

Analisis Kelayakan LoRa Untuk Jaringan Komunikasi Sistem Monitoring Listrik Di Politeknik Negeri Samarinda

Ayub Repa Batong¹, Prihadi Murdiyat¹, Abdul Hamid Kurniawan¹,
¹Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda
 pmurdiyat@polnes.ac.id

Abstrak- Di Politeknik Negeri Samarinda (Polnes) akan dibangun sistem monitoring energi listrik terpadu. Untuk membangun jaringan komunikasinya diperlukan teknologi komunikasi yang dapat bekerja dengan baik. Mempertimbangkan luas Polnes sebesar 10 hektar dan jarak antara gedung yang cukup jauh, salah satu teknologi radio yang dapat digunakan adalah LoRa (*Long Range*). LoRa diklaim dapat mencapai jarak hingga 20-30 kilometer pada kondisi *line of sight* (LoS). Namun, kampus Polnes yang berbukit-bukit dan penuh gedung bertingkat bisa menyulitkan jaringan komunikasi yang akan dibentuk. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran *link* untuk mengetahui layak tidaknya LoRa digunakan pada sistem monitoring di Polnes. Kelayakan dinilai berdasar parameter RSSI, SNR, dan *packet loss* (PL) yang diperoleh dari hasil pengukuran pada unit *receiver* yang diletakkan dalam beberapa gedung, dengan sinyal yang dipancarkan dari unit *sender* yang dipasang di luar gedung Laboratorium Teknik Elektro. Penelitian dilakukan dengan menggunakan dua jenis frekuensi operasi LoRa yaitu 433 MHz dan 915 MHz. Dari hasil pengukuran pada frekuensi 433 MHz maupun 915 MHz, nilai RSSI-nya lebih besar dari -120 dB, SNR lebih besar dari -20 dB, dan nilai PL-nya lebih kecil dari 3%. Ini menunjukkan bahwa LoRa layak untuk digunakan sebagai jaringan komunikasi sistem monitoring. Selain itu, juga diperoleh bahwa LoRa dengan frekuensi kerja 433 MHz mempunyai performa yang lebih baik dibanding LoRa dengan frekuensi 915 MHz. Begitu juga, hasil yang diperoleh dari antena Yagi-Uda umumnya lebih baik dan konsisten dibanding hasil yang diperoleh dari antena *rubber duck*.

Kata kunci : LoRa, RSSI, SNR, *packet loss*.

I. PENDAHULUAN

Ketiadaan alat ukur energi listrik di tiap gedung dalam kampus Politeknik Negeri Samarinda menyebabkan diperlukannya sistem yang mampu memberikan data energi listrik tersebut. Sebuah sistem monitoring nirkabel yang dikembangkan dari penelitian dosen dan mahasiswa sedang dibangun. Tidak hanya untuk keperluan monitoring listrik, sistem ini nantinya akan dikembangkan untuk memonitor dan mengatur sumber daya lain seperti penggunaan air bersih, sumber energi surya, dan lain sebagainya.

Sistem monitoring terdiri dari *sensor node* (SN), *gateway*, internet dan server. SN akan diletakkan berdekatan dengan titik yang akan diukur. Sensor pada SN akan mengukur parameter, mengubah menjadi data digital dan mengirimnya ke *sink / gateway*. *Sink/gateway* berfungsi untuk mengumpulkan data yang dikirim oleh SN dan meneruskannya ke server melalui

jaringan internet dalam kampus. *Website* yang dapat menampilkan informasi parameter listrik seperti daya, energi, dan lainnya dapat diakses oleh pihak otoritas Politeknik.

Untuk keperluan monitoring energi listrik, SN akan diletakkan di dekat panel utama di setiap gedung di Politeknik. Jaringan komunikasi antara sejumlah SN dengan *gateway* rencananya akan menggunakan teknologi *long range* (LoRa), yang merupakan salah satu kandidat kuat komunikasi jaringan nirkabel untuk *internet of things* (IoT).

Pada pengukuran di atas laut dengan kondisi *line of sight* (LoS) di mana tidak terdapat penghalang antara pemancar dengan penerima yang dilakukan pada [1], diperoleh bahwa LoRa mampu berkomunikasi dalam jarak yang jauh hingga 30 km. Namun, di area kampus Politeknik Negeri Samarinda kemungkinan hal itu sulit dicapai. Banyaknya bangunan yang tingginya bervariasi dan kondisi tanah yang berbukit-bukit sangat tidak memungkinkan untuk mencapai kondisi LoS. Karena itu, pengukuran kemampuan LoRa pada kondisi tersebut diperlukan untuk melihat efektifitasnya dalam membentuk jaringan komunikasi yang diperlukan.

Hasil yang diperoleh akan menjadi pertimbangan apakah LoRa akan digunakan dalam sistem monitoring. Jika digunakan, juga akan menjadi referensi pada penelitian berikutnya tentang bagaimana model topologi jaringan yang sesuai dengan kondisi lingkungan di Politeknik Negeri Samarinda.

Di Indonesia, *transceiver* LoRa yang diperjual belikan bekerja pada frekuensi 433 MHz atau 915 MHz. Menurut Peraturan Menkominfo no 1 tahun 2019, alokasi frekuensi yang digunakan untuk LoRa di Indonesia adalah 915 MHz. Maka pengukuran dilakukan pada frekuensi ini. Adapun pengukuran pada frekuensi 433 MHz dalam penelitian ini digunakan sebagai pembanding.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. LoRa

LoRa adalah teknologi nirkabel yang digunakan untuk membuat *link* komunikasi jarak jauh. Ketika banyak teknologi nirkabel lama menggunakan modulasi *frequency shift keying* (FSK) sebagai lapisan fisik karena merupakan modulasi yang sangat efisien untuk mencapai daya rendah, LoRa menggunakan modulasi *chirp spread spectrum*, yang mempertahankan karakteristik daya rendah yang sama dengan

modulasi FSK, tetapi secara signifikan meningkatkan jangkauan komunikasi [1].

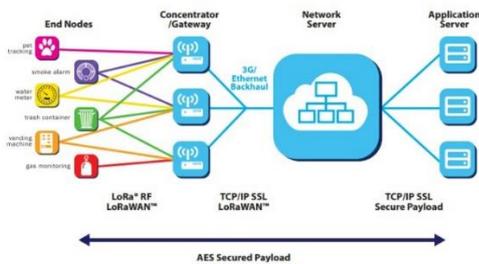
Jangkauan komunikasi LoRa sangat jauh hingga mencapai beberapa puluh kilometer. Sehingga komunikasi antara sebuah stasiun dengan *gateway*-nya dapat dilakukan hanya dengan satu jangkauan saja. Jangkauan sangat tergantung pada lingkungan atau penghalang di lokasi tersebut. Pada [Gambar 1](#) ditunjukkan peta jaringan Proximus di Belgia, yang menggunakan teknologi LoRa. Dengan jumlah infrastruktur minimal, seluruh negara dapat dengan mudah dijangkau [2].



Gambar 1. Peta jaringan Proximus [2]

B. LoraWAN

LoRaWAN adalah spesifikasi jaringan *Low Power Wide Area Network* (LPWAN) yang dikembangkan oleh LoRa Alliance. Sesuai 7 layer OSI, LoRa terletak pada bagian *physical layer*, sementara LoRaWAN, yang mendefinisikan protokol komunikasi dan arsitektur sistem untuk jaringan, berada pada lapisan-lapisan di atasnya. Arsitektur jaringan LoRaWAN ditunjukkan dalam [Gambar 2](#).



Gambar 2. Arsitektur jaringan LoRaWAN [2]

Data dibangkitkan oleh *end node/sensor node* dari hasil pengukurannya terhadap parameter yang diinginkan. Kemudian, data dikirim ke *gateway* melalui jaringan radio LoRa. Selanjutnya *gateway* akan meneruskan data ke server melalui fasilitas 3G, Ethernet atau fasilitas komunikasi public lainnya. Dalam jaringan internet, terdapat *network server* yang mengatur ke server aplikasi mana data dikirim. Protokol dan arsitektur jaringan LoRaWAN memiliki pengaruh yang besar terhadap masa pakai baterai dari *sensor node*, kapasitas jaringan, kualitas layanan, keamanan, dan beragam aplikasi yang dilayani oleh jaringan [2].

C. Keunggulan Teknologi LoRa

LoRa memiliki kelebihan dibandingkan dengan jenis komunikasi lainnya seperti seluler, Bluetooth maupun WIFI. Kemampuan komunikasi jarak jauh seperti seluler, namun berdaya rendah seperti Bluetooth, menyebabkan penggunaannya sangat cocok untuk perangkat sensor yang dioperasikan tahunan dengan sumber daya baterai dan pada cakupan area yang luas. LoRa mempunyai keterbatasan kecepatan transmisi data yaitu antara 0.3 kbps hingga 50 kbps. Walaupun begitu tidak akan menjadi masalah selama data yang dikirimkan berukuran kecil [3]. Aplikasi seperti ini cocok digunakan untuk berbagai macam jaringan sensor nirkabel (*wireless sensor network/WSN*).

Komunikasi pada LoRa menggunakan protokol dan media komunikasi radio yang berbeda dengan protokol dan media komunikasi yang digunakan oleh jaringan internet. Maka agar data yang diterima dari *sensor node* bisa sampai ke server aplikasi yang diinginkan, *gateway* harus menjadi *interface* dari kedua jenis jaringan ini [4].

D. Pengujian Sinyal Radio LoRa

Sebelum membuat jaringan komunikasi, pada umumnya perlu dilakukan pengukuran terhadap kelayakan suatu teknologi radio. Demikian halnya dengan LoRa. Untuk membangun sistem transmisi data yang *reliable* beberapa parameter yang diukur antara lain adalah: RSSI, SNR, dan *packet loss* [5].

1). RSSI

Received Signal Strength Indicator atau RSSI merupakan indikator kekuatan sinyal terima [6]. RSSI ini merupakan perkiraan level daya terukur yang diterima dari klien RF yang dalam kebanyakan kasus menunjukkan seberapa baik radio tertentu dapat mendengar radio klien yang terhubung jarak jauh.

2). SNR

Signal to Noise Ratio atau SNR adalah parameter yang dapat menentukan kualitas dari sebuah sinyal yang terganggu oleh derau [5]. SNR ialah perbandingan antara daya sinyal yang diinginkan dengan daya sinyal yang tidak diinginkan, yang dihasilkan oleh *noise*. SNR menyatakan kualitas sinyal informasi yang diterima pada sistem transmisi. SNR juga merupakan batas ambang sinyal analog yang masih dapat diterima. Semakin besar nilai SNR maka kualitas sinyal semakin bagus. *Noise* yang bernilai besar akan menyebabkan nilai SNR yang semakin kecil. Semakin dekat jarak transmisi, maka akan semakin besar pula kekuatan SNR begitu pula sebaliknya [7].

3). Packet Loss

Packet Loss adalah persentase paket yang hilang selama mentransmisikan data. Hal ini disebabkan oleh banyak faktor seperti penurunan sinyal dalam media jaringan, kesalahan perangkat keras jaringan, atau juga radiasi dari lingkungan sekitar [8].

Packet loss juga merupakan suatu parameter yang menggambarkan suatu kondisi yang menunjukkan jumlah total

paket yang hilang, dapat terjadi karena *collision* dan *congestion* pada jaringan dan hal ini berpengaruh pada semua aplikasi karena retransmisi akan mengurangi efisiensi jaringan secara keseluruhan meskipun jumlah *bandwidth* cukup tersedia untuk aplikasi-aplikasi tersebut. Umumnya perangkat jaringan memiliki *buffer* untuk menampung data yang diterima [9]. Kategori *packet loss* dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL 1
KATEGORI *PACKET LOSS* [9]

Kategori Degradasi	Packet Loss
Sangat Bagus	0 %
Bagus	3 %
Cukup	15 %
Buruk	25 %

E. *Arduino Uno*

Arduino Uno adalah board mikrokontroler berbasis ATmega328. Memiliki 14 pin digital, di mana 6 pin input tersebut dapat digunakan sebagai output PWM, 6 pin input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, *jack power*, ICSP header, dan tombol Reset [10]. Tampilan board Arduino Uno ditunjukkan dalam Gambar 3, sedangkan spesifikasinya ditunjukkan dalam Tabel 2.



Gambar 3. Tampilan Arduino Uno [10]

TABEL 2
SPESIFIKASI ARDUINO UNO [10]

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 gr

F. *Arduino Nano*

Arduino Nano adalah salah satu papan pengembangan mikrokontroler yang berukuran kecil, lengkap dan mendukung penggunaan breadboard. Arduino Nano diciptakan dengan basis mikrokontroler ATmega328 (untuk Arduino Nano versi 3.x) atau ATmega 168 (untuk Arduino versi 2.x) [10]. Arduino Nano kurang lebih memiliki fungsi yang sama dengan Arduino Duemilanove, tetapi dalam paket yang berbeda. Arduino Nano tidak menyertakan colokan DC berjenis Barrel Jack, dan dihubungkan ke komputer menggunakan port USB Mini-B. Bentuk Arduino Nano ditunjukkan dalam Gambar 4, dan spesifikasinya diberikan dalam Tabel 3.



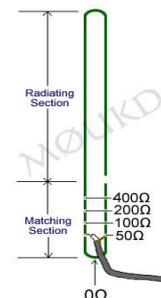
Gambar 4. Tampilan Arduino Nano [10]

TABEL 3
SPESIFIKASI ARDUINO NANO [10]

Microcontroller	ATmega328
Architecture	AVR
Operating Voltage	5 V
Flash Memory	32 KB of which 2 KB used by bootloader
SRAM	2 KB
Clock Speed	16 MHz
Analog IN Pins	8
EEPROM	1 KB
DC Current per I/O Pins	40 mA (I/O Pins)
Input Voltage	7-12 V
Digital I/O Pins	22 (6 of which are PWM)
PWM Output	6
Power Consumption	19 mA
PCB Size	18 x 45 mm
Weight	7 g
Product Code	A000005

G. *Antena Slim Jim*

Antena yang mempunyai pola radiasi *omni directional* ini, umumnya dicirikan sebagai antena dipole vertikal terlipat. Efisiensi radiasinya 50% lebih baik daripada antena Ground Plane karena radiasi sudutnya yang rendah. Nama Slim Jim berasal dari konstruksinya yang menggunakan tipe J [11]. Bentuk antena Slim Jim ditunjukkan dalam Gambar 5.

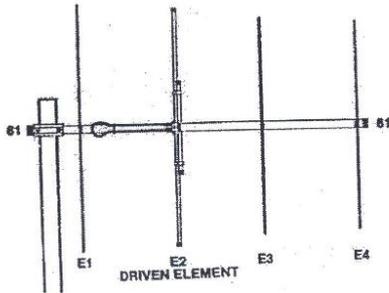


Gambar 5. Bentuk antena Slim Jim [11]

H. Antena Yagi

Sejak ditemukan oleh S. Uda dan Hidetsugu Yagi di Universitas Tohoku pada tahun 1926, antena Yagi-Uda, yang sering disebut antena Yagi, banyak sekali digunakan pada komunikasi radio amatir dan antena penerima televisi. Kelebihan antena Yagi di antaranya adalah konstruksinya yang mudah, mempunyai direktivitas dan gain yang tinggi [12].

Antena yang mempunyai pola radiasi *uni-directional* ini umumnya terdiri dari sebuah reflektor, sebuah *driven element*, dan beberapa direktor yang dirangkai pada sebuah boom, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Tampilan antena Yagi-Uda 4 elemen [12]

Adapun fungsi dari tiap-tiap elemen tersebut adalah sebagai berikut:

- 1). **Driven** merupakan bagian paling penting dari sebuah antena Yagi karena elemen inilah yang mengubah sinyal listrik yang dibangkitkan pemancar menjadi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan melalui udara. Kabel antena dihubungkan dengan keluaran pemancar melalui kabel antena.
- 2). **Reflektor**, sesuai dengan namanya berfungsi sebagai pemantul. Elemen reflektor ditempatkan dibelakang elemen driven dan dibuat lebih panjang dari elemen driven. Umumnya mempunyai panjang $0,55 \lambda$ (panjang gelombang).
- 3). **Direktor** berfungsi sebagai adalah pengarah radiasi gelombang radio. Ukurannya 5 % lebih pendek daripada elemen *driven*. Penambahan batang direktor akan menambah gain antena, namun akan membuat pola pengarahannya menjadi lebih sempit. Semakin banyak jumlah direktor, maka semakin sempit sudut pengarahannya.
- 4). **Boom**, adalah tempat untuk memasang ketiga elemen tersebut.

I. Antena Rubber Duck

Banyak jenis antena yang digunakan secara komersial digolongkan sebagai *rubber duck*. Antena ini sebenarnya adalah antena *monopole* dengan load induktif yang dilindungi dengan bahan plastic atau karet [13]. Antena-antena *rubber duck* banyak digunakan pada radio komunikasi mobile karena murah, berukuran relatif kecil, dan mempunyai pola radiasi omnidirectional. Bentuk antena *rubber duck* ditunjukkan dalam Gambar 7.

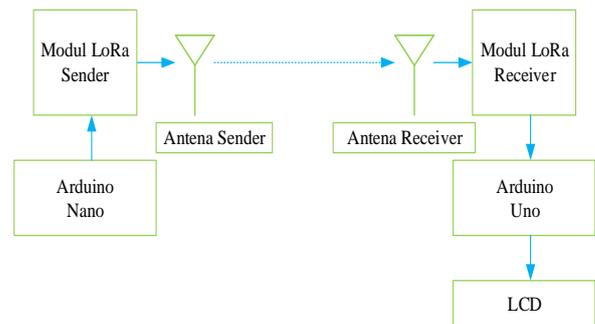


Gambar 7. Bentuk fisik antena *rubber duck*

III. METODE PENELITIAN

A. Gambaran Umum Sistem

Pada penelitian ini, system yang digunakan untuk melakukan pengukuran *link* LoRa ditunjukkan dalam Gambar 8. Board Arduino Nano pada *sender* akan membangkitkan paket dengan no 1 hingga 1000, dan diulang secara terus menerus. Oleh *transmitter* LoRa pada unit *sender*, paket data yang diterima mengalami proses modulasi dan akan dipancarkan melalui antena *sender*. Ketika data diterima oleh unit *receiver* LoRa, parameter RSSI, SNR, dan PL akan dihitung oleh program dalam Arduino Uno dan ditampilkan pada layar LCD.



Gambar 8. Gambaran umum sistem pengukuran

Perangkat yang diperlukan untuk mengukur *link* komunikasi dirancang bangun oleh penulis sendiri. Perangkat tersebut adalah: *sender* LoRa dan *receiver* LoRa, antena Slim Jim, antena Yagi-Uda. Sementara itu, antena *rubber duck* menggunakan yang sudah tersedia di laboratorium mikroprosesor.

B. Waktu dan Lokasi

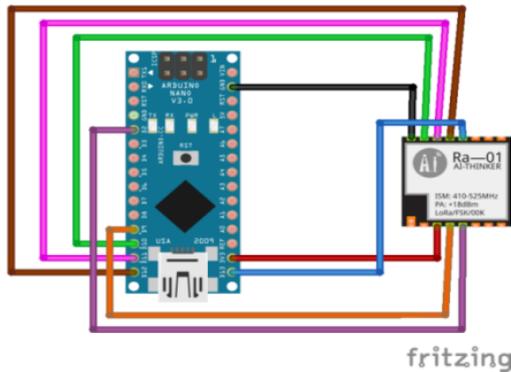
Pembuatan perangkat dilaksanakan pada bulan Mei hingga Juni 2020, bertempat di Laboratorium Mikroprosesor dan Laboratorium Listrik Dasar Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Samarinda. Pengukuran dilakukan pada bulan Juli 2020 di lingkungan kampus Politeknik Negeri Samarinda.

C. Perancangan Rangkaian Arduino dan LoRa 433 MHz

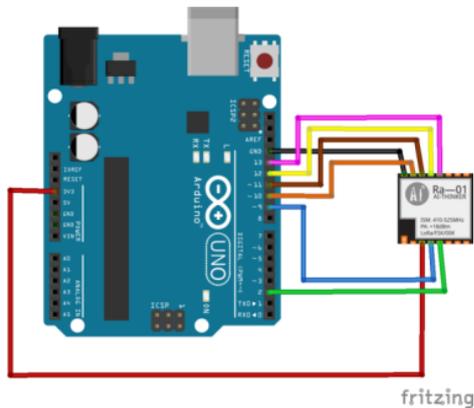
Untuk unit *sender* dengan LoRa 433 MHz, board mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Nano, sedangkan untuk unit *receiver* digunakan Arduino Uno. Pertimbangannya hanya karena ketersediaan perangkat yang

dimiliki oleh penulis, juga kemudahan untuk mengkoreksi koneksi yang lebih banyak, karena harus mengontrol LCD.

Koneksi antara Arduino Nano dengan *transceiver* LoRa 433 MHz pada rangkaian *sender* ditunjukkan pada [Gambar 9](#), sementara koneksi antara Arduino Uno dengan *transceiver* LoRa 433 MHz ditunjukkan dalam [Gambar 10](#).



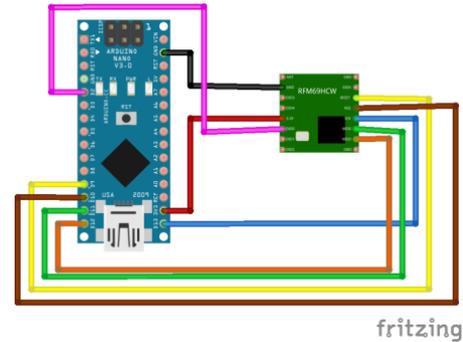
Gambar 9. Rangkaian *sender* LoRa 433 MHz



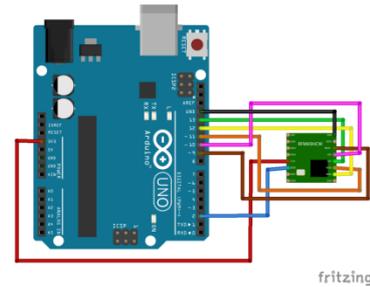
Gambar 10. Rangkaian *receiver* LoRa 433 MHz

D. Perancangan Rangkaian Arduino dan LoRa 915 MHz

Terminal-terminal pada *transceiver* LoRa 915 MHz terletak pada pin-pin yang berbeda dengan terminal pada *transceiver* LoRa 433 MHz. Akibatnya koneksi antara *transceiver* LoRa 915 MHz dengan Arduino Uno maupun Arduino Nano, juga berbeda. Koneksi antara *transceiver* LoRa 915 MHz dengan Arduino Nano pada *sender* 915 MHz ditunjukkan dalam [Gambar 11](#), sedangkan koneksi antara *transceiver* LoRa 915 MHz dengan Arduino Uno pada *receiver* 915 MHz ditunjukkan dalam [Gambar 12](#).



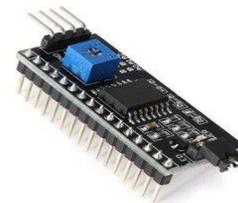
Gambar 11. Rangkaian *sender* LoRa 915 MHz



Gambar 12. Rangkaian *receiver* LoRa 915 MHz

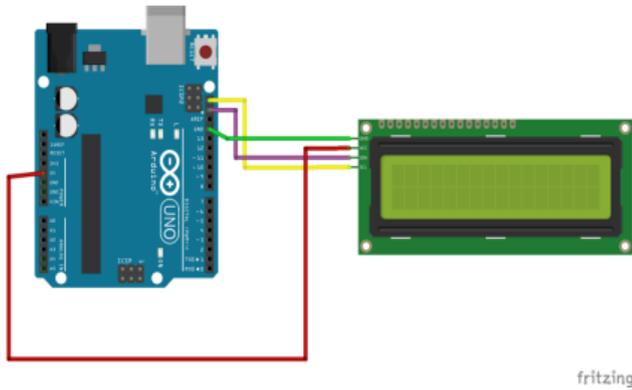
E. Perancangan Display LCD Dan Modul I2C

Untuk menghubungkan *display* LCD dengan *board* Arduino umumnya digunakan banyak terminal. Ini karena bentuk komunikasi yang digunakan adalah paralel. Untuk mengurangi penggunaan terminal Arduino, dapat digunakan modul I2C. Modul yang dapat mengubah komunikasi paralel menjadi serial dengan format I2C ini mempunyai tampilan seperti pada [Gambar 13](#).



Gambar 13. Tampilan modul I2C

Dengan menggunakan modul I2C, maka hanya diperlukan empat terminal saja untuk menghubungkan *display* LCD dengan *board* Arduino Uno. Koneksi antara LCD yang telah dipasang modul I2C dengan Arduino Uno ditunjukkan dalam [Gambar 14](#).



Gambar 14. Rangkaian *display* LCD

F. Perancangan Antena Sender

Antena yang digunakan untuk perangkat *sender* 433 MHz dan 915 MHz menggunakan antena jenis Slim Jim yang merupakan antena dengan pola radiasi *omnidirectional* (ke segala arah), yang dapat menerima gelombang radio dari segala arah dengan penguatan (*gain*) yang sama. Pertimbangannya adalah karena *gateway* yang akan diletakkan di dekat gedung Laboratorium Teknik Elektro harus dapat menerima pancaran *sensor node* yang terletak di berbagai lokasi di dalam kampus Politeknik.

Untuk mendapatkan panjang elemen antena, saat ini sudah tersedia beberapa kalkulator *online* penghitung antena jenis *J match* dan Slim Jim yang dapat diakses melalui internet. Salah satunya bisa diperoleh di [13]. Parameter yang dimasukkan adalah frekuensi kerja dan *velocity factor*, yang merupakan kecepatan rambat gelombang radio pada bahan antena. Karena antena dibuat dari kabel antena 300 ohm dengan bahan tembaga, maka *velocity factor* yang digunakan adalah 0,96. Antena 300 ohm ini dibuat dari kabel pita yang biasa digunakan untuk kabel antena TV lama.

Setelah dihubungkan dengan kabel coaxial, antena dimasukkan dalam pipa PVC 1/2" untuk menjaganya dari kemasukan air dan terkena debu. Bentuk fisik antena *sender* 433 MHz dan 915 MHz yang sudah jadi ditunjukkan dalam [Gambar 15](#) dan [Gambar 16](#).



Gambar 15. Bentuk fisik antena *sender* 433 MHz

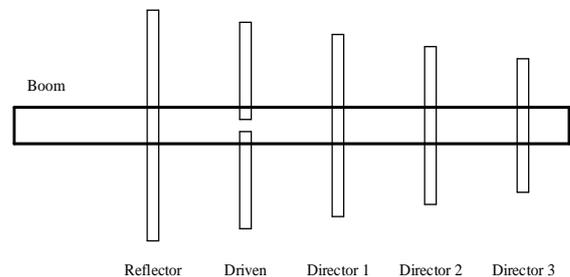


Gambar 16. Bentuk fisik antena *sender* 915 MHz

G. Perancangan Antena Receiver

Untuk antena *receiver*, digunakan dua jenis antena agar bisa dibandingkan. Yang pertama adalah *rubber duck* yang sudah tersedia di Laboratorium Mikroprosesor sehingga tidak perlu dibuat. Antena lainnya adalah antena Yagi-Uda. Karena pola radiasinya yang *uni-directional* dan tentu mempunyai penguatan lebih besar dibanding antena *rubber duck* yang mempunyai pola radiasi *omni-directional*, antena Yagi-Uda perlu digunakan jika sinyal yang diterima oleh antena *rubber duck* kurang memadai untuk diterima oleh *receiver*.

Antena Yagi-Uda yang dirancang, mempunyai 5 buah elemen yaitu sebuah reflector, sebuah driven, dan tiga buah director. Susunan ketiganya ditunjukkan dalam [Gambar 17](#).



Gambar 17. Sketsa antena Yagi-Uda 5 elemen yang dirancang bangun

Perhitungan tiap elemen dalam [Gambar 17](#) dilakukan seperti berikut. Untuk frekuensi kerja 433 MHz dan 915 MHz digunakan persamaan panjang gelombang, untuk perhitungan antena *receiver* 915 MHz juga menggunakan rumus yang sama tetapi perlu mengganti nilai Freq dari 433 menjadi 915.

$$\text{Lambda } (\lambda) = \frac{c}{\text{Freq}} \times 0,95 \tag{1}$$

Di mana :

C = adalah kecepatan rambat cahaya di ruang hampa 3.10⁸ m/dt

0,95 = nilai pendekatan cepat rambat pada *media aluminium* sebagai bahan Antena.

Freq = frekuensi kerja (MHz)

Maka untuk frekuensi kerja 433 MHz diperoleh:

$$\text{Lambda } (\lambda) = \frac{300}{433 \text{ MHz}} \times 0,95$$

Lambda (λ) = $0,692840647 \times 0,95$
 Lambda (λ) = 0,658198615 Meter

Panjang total elemen *driven* adalah $\frac{1}{2} \lambda$, maka dengan nilai λ sama dengan 0,658198615 meter diperoleh :

$\frac{1}{2} \times 0,658198615 \text{ meter} = 0,329099308 \text{ meter}$
 $= 32,9099308 \text{ centimeter}$
 $\approx 33 \text{ centimeter}$

Panjang elemen reflektor diperoleh dengan cara menambahkan $\frac{1}{2} \lambda$ dengan 5 % dari $\frac{1}{2} \lambda$. Karena $\frac{1}{2} \lambda$ sama dengan 33 cm, maka tambahan 5 % adalah sepanjang $33 \times 0,05 = 1,65$. Sehingga panjang elemen reflektor adalah $33 + 1,65 = 34,65$ cm.

Berbeda dengan reflektor yang panjangnya merupakan penambahan 5 % dari panjang elemen driven sebesar $\frac{1}{2} \lambda$, panjang elemen direktor merupakan pengurangan 5 % dari panjang elemen *driven*. Sehingga elemen direktor pertama (yang paling dekat dengan elemen *driven*) mempunyai panjang $33 - 1,65 = 31,35$ cm. Sementara panjang elemen direktor kedua dan ketiga berturut-turut adalah $31,35 - 1,65 = 29,7$ cm dan $29,7 - 1,65 = 28,05$ cm. Setelah dibangun, bentuk antena *sender* 433 MHz dan 915 MHz yang sudah jadi akan tampak seperti pada [Gambar 18](#) dan [Gambar 19](#).



Gambar 18. Bentuk fisik antena Yagi untuk receiver 433 MHz



Gambar 19. Bentuk fisik antena Yagi untuk receiver 915 MHz

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Proses Pengukuran

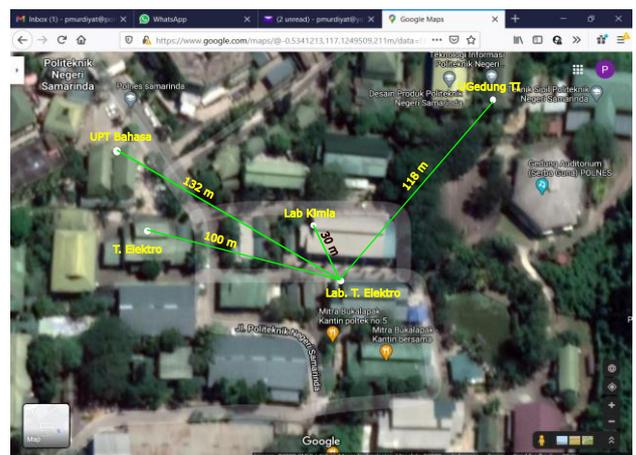
Setelah selesai proses rancang bangun perangkat pengukuran performa LoRa, maka tahap selanjutnya adalah melakukan pengukuran. Sebelum dilakukan pengukuran, LoRa *sender* untuk frekuensi 433 MHz dan 915 MHz serta antenanya

diletakkan pada tiang setinggi 6 meter seperti ditunjukkan pada [Gambar 20](#).



Gambar 20. Peletakan *sender* LoRa dan antenanya pada tiang

Setelah *sender* LoRa untuk frekuensi 433 dan 915 MHz diaktifkan, maka keduanya mengirim paket data secara periodik. Panjang *payload* paket adalah 120 bit, ditambah dengan 20 bit *header* + *CRC header* dan 16 bit *CRC payload* yang sudah disiapkan LoRa. Jeda antar paket adalah 500 mili detik. Setiap paket mempunyai nomor 1 hingga 1000. Setelah mencapai 1000, nomor paket yang dikirim akan kembali ke 1. Selanjutnya, *receiver* LoRa dibawa ke lima lokasi yang ditentukan untuk mendapatkan data parameter yang muncul pada *display*. Jarak antara semua lokasi (dua lokasi dalam satu gedung) dan Laboratorium Teknik Elektro ditunjukkan dalam [Gambar 21](#). Semua lokasi berada dalam gedung. Pengukuran dilakukan selama dua hari dari jam 10:00 hingga 14:00. Pada kedua hari tersebut cuaca cerah berawan.



Gambar 21. Jarak antara lokasi pengukuran dengan Laboratorium Teknik Elektro

Parameter yang diukur adalah *received signal strength indication* (RSSI), *signal to noise ratio* (SNR), dan *packet loss*.

RSSI adalah besar sinyal yang diterima oleh receiver. Satuan yang digunakan adalah decibel (dB). Menurut standar, agar receiver LoRa dapat memproses data yang diterima, nilai minimum RSSI adalah -120 dB [15]. SNR adalah parameter ukur untuk melihat perbandingan antara besar sinyal yang diterima terhadap *noise* pada *receiver*. Menurut standar, receiver LoRa mampu memproses paket data jika nilai SNR minimal adalah -20 dB [15].

Jika parameter SNR dan RSSI dihasilkan oleh *receiver* LoRa dengan memberikan perintah tertentu, pengukuran *packet loss* dilakukan dengan cara menghitung jumlah paket yang diterima. Perhitungan dilakukan tiap 1000 paket dikirim. *Packet loss (PL)* dihitung dengan persamaan berikut:

$$PL (\%) = \frac{1000 - \text{jumlah paket yang diterima}}{1000} \times 100 \quad (2)$$

B. Pengujian LoRa 433 MHz

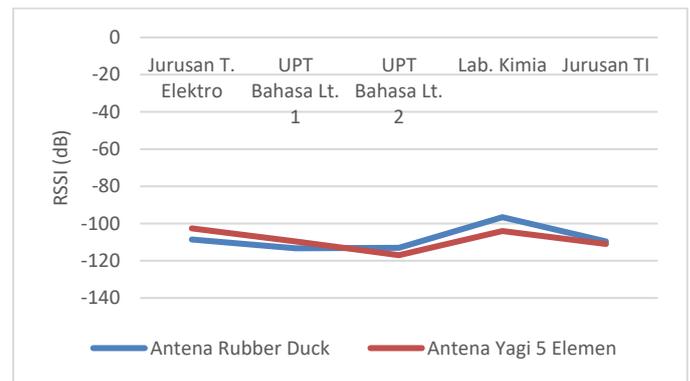
Untuk pengujian LoRa dengan frekuensi kerja 433 MHz hasil data pengujiannya dapat dilihat pada Tabel 4. Dari data pada Tabel 4 dapat dibuat perbandingan antara RSSI, SNR dan PL yang menggunakan antena *rubber duck* dan yang menggunakan antena Yagi-Uda. Perbandingan untuk RSSI, SNR, dan PL, berturut-turut ditunjukkan dengan grafik pada Gambar 22, Gambar 23, dan Gambar 24.

TABEL 4
DATA HASIL PENGUKURAN PENERIMAAN SINYAL LORA
PADA FREKUENSI 433 MHz

No	Lokasi Panel	Hasil	Antena Rubber Duck			Antena Yagi 5 Elemen				
			RSSI (dB)	SNR (dB)	PL (%)	RSSI (dB)	SNR (dB)	PL (%)		
1	Jurusan Elektro	Uji 1	-107	4.75	0.00	-101	8.50	0.20		
		Uji 2	-107	4.75	0.00	-103	8.50	0.00		
		Uji 3	-112	-1.75	2.60	-104	8.50	0.10		
		Rata-Rata	-	108.6	2.58	0.90	-	102.6	8.50	0.10
2	Upt Bahasa Lantai 1	Uji 1	-113	1.50	0.20	-110	2.00	0.00		
		Uji 2	-112	1.75	0.20	-110	2.25	0.00		
		Uji 3	-115	-4.00	0.30	-109	3.25	0.10		
		Rata-Rata	-	113.3	-0.25	0.23	-	109.6	2.50	0.03
3	Upt Bahasa Lantai 2	Uji 1	-112	4.50	0.00	-116	7.00	0.10		
		Uji 2	-111	5.50	0.20	-117	7.25	0.00		
		Uji 3	-116	0.50	0.20	-118	5.25	0.00		
		Rata-Rata	-	113	3.50	0.13	-	117	6.50	0.03
4	Lab Kimia	Uji 1	-95	8.75	0.00	-104	8.50	0.10		
		Uji 2	-99	8.50	0.00	-102	8.75	0.30		
		Uji 3	-96	8.25	0.00	-106	8.50	0.30		
		Rata-Rata	-	96.6	8.50	0.00	-	104	8.58	0.23
5	Teknologi Informasi	Uji 1	-110	1.00	0.00	-113	5.75	0.40		
		Uji 2	-107	5.00	0.00	-110	6.00	0.20		
		Uji 3	-112	-2.00	0.00	-110	5.75	0.00		
		Rata-Rata	-	109.6	1.33	0.00	-	111	5.83	0.20

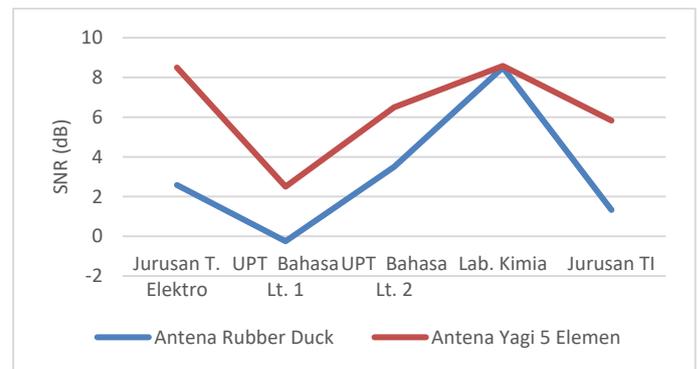
Pada Gambar 22 dapat dilihat bahwa pada umumnya semua nilai RSSI masih berada di atas nilai RSSI minimum LoRa (-120 dB), dengan hasil pengukuran terkecil sebesar -117 dB. Hal ini menunjukkan bahwa *link* antara *receiver* LoRa di seluruh lokasi tersebut dengan *sender* LoRa yang diletakkan di gedung Laboratorium Teknik Elektro memenuhi syarat untuk komunikasi data.

Dari Gambar 22 juga ditunjukkan bahwa RSSI yang dihasilkan kedua jenis antena juga bervariasi, walaupun secara teoritis RSSI yang dihasilkan oleh antena Yagi-Uda seharusnya lebih kecil mengingat penguatannya yang lebih tinggi dibanding antena *rubber duck*. Kemungkinan hal ini disebabkan oleh lingkungan dalam gedung dan arah antena yang kurang tepat. Jika nilai RSSI tidak terlalu jauh, penggunaan antena *rubber duck* lebih direkomendasikan karena ukurannya yang lebih kecil, instalasinya yang lebih mudah, dan secara estetika tampak lebih rapi.

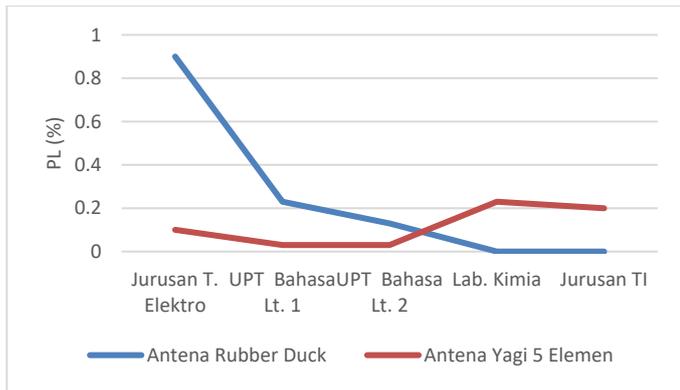


Gambar 22. Perbandingan RSSI yang diperoleh *receiver* dengan menggunakan antena *rubber duck* dan Yagi-Uda pada frekuensi 433 MHz

Untuk perbandingan SNR yang diperoleh antena *rubber duck* dan Yagi-Uda, grafiknya ditunjukkan dalam Gambar 23. Karena nilai rata-rata SNR untuk semua lokasi baik dengan menggunakan antena Yagi-Uda dan *rubber duck* di atas -20 dB, maka hasilnya masih memenuhi persyaratan system komunikasi yang baik. Nilai SNR terendah sebesar -0,25 dB masih sangat jauh dari SNR yang disyaratkan pada LoRa.



Gambar 23. Perbandingan SNR yang diperoleh *receiver* dengan menggunakan antena *rubber duck* dan Yagi-Uda pada frekuensi 433 MHz

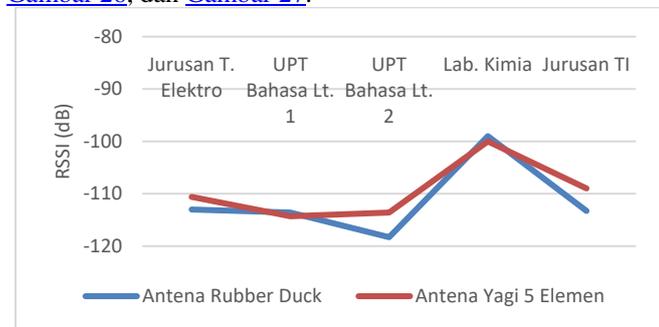


Gambar 24. Perbandingan PL yang diperoleh receiver dengan menggunakan antena rubber duck dan Yagi-Uda pada frekuensi 433 MHz

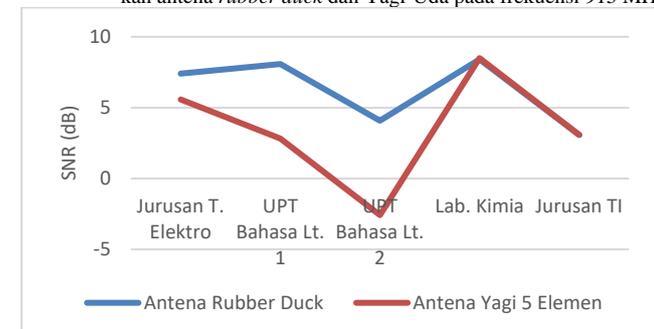
Parameter pengujian yang ketiga adalah PL, yang grafik perbandingannya ditunjukkan dalam Gambar 24. Grafik menunjukkan bahwa seluruh PL yang berada di bawah 1 % yang berarti bahwa kualitas transmisi data menurut Tabel 1 tergolong bagus karena masih di bawah 3 %. Dengan PL terbesar yang hanya mencapai 0,9 %, maka kemungkinan kehilangan paket masih sangat kecil.

C. Pengujian LoRa 915MHz

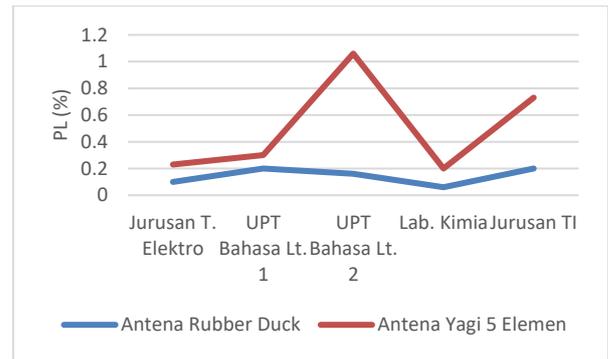
Untuk pengujian LoRa dengan frekuensi kerja 915 MHz hasil data pengujiannya dapat dilihat pada Tabel 5. Dari data pada Tabel 5 dapat dibuat perbandingan antara RSSI, SNR dan PL yang diterima dengan menggunakan antena rubber duck dan antena Yagi-Uda. Perbandingan untuk RSSI, SNR, dan PL, berturut-turut ditunjukkan dalam grafik pada Gambar 25, Gambar 26, dan Gambar 27.



Gambar 25. Perbandingan RSSI yang diperoleh receiver dengan menggunakan antena rubber duck dan Yagi-Uda pada frekuensi 915 MHz



Gambar 26. Perbandingan SNR yang diperoleh receiver dengan menggunakan antena rubber duck dan Yagi-Uda pada frekuensi 915 MHz



Gambar 27. Perbandingan PL yang diperoleh receiver dengan menggunakan antena rubber duck dan Yagi-Uda pada frekuensi 915 MHz

Pada Gambar 25 tampak bahwa semua nilai RSSI masih berada di atas -120 dB, dan nilai terkecil dari hasil pengukuran adalah -118 dB. Hal ini menunjukkan bahwa link antara receiver LoRa di seluruh lokasi tersebut dan sender LoRa yang diletakkan di gedung Laboratorium Jurusan Teknik Elektro masih memenuhi syarat melakukan komunikasi data dengan LoRa.

Selisih nilai RSSI yang dihasilkan kedua antena tidak terlalu berbeda jauh, sehingga penggunaan antena rubber duck yang berukuran kecil, tidak memakan tempat, dan lebih rapi secara estetika, direkomendasikan. Namun untuk gedung UPT Bahasa di lantai 2, dengan selisih yang cukup dekat dengan -120 dB, pemilihan antena dengan penguatan gain yang lebih besar sangat direkomendasikan. Penggunaan antena unidirectional seperti Yagi-Uda menunjukkan peningkatan RSSI yang signifikan.

TABEL 5
DATA HASIL PENGUKURAN PENERIMAAN SINYAL LORA
PADA FREKUENSI 915 MHz

No	Lokasi Panel	Hasil	Antena Rubber Duck			Antena Yagi 5 Elemen		
			RSSI (dB)	SNR (dB)	PL (%)	RSSI (dB)	SNR (dB)	PL (%)
1	Jurusan Elektro	Uji 1	-113	7.00	0.00	-111	5.25	0.10
		Uji 2	-113	7.50	0.20	-111	5.25	0.20
		Uji 3	-113	7.75	0.10	-110	6.25	0.40
		Rata-Rata	-113	7.41	0.10	-110.6	5.58	0.23
2	Upt Bahasa Lantai 1	Uji 1	-114	8.25	0.10	-115	3.75	0.50
		Uji 2	-113	8.00	0.20	-114	1.75	0.10
		Uji 3	-114	8.00	0.30	-114	3.00	0.30
		Rata-Rata	-113.6	8.08	0.20	-114.3	2.83	0.30
3	Upt Bahasa Lantai 2	Uji 1	-118	4.50	0.10	-114	-2.75	0.40
		Uji 2	-118	4.75	0.20	-114	-5.25	1.80
		Uji 3	-119	3.00	0.20	-113	0.25	1.00
		Rata-Rata	-118.3	4.08	0.16	-113.6	-2.58	1.06
4	Lab Kimia	Uji 1	-99	8.50	0.20	-100	8.75	0.10
		Uji 2	-99	8.25	0.00	-101	8.25	0.10
		Uji 3	-99	8.50	0.00	-99	8.50	0.40
		Rata-Rata	-99	8.41	0.06	-100	8.50	0.20
5	Teknologi Informasi	Uji 1	-113	3.75	0.10	-107	-2.25	0.80
		Uji 2	-113	3.75	0.40	-110	5.50	1.20
		Uji 3	-114	1.75	0.10	-110	6.00	0.20
		Rata-Rata	-113.3	3.08	0.20	-109	3.08	0.73

Untuk nilai SNR yang dihasilkan, tampak pada Gambar 25, semuanya masih di atas -20 dB, yang menunjukkan bahwa

kualitas komunikasi antara *sender* dan *receiver* masih baik. Nilai SNR terkecil sebesar -2,58 dB yang dihasilkan oleh Yagi-Uda masih cukup jauh dari -20 dB, sehingga sinyal informasinya masih bisa dibedakan dari sinyal noise yang ada.

Parameter pengujian yang ketiga adalah PL, yang grafik perbandingannya ditunjukkan dalam [Gambar 27](#). Tampak bahwa semua nilai SNR berada di bawah 3 % yang artinya, menurut [Tabel 1](#), kualitasnya tergolong bagus. PL tertinggi yang terjadi ketika menggunakan antenna penerima berupa antenna Yagi-Uda mencapai 1,06 % yang masih cukup jauh dari 3%.

V. KESIMPULAN

Setelah melakukan perancangan, pembuatan alat dan serangkaian pengukuran di lokasi titik uji dapat disimpulkan bahwa:

- 1). Dengan memperhatikan hasil ukur parameter RSSI, SNR, dan PL, teknologi LoRa baik menggunakan frekuensi 433 MHz maupun frekuensi 915 MHz layak untuk digunakan sebagai jaringan komunikasi system monitoring di kampus Politeknik Negeri Samarinda.
- 2). Secara umum, nilai RSSI dan PL yang dihasilkan oleh LoRa pada frekuensi 433 MHz lebih baik dibanding pada frekuensi 915 MHz.
- 3). Nilai SNR yang dihasilkan pada frekuensi 433 MHz lebih tinggi dibanding frekuensi 915 MHz jika digunakan antenna Yagi-Uda, namun sebaliknya, SNR pada frekuensi 915 MHz lebih tinggi dibanding pada frekuensi 433 MHz jika digunakan antenna *rubber duck*.

REFERENSI

[1] J. Petäjäjärvi, K. Mikhaylov, A. Roivainen, T. Hänninen, dan M. Pettissalo, "On the coverage of LPWANs: Range evaluation and channel attenuation model for LoRa technology", *Prosiding The 14th International Conference on ITS Telecommunication 2015 (ITST 2015)*, Copenhagen, Denmark, Dec. 2- 4 2015.

[2] LoRa Alliance, *A technical overview of LoRa® and LoRaWAN™*, San Ramon, California, 2015.

[3] P. Devi, D. Istianti, S.Y. Prawiro, N. Bogi, A. Karna, dan I. A. Nursafa, "Analisis performansi teknologi akses LPWAN LoRa Antares untuk komunikasi data end node", *Prosiding The 11 Conference on Informtaion Technology and Electrical Engineering 2019 (CITEE 2019)*, Yogyakarta, Indonesia, Jul. 24-25 2019.

[4] H. Arijuddin, A. Bhawiyuga, dan K. Amron, "Pengembangan sistem perantara pengiriman data menggunakan modul komunikasi LoRa dan protokol MQTT pada wireless sensor network", *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer Vol. 3 No. 2 (JPTIIK)*, Jan. 2019.

[5] F.N. Aroebosman, M.H.H. Ichsan, R. Primananda, "Analisis kinerja LoRa SX1278 menggunakan topologi star berdasarkan jarak dan besar data pada WSN", *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer Vol. 3 No. 4 (JPTIIK)*, Jan. 2019.

[6] E. Murdyantoro, I. Rosyadi, dan H. Septian, "Studi performansi jarak jangkauan LoRa OLG01 sebagai infrastruktur konektivitas nirkabel IoT", *Jurnal Dinamika Rekayasa Vol. 15 No. 1*, pp. 47-56, 2019.

[7] A.F. Isnawati, I. Susanto, dan R.A. Purwanita, "Analisis jarak terhadap redaman, SNR (*Signal To Noise Ratio*), dan kecepatan download pada jaringan ADSL", *Jurnal Infotel Vol. 2 No. 2*, Nov. 2010.

[8] H. Fahmi, "Analisis QoS (*Quality of Service*) pengukuran *delay*, *jitter*, *packet lost* dan *throughput* untuk mendapatkan kualitas kerja kerja *radio streaming* yang baik", *Jurnal Teknolgi Informasi dan Komunikasi Vol. 7 No. 2*, pp. 98-105, Dec. 2018.

[9] A. Malik, L.M. F. Aksara, dan M. Yamin, "Perbandingan metode simple queues dan queues tree untuk optimasi manajemen bandwidth menggunakan Mikrotik (Studi kasus: Pengadilan tinggi agama Kendari)", *Jurnal Semantik Vol. 3 No. 2*, 2017.

[10] *Arduino*. [Online]. <https://www.arduino.cc>.

[11] K. Ch. S. Kavya, S. K. Kotamraju, dan S. Sukumar, "Comparative analysis of Slim Jim antenna for ham radio applications", *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences Vol. 9 No. 10*, Oct. 2014.

[12] F. Thalib dan M. P.A. Panggabean, "Perancangan dan realisasi antenna Yagi empat elemen untuk frekuensi kerja 142 MHz", *Prosiding Seminar Nasional Teknoin 2010*, Yogyakarta, Dec. 11 2010.

TABEL 6

PERBANDINGAN HASIL PENERIMAAN LORA PADA FREKUENSI 433 MHz DAN 915 MHz

No	Lokasi Panel	Hasil	Antena Rubber Duck			Antena Yagi 5 Elemen		
			RSSI (dB)	SNR (dB)	PL (%)	RSSI (dB)	SNR (dB)	PL (%)
1	Jurusan Elektro	433	-	2.58	0.90	-	8.50	0.10
		915	-113	7.41	0.10	102.6	5.58	0.23
2	Upt Bahasa Lantai 1	433	-	-	0.23	-	2.50	0.03
		915	-113.6	8.08	0.20	114.3	2.83	0.30
3	Upt Bahasa Lantai 2	433	-113	3.50	0.13	-117	6.50	0.03
		915	-	4.08	0.16	-	-	1.06
4	Lab Kimia	433	-96.6	8.50	0,00	-104	8,58	0,23
		915	-99	8,41	0,06	-100	8,50	0,20
5	Teknologi Informasi	433	-	1.33	0.00	-111	5.83	0.20
		915	-113,3	3.08	0.20	-109	3.08	0.73

Selain mengamati kelayakan *link* yang dibangun oleh sender dan receiver LoRa dengan menggunakan antenna-antenna tertentu, dapat juga dibuat perbandingan parameter antara LoRa dengan frekuensi 433 MHz dan 915 MHz. Hasilnya ditunjukkan dalam [Tabel 6](#).

Berdasarkan [Tabel 6](#), 70 % hasil pengukuran RSSI menunjukkan bahwa nilai RSSI pada 433 MHz lebih rendah dibanding nilai RSSI pada frekuensi 915 MHz. 30 % nilai pengukuran RSSI yang lebih rendah pada frekuensi 915 MHz kemungkinan terjadi karena arah antenna Yagi-Uda yang tidak tepat.

Untuk SNR, antenna *rubber duck* pada umumnya menghasilkan nilai SNR yang tinggi pada frekuensi 915 MHz, sedang antenna Yagi-Uda menghasilkan nilai SNR yang lebih tinggi pada frekuensi 433 MHz. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh tingginya *noise* eksternal di sekitar *receiver* pada frekuensi 433 MHz.

Selanjutnya, juga diketahui bahwa 70 % hasil pengukuran PL pada frekuensi 433 MHz menunjukkan kehilangan paket yang lebih rendah dibanding PL yang dihasilkan pada frekuensi 915 MHz.

Maka, penggunaan frekuensi 433 MHz untuk LoRa pada umumnya memberikan hasil lebih baik. Akan tetapi karena Peraturan Menteri Kominfo sudah menetapkan penggunaan LoRa pada frekuensi 915 MHz, maka frekuensi ini pula yang akan digunakan pada system monitoring yang sedang dibangun.

- [13] G.P. Robinson, *Antenna Synthesis Through Characteristic Modal Analysis For Small Unmanned Aerial System Application*, Thesis, University of Oklahoma, 2019.
- [14] M0UKD, *Slim Jim And J Pole Calculator*, [Online], <https://m0ukd.com/calculators/slim-jim-and-j-pole-calculator>.
- [15] Technical Marketing Workgroup, *LoRaWAN, What Is It? A Technical Overview of LoRa and LoRaWAN*, White paper, LoRa Alliance, Nov. 2015.