

## Analisis Karakteristik Transmisi LoRa pada Wilayah Perkotaan

Muhammad Muhajir Kurniawan<sup>1</sup>, Kasyful Amron<sup>2</sup>, Reza Andria Siregar<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya  
Email: <sup>1</sup>muhammadmuhajir@student.ub.ac.id, <sup>2</sup>kasyful@ub.ac.id, <sup>3</sup>reza.jalin@ub.ac.id

### Abstrak

LoRa merupakan salah satu teknologi akses dalam *Wireless Sensor Networks* (WSN) yang memiliki kelebihan jarak jangkauan yang tinggi. Transmisi data LoRa dipengaruhi oleh *Spreading Factor*, *Bandwidth*, *Transmission Power* dan *Coding Rate*. Terdapat penelitian yang mengamati karakteristik LoRa dengan menggunakan noise generator sebagai hambatan. Akan tetapi penelitian tersebut dilakukan pada jarak 10 meter, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap kemampuan jaringan LoRa pada lingkungan nyata. Penelitian ini berfokus untuk mengamati karakteristik transmisi LoRa pada wilayah perkotaan. Sistem terdiri dari 1 buah perangkat *sensor node* dan 1 buah perangkat *gateway*. Proses implementasi dan pengujian dilakukan pada wilayah kampus Universitas Brawijaya Kota Malang. Gateway ditempatkan pada ketinggian 45 meter di atas permukaan tanah pada sebuah Gedung bertingkat. Sensor node ditempatkan pada beberapa lokasi di lingkungan kampus. Pengujian dilakukan dengan mengamati *Success Ratio*, *Roundtrip Delay* dan RSSI. Dari hasil analisis yang dilakukan, nilai *Spreading Factor* yang besar dan *Bandwidth* yang lebih kecil cocok digunakan untuk transmisi jarak lebih dari 250 meter dengan nilai *Success Ratio* yang tinggi. Sedangkan nilai *Spreading Factor* yang lebih kecil dan *Bandwidth* yang lebih besar cocok digunakan pada transmisi jarak kurang dari 250 meter. *Transmission Power* yang lebih besar menghasilkan sensitifitas RSSI yang lebih baik daripada *Transmission Power* yang lebih kecil. Jarak transmisi terjauh yang dapat dijangkau adalah 700 meter dengan persentase *Success Ratio* 73% dengan *Spreading Factor* 11. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, LoRa dapat diimplementasikan pada lingkungan perkotaan dengan beberapa syarat seperti penggunaan *Spreading Factor* yang lebih tinggi, *Bandwidth* yang lebih rendah dan *Transmission Power* sedang.

**Kata kunci:** WSN, LoRa, lingkungan perkotaan, *Spreading Factor*, *Bandwidth*, *Transmission Power*

### Abstract

LoRa is one of the access technologies in *Wireless Sensor Networks* that has the advantage of a high range of distances. LoRa data transmission is influenced by *Spreading Factor*, *Bandwidth*, *Transmission Power* and *Coding Rate*. There are studies that observe the characteristics of LoRa by using wide gaussian noise generators as an interference. However, the study was conducted at a distance of 10 meters, so further research needs to be carried out on the capabilities of the LoRa network in real environments. This study focuses on observing the transmission characteristics of LoRa in urban areas. The system consists of 1 sensor node device and 1 gateway device. The implementation and testing process was carried out in the campus area of Universitas Brawijaya, Malang City. The gateway is placed at a height of 45 meters above ground level in a multi-storey building. Node sensors are placed at multiple locations in the campus environment. The test was carried out by observing the *Success Ratio*, *Roundtrip Delay* and RSSI. From the results of the analysis carried out, a larger *Spreading Factor* value and a smaller *Bandwidth* are suitable for transmission of distances of more than 250 meters with a high *Success Ratio* value. While the smaller *Spreading Factor* value and larger *Bandwidth* are suitable for use in transmission distances of less than 250 meters. A larger *Transmission Power* results in better RSSI sensitivity than smaller *Transmission Power*. The farthest transmission distance that can be reached is 700 meters with a *Success Ratio* percentage of 73% with a *Spreading Factor* of 11. Based on the tests that have been carried out, LoRa can be implemented in urban environments with several conditions such as the use of higher *Spreading Factor*, lower *Bandwidth* and medium *Transmission Power*.

**Keywords:** WSN, LoRa, urban environment, *Spreading Factor*, *Bandwidth*, *Transmission Power*

## 1. PENDAHULUAN

*Wireless Sensor Networks* (WSN) merupakan teknologi jaringan nirkabel yang dapat dijumpai di berbagai macam bidang seperti pertanian, peternakan dan kesehatan. WSN terdiri dari kumpulan sensor node yang saling terhubung dalam suatu jaringan secara nirkabel (Khan, Belqasmi, Glitho, & Crespi, 2013). WSN memiliki beberapa Teknologi akses, diantaranya *Bluetooth Low Energy* (BLE), Zigbee dan LoRa.

LoRa merupakan salah satu teknologi yang termasuk dalam Low Power Wide Area Network (LPWAN) yang memiliki karakteristik hemat energi, jangkauan area yang luas kemampuan *data rate* yang rendah. Dalam mekanisme kerjanya, *end device* melakukan transmisi data menuju *gateway* menggunakan LoRa, kemudian data tersebut diteruskan menuju server menggunakan TCP/IP. Transmisi data pada LoRa dipengaruhi oleh beberapa parameter utama, yaitu *Spreading Factor* (SF), *Bandwidth* (BW), *Transmission Power* (Tx Power) dan *Coding Rate* (CR) (Sundaram, Du, & Zhao, 2019).

Penelitian yang dilakukan Angrisani menemukan bahwa LoRa memiliki ketahanan yang baik pada noise level yang tinggi rendah (Angrisani, Arpaia, Bonavolontà, Conti, & Liccardo, 2017). Pengujian dilakukan dengan menggunakan *White Gaussian noise* sebagai sumber interferensi. Akan tetapi jarak yang digunakan pada penelitian tersebut hanya 10 meter, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengamati karakteristik LoRa pada lingkungan nyata.

Berdasarkan latar belakang di atas, Pada Studi kali ini akan dilakukan Analisis karakteristik Transmisi LoRa pada lingkungan perkotaan. Implementasi dilakukan dengan menggunakan 1 buah *sensor node* berupa Arduino Uno + Lora Dragino Shield LoRa dan 1 buah *gateway* berupa Dragino LG01S. Pengujian dilakukan pada kondisi lingkungan perkotaan dengan mengubah nilai parameter transmisi, sehingga pengaruh dari perubahan tersebut terhadap karakteristik pengiriman data dapat diketahui. Parameter pengujian yang diukur adalah *Success Ratio*, *Roundtrip Delay* dan RSSI dari transmisi data yang dapat dilakukan. Hasil dari pengujian tersebut diharapkan bisa mengetahui karakteristik dari transmisi LoRa pada lingkungan nyata.

Sehingga bisa berguna untuk penelitian di masa mendatang.

## 2. LANDASAN KEPUSTAKAAN

Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang dapat digunakan sebagai referensi pada penelitian ini. Referensi yang didapatkan berkaitan tentang LoRa. Salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh (Angrisani, Arpaia, Bonavolontà, Conti, & Liccardo, 2017) yang berjudul “LoRa Protocol Performance Assessment in Critical Noise Conditions”. Penelitian tersebut bertujuan untuk menguji kemampuan LoRa dalam kondisi noise yang tinggi dengan mengukur packet loss dengan menggunakan *White Gaussian Noise* sebagai interferensi pada jarak 10 meter. Pengujian yang telah dilakukan sebanyak 12 kali menunjukkan bahwa persentase packet loss terburuk bernilai 34.6%. Rata-rata packet loss dari pengujian yang telah dilakukan bernilai 16.38%. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, LoRa memiliki kemampuan komunikasi yang kuat pada lingkungan dengan tingkat noise yang tinggi. Maka dari itu Pada penelitian ini LoRa akan diuji pada kondisi lingkungan nyata, sehingga diharapkan bisa membuktikan kemampuan LoRa dalam menghadapi tingkat noise yang tinggi.

Penelitian yang juga menjadi salah satu rujukan adalah penelitian yang dilakukan oleh (Petäjärvi, Mikhaylov, Hämäläinen, & Iinatti, 2015). Penelitian tersebut berfokus terhadap masalah cakupan jarak pada LoRa pada lingkungan nyata di kota Oulu, Finlandia. Hasil pengujian dengan node yang ditempatkan pada mobil menunjukkan bahwa dengan jarak 0-2 km persentase packet loss yang didapat adalah 12%. Pada jarak 2-5 km persentase packet loss meningkat menjadi 15%. Pada jarak 5-10 km persentase packet loss mencapai 33%. Dan pada jarak terjauh yakni 10-15 km persentase packet loss yang dihasilkan sebesar 74%. Sedangkan hasil pengujian node yang ditempatkan pada perahu di danau menunjukkan bahwa pada jarak 5-15 km persentase packet loss 31%. Dan pada jarak 15-30 km mencapai 38%. Berdasarkan hasil pengujian pada penelitian di atas, dapat disimpulkan bahwa LoRa memiliki keunggulan dalam jarak jangkauan komunikasi. Jarak terjauh yang didapat dengan persentase packet loss yang wajar adalah 5-10 km di wilayah perkotaan dan 15-30 km di wilayah perairan. Adapun pada penelitian ini pengujian dilakukan dalam kondisi

node tidak bergerak dan dengan menggunakan perangkat yang lebih sederhana.

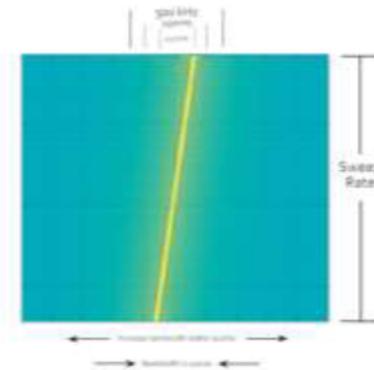
Selain itu juga terdapat penelitian yang berjudul “LoRa from the City to the Mountains: Exploration of Hardware and Environmental Factors” membahas tentang pengaruh perangkat keras dan lingkungan terhadap kemampuan komunikasi LoRa pada lingkungan non-urban yaitu pengunungan (Iova, et al., 2017). Penelitian tersebut mengamati dua faktor yang mempengaruhi kemampuan komunikasi LoRa dengan dua metode. Pertama dengan menguji pengaruh perbedaan vegetasi/tumbuhan yang ada di lingkungan terhadap komunikasi LoRa. Kedua menguji kemampuan LoRa dengan menggunakan berbagai jenis antena radio. Hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa jenis tumbuhan sangat berpengaruh terhadap jarak jangkauan yang bisa dicapai oleh LoRa. Persentase PDR pada lingkungan bandara bernilai 93% dengan jangkauan maksimal 550 meter. Pengujian NLoS di hutan menunjukkan bahwa pada jarak 90 meter, tidak terdapat komunikasi yang terjadi. Komunikasi dapat terjadi ketika transmission power dinaikkan menjadi 20dBm dengan nilai PDR 80%. Hal ini menunjukkan bahwa keberagaman jenis tumbuhan berpengaruh terhadap kemampuan komunikasi LoRa. Adapun pada penelitian ini kemampuan LoRa akan diuji dengan kondisi lingkungan perkotaan.

### 3. LORA

LoRa merupakan salah satu teknologi wireless yang digunakan dalam WSN. LoRa menggunakan teknik modulasi dengan mekanisme Chirp Spread Spectrum (CSS). CSS merupakan sebuah teknologi komunikasi yang menggunakan chirp/kicauan sebagai pembawa informasi/data. Penggunaan CSS dipengaruhi oleh *Bandwidth* dan *Spreading Factor*. LoRa memiliki kemampuan pertukaran data jarak jauh dengan data rate yang kecil. LoRa dapat berjalan diatas frekuensi khusus yang dialokasikan untuk keperluan industri, *science* dan medis (ISM) 433, 868 atau 915 MHz pada regional yang ditentukan. LoRa dapat melakukan transfer rate data dengan kemampuan berkisar antara 0.3-37.5Kbps. Adapun jangkauan jarak terjauh yang dapat dijangkau oleh LoRa adalah sebesar 15Km (Raza, Kulkarni, & Sooriyabandara, 2017).

Menurut (Sundaram, Du, & Zhao, 2019) LoRa memiliki beberapa parameter utama:

- *Bandwidth* (BW) : Interval frekuensi dalam jalur komunikasi. Nilainya berkisar 125kHz, 250kHz atau 500kHz. *Bandwidth* mempengaruhi datarate yang dihasilkan. Penggunaan nilai *Bandwidth* yang besar dapat menghasilkan datarate yang besar, akan tetapi persentase packet loss akan semakin tinggi.

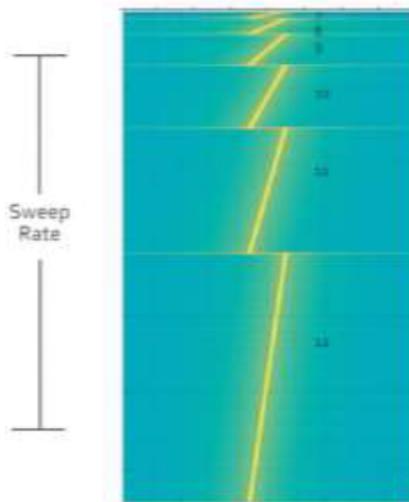


Gambar 3.1 Sinyal *Bandwidth*

Sumber: (Wenner, 2017)

Gambar 2.1 Menjelaskan bahwa sebuah chirp/data yang dikirimkan dalam suatu waktu dapat melalui beberapa besaran *Bandwidth* yang tersedia. Semakin besar *Bandwidth* yang digunakan, maka data yang dapat dikirimkan akan semakin besar. Hal ini juga berpengaruh terhadap *delay* yang dihasilkan. Data akan lebih cepat sampai jika menggunakan nilai *Bandwidth* yang besar.

- *Spreading Factor* (SF): Jumlah bits yang di-encode pada setiap symbol. SF dapat bernilai 7-12. *Spreading Factor* mempengaruhi kecepatan dan waktu pengiriman data yang dilakukan. Penggunaan *Spreading Factor* yang tinggi dapat menghasilkan persentase packet loss yang rendah, akan tetapi dapat memperpanjang waktu pengiriman.



Gambar 3.2 Spreading Factor

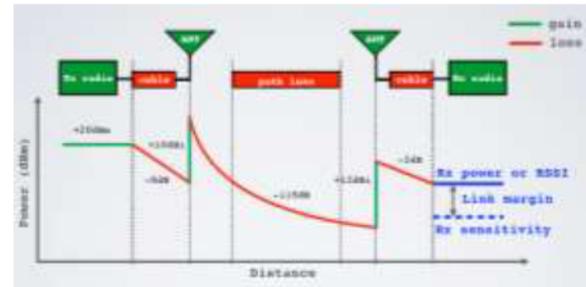
Sumber: (Wenner, 2017)

Gambar 2.2 menjelaskan tentang bagaimana *Spreading Factor* bekerja. Berdasarkan gambar di atas, nilai *Spreading Factor* yang rendah dapat menghasilkan waktu pengiriman data yang lebih cepat. Sedangkan dengan nilai *Spreading Factor* yang tinggi, waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan data lebih lambat.

- **Coding Rate (CR) :** Merupakan mekanisme penyisipan bit data pada modulasi LoRa, seperti data yang sebesar 4bit menjadi 5, 6, 7 ataupun 8bit pada setiap karakter/symbol. Penggunaan *Coding Rate* yang tinggi dapat mengurangi persentase *packet loss* dengan mekanisme *forward error correction*
- **Transmission Power:** *Transmission Power* merupakan daya yang digunakan oleh suatu perangkat ketika mengirimkan sebuah paket data. Nilai *Transmission Power* berbeda-beda pada masing-masing perangkat.

Dalam mekanisme pengiriman data, terdapat sebuah istilah *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) yang merupakan salah satu parameter dalam transmisi radio yang merepresentasikan kekuatan sinyal yang diterima oleh Transceiver. Terdapat beberapa hal yang mempengaruhi RSSI, diantaranya adalah tx power, hambatan, jarak dan antena. Gambar di bawah ini menunjukkan proses pengiriman data dalam sudut pandang besaran daya. Ketika mengirimkan data, sinyal yang dihasilkan oleh *transceiver* akan mengalami hambatan berupa kabel, kemudian sinyal akan diperbesar dayanya oleh antena. Setelah itu

sinyal akan merambat melalui udara yang juga terdapat banyak hambatan berupa noise dan *obstacle*. Ketika sinyal mencapai antena penerima, sinyal akan diperbesar kekuatannya oleh antena. Kemudian sinyal akan menuju *transceiver* melalui kabel dan pada akhirnya akan didapatkan besaran nilai *receive power* atau RSSI.



Gambar 3.3 Mekanisme penerimaan data dalam sudut pandang daya

Sumber : (Mobilefish.com, 2018)

#### 4. METODE ANALISIS

Pada penelitian ini terdapat beberapa analisis yang dilakukan. Analisis tersebut meliputi standar deviasi, analisis korelasi dan analisis regresi.

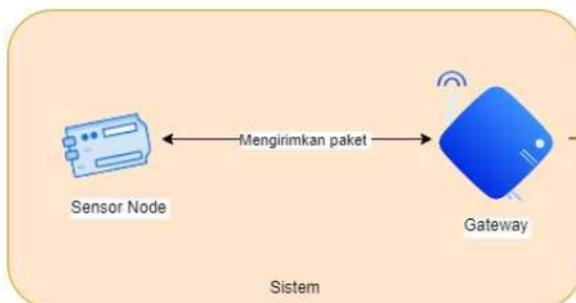
- Standar deviasi adalah sebuah nilai statistik yang di dimanfaatkan untuk menentukan sebuah sebaran data dalam suatu sampel, serta seberapa dekat titik data individu ke mean atau rata – rata nilai sampel nya (Larasati, 2019). Pada penelitian ini standar deviasi yang digunakan adalah standar deviasi sample, karena jumlah data <100.
- Analisis Korelasi bertujuan untuk mengetahui kekuatan hubungan linear antar dua variabel. Kekuatan hubungan antar dua variabel tersebut dapat dilihat dari nilai Koefisien Korelasi. Koefisien Korelasi (r) adalah sebuah nilai yang digunakan untuk mengetahui kekuatan hubungan antara dua variabel (Sari, 2021). Jika koefisien korelasi positif (+), maka hubungan kedua variabel searah. Jika variabel A bergerak naik maka akan variabel B juga akan naik dan sebaliknya. Jika koefisien korelasi negatif (-) maka hubungan kedua variabel tidak searah (terbalik).
- Koefisien determinasi ( $r^2$ ) merupakan hasil kuadrat dari koefisien korelasi. Koefisien determinasi digunakan untuk

menjelaskan besarnya pengaruh nilai suatu variabel terhadap naik turunnya variabel yang lain. Koefisien determinasi bernilai antara 0 dan 1. Nilai koefisien determinasi yang mendekati 1 menunjukkan bahwa ketergantungan variabel dependent sangat kuat terhadap variabel independent.

- Regresi digunakan untuk mengukur besarnya pengaruh variabel bebas/independent terhadap variabel tidak bebas/dependen. Regresi dilakukan dengan tujuan untuk memprediksi rata-rata populasi atau nilai rata-rata variabel dependen berdasarkan nilai variabel independen yang (Subandriyo, 2020)

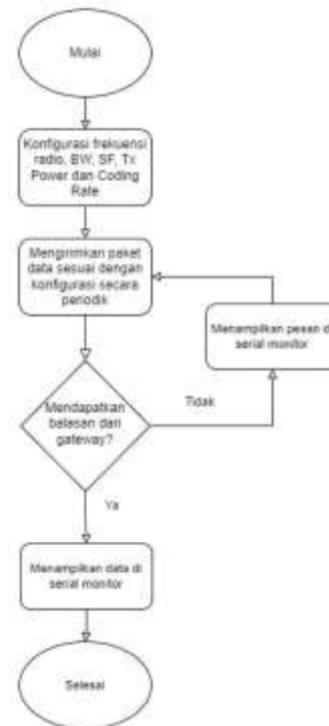
### 5. PERANCANGAN SISTEM

Sistem yang akan dibangun terdiri dari 1 buah sensor node dan 1 buah gateway. Arduino Uno + LoRa Dragino Clone Shield berperan sebagai sensor node. Sedangkan Dragino LoRa Gateway LG01S.



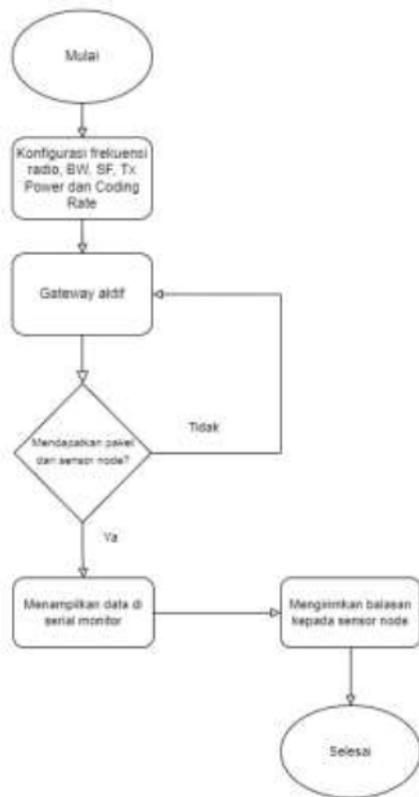
Gambar 5.1 Rancangan Arsitektur Sistem

Pada gambar 4.1 merupakan rancangan arsitektur sistem yang merupakan gambaran sistem secara umum. Alur sistem dimulai pada *sensor node* berupa Arduino Uno Dragino Lora Shield yang mengirimkan data ke *gateway*. Proses pengiriman data tersebut menggunakan LoRa. Pada umumnya *gateway* akan meneruskan data yang diterima dari *sensor node* kepada layanan komputasi awan seperti *The Things Network* melalui jaringan internet. Akan tetapi pada penelitian ini, proses pengiriman data yang akan dilakukan hanya meliputi *sensor node* dan *gateway*.



Gambar 5.2 Rancangan Alur sistem pada *Sensor Node*

Gambar 4.2 merupakan alur sistem pada sensor node. Sensor node akan dikonfigurasi terlebih dahulu yang meliputi konfigurasi frekuensi radio, nilai *Bandwidth*, *Spreading Factor*, *Transmission Power* dan *Coding Rate*. Setelah konfigurasi selesai dilakukan, kode program akan mulai dijalankan di sensor node. Sensor node akan mulai mengirimkan data secara periodic sesuai dengan konfigurasi. Kemudian sensor node akan menunggu balasan dari gateway, jika sensor node menerima balasan dari gateway, maka sensor node akan menampilkan data yang diterima di serial monitor. Jika tidak menerima balasan, sensor node akan menampilkan informasi bahwa tidak ada gateway yang membalas paket data yang dikirimkan oleh sensor node.



Gambar 5.3 Rancangan Alur Sistem pada Gateway

Pada gambar 4.3 merupakan alur sistem pada gateway. Konfigurasi parameter transmisi pada gateway dilakukan terlebih dahulu sebelum gateway mulai aktif. Setelah itu gateway akan mulai aktif sesuai dengan konfigurasi. Gateway akan menunggu untuk menerima data yang dikirimkan oleh sensor node secara periodik. Jika ada paket yang diterima, maka gateway akan langsung membalas mengirim paket menuju sensor node. Paket yang diterima oleh gateway akan ditampilkan pada serial monitor guna mempermudah untuk dilakukan pengamatan.

6. IMPLEMENTASI

Tahap implementasi pertama kali dilakukan dengan melakukan konfigurasi pada sensor node maupun gateway. Konfigurasi yang dimaksud meliputi pemilihan frekuensi, nilai Spreading Factor, nilai Bandwidth, Transmission Power, Coding Rate dan waktu jeda antar pengiriman. Berikut adalah beberapa konfigurasi yang digunakan pada penelitian ini:

- Frekuensi Radio 915 Mhz
- Transmission Power 5dBm, 3dBm dan 20dBm
- Bandwidth 125KHz, 250 KHz dan

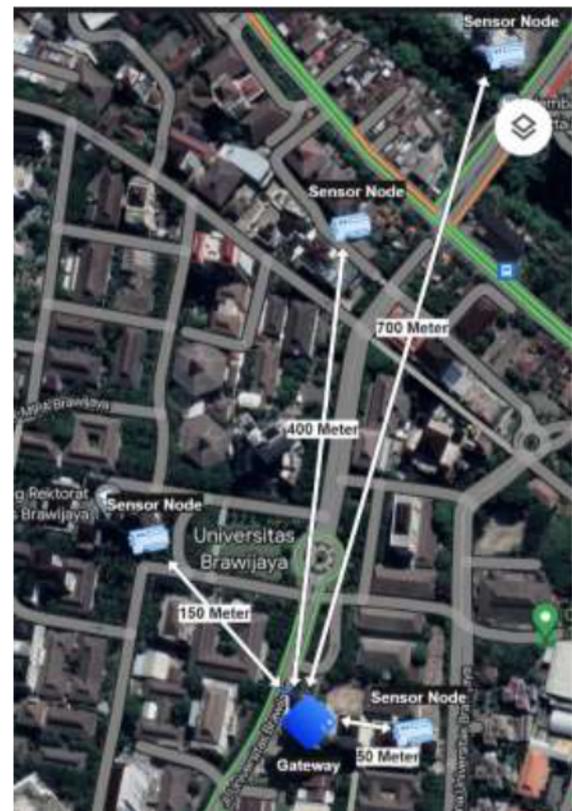
500KHz

- Spreading Factor 7, 8, 9, 10 dan 11
- Coding Rate 4/5

Kemudian implementasi pada lingkungan dilakukan di wilayah kampus Universitas Brawijaya Kota Malang. Gateway ditempatkan pada Gedung bertingkat dengan ketinggian 45 meter di atas permukaan tanah. Sedangkan Sensor node ditempatkan pada jarak 20 meter, 50 meter, 150 meter dan 400 meter di lingkungan kampus. Berikut adalah beberapa gambar yang menjelaskan denah implementasi di lingkungan Kampus Universitas Brawijaya.



Gambar 6.1 Implementasi pada jarak 20 meter



Gambar 6.2 Implementasi pada jarak 50 meter, 150 meter, 400 meter dan 700 meter

7. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian yang dilakukan adalah dengan

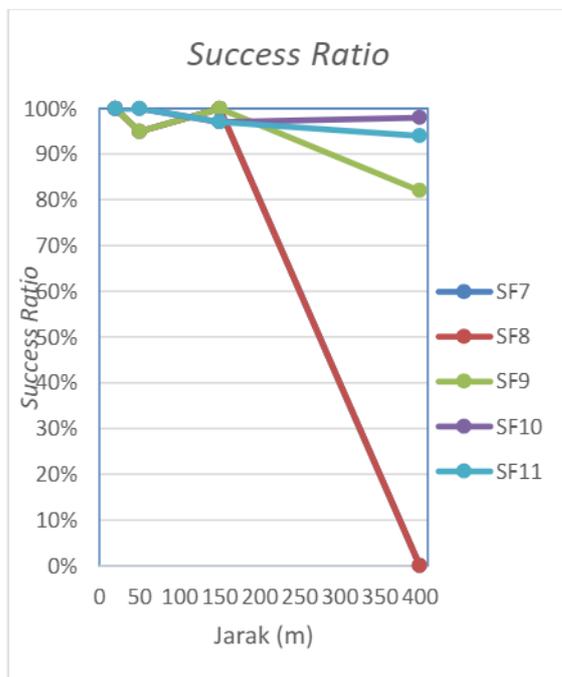
menghitung *Success Ratio*, *Roundtrip Delay* dan RSSI. Proses pengujian *Success Ratio* dilakukan dengan melakukan perhitungan persentase paket yang diterima dibagi dengan jumlah paket yang dikirim. Proses Pengujian *Roundtrip Delay* dilakukan dengan melakukan perhitungan selisih waktu ketika paket dikirimkan oleh sensor node dan ketika menerima balasan dari gateway. Kemudian untuk pengujian pengaruh *Transmission Power*, RSSI akan didapatkan ketika paket data sampai di gateway.

**7.1 Pengaruh Spreading Factor**

- *Success Ratio*

Tabel 7.1.1 Hasil Pengujian *Success Ratio*

Spreading Factor	Jarak (m)			
	20	50	150	400
SF7	100%	95%	100%	0%
SF8	100%	95%	100%	0%
SF9	100%	95%	100%	82%
SF10	100%	100%	97%	98%
SF11	100%	100%	97%	94%



Gambar 7.1.1 Perbandingan *Success Ratio*

Berdasarkan tabel dan grafik di atas, *Success Ratio* yang dihasilkan oleh SF9, SF10 dan SF11 dapat bertahan diatas 80% pada jarak 400 meter. Sedangkan SF7 dan SF8 hanya mampu mendapatkan *Success Ratio* yang baik pada jarak 150 meter. Adapun sebuah percobaan terjauh dilakukan oleh penulis dengan melakukan

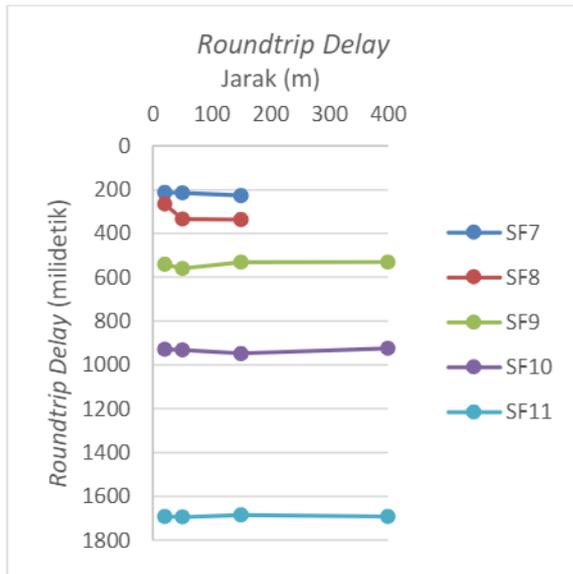
pengujian pada jarak 700 dengan menggunakan SF11 mendapatkan hasil success ratio 72%.

Tabel 7.1.2 Hasil Analisis

Spreading Factor	Koefisien Korelasi	Koefisien Determinasi	Persamaan Regresi
SF7	-0,93	0.88	$y = -0,0026x + 1,1391$
SF8	-0,94	0.88	$y = -0,0027x + 1,1536$
SF9	-0,88	0,77	$y = -0,0004x + 1,0099$
SF10	-0,61	0,37	$y = -5E-05x$
SF11	-0,94	0,89	$y = -0,0004x + 1,0269$

Adapun ringkasan dari hasil analisis berdasarkan tabel di atas adalah:

- Nilai koefisien korelasi dari tabel di atas menunjukkan bahwa hubungan antara jarak dan *Success Ratio* kuat dan bersifat terbalik
- Nilai Koefisien Determinasi dari tabel di atas menunjukkan bahwa success ratio memiliki ketergantungan yang besar terhadap jarak
- *Roundtrip Delay*



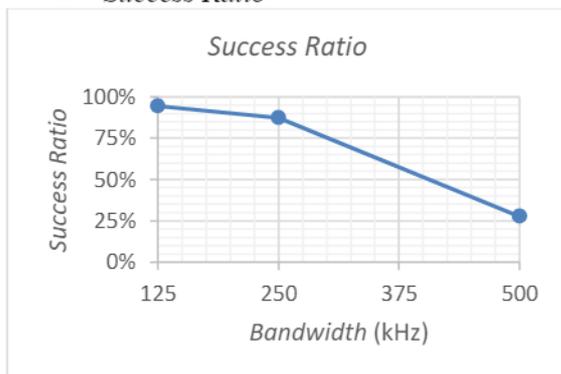
Gambar 7.1.2 Perbandingan Roundtrip Delay

Berdasarkan grafik di atas, Roundtrip Delay yang dihasilkan oleh masing-masing SF mempunyai sebuah karakteristik, yaitu ketika SF dinaikkan, maka Roundtrip Delay yang dihasilkan akan bertambah sekitar 2 kali lipat.

### 7.2 Pengaruh Bandwidth

Pengujian pengaruh Bandwidth dilakukan dengan konfigurasi sebagai berikut: Spreading Factor 9, Transmission Power 13dBm, Coding Rate 4/5 pada jarak 150 meter. Adapun pengujian akan dilakukan dengan menggunakan Bandwidth 125 kHz, 250 kHz dan 500 kHz.

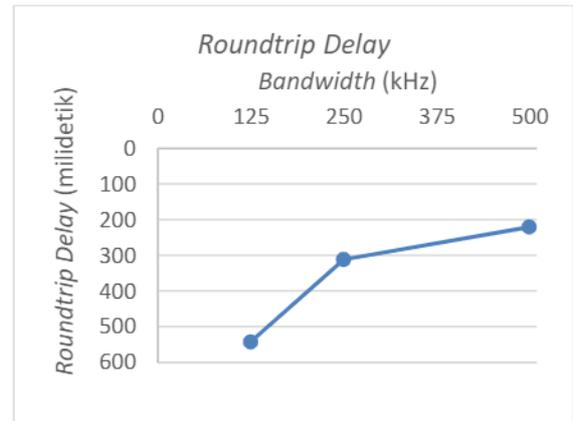
- Success Ratio



Gambar 7.2.1 Pengaruh Bandwidth terhadap Success Ratio

Berdasarkan grafik di atas, nilai Success Ratio yang terbaik dihasilkan dengan Bandwidth 125kHz berada di 95%, Kemudian dengan Bandwidth 250kHz, Success Ratio yang dihasilkan adalah 87%. Sedangkan dengan Bandwidth 500kHz, nilai Success Ratio yang dihasilkan hanya 28%.

- Perbandingan Roundtrip Delay

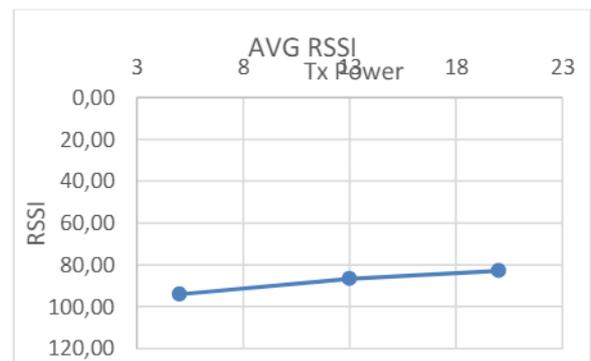


Gambar 7.2.2 Pengaruh Bandwidth terhadap Roundtrip Delay

Berdasarkan grafik di atas, Bandwidth 500 kHz menghasilkan Roundtrip Delay tersingkat dengan 220 milidetik. Bandwidth 250 kHz menghasilkan Roundtrip Delay 311 milidetik. Sedangkan Bandwidth 125 kHz menghasilkan Roundtrip Delay terlama dengan 542 milidetik.

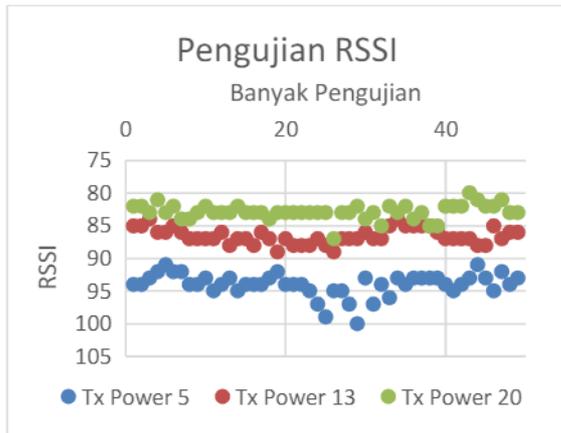
### 7.3 Pengaruh Transmission Power

Pengujian pengaruh Bandwidth dilakukan dengan mengamati RSSI yang didapat oleh gateway ketika menerima data dari sensor node. Pengujian ini dilakukan dengan konfigurasi sebagai berikut: Spreading Factor 9, Bandwidth 125 kHz, Coding Rate 4/8 pada jarak 150 meter. Adapun pengujian akan dilakukan dengan Transmission Power 5dBm, 13dBm dan 20dBm.



Gambar 7.3.1 Pengaruh Tx Power terhadap RSSI

Pengujian dengan menggunakan tx power maksimal sebesar 20 dBm menunjukkan bahwa rata-rata RSSI yang didapat lebih rendah dari tx power 13 dan tx power 5, yaitu 82,86. Rata-rata RSSI yang didapat dengan tx power 13 adalah 86,78. Sedangkan nilai rata-rata RSSI yang didapat dengan tx power 5 adalah 94,10. Berikut adalah grafik perbandingan nilai RSSI dengan tx power 5, 13 dan 20dBm:



Gambar 7.3.2 Perbandingan RSSI

### 8. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan implementasi dan pengujian yang telah dilakukan terdapat beberapa kesimpulan:

1. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa *Spreading Factor* sangat berpengaruh terhadap *Success Ratio* dan *Roundtrip Delay*. Berdasarkan pengujian yang dilakukan di lingkungan Universitas Brawijaya, Nilai *Spreading Factor* yang kecil mempunyai kemampuan pengiriman data yang andal pada jarak kurang dari 250 meter dengan waktu pengiriman yang lebih singkat. Nilai success ratio yang dihasilkan pada jarak 150 meter masih di atas 90%. Sedangkan semakin besar nilai *Spreading Factor* yang digunakan, maka waktu pengiriman lebih lama dan jarak jangkauan yang dapat dicapai juga semakin jauh. Pada jarak 400 meter, success ratio yang dihasilkan oleh SF10 dan SF11 masih berada di angka lebih dari 90%, sedangkan SF8 mendapatkan success ratio 82%. Jarak terjauh yang dapat dicapai pada pengujian ini adalah 700 meter dengan *Success Ratio* 72%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan nilai *Spreading Factor* harus benar-benar diperhatikan dan disesuaikan dengan kebutuhan.
2. *Bandwidth* juga memiliki pengaruh yang besar terhadap transmisi data yang dihasilkan. Pengiriman data dengan menggunakan *Bandwidth* 125kHz menghasilkan *Success Ratio* sebesar 95%. Sedangkan pengiriman data dengan menggunakan *Bandwidth* 250kHz mengalami penurunan *Success Ratio* sebanyak 8% menjadi 87%.

Dengan *Bandwidth* yang terbesar yaitu 500kHz, *Success Ratio* yang dihasilkan hanya mencapai 28%. Hal ini merupakan pengaruh dari lebar kanal *Bandwidth* yang digunakan. Nilai *Bandwidth* lebih besar berpotensi untuk terganggu oleh interferensi, sehingga lebih rentan terhadap *packet loss*.

3. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan *Transmission Power* 20dBm menghasilkan sinyal yang lebih kuat dengan nilai RSSI rata-rata 82,9. Sedangkan dengan penggunaan tx power 13dBm menghasilkan RSSI 86,8. Pada penggunaan nilai *Transmission Power* yang lebih kecil yaitu 5dBm, nilai RSSI rata-rata yang dihasilkan paling lemah yaitu 94,1. Maka dari itu dapat disimpulkan bahwa penggunaan nilai *Transmission Power* yang lebih besar dapat menghasilkan sinyal transmisi yang lebih kuat, akan tetapi juga membutuhkan sumber daya yang lebih besar.
4. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, LoRa dapat diterapkan pada kondisi lingkungan perkotaan dengan beberapa kondisi berupa penggunaan nilai *Spreading Factor* yang lebih besar seperti 9, 10, 11 dan 12. Selain itu penggunaan nilai *Bandwidth* yang lebih kecil juga dapat diterapkan untuk menghasilkan jaringan WSN yang lebih *reliable*. Jika jaringan WSN membutuhkan pengiriman data secara *real-time*, maka *Bandwidth* sebaiknya diperbesar akan tetapi kemungkinan *packetloss* juga akan semakin besar. Penggunaan *Tx power* juga harus diperhatikan, jika *sensor node mainly powered*, maka akan lebih baik menggunakan tx power maksimal. Akan tetapi jika *sensor node battery powered*, maka akan lebih baik menggunakan *tx power* sedang seperti 13dBm, sehingga mendapatkan keseimbangan antara jaringan yang reliabel dan konsumsi daya yang rendah.

Dari penelitian yang sudah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dihasilkan dari proses perancangan sistem, implementasi dan pengujian. Berikut adalah beberapa saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Jumlah perangkat *sensor node* perlu diperbanyak untuk penelitian

selanjutnya. Sehingga kemampuan dari jaringan LoRa yang telah dibangun akan lebih terlihat ketika menangani jumlah node yang lebih dari 1.

2. Proses implementasi sistem perlu dilakukan pengembangan lebih lanjut dengan menggunakan platform yang mendukung LoRaWAN. Sehingga data yang diterima oleh *gateway* dapat langsung digunakan untuk keperluan tertentu. Selain itu dengan menggunakan LoRaWAN jangkauan jarak yang dihasilkan akan dapat lebih jauh.
3. Pada penelitian ini, data balasan yang dikirimkan oleh *gateway* sering kali tidak dapat diterima oleh *sensor node*. Hal ini kemungkinan besar dikarenakan oleh penggunaan antena yang berbeda. Sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai pemilihan antena dalam LoRa.

## 9. DAFTAR PUSTAKA

- Angrisani, L., Arpaia, P., Bonavolontà, F., Conti, M., & Liccardo, A. (2017). LoRa protocol performance assessment in critical noise conditions. (pp. 1-5). Proc. Int. Forum Res. Technol.
- Iova, O., L. A., Murphy, Picco, G. P., Ghiro, L., Molteni, D., . . . Cagnacci, F. (2017). LoRa from the City to the Mountains: Exploration of Hardware and Environmental Factors. *Proceedings of the 2017 International Conference on Embedded Wireless Systems and Networks* (pp. 317–322). Uppsala, Sweden: Junction Publishing. doi:10.5555/3108009.3108091
- Khan, I., Belqasmi, F., Glitho, R., & Crespi, N. (2013). A Multi-Layer Architecture for Wireless Sensor Network Virtualization. Dubai: IEEE.
- Larasati, C. D. (2019). *Varian dan Standar Deviasi*. Retrieved Juli 25, 2022, from [https://www.academia.edu/38654298/Varian\\_dan\\_Standar\\_Deviasi](https://www.academia.edu/38654298/Varian_dan_Standar_Deviasi)
- Mobilefish.com. (2018, September 22). *LoRa/LoRaWAN tutorial*. Retrieved June 22, 2022, from [https://www.mobilefish.com/developer/lorawan/lorawan\\_quickguide\\_tutorial.html](https://www.mobilefish.com/developer/lorawan/lorawan_quickguide_tutorial.html)
- Petäjäjärvi, J., Mikhaylov, K., Hämäläinen, M., & Iinatti, J. (2015). On the Coverage of LPWANs: Range Evaluation and Channel Attenuation Model for LoRa Technology. *14th International Conference on ITS Telecommunications (ITST)* (pp. 55-59). Copenhagen, Denmark: IEEE.
- Raza, U., Kulkarni, P., & Sooriyabandara, M. (2017). Low Power Wide Area Networks: An Overview. *IEEE Commun. Surveys Tuts*, 19(2), 855-873.
- Sari, B. (2021, Desember 28). *KORELASI, DETERMINASI DAN REGRESI SEDERHANA*. Retrieved Juli 23, 2022, from [https://dosen.yai.ac.id/v5/dokumen/materi/030013/103\\_20211228095209\\_Pertemuan%2013\\_Korelasi%20dan%20Regresi%20Sederhana.pdf](https://dosen.yai.ac.id/v5/dokumen/materi/030013/103_20211228095209_Pertemuan%2013_Korelasi%20dan%20Regresi%20Sederhana.pdf)
- Subandriyo, B. (2020). *ANALISIS KOLERASI DAN REGRESI - Pusdiklat BPS*. Retrieved Juli 24, 2022, from [https://pusdiklat.bps.go.id/diklat/bahan\\_diklat/BA\\_Analisis%20Korelasi%20dan%20Regresi\\_Budi%20Soebandriyo,%20SS T,%20M.%20Stat\\_2123.pdf](https://pusdiklat.bps.go.id/diklat/bahan_diklat/BA_Analisis%20Korelasi%20dan%20Regresi_Budi%20Soebandriyo,%20SS T,%20M.%20Stat_2123.pdf)
- Sundaram, J. P., Du, W., & Zhao, Z. (2019). A Survey on LoRa Networking: Research Problems, Current Solution and Open Issues. *IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS*, 22(1), 371-388.
- Wenner, R. (2017). *LoRa CHIRP*. Retrieved July 7, 2022, from <https://www.youtube.com/watch?v=dxY Y097QNs0>