



## Prototipe Deteksi Letak Kebocoran Pipa dengan Optimalisasi Kinerja Penerimaan Paket *LoRa* menggunakan Pengkodean Parameter Fisik

Dedy Wahyu Herdiyanto<sup>1</sup>, Freska Meliniar Alfian<sup>2</sup>, Catur Suko Sarwono<sup>3</sup>, Dodi Setiabudi<sup>4</sup>, Andrita Ceriana Eska<sup>5</sup>, Muh. Asnoer Laagu<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6</sup>Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jember, Indonesia

<sup>1</sup>dedy.wahyu@unej.ac.id, <sup>2</sup>freskaa4@gmail.com, <sup>3</sup>catur.teknik@unej.ac.id, <sup>4</sup>dodi@unej.ac.id,

<sup>5</sup>andritacerianaeska@gmail.com, <sup>6</sup>muh.asnoer@gmail.com

### Abstract

*The purpose of this research is to determine the effect of the physical coding of LoRa communications on monitoring water pipelines. Optimizing the performance of packet receivers in the LoRa communication system using coding on the physical parameters SF (spreading factor), BW (bandwidth), and CR (coding rate). The detection system consists of 3 sensor nodes, 3 intermediate nodes, and 1 receiver node. Data from these sensors is sent to a cloud database. The SX1278 LoRa communication module works using a 433 MHz frequency. During the transmission process on the LoRa communication system, optimization is carried out for receiving data packets using the parameter coding method of physical spread factors, bandwidth, and coding rate. As a result of the research, it is shown that the greater the value of the third parameter (SF, BW, and CR), such as improvement in packet reception performance, improvement in bit security, and increasing packet resistance to various disturbances in transmission, but the time required for sending data be longer. The optimal parameters for detecting pipe leak locations include SF 10, BW 500 KHz, and CR 4/8. The LoRa SX1278 scenario is optimal with a distance of 400 meters, where packet and byte reception are obtained 100%.*

*Keywords: pipeline, LoRa, coding rate, bandwidth, spreading factor*

### Abstrak

Tujuan dari penelitian ini, untuk mengetahui pengaruh pengkodean fisik komunikasi LoRa pada pemantauan saluran pipa pengairan. Optimalisasi kinerja penerima paket pada sistem komunikasi LoRa menggunakan pengkodean pada parameter fisik SF (*spreading factor*), BW (*bandwidth*), dan CR (*coding rate*). Sistem pendeteksian terdiri dari 3 node sensor, 3 node perantara, dan 1 node penerima. Data dari sensor-sensor tersebut dikirim ke cloud database. Modul komunikasi LoRa SX1278 bekerja menggunakan frekuensi 433 MHz. Selama proses transmisi pada sistem komunikasi LoRa tersebut dilakukan optimalisasi untuk penerimaan paket data menggunakan metode pengkodean parameter fisik spreading factor, bandwidth, dan coding rate. Sebagai hasil dari penelitian ditunjukkan bahwa semakin besar nilai pada ketiga parameter (SF, BW, dan CR) diantaranya memperbaiki performa penerimaan paket, meningkatkan keamanan bit, dan meningkatkan ketahanan paket terhadap berbagai gangguan dalam pengirimannya, tetapi waktu yang dibutuhkan dalam pengiriman data menjadi lebih lama. Parameter yang optimal pada skenario deteksi letak kebocoran pipa diantaranya dengan nilai SF 10, BW 500 KHz dan CR 4/8. Skenario *LoRa SX1278* tersebut optimal dengan jarak 400 meter, dimana penerimaan paket dan *byte* sebesar 100%.

Kata kunci: saluran pipa, *LoRa*, *coding rate*, *bandwidth*, *spreading factor*

### 1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara yang memiliki sebutan sebagai negara agraris, sektor pertanian masih menjadi lapangan pekerjaan yang paling banyak menyerap tenaga kerja domestik [1]. Dibutuhkan usaha optimal dan tepat dalam pengelolaan sistem irigasi untuk mendapatkan peningkatan produktifitas panen. Sistem irigasi dan pemantauannya secara konvensional jelas tidak efektif dari segi waktu dan tenaga, sedangkan sistem irigasi dengan aliran air pada pipa mengalami beberapa kendala yang terjadi pada lapangan dari suatu penelitian pada pipa berdiameter 3 inci dengan debit air

14.5 liter/detik pada kecepatan aliran air 0.45 meter/detik, terjadi gesekan antara pipa dan air menghasilkan koefisien gesek sebesar 0.022, dari hasil penelitian tersebut terdapat ancaman kondisi jangka

panjang pipa mengalami kebocoran dikarenakan gesekan air dari dalam dan faktor lainnya dari luar [2]. Dalam waktu belakangan, teknologi yang mendapat perhatian khusus dan juga popularitas dari para peneliti dan praktisi adalah *Internet of Things (IoT)* dikarenakan pengembangan bidang aplikasinya yang beragam dan dapat menyelesaikan beragam permasalahan, Studi yang sedang dan telah berlangsung menemukan berbagai



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

manfaat dengan penggunaan teknologi *IoT* terkhususnya guna monitoring kondisi dan deteksi letak kebocoran pipa [3,4].

Tabel 1. Perbandingan performansi modul komunikasi *bluetooth*, *Wifi*, *Zigbee* dan *LoRa*

No	Model Komunikasi	Jarak Terjauh	Max. Rate	Konsumsi Daya
1	Bluetooth	10 m	2 Mb/s	Rendah
2	WiFi	60 m	54 Mb/s	Besar
3	Zigbee	1500 m	250 Kb/s	Rendah
4	LoRa	15 km	600 Kb/s	Rendah

Penggunaan teknologi *IoT* dengan komunikasi secara wireless guna monitoring kondisi pipa memiliki tantangan tersendiri perihal efisiensi dari segi penggunaan bagi masyarakat. Dalam penggunaannya *WSN* memiliki beragam modul komunikasi yang kerap kali digunakan antara lain modul *Wifi*, *Bluetooth*, *ZigBee*, dan *Long-Range (LoRa)*. Tabel 1. Merupakan perbandingan performansi dari beberapa modul komunikasi yang populer digunakan [5]. Dari perbandingan performansi tiap modul komunikasi didapatkan bahwa teknologi *LoRa* mendapati jarak komunikasi sebesar 0 hingga 15 km, *max. Rate* sebesar 600 *KB/s* dengan konsumsi daya termasuk rendah. Diantara beberapa modul komunikasi, modul *LoRa* dirasa bisa menjadi solusi penggunaan teknologi komunikasi berbasis *IoT* untuk permasalahan dalam jarak transmisi data dengan berbagai skenario yang dapat diterapkan berdasarkan teknik transmisi modulasi *Chirp Spread Spectrum (CSS)* yang merupakan teknik modulasi akses ganda spektrum tersebar dapat menampung banyak pengguna dalam satu saluran pada waktu yang sama [4].

Parameter fisik *LoRa* menggunakan teknik modulasi *Chirp Spread Spectrum (CSS)* yang merupakan teknik modulasi akses ganda spektrum tersebar dapat menampung banyak pengguna dalam satu saluran pada waktu yang sama. Pada proses modulasi jenis chirp yang berjalan adalah *up-chirp* yang meningkatkan frekuensi dari rendah ke tinggi, sedangkan pada proses demodulasinya menggunakan *down-chirp* (menurunnya frekuensi tinggi ke frekuensi yang rendah). Keuntungan dari modulasi ini adalah pengaturan waktu dan frekuensi antara pemancar dan penerima. Pada modulasi ini juga memiliki skema koreksi kesalahan variabel sehingga meningkatkan ketahanan sinyal yang ditransmisikan untuk setiap 4-byte informasi yang dikirim. Parameter sangat berpengaruh terhadap kinerja dari *LoRa* [6]. Namun pada skenario deteksi letak kebocoran pipa diperlukan performa *LoRa* yang optimal dalam penerimaan paket data informasi debit air pada tiap jaringan pipa dikarenakan sedikit saja paket atau *byte* yang hilang dapat mengacaukan algoritma program pada pendeteksian letak kebocoran, telah diteliti detail penting dari hubungan antara parameter *physical layer LoRa* antara lain *Spreading factor (SF)*, *Bandwidth (BW)* dan *Coding rate* dengan kinerja penerimaan paket *LoRa*, ditemukan bahwa parameter fisik memiliki dampak

yang besar pada kinerja penerimaan paket *LoRa* [6]. Dalam permasalahan kinerja penerimaan paket data diperlukan kombinasi parameter *physical layer* yang optimal.

Teknologi komunikasi pada *Wireless Sensor Network* menggunakan *LoRa* memiliki konsep perancangan sensor *node* yang berfungsi mengirim hasil data pembacaan sensor setelah diolah di *mikrokontroler* kemudian dikirimkan menuju *node* penerima, data yang diterima oleh *node* penerima diteruskan ke database milik sistem [7,8]. Dari hal tersebut diperlukan pemilihan serta pengelolaan database yang baik guna memudahkan pengguna dalam penggunaannya [9]. Jenis database yang paling cocok dalam mendukung perancangan aplikasi *android* adalah *Firestore Realtime Database* dikarenakan database ini tersimpan di *cloud* dan *support multiplatform* seperti *Android*, *IOS* dan *Web*. Database *firebase* akan melakukan sinkronisasi secara otomatis terhadap aplikasi *user* yang terhubung kepadanya [10].

## 2. Metode Penelitian

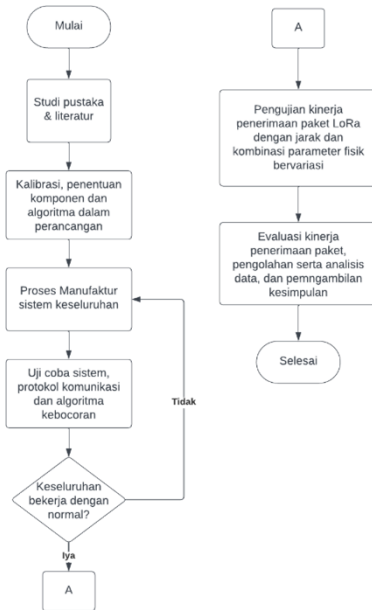
Penelitian ini dilakukan dengan perancangan bertahap pada tiap *node* yang memiliki fungsinya masing-masing antara lain *node* pengirim, *node* perantara dan *node* penerima. Protokol komunikasi dari keseluruhan *node* yang saling terhubung untuk mendukung evaluasi kinerja penerimaan paket data adalah *point to point* dimana setiap satu *node* berkomunikasi dengan satu *node* lain tanpa adanya interferensi [11,12].

### 2.1. Tahapan Penelitian

Gambar 1 menunjukkan diagram alir dari penelitian yang dilakukan. Pada gambar tersebut, penelitian dimulai dari pencarian sumber literatur sesuai dengan topik dan masalah yang akan diselesaikan bersumber pada buku dan jurnal ilmiah nasional sampai internasional bereputasi yang dapat dipertanggungjawabkan kredibilitasnya. Sumber tersebut menjadi acuan peneliti dalam menentukan solusi yang tepat untuk menyelesaikan masalah dan topik yang diangkat dengan mempertimbangkan keterbaruan, pengkalibrasian tiap komponen dalam pemenuhan kebutuhan perancangan serta spesifikasi yang tepat sesuai keterbaruan perkembangan zaman sehingga hasil produk yang dihasilkan bisa tercapai segi kebermanfaatan dan performanya.

Pengujian sistem dilakukan dengan beberapa parameter antara lain pada pengujian perancangan yaitu keakurasian pembacaan pada aplikasi dengan kondisi aktual dari prototipe kebocoran pipa menandakan seberapa baik hasil perancangan dalam penelitian ini, dan pada pengujian pengaruh parameter modulasi terhadap performa penerimaan paket komunikasi *LoRa SX1278* diambil data dengan perubahan variabel pada jarak komunikasi antar pengirim dan penerima dengan

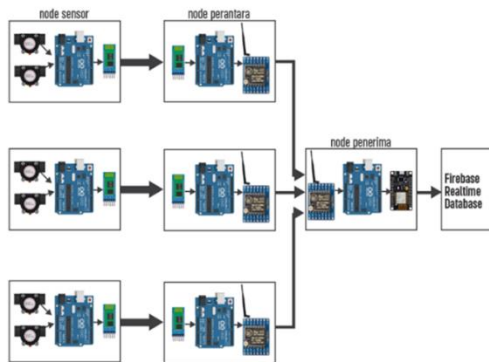
hasil parameter antara lain *Time on Air (ToA)*, *Packet Reception Ratio (PRR(%))*, dan *Byte Reception Ratio (BRR(%))*.



Gambar 1. Diagram alir tahapan penelitian

## 2.2. Diagram Blok dan Flowchart alat

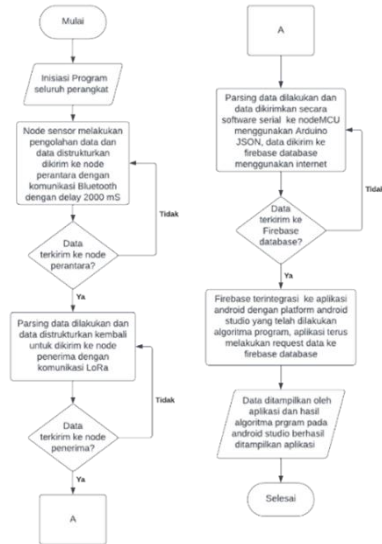
Gambar 2 menunjukkan diagram blok keseluruhan pada sistem. Sistem terdiri atas 3 *node* sensor dengan masing-masing *node* berisi komponen dalam menunjang keberhasilan alat antara lain arduino uno R3, 2 sensor *water flow* dan modul komunikasi bluetooth HC-05 yang telah diatur sebagai fungsi *master* yang berarti modul ini dapat berkomunikasi pengiriman data ke modul lain. Sensor *water flow* berfungsi sebagai pendeteksi aliran debit air dan akan menjadi bagian inti dari sistem ini [13].



Gambar 2. Diagram blok keseluruhan sistem.

Ketiga *node* perantara yang berisi *mikrokontroller* arduino uno R3, modul bluetooth HC-05 yang telah dikonfigurasi sebagai *node slave* yang berarti modul ini hanya dapat menerima data dari modul *bluetooth* lain. *Node* penerima yang berisi *mikrokontroller* arduino uno R3, modul komunikasi LoRa SX1278-Ra02 bersama antenna *omni-directional 5 dBi* dan *mikrokontroller*

*node*MCU ESP8266, *node* penerima berfungsi sebagai perangkat penerimaan data dari ketiga *node* perantara komunikasi LoRa dan data yang diterima diteruskan oleh *node*MCU menuju *Firestore Realtime Database* menggunakan internet.



Gambar 3. Diagram alir kerja alat

Alur kerja keseluruhan alat dapat dilihat pada Gambar 3. Proses dimulai dari inisiasi program seluruh perangkat dari mulai *node* sensor, *node* perantara, *node* penerima dan *firebase* database, data dari sensor yang telah diolah pada *mikrokontroller* dikirimkan oleh *node* sensor menuju *node* perantara, kemudian dilakukan *parsing data* pada *node* perantara dan data distrukturkan dikirim menuju *node* penerima menggunakan komunikasi *LoRa*. Pada *node* penerima data yang diterima oleh arduino dilakukan *parsing* bertipe arduino *JSON* sampai diterima oleh *NodeMCU* yang bertugas mengirim menuju *firebase* database untuk selanjutnya data dan algoritma program dapat ditampilkan melalui aplikasi.

## 2.3. Perancangan Perangkat

Perangkat yang dibutuhkan dalam penelitian ini antara lain 3 buah *node* sensor yang terhubung dengan modul bluetooth untuk komunikasi data, 3 buah *node* perantara yang digunakan sebagai relay komunikasi antara bluetooth dengan komunikasi *LoRa*, 1 buah *node* penerima yang berfungsi menerima sekaligus mengirimkan data dari *LoRa* menuju database dan perancangan keseluruhan jaringan pipa dengan analisis debit air yang mengalir pada tiap lokasi pipa. Hasil akhir perancangan perangkat ditunjukkan pada Gambar 4.

*Node* penerima, sebagai elemen penting dalam struktur jaringan, dirancang untuk menerima serta mengirimkan data dari teknologi *LoRa* ke dalam database yang dijadikan sebagai pusat pengumpulan dan penyimpanan informasi dari penelitian ini. *Node* ini memiliki fungsi ganda, mendukung aliran data dari jaringan *LoRa* dan

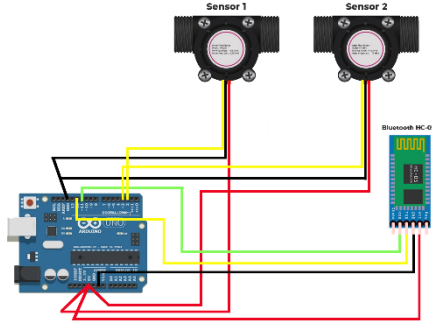
memastikan integrasi yang lancar dengan sistem database.



Gambar 4. Hasil perancangan node sensor

### 2.3.1 Node Sensor

Gambar 5 menggambarkan bentuk rangkaian elektronika dari sensor *node*. Komponen utama dari sensor *node* terdiri dari arduino uno R3, 2 sensor water flow dengan modul komunikasi bluetooth HC-SR05.



Gambar 5. Rangkaian *node* sensor

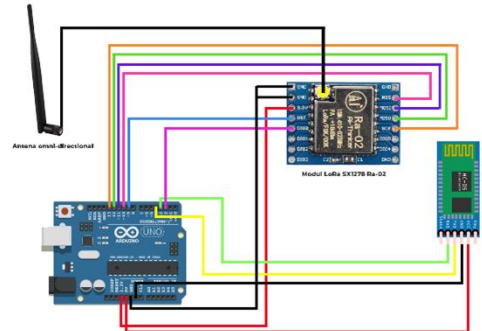
Dalam perancangannya setiap pin sensor terhubung dengan pin *digital PWM* yang dimiliki arduino uno.R3 dengan dengan modul bluetooth terkoneksi pada pin *RX* dan *TX* dari arduino. Pemrosesan data yang didapat dari sensor dilakukan oleh arduino Uno R3 sehingga mendapat parameter volume air yang terdeteksi, sensor water flow membutuhkan input tegangan sebesar 5 Volt yang telah tersedia pada pin arduino uno R3 sedangkan untuk modul bluetooth hanya membutuhkan input tegangan sebesar 5 volt yang tersedia pada pin arduino uno R3.

### 2.3.2 Node perantara

Gambar 6 memberikan gambaran terkait rangkaian elektronika dari *node* perantara. Komponen dalam *node* perantara hanya terdiri dari arduino uno R3 sebagai pusat kendali dari penerimaan data dan pengiriman data dalam komunikasi tanpa adanya akuisisi data oleh sensor. Modul bluetooth sebagai penerima komunikasi sensor *node* dan modul *LoRa* SX1278-Ra02 dengan tambahan antenna omni-directional sebagai perangkat penunjang dalam pengiriman ke *node* penerima.

Penggunaan *node* perantara salah satunya bertujuan untuk meningkatkan performa komunikasi *LoRa* dengan menempatkan *node* perantara pada tempat yang lebih

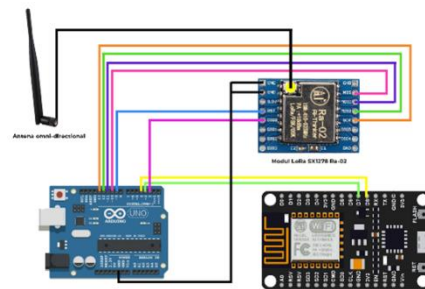
tinggi sehingga diharapkan dapat meminimalisir halangan yang dapat menyebabkan banyaknya gangguan dari transmisi komunikasi *LoRa*. Diperlukan tinggi optimal dari peletakan *node* perantara dengan cara melakukan pengujian pada performansi modul bluetooth HC-05.



Gambar 6. Rangkaian *node* perantara

### 2.3.3 Node Penerima

Rangkaian *node* penerima ditunjukkan oleh Gambar 7. Merupakan hasil perancangan pada *node* penerima hanya terdiri dari *LoRa* SX1278-Ra02 sebagai penerima data yang dikirim jarak jauh oleh *node* perantara yang telah dirancang ditunjang dengan antenna omni-directional. Dengan *Mikrokontroler* berjenis Arduino Uno R3 yang dihubungkan menggunakan komunikasi Software Serial kepada nodeMCU dengan tujuan data yang diterima oleh *LoRa* diteruskan ke nodeMCU yang digunakan guna pengiriman data seluruh pembacaan sensor menggunakan internet menuju *firebase realtime database*.



Gambar 7. Rangkaian *node* penerima

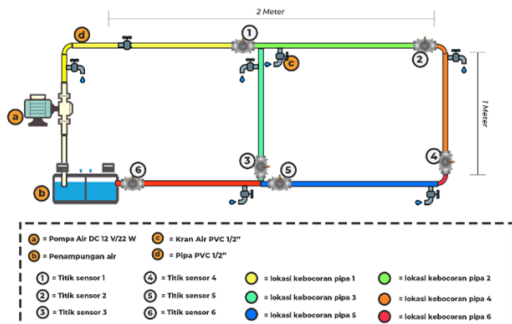
Pada ESP8266 terhubung dengan internet dan kode authorisasi yang diberikan oleh *firebase database* sehingga koneksi antara nodeMCU dengan firebase bisa berjalan. Sehingga nodeMCU dan firebase bisa melakukan komunikasi karena telah diberikan akses dengan kode athorisasi yang telah dimasukan pada program modul nodeMCU.

## 2.4 Jaringan Pipa

Desain jaringan pipa yang ditunjukkan pada Gambar 8 bertujuan untuk mempermudah pemetaan jaringan pipa dan memudahkan algoritma program yang akan dijalankan untuk deteksi letak kebocoran pada prototipe



ini. Hambar 8 merupakan desain dan hasil rancangan jaringan pipa pada penelitian ini.



Gambar 8. Mapping jaringan pipa keseluruhan

Pada gambar desain tersebut terdapat sebanyak 6 titik sensor dengan tiap sensor mendeteksi volume pada satu pipa dengan panjang tiap pipa bisa dilihat pada gambar, 3 titik sensor antara lain sensor 1, sensor 2 dan sensor 3 akan terhubung pada perangkat sensor *node* 1, 3 sensor water flow lain terhubung dengan perangkat sensor *node* 2. Pipa yang digunakan berukuran 1/2 inci, Untuk mendorong air dari penampungan ke pipa digunakan pompa air dengan spesifikasi DC 12 Volt berdaya 22 Watt. Guna mempermudah pengujian untuk mendapatkan berbagai kondisi letak kebocoran. Bentuk akhir dari jaringan pipa terdapat pada Gambar 9.

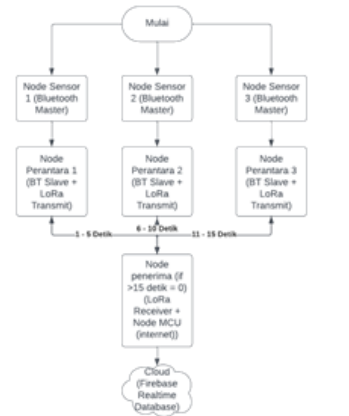


Gambar 9. Bentuk fisik jaringan pipa keseluruhan

### 2.5 Perancangan protokol komunikasi keseluruhan alat

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10, protokol komunikasi yang digunakan dalam pengujian pengaruh parameter *physical layer* adalah *point to point*. Masing-masing *node* memiliki hubungan *master-slave* agar komunikasi tidak terputus.

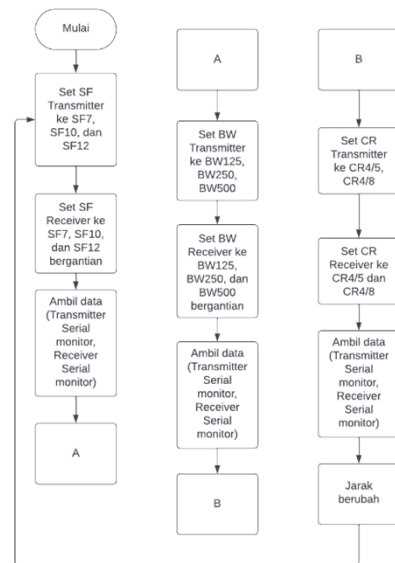
Protokol komunikasi *Lora* yang digunakan menggunakan prinsip topologi *tree* dengan metode pengiriman *waiting protocol*, pada 5 detik pertama pengiriman dilakukan oleh *node* satu dengan *node* lainnya menunggu pengkodean untuk melakukan perintah pengiriman data, kemudian pada detik 6 sampai 10 pengiriman data dilakukan oleh *node* dua, pada detik ke 11 sampai detik ke 15 pengiriman data dilakukan oleh *node* tiga, pada detik ke 16 fungsi *millis* direset sehingga pada *node* penerima kembali ke detik 1[14].



Gambar 10. Diagram alir protokol komunikasi keseluruhan

### 2.6 Skema optimalisasi kinerja penerimaan paket *Lora*

Pengujian dilakukan pada jarak 100 Meter – 1100 Meter, pengambilan data dilakukan pada serial monitor Arduino Uno pada transmitter dan receiver untuk data waktu kirim dan waktu terima serta paket yang dikirim dan paket yang diterima oleh *node* penerima. Skema pengujian pengaruh pengkodean fisik ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Skema pengujian pengkodean parameter fisik

Persiapan lain yang dilakukan sebelum pengujian adalah *mapping area*. Tujuan dari *mapping area* adalah untuk memastikan tingkat presisi dari jarak pengujian komunikasinya. Secara lengkap, *mapping area* dapat dilihat pada gambar 11. Variabel yang dipilih dalam performa penerimaan paket antara lain adalah Time on Air (*ToA*), Packet Reception Rate (*PRR*) dan *Byte Reception Ratio (BRR)*, berikut merupakan persamaan yang digunakan dalam menentukan nilai *ToA* pada suatu transmisi [15].

$$ToA (mS) = \text{waktu terima} - \text{waktu kirim} \quad (1)$$

Persamaan yang digunakan dalam menentukan nilai *PRR* pada suatu transmisi dari komunikasi *LoRa* adalah

$$PRR(\%) = \frac{\sum \text{Paket yang diterima}}{\sum \text{Paket yang dikirim}} \times 100\% \quad (2)$$

Persamaan yang digunakan dalam menentukan nilai *BRR* pada suatu transmisi dari komunikasi *LoRa* adalah

$$BRR(\%) = \frac{\sum \text{Byte yang diterima}}{\sum \text{Byte yang dikirim}} \times 100\% \quad (3)$$

Untuk pemetaan lokasi pengujian ditunjukkan pada Gambar 12 sesuai dengan jarak yang telah ditentukan sebelumnya.



Gambar 12. Mapping pengujian pengkodean parameter fisik

### 3. Hasil dan Pembahasan

Pada pengujian pengaruh parameter fisik ini, dijalankannya skema pengujian yang sesuai sehingga bisa didapatkan analisis dari pengaruh parameter fisik modul *LoRa* antara lain spreading factor, bandwidth dan coding rate terhadap performa penerimaan paket data komunikasi antar modul *LoRa* dengan variabel yang digunakan sebagai acuan analisis antara lain *ToA* (*Time on Air*) dalam satu transmisi data, Rasio paket yang berhasil diterima dalam persen (*PRR*(%)), dan Rasio byte yang berhasil diterima dalam persen (*BRR*(%)).

#### 3.1 Pengaruh nilai *Spreading Factor*

Hasil pengaruh dari pemberian *spreading factor* dapat dilihat secara lengkap pada Tabel 2, 3, dan 4. Pengaruh parameter fisik *SF* terhadap *Time on Air* dalam suatu transmisi yaitu semakin besar nilai *spreading factor* dalam modulasi *LoRa* SX1278 maka akan membutuhkan waktu dalam transmisi data *LoRa* SX1278 yang semakin besar, hal ini sesuai dengan tinjauan teoritis bahwa meningkatnya *spreading factor* berarti meningkatnya jumlah bit yang dimodulasi sehingga membutuhkan waktu yang lebih lama untuk proses modulasinya.

Pengaruh parameter *SF* terhadap rasio penerimaan paket dalam pentransmisi data menggunakan modul *LoRa* SX1278 adalah semakin besar *spreading factor* yang diterapkan maka komunikasi akan semakin kebal terhadap gangguan yang dalam penelitian ini menggunakan variabel perubahan jarak, dibuktikan pada salah satu jarak yaitu 600 Meter dengan nilai *SF* yaitu 7

*ratio byte* yang diterima (*BRR*) sebesar 35% sedangkan dengan nilai *SF* yaitu 12 mendapatkan *rasio byte* yang berhasil diterima sebesar 90%, juga pada parameter rasio penerimaan paket (*PRR*) nilai *spreading factor* yang semakin besar akan meningkatkan rasio penerimaan paket dalam komunikasi modul *LoRa* SX1278 hal ini dikarenakan jumlah bit yang dimodulasi semakin banyak sehingga paket data maupun *byte* yang dikirim bisa lebih tahan terhadap *noise*.

Tabel 2. Pengaruh Spreading Factor Terhadap ToA

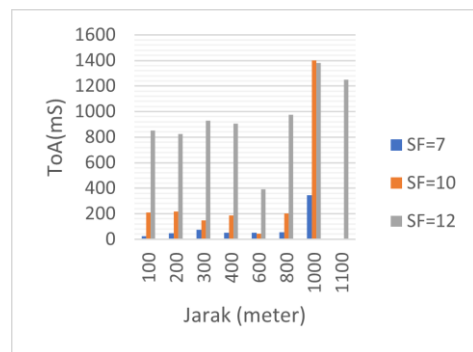
Jarak (meter)	TOA (ms)		
	SF=7	SF=10	SF=12
100	26	210	851
200	46	218	826
300	73	147	929
400	53	186	907
600	51	44	393
800	54	201	975
1000	347	1402	1381
1100	null	null	1250

Tabel 3. Pengaruh Spreading Factor Terhadap PRR

Jarak (meter)	PRR (%)		
	SF=7	SF=10	SF=12
100	100	100	100
200	95	100	100
300	100	100	100
400	65	70	100
600	40	75	90
800	25	50	100
1000	10	40	45
1100	0	0	15

Tabel 4 Pengaruh Spreading Factor Terhadap BRR

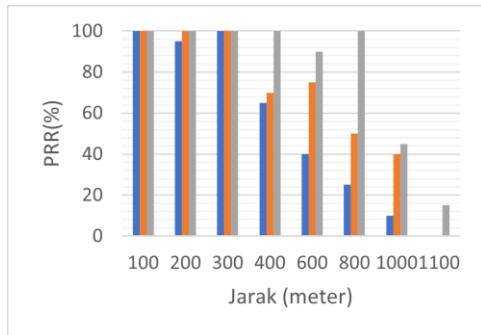
Jarak (meter)	BRR (%)		
	SF=7	SF=10	SF=12
100	100	100	100
200	93.33	100	100
300	100	100	100
400	60.83	70	100
600	35	75	90
800	25	50	90
1000	5	36.67	45
1100	0	0	11.67



Gambar 13. Pengaruh spreading factor terhadap ToA

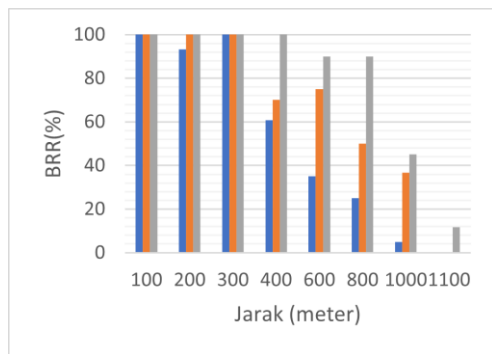
Dari hasil grafik yang ditunjukkan pada Gambar 13, 14, dan 15, dapat dianalisa bahwa pengkodean nilai *Spreading Factor* (*SF*) parameter fisik pada *LoRa* memengaruhi performa penerimaan paket, semakin besar nilai *spreading factor* (*SF*) maka performa dari

penerimaan paket modul LoRa SX1278 akan semakin baik namun waktu yang dibutuhkan untuk transmisi akan semakin lama.



Gambar 14. Pengaruh *spreading factor* terhadap PRR (%)

Dalam penerapannya untuk memenuhi skenario dengan kebutuhan jarak pendek 100 hingga 800 Meter lebih baik menggunakan *SF* rendah untuk mendapatkan waktu pengiriman yang optimal, namun untuk memenuhi skenario dengan kebutuhan jarak lebih jauh lebih baik menggunakan *SF* besar untuk mempertahankan paket data walaupun terjadi banyak gangguan.



Gambar 15. Pengaruh *spreading factor* terhadap BRR (%)

### 3.2 Pengaruh nilai *bandwidth*

Hasil pengujian pengaruh nilai *bandwidth* dilakukan pengkodean nilai Bandwidth sebanyak 3 pada tiap jarak pengiriman data LoRa antara lain 125 kHz, 250 kHz, dan 500 kHz tanpa merubah nilai *spreading factor* (SF=7) dapat dilihat pada Tabel 5, 6, dan 7. Pengujian tiap pengiriman dan penerimaan data dilakukan selama 40 detik. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan nilai Bandwidth terhadap performa penerimaan paket data dari transmisi modul komunikasi LoRa SX1278.

Tabel 5. Pengaruh Bandwidth Terhadap ToA

Jarak (meter)	TOA (ms)		
	SF=7	SF=10	SF=12
100	26	210	851
200	46	218	826
300	73	147	929
400	53	186	907
600	51	44	393
800	54	201	975
1000	347	1402	1381
1100	null	null	1250

Tabel 6. Pengaruh Bandwidth Terhadap PRR

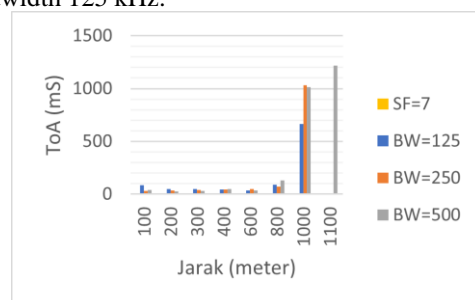
Jarak (meter)	PRR (%)		
	SF=7	SF=10	SF=12
100	100	100	100
200	95	100	100
300	100	100	100
400	65	70	100
600	40	75	90
800	25	50	100
1000	10	40	45
1100	0	0	15

Tabel 7. Pengaruh Bandwidth Terhadap BRR

Jarak (meter)	BRR (%)		
	SF=7	SF=10	SF=12
100	100	100	100
200	93.33	100	100
300	100	100	100
400	60.83	70	100
600	35	75	90
800	25	50	90
1000	5	36.67	45
1100	0	0	11.67

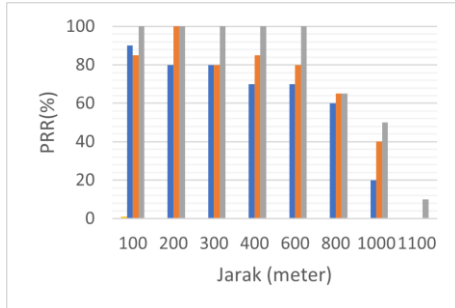
Pengaruh parameter fisik *bandwidth* terhadap waktu yang dibutuhkan paket untuk sampai ke penerima/*Time on Air (ToA)* yaitu dalam pengkodean besar bandwidth memengaruhi *Time on Air* namun tidak signifikan dari data yang dihasilkan pada pengujian, dikarenakan pengujian dengan lingkungan yang hampir sama besar nilai pathlossnya menghasilkan *Time on Air* yang stabil dari ketiga *bandwidth* yang digunakan, hal ini dikarenakan *bandwidth* merupakan lebar pita sehingga latensi jaringan yang tinggi pada daerah *urban* yang padat *traffic* peningkatan *bandwidth* bisa tidak memberikan peningkatan kecepatan transmisi yang tidak signifikan.

Pengaruh *bandwidth* terhadap presentase penerimaan paket dan *byte* dari transmisi dapat dianalisis bahwa semakin besar nilai *bandwidth*/lebar pita dari modulasi CSS modul LoRa SX1278 performa penerimaan data dalam transmisi lebih baik dikarenakan dalam modulasi *Chirp Spread Spectrum* milik Lora dengan *bandwidth* lebih tinggi akan menimbulkan sensitivitas yang rendah (adanya integrasi kekebalan kebisingan tambahan) sehingga presentase penerimaan paket lebih baik menggunakan *bandwidth* yang besar, dengan *bandwidth* yang lebih besar paket yang diterima pada satu pengiriman akan lebih banyak dan lebih tahan terhadap gangguan pada nilai *bandwidth* 500 kHz daripada nilai *bandwidth* 125 kHz.

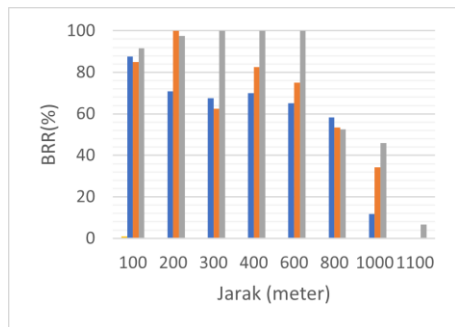


Gambar 16. Pengaruh *bandwidth* terhadap ToA (ms)

Sama halnya dengan presentase penerimaan *byte* data semakin lebar pita *byte* yang dapat diterima akan semakin baik namun lebih sering terjadi *noise*/kehilangan *byte* walaupun pada jarak yang pendek. Dalam penggunaan skenario yang membutuhkan jarak jangkauan optimal dengan penerimaan paket stabil, lebih baik menggunakan *bandwidth* yang besar. Ini ditunjukkan pada grafik analisis pada Gambar 16, 17, dan 18.



Gambar 17. Pengaruh *bandwidth* terhadap BRR (%)



Gambar 18. Pengaruh *bandwidth* terhadap PRR (%)

### 3.3 Pengaruh nilai Coding Rate

Pengaruh parameter modulasi *coding rate* terhadap waktu yang dibutuhkan paket untuk sampai ke penerima/*Time on Air (ToA)* yaitu dalam pengkodean besar coding memengaruhi *Time on Air* namun tidak signifikan dalam sebuah transmisi, pengujian dengan lingkungan yang hampir sama besar *pathlossnya* / dengan kondisi minim halangan pada jarak 0 hingga 800-meter menghasilkan *Time on Air* yang stabil dari ketiga coding rate yang digunakan. Dari pengujian yang telah dilakukan, diperoleh hasil seperti pada Tabel 8, 9, dan 10.

Tabel 8. Pengaruh Coding Rate Terhadap ToA

Jarak (meter)	ToA (ms)		
	CR=0	CR=4/5	CR=4/8
100	86	45	68
200	49	38	37
300	49	35	46
400	45	51	46
600	37	70	61
800	90	61	68
1000	663	null	Null
1100	null	null	Null

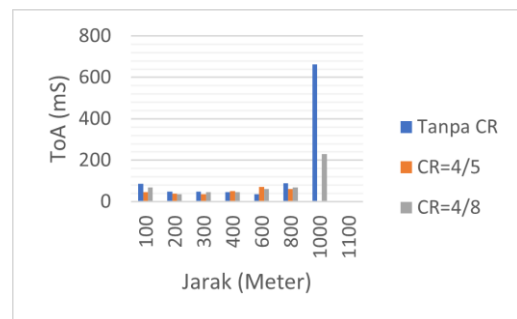
Tabel 9. Pengaruh Coding Rate Terhadap PRR

Jarak (meter)	PRR (%)		
	CR=0	CR=4/5	CR=4/8
100	90	100	100
200	80	75	90
300	100	80	100
400	70	90	100
600	70	80	100
800	60	65	85
1000	20	0	30
1100	0	0	0

Tabel 10. Pengaruh Coding Rate Terhadap BRR

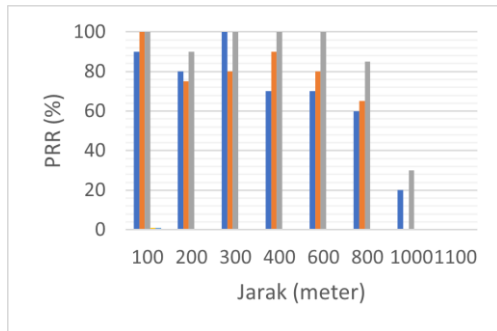
Jarak (meter)	BRR (%)		
	CR=0	CR=4/5	CR=4/8
100	87.5	100	100
200	70.8	70	86.7
300	87.5	80	100
400	70	90	96.7
600	65	78.33	100
800	58.33	70	85
1000	11.67	0	24.2
1100	0	0	0

Pengaruh *Coding Rate (CR)* terhadap presentase penerimaan paket dan *byte* dari transmisi dapat dianalisis bahwa semakin besar nilai *coding rate* dari modulasi CSS modul LoRa SX1278 performa penerimaan data dalam transmisi lebih baik dikarenakan dalam modulasi *Chirp Spread Spectrum* milik LoRa SX1278 semakin besar nilai *coding rate* mengartikan semakin besar bit redundan yang dikirim pada setiap 4 bit data, sehingga makin banyak *bit redundan* bisa meningkatkan kemampuan anti-interferensi *Lora* dengan metode korelasi kesalahan pada tiap bit redundan yang digunakan namun semakin banyak bit redundan yang diikutkan dalam modulasi maka waktu yang diperlukan dalam pengiriman data akan semakin lama sehingga pada jarak 1000 Meter pengujian tanpa menggunakan *Coding Rate* data dapat diterima namun pada coding rate 4/5 tidak dapat menerima data karena penambahan bit redundan menyebabkan kekuatan sinyal menurun seiring dengan adanya halangan. Dalam skenario yang membutuhkan kekebalan data yang dikirim terhadap *noise* diperlukan nilai *coding rate* yang besar. Untuk memudahkan perbandingan hasil pengujian, dapat dilihat pada grafik di Gambar 19, 20, dan 21.

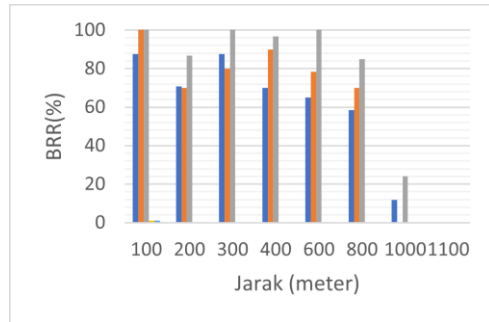


Gambar 19. Pengaruh *Coding Rate* terhadap ToA (ms)





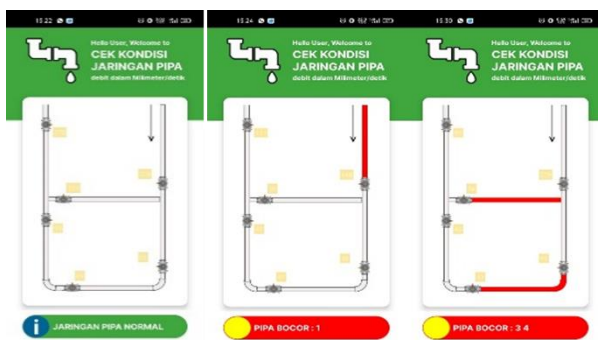
Gambar 20. Pengaruh Coding Rate terhadap BRR (%)



Gambar 21. Pengaruh Coding Rate terhadap PRR (%)

### 3.4 Hasil Deteksi Letak Kebocoran Pipa

Dari hasil deteksi letak kebocoran pipa pada Gambar 22 dilakukan perubahan sebanyak 3 kondisi yang diasumsikan terjadinya kebocoran pipa pada tiap titik sensor, dapat dianalisa bahwa hasil dari perancangan prototipe secara keseluruhan dapat berjalan dengan baik dikarenakan dari perubahan kondisi yang diberikan dapat mentrigger pulse sensor water flow kemudian berhasil diolah pada arduino node sensor sekaligus berhasil menjalankan protokol komunikasi dengan baik menggunakan metode *relay* komunikasi berjenis bluetooth dengan modul komunikasi LoRa.



Gambar 22. Hasil deteksi letak kebocoran pipa menggunakan modul komunikasi LoRa

*Parsing* data pada tiap penerimaan dilakukan dengan berhasil kemudian data dapat diunggah oleh nodeMCU menuju Firebase realtime database yang telah diintegrasikan kepada aplikasi *android* yang akan setiap saat melakukan *request data* ke firebase sehingga

monitoring bisa terus dilakukan secara realtime dengan menampilkan data pembacaan semua sensor serta berhasil memberikan informasi letak kebocoran pipa yang sesuai dengan kondisi real jaringan pipa yang terpasang.

### 4. Kesimpulan

Hasil penelitian dari pengaruh fisik modulasi CSS pada LoRa SX1278 terhadap terhadap performa penerimaan paket data didapatkan bahwa ketiga parameter *SF*, *BW*, dan *CR* yang lebih besar dapat mengoptimalkan persentase paket dan *byte* yang dapat diterima *Lora* dengan jarak transmisi yang lebih jauh. Hal ini dikarenakan *spreading factor* merupakan jumlah bit yang dimodulasi semakin banyak sehingga paket data maupun *byte* yang dikirim bisa lebih tahan terhadap gangguan.

Semakin besar nilai *bandwidth* maka semakin lebar pita frekuensi sehingga memiliki sensitivitas yang lebih rendah terhadap gangguan, sedangkan semakin besar *coding rate* maka semakin banyak penambahan *bit redundant* yang bisa meminimalisir jumlah *byte* yang error, tetapi semakin besar ketiga parameter fisik waktu transmisi / pengiriman data yang dilakukan akan lebih lama daripada menggunakan nilai *SF*, *BW*, dan *CR* yang rendah sehingga keseluruhan kinerja penerimaan paket dari protokol komunikasi prototipe deteksi letak kebocoran pipa berhasil dilakukan.

Perolehan data dari *LoRa* berhasil diterima oleh *firebase realtime database* dengan *parsing data* jenis *JSON* dengan jenis komunikasi menggunakan metode *waiting* protokol, hasil optimalisasi parameter fisik LoRa SX1278 didapatkan *SF*10, *BW* 500 KHz dan *CR* 4/8 dengan keberhasilan paket dan *byte* yang diterima sebesar 100% dengan jarak transmitter dengan receiver adalah 400 meter. Pada pengujian modul komunikasi *LoRa* yang dilakukan dalam penelitian ini diharapkan dapat mencapai jarak transmisi yang lebih jauh dengan menggunakan optimalisasi parameter fisik *LoRa* terbaik sehingga data sensor yang dibangun dan dikirim bisa lebih banyak dengan berbagai skenario pengiriman *Lora*.

### Ucapan Terimakasih

Terima kasih kepada Universitas Jember melalui LP2M atas dukungan dana hibah Penelitian KeRis. Kami mengapresiasi izin penelitian berdasarkan Surat Rektor Nomor: 7575/UN25/KP/2023 dan perjanjian penugasan Nomor: 3340/UN25.3.1/LT Tanggal 3 April 2023. Tanpa dukungan ini, hasil penelitian ini tidak mungkin tercapai.

### Daftar Rujukan

- [1] Badan Pusat Statistik. (2020). Penduduk Indonesia Hasil Long Form Sensus Penduduk 2020.

- [2] Asid N.J. (2020) *Evaluasi Kondisi Pipa pada Sistem Irigasi Perpipaan*. Narotama Jurnal Teknik Sipil. Volume 4 Nomor 2 Nopember 2020.
- [3] Dwi Prasetya, A., Kunto Aji Wibisono, dan, Teknik Elektro, J., Teknik, F., Trunojoyo Madura Jl Raya Telang, U., Telang Indah, P., Bangkalan, K., & Timur, J. (2020). *Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Pendeteksi Lokasi Kebocoran Pipa Berdasarkan Analisis Debit Air Berbasis IoT*. In Tahun (Vol. 12, Issue 1).
- [4] Firdaus, Daru Quthni; Chaidir, Ali Rizal; Muldayani, Wahyu; Kalandro, Guido Dias; Setiabudi, Dodi. *Sistem Pemantauan Hasil Tampung Nira Kelapa Berbasis IoT (Internet of Things)*. Jurnal J-Innovation Vol.11, No.1, Juni 2022.
- [5] Wang, K. (2017). *Application of wireless sensor network based on LoRa in city gas meter reading*. International Journal of Online Engineering, 13(12), 104–115. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v13i12.7887>
- [6] Guo, Q., Yang, F., & Wei, J. (2021). *Experimental evaluation of the packet reception performance of LoRa Sensors (Switzerland)*, 21(4), 1–23. <https://doi.org/10.3390/s21041071>.
- [7] Irfanianingrum, I'zaaz; Chaidir, Ali Rizal; Sumardi; Rahardi, Gamma Aditya; Herdiyanto, Dedy Wahyu. *Sistem Pendeteksi Dini Kebakaran Hutan Berbasis Logika Fuzzy dengan Integrasi Telegram*. Jurnal Emitor. Vol 23, No 2: September 2023.
- [8] F. A. Zulafah, D. Dewatama, and S. Siswoko. *Rancang Bangun Stasiun Cuaca Berbasis Wireless Sensor Network Dengan LORA SX1278*. TESLA, vol. 24, no. 2, pp. 116–128, Oct. 2022.
- [9] Rifaldi Poliama, R. S., Eka Putra Surusa. *Rancang Bangun Alat Sistem Monitor Lampu Jalan Umum Tenaga Surya Berbasis Teknologi Lo-Ra*. Prodi Teknik Elektro, F., & Kurniyanto Abdullah, R. (2019), Volume 3 Nomor 2 Juli 2021. Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering.
- [10] Dirjen, S. K., Riset, P., Pengembangan, D., Dikti, R., & Firman Maulana, I. *Penerapan Firebase Realtime Database pada Aplikasi E-Tilang Smartphone berbasis Mobile Android*. (2017). Terakreditasi SINTA Peringkat 2 Masa Berlaku Mulai, 1(3), 854–863.
- [11] Setiabudi, Dodi; Herdiyanto, D.W.; A. Kurniawan, W. Muldayani, A. R. Chaidir and G. A. Rahardi. *Design of Wireless sensor network (WSN) System Using Point to point and Waiting Protocol Methods For Solar Panel Monitoring*. 2022 International Conference on Electrical Engineering, Computer and Information Technology (ICEECIT), Jember, Indonesia, 2022, pp. 232-240, doi: 10.1109/ICEECIT55908.2022.10030602.
- [12] Herdiyanto, Dedy Wahyu; Gamma Aditya Rahardi; Erika Fiqrilinia; Ali Rizal Chaidir; Dodi Setiabudi; Arizal Mujibtamala Nanda Imron. *Prototype of Building Monitoring System Using Vibration Sensor Based on Wireless Sensor Network*. 2022 International Conference on Electrical Engineering, Computer and Information Technology (ICEECIT), Jember, Indonesia. 22-23 November 2022. 10.1109/ICEECIT55908.2022.10030309.
- [13] Ramadhan, A. B., Sumaryo, S., & Priramadhi, R. A. *Desain Dan Implementasi Pengukuran Debit Air Menggunakan Sensor Water Flow Berbasis IoT*. eProceedings of Engineering. Vol 6, No 2, 2019. Telkom University.
- [14] Rofii, F., Hunaini, F., Sholawati, S. (2018). *Kinerja Jaringan Komunikasi Nirkabel Berbasis Xbee pada Topologi Bus, Star dan Mesh*. ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika, 6(3), 393. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v6i3.393>.
- [15] Guo, Q., Yang, F., & Wei, J. (2021). *Experimental evaluation of the packet reception performance of LoRa. Sensors (Switzerland)*, 21(4), 1–23. <https://doi.org/10.3390/s21041071>.