructure and lack of information about alternative routes and the density of a road lead to congestion which is a problem in developing countries such as Indonesia. The importance of information on the density of a road segment will provide its own solution and it is expected that real time information will greatly help the rider to obtain traffic density information and provide solutions for the development of smart traffic system.

To realize realtime traffic density information in this research, a Wireless Sensor Network (WSN) system using an ultrasonic device as input device and open source microcontroller device is expected to be able to detect traffic density and presented through web page. To realize the system requires an optimal communication protocol.

In this research, searching system accuracy in detecting congestion and comparison for two communication protocol namely ZigBee protocol and RF 2.4 GHz. The result of the analysis is the average of delay and throughput to compare the two protocols from the generated QoS parameters.

Accuracy obtained sensor is 95,31% to read speed of vehicle. Both communication protocols can be implemented for this system, but the 2.4 Ghz RF technology implemented on the nRF24L01 communications module is rated more for use with an average delay of 2.782562 uS and an average 24,8722 Byte / s of throughput up to 102 meters. While the Zigbee Protocol on the XBee S2C module yields an average delay of 6,065685 and an average throughput of 20,232 Bytes / s despite its range of up to 112 meters.

Keywords : WSN, Ultrasonic, ZigBee, RF 2.4 GHz

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Infrastruktur yang belum memadai serta kurangnya informasi tentang jalur alternatif dan kepadatan suatu ruas jalan mengakibatkan kemacetan yang menjadi sebuah masalah tersendiri pada negara berkembang seperti Indonesia. Pentingnya tentang informasi kepadatan suatu ruas jalan akan memberikan solusi tersendiri dan diharapkan informasi yang real time akan sangat membantu pengendara untuk mendapatkan informasi kepadatan lalu lintas dan memberikan solusi untuk pengembangan sistem *smart traffic*.

Dalam implementasinya sistem informasi real time tentang trafik lalu lintas dapat diimplementasikan dengan teknologi Wireless Sensor Network (WSN), dimana WSN sendiri merupakan jaringan kecil sensor node (SN) yang saling berkomunikasi satu sama lain menggunakan komunikasi nirkabel dimana menggabungkan penginderaan, komputasi, dan teknologi telekomunikasi nirkabel. Karena memiliki berbagai fungsi dan fleksibilitas dalam penerapannya, maka banyak penerapan yang potensial dapat dikembangkan oleh teknologi ini. [1].

Dalam membuat sistem yang mampu mengirimkan data secara real time maka dibutuhkan standar pengiriman data yang ideal untuk mendapatkan performansi yang baik. Dalam dunia WSN sendiri telah dikenal beberapa protokol pengiriman data yang digunakan. Namun dalam performa yang dihasilkan dari setiap protokol belum tentu semutakhir spesifikasinya. Dimana performansi protokol akan berbeda disetiap case dimana protokol tersebut digunakan.

Dalam implementasinya, saat ini banyak dikembangkan protocol komunikasi di kalangan komunikasi antar node sensor. Diantaranya protocol komunikasi yang sering digunakan adalah ZigBee dan RF. Setiap protocol dan modul komunikasi memiliki karakteristik yang berbeda pada implementasinya. Oleh karenanya dalam tugas akhir ini akan dilakukan penelitian untuk membandingkan dua buah jenis protokol komunikasi data yang dapat diaplikasikan untuk sebuah sistem monitoring trafik berbasis WSN. Dimana protokol komunikasi yang akan dibandingkan yakni protokol ZigBee dan protokol RF.

1.2 Tujuan penelitian

Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah :

1. Merancang sensor ultrasonik sebagai sensor yang dapat mendeteksi kendaraan untuk informasi lalu lintas
2. Menggunakan protokol komunikasi ZigBee dan RF untuk sistem monitoring trafik lalu lintas
3. Mendapatkan analisis parameter QoS berupa troughput dan delay dari protokol ZigBee dan RF untuk sistem monitoring trafik lalu lintas

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang maka dapat dirumuskan beberapa masalah berikut:

1. Bagaimana merancang sensor ultrasonik sebagai sensor yang dapat mendeteksi jumlah kendaraan untuk informasi lalu lintas ?
2. Bagaimana menggunakan protokol komunikasi ZigBee dan RF untuk sistem monitoring lalu lintas?
3. Bagaimana cara menganalisis parameter QoS dari protokol ZigBee dan RF yaitu trougput dan delay yang dihasilkan ?

1.4 Batasan Masalah

Demi menghindari perluasan pembahasan pada penelitian ini, berikut adalah batasan masalah untuk penelitian ini:

1. Perangkat keras yang digunakan adalah Arduidouno
2. Perangkat lunak yang digunakan adalah Arduino IDE
3. Pengujian dilakukan di lapangan dengan karakteristik jalan raya
4. Kendaraan yang terdeteksi memiliki panjang minimum 2 meter
5. Parameter yang digunakan adalah kecepatan dan panjang kendaraan
6. Tidak membahas pengereman
7. Protokol komunikasi yang digunakan adalah ZigBee dan RF
8. Analisa QoS yang digunakan adalah trougput dan delay yang dihasilkan
9. Tidak membahas keamanan jaringan

2. Landasan Teori

2.1 Wireless Sensor Network (WSN)

Jaringan Sensor Nirkabel atau Wireless Sensor Network (WSN) dapat diartikan sebagai kumpulan sejumlah node yang diatur dalam sebuah jaringan dan bekerjasama. Dimana setiap node memiliki kemampuan pemrosesan (satu atau lebih mikrokontroler, CPU, atau chip DSP), mungkin memiliki beberapa jenis memori (memori untuk program, data, dan flash), meliki transceiver frekuensi radio (bisaanya mengguna single omni-antena directional), memiliki sumber daya (seperti sel surya atau baterai), serta mengakomodasi berbagai sensor

dan aktuator. Node berkomunikasi secara nirkabel dan mampu mengorganisir diri sendiri sehingga membentuk suatu sistem yang mampu merevolusi cara kita hidup dan bekerja.[2]

2.1.1 WSN untuk *Intelligent Smart Traffic*

Aplikasi WSN banyak diterapkan pada bidang transportasi dan lalu lintas yang masuk kedalam ranah Intelligent Transport System (ITS). ITS sendiri merupakan sistem pada bidang transportasi dan lalu lintas yang menerapkan teknologi informasi dan komunikasi secara elektronika melalui *software* dan *hardware* yang mengintegrasikan unsur dari transportasi dan lalu lintas seperti jalan, kendaraan, dan pengemudi (orang).[3] ITS merupakan bagian dari *smart city* yakni *smart transportation*..

2.2 Protokol WSN

Sebagian besar dari sistem aplikasi WSN dituntut untuk mampu mengirimkan data yang diperoleh dari node sensor ke pengguna (user) yang berada di tempat berbeda. Karena kebutuhan tersebut, maka diperlukan perangkat keras dan protokol komunikasi yang memungkinkan untuk mengirim dan menerima data ke terminal di tempat yang jauh. Sebagai hal paling sederhana untuk memungkinkannya adalah mampu membuat sebuah hubungan dari node sensor ke node sink untuk bisa saling berkomunikasi secara langsung. Batasa dalam WSN berasal dari dasar-dasar komunikasi radio dan merupakan pembatasan inheren komunikasi RF, yang menghasilkan keterbatasan pada jarak yang layak antara pengirim dan penerima.[4]

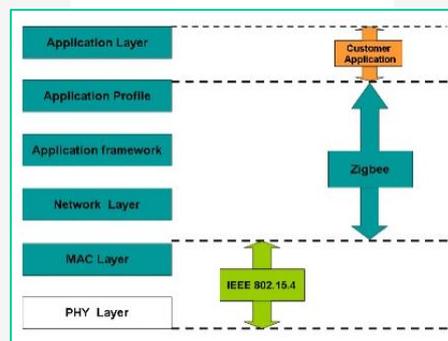
Ada beberapa Wireless Protocol yang digunakan dalam sistem WSN, seperti Protokol MAC, Protokol dari keluarga IEEE 802.15.4, ZigBee, RF4CE, IEEE 802.11 a/b/g, Bluetooth, USB Wireless, RF2,4 GHz dan masih banyak lagi. Setiap protokol memiliki karakteristik sendiri-sendiri dan bekerja pada layer Physic.

2.2.1 Protokol RF 2.4 GHz

RF adalah singkatan dari Radio Frequency. RF sendiri mengacu pada frekuensi atau band frekuensi yang terletak di kisaran 10 kHz hingga 300.000 MHz. Frekuensi ini cocok untuk digunakan pada komunikasi radio dan penyiaran. Bentuk khusus gelombang elektromagnetik pada dasarnya digunakan untuk berkomunikasi secara nirkabel di jaringan IEEE 802.11. RF memungkinkan dua perangkat untuk saling berkomunikasi satu sama lain. RF berjalan sebagai standar jaringan nirkabel 802.11 yang ditetapkan Institute of Electrical and Electronics Engineering (IEEE).

2.2.2 Protokol ZigBee

ZigBee adalah protokol jaringan berbasis standar yang didukung sepenuhnya oleh ZigBee Alliance yang menggunakan layanan transportasi dari spesifikasi jaringan IEEE 802.15.4 dan menambahkan lebih banyak fungsi (full peer-to-peer /jaringan mesh, layanan aplikasi, dll). Pada kasus ini sublayer MAC IEEE 802.15.4 memegang kendali dalam komunikasi radio. Inisialisasi, pengiriman ulang, control aliran dan tugas sinkronisasi jaringan dikelola oleh sublapisa MAC IEEE 802.15.4. Protokol ZigBee mendukung topologi star, mesh, dan tree.[4]



Gambar 2.1 Susunan Lapisan Protokol ZigBee[11]

2.3 Modul Komunikasi nRF24L01+

nRF24L01+ adalah transeiver radio chip tunggal untuk range frekuensi 2,4 2,5 GHz ISM . Pengirim ini terdiri dari frekuensi synthesizer yang terintegrasi penuh, penguat daya, osilator kristal, demodulator, modulator, dan protokol mesin Enhanced ShockBurst™. Daya output, kanal frekuensi, dan pengaturan protokol dapat diprogram dengan mudah melalui antarmuka SPI. Spesifikasi umum dari modul ini adalah [5] :

1. Beroperasi pada kecepatan maksimum hingga 2 Mbps, memiliki efisiensi modulasi GFSK, dan kemampuan anti-inteferensi
2. 125 saluran, komunikasi multipoint dan frekuensi hopping untuk memenuhi kebutuhan komunikasi
3. Deteksi kesalahan CRC, control alamat komunikasi multipoint.
4. Low-power 1.9 ~ 3.6V, hanya 1uA pada mode Power down. Dibuat pada antea 2.4Ghz
5. Perangkat lunak tersedia untuk mengatur alamat, hanya menerima alamat lokal ketika data output (Memberikan instruksi interupsi), dapat langsung terhubung ke berbagai mikrokontroler, pemrograman Perangkat Lunak sangat nyaman.
6. Standard Pitch Interface DIP untuk aplikasi tertanam
7. Dimensi modul : 34mm X 17mm X 1mm

2.4 Modul Komunikasi XBee S2C

XBee S2C merupakan modul komunikasi yang beroperasi dengan Zigbee firmware yang dimuat ke perangkat. Modul XBee Zigbee RF membangun konektivitas nirkabel ke end-point devices pada jaringan Mesh Zigbee. Modul ini memungkinkan pengguna untuk bisa masuk ke jaringan Zigbee dan menjalankan sistem di jaringan tersebut. XBee S2 dapat mengimplementasikan mesh networking karena pada XBee S2 tiap module XBee dapat ditentukan perannya dalam suatu topologi jaringan yang hendak kita bangun. Peran yang dimaksud adalah sebagai Coordinator, Router maupun End-Device.[6] Spesifikasi umum dari modul XBee S2C adalah sebagai berikut :

1. Beroperasi pada band frekuensi ISM 2.4 -2.5 GHz
2. Dimensi perangkat : through-hole: 2.438 x 2.761 cm (0.960 x 1.087 in) dan surface-mount: 2.199 x 3.4 x 0.305 cm (0.866 x 1.33 x 0.120 in)
3. Beroperasi pada temperature -40 sampai 85 °C
4. Jangkauan indoor/perkotaan sampai 60 m (200 ft)
5. Jangkauan outdoor RF line-of-sight hingga 1200 m

2.5 Sensor Ultrasonik HC-SR04

Sensor ultrasonik merupakan perangkat yang bekerja berdasar prinsip pantulan suatu gelombang suara sehingga dapat mengungkapkan eksistensi suatu benda spesifik yang ada dalam frekuensinya. Gelombang ultrasonik sendiri merupakan gelombang dengan ukuran frekuensi di atas gelombang sura yakni sekitar 40 KHz sampai 400 KHz. Sensor SRF04 memiliki dua buah pin kontrol, yakni pin input triger dan pin output data. Untuk mengaktifkan sensor, maka modul akan diberikan triger pulsa sehingga sensor akan menghasilkan sensor PWM dan duty sycle untuk dijadikan jarak objek dengan sensor. Sinyal pulsa high yang akan diberikan pada pin triger dan pin input untuk mengaktifkan sensor ultrasonik dihasilkan oleh mikrokontroler.

2.6 Arduino Uno

Arduino adalah sebuah mikrokontroler yang menggunakan bahasa processing dan bersifat open source.[2] Arduino Uno merupakan suatu Arduino Uno adalah Board Mikrokontroler Open Source berbasis ATmega328. ATmega328 merupakan mikrokontroler 8-bit yang dapat deprogram dengan bahasa C. Board Arduino Uno memiliki 14 pin input dan output digital, terdapat 6 pin yang dapat digunakan sebagai output PWM dan 6 pin digunakan untuk input analog, dan serial komunikasi. Arduino Uno bekerja dalam tegangan 5 volt DC dan membutuhkan tegangan input 7-12 Volt DC.

2.7 Parameter Pengujian

2.7.1 Delay

Delay adalah waktu tunda yang terjadi di sinyal pengirim mengakibatkan keterlambatan sampainya informasi.[7]

2.7.2 Throughput

Throughput adalah kecepatan rata-rata suatu node dalam menerima data pada selang waktu tertentu.[7] Throughput dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Jumlah data yang dikirim}}{\text{Waktu pengiriman data}}$$

2.7.3 Availability

Availability adalah kemungkinan suatu sistem untuk siap beroperasi saat dibutuhkan. [7]

$$\text{Availability} = \frac{\text{Uptime}}{(\text{Uptime} + \text{Downtime})} \times 100 \%$$

2.7.4 Reability

Realibilitas adalah kemungkinan dari suatu sistem untuk dapat memenuhi fungsi yang dibutuhkan.[7]

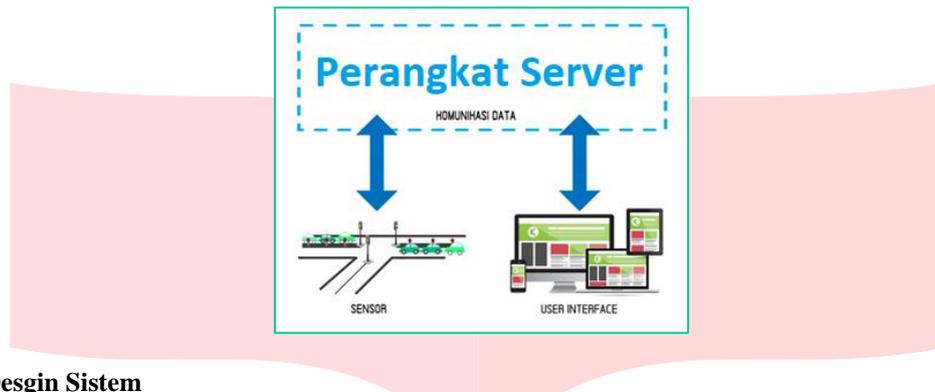
$$\text{Reliability} = \frac{(\text{Uptime} - \text{Downtime})}{\text{Uptime}} \times 100 \%$$

3. Perancangan dan Implementasi Sistem

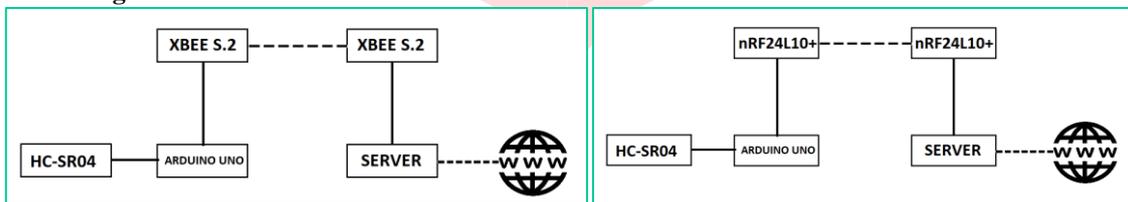
3.1 Gambaran Umum Sistem

Pada perancangan sistem penyajian informasi trafik lalu lintas berbasis WSN ini terdapat empat bagian utama yaitu bagian sensor, bagian komunikasi data, server dan bagian user interface. Bagian pertama adalah perancangan sistem sensor yang menggunakan sensor ultrasonik sebagai perangkat masukan (input) dari data yang

dihasilkan dari bagian trigger dan echo yang berada di dalam perangkat sensor. Bagian kedua adalah bagian komunikasi data dimana pada bagian ini akan dilakukan pengiriman data dari node sensor ke perangkat server dimana data akan di olah dan diteruskan ke sistem user interface. Pada bagian user interface yang berupa sebuah laman web yang diakses melalui web browser merupakan perangkat keluaran (ouput) dimana akan dilakukan penyajian informasi dari data masukan secara berkala.



3.2 Desain Sistem



4. Pengukuran dan Analisis Pengujian

4.1 Pengujian Perangkat keras

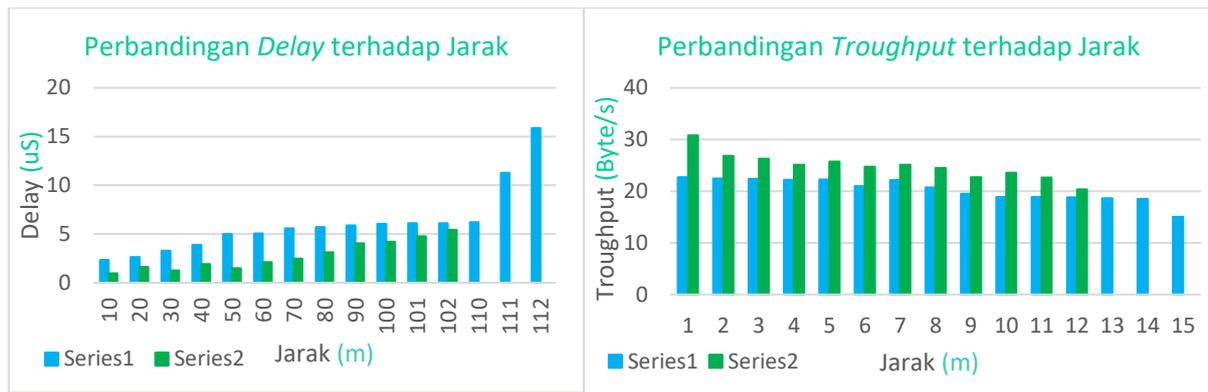
Hasil dari pengujian kinerja sensor ultrasonik HC-SR04 dalam mengukur jarak didapatkan rata-rata presentase kesalahan sebesar 0.25%. Nilai absolute error terbesar yang didapatkan dari pengujian adalah sebesar 6 cm. Untuk pengujian Sensor HC-SR04 untuk mengukur kecepatan didapatkan rata-rata presentasi tingkat akurasi sebesar 91.53%. Untuk pengujian integras perangkat keras didapatkan hasil sebagai berikut :

No.	Integrasi Perangkat Keras	Keterangan
1	Input catu daya sesuai kebutuhan perangkat	OK
2	Integrasi perangkat sensor HC-SR04 dengan Arduino Uno untuk membaca data jarak dan kecepatan	OK
3	Integrasi modul komunikasi XBee S2 dengan Arduino Uno untuk mengirim data ke XBee S2 pada perangkat koordinator	OK
4	Integrasi modul komunikasi nRF24L01+ dengan Arduino Uno untuk mengirim data ke nRF24L01+ pada perangkat koordinator	OK
5	Perangkat koordinator dan server menerima data dari node sensor dan menyimpannya pada database web	OK

4.2 Pengujian Performasi dan Perbandingan Sistem

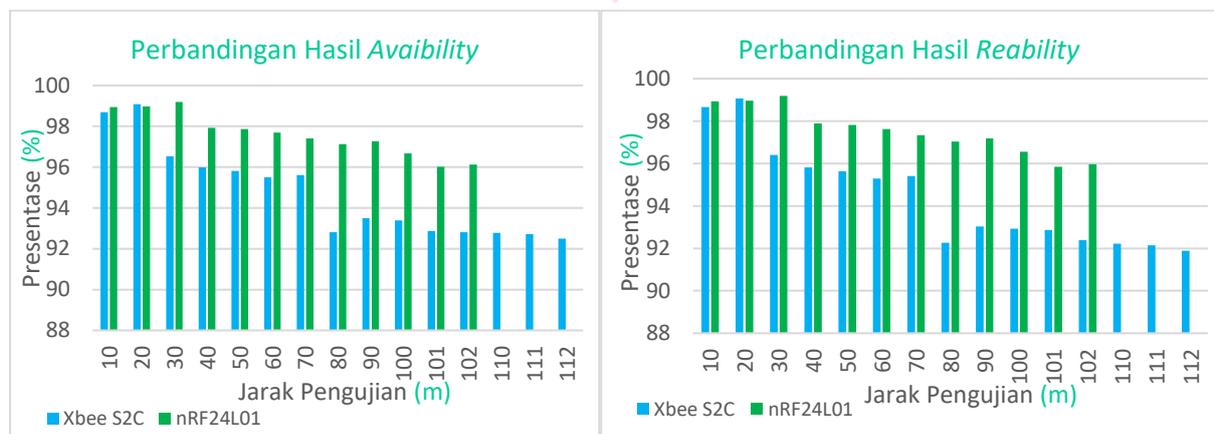


Dari hasil pengujian jangkauan jarak operasi untuk kedua sistem berbasis ZigBee dan RF 2.4 GHz dengan skema *Line of Sight*, didapatkan bahwa sistem berbasis ZigBee mencapai jarak 112 m dan RF 2.4 GHz mencapai 102 m. XBee S2C mencapai jarak jangkauan operasi 10 meter lebih jauh dari nRF24L01+.



Dari pengujian *Delay* terhadap jarak, dapat diketahui bahwa sistem berbasis ZigBee memiliki *delay* yang lebih besar dibandingkan sistem berbasis RF 2.4 GHz. Rata-rata nilai *delay* XBee S2C adalah 6,06 μ s, sedangkan nRF24L01 adalah 2,78 μ s.

Dari pengujian *throughput* terhadap jarak, dapat diketahui bahwa sistem berbasis RF 2.4 GHz memiliki *throughput* yang lebih tinggi dibandingkan sistem berbasis ZigBee. Rata-rata nilai *throughput* XBee S2C adalah 20,27 Byte/s, sedangkan nRF24L01 adalah 24,8722 Byte/s.



Dari hasil perbandingan pada Gambar 4.23 didapatkan besar Availability dari sistem RF 2.4 Ghz lebih tinggi dibandingkan sistem Zigbee, dengan presentase rata-rata sebesar 97,597949 %, sedangkan presentase dari sistem ZigBee adalah 94,993133%. Untuk nilai reability, sistem RF 2.4 GHz juga memiliki presentase yang lebih besar dibandingkan sistem Zigbee, yakni memiliki presentase rata-rata sebesar 97,5278%, sedangkan sistem ZigBee memiliki nilai rata-rata reability sebesar 94,5762%.

5. Kesimpulan dan Saran

Dari pengujian dan analisis yang telah dilakukan sebelumnya maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Sensor ultrasonik dapat bekerja dengan baik untuk mendeteksi keberadaan kendaraan dengan jarak deteksi maksimum 4 meter dan tingkat presentasi kesalahan sebesar 0.25%, Sensor juga dapat diterapkan pada sistem pembacaan kecepatan kendaraan dengan tingkat akurasi 91.53%.
2. Penerapan protokol komunikasi RF 2.4 GHz dan ZigBee dapat digunakan dalam sistem penyajian informasi trafik lalu lintas. Sistem penyajian informasi trafik lalu lintas dapat bekerja dengan baik untuk mengirikan informasi ke user interface dari data yang diterima sensor ultrasonik dengan bantuan modul komunikasi XBee S2C dan nRF24L01
3. Pada pengujian perangkat XBee S2C didapatkan jarak jangkauan operasi maksimal sebesar 112 meter dengan menghasilkan nilai delay minimum 2,35 uS pada jarak pengiriman 10 meter dan delay maksimum 15,87 uS pada jarak uji 112 meter, serta menghasilkan throughput maksimum sebesar 33,37 Byte/s pada jarak uji 20 meter dan throughput minimum 15,87 Byte/s pada jarak uji 112 meter.
4. Pada pengujian perangkat nRF24L01+, jarak jangkauan operasi maksimalnya sebesar 102 meter, dengan menghasilkan nilai delay minimum 0,98 uS pada jarak pengiriman 10 meter dan delay maksimum 6,5 uS pada jarak uji 102 meter, serta menghasilkan throughput maksimum 30,8 Byte/s pada jarak uji 10 meter dan throughput minimum 30,8 Byte/s pada jarak uji 112 meter.

5. Jarak pengiriman berpengaruh pada nilai delay, dan berbanding lurus, dimana makin jauh jarak pengirimannya makin besar nilai delay yang dihasilkan. Sedangkan nilai delay berpengaruh pada nilai throughput, dimana makin besar nilai delay yang dihasilkan, akan makin kecil nilai throughput yang dihasilkan.
6. Hasil analisis perbandingan nilai delay antara sistem berbasis ZigBee dan RF 2.4 GHz, didapatkan bahwa nRF24L01+ memiliki nilai delay rata-rata lebih kecil dibandingkan XBee S2C sebesar 2.78 μ s, sedangkan untuk modul komunikasi XBee S2C dan 6.06 μ s.
7. Pada hasil perbandingan nilai throughput, didapatkan rata-rata sebesar 20.27 Byte/s untuk sistem berbasis ZigBee, dan 24.87 Byte/s untuk sistem berbasis RF 2.4 GHz. Sistem berbasis RF 2.4 GHz memiliki nilai throughput lebih besar dibandingkan sistem berbasis ZigBee.
8. Pada hasil perbandingan nilai availability dan reability didapatkan bahwa makin besar nilai availability maka makin besar nilai reability. Dimana makin besar data yang hilang makin kecil nilai availability dan reability yang dihasilkan. Nilai availability dan reability yang dihasilkan sistem berbasis RF 2.4 GHz lebih besar dibandingkan nilai yang dihasilkan dari sistem ZigBee.
9. Berdasarkan nilai yang dihasilkan dari pengujian sistem ini, perangkat teknologi RF 2.4 GHz pada modul komunikasi nRF24L01+ memiliki performansi delay, throughput, availability, dan reability yang lebih baik dibandingkan penggunaan protokol ZigBee pada perangkat XBee S2C.

Dari penelitian yang dilakukan masih terdapat kekurangan dan beberapa pengujian yang tidak dilakukan, sehingga dapat dilakukan pengembangan pada penelitian selanjutnya antara lain :

1. Dapat membangun komunikasi lebih dari 1 node sensor untuk melihat performansi pada jaringan multi node.
2. Dapat membangun komunikasi sampai ke server internet untuk dapat mengakses web informasi secara real time.
3. Dapat menggunakan perangkat lain berbasis protokol ZigBee dan RF 2.4 GHz untuk dibandingkan.
4. Dilakukan pengujian beban data pengiriman untuk melihat pengaruhnya terhadap kualitas jaringan yang dihasilkan.
5. Dilakukan pengujian untuk parameter masa hidup (life time) dan konsumsi daya.

6. Daftar Pustaka

- [4] Bottero, M. B. Dalla Chiara. F. P. Deflerio. 2013. *Wireless Sensor Network dor Traffic Monitoring in Logistic Centre*. Politecnico di Torino, Dept. DIATI, Transport Engineering, Corso Duca degli Abruzzi, 24-10129, Italy.
- [5] Pratama, I Putu Agus Eka. 2014. *Smart City Beserta Cloud Computing*. Bandung: Informatika Bandung.
- [8] Zanella, Andrea. Nicola Bui. Angelo Castellani. Lorenzo Vangelista. Zorzi Michele. 2014. *Internet of Things for Smart Cities*. IEEE Internet of Things Journal Vol. 1
- [9] Iacono, Lucas. 2011. *Wireless Sensor Network Protocols*
- [13] 2013. *Modul Wireless nRF24L01*. NRF24L01.
- [14] 2018. *XBee/XBee-PRO® S2C Zigbee® RF Module*. Digi International Inc
- [24] Al-Masri, Eyhab. Mahmoud, QuSay H. 2007. *QoS-based Discovery and Ranking of Web Services*. University of Guelph, Guelph, Ontario, N1G 2W1 Canada.