



Mekanisme Peningkatan *Reciprocity Channel Probing* Pada LoRaWAN Menggunakan *Savitzky Golay Filter*

Nurul Istiqomah¹, Mike Yuliana² dan Tri Budi Santoso³

¹Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Teknik Elektro, email: nurulistiqomah@pasca.student.pens.ac.id

²Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Teknik Telekomunikasi, email: mieke@pens.ac.id

³Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Teknik Telekomunikasi, email: tribudi@pens.ac.id

[1] Abstrak

Pada komunikasi *Wireless* seperti LoRa perlu adanya pembangkitan kunci untuk pengamanan data. Hal ini dilakukan agar data yang dikirimkan tidak mudah di serang oleh *attacker*. Salah satu cara mendapatkan kunci yang tepat adalah dengan pengkondisian nilai koefisien korelasi RSSI yang tinggi. Pada penelitian ini dibuat sebuah sistem untuk meningkatkan *Reciprocity Channel Probing* agar didapatkan nilai koefisien korelasi yang tinggi. Sistem dirancang dengan menggunakan metode *Savitzky Golay Filter*. Pengujian dilakukan pada dua kondisi yaitu *indoor* dan *outdoor*, dan dengan menggunakan nilai *Spreading Factor* dari SF-7 sampai SF-10. Hasil koefisien korelasi pengukuran menunjukkan bahwa pada kondisi *outdoor* lebih baik dibandingkan kondisi *indoor*. Nilai koefisien korelasi pengukuran tertinggi pada kondisi *indoor* yaitu 0.51 saat SF-10. Sedangkan pada kondisi *outdoor* nilai koefisien korelasi pengukuran tertinggi yaitu 0.81 saat SF-7. Metode *Savitzky Golay Filter* mampu meningkatkan koefisien korelasi sampai dengan 67.52% pada pengujian *indoor*. Rata-rata persentase kenaikan pada kondisi *indoor* yaitu lebih dari 30% dan kondisi *outdoor* lebih dari 15%. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa metode *Savitzky Golay Filter* cocok digunakan untuk tahap pra proses karena mampu meningkatkan nilai koefisien korelasi secara signifikan.

Kata kunci: LoRa, Koefisien Korelasi, *Savitzky Golay Filter*

[2] Abstract

In wireless communications such as LoRa, it need a key generation system to secure data. It is intended that the data sent is not easily attacked by attackers. One way to obtain a secure key is a high RSSI correlation coefficient value. In this study, a system was created to improve Reciprocity Channel Probing in order to obtain a high correlation coefficient value. The system is designed using the Savitzky Golay Filter method. The test was carried out in two conditions, namely indoor and outdoor. In addition, the test uses the Spreading Factor value from SF-7 to SF-10. The results of the measurement correlation coefficient in outdoor conditions are better than indoor conditions. The result of the highest measurement correlation coefficient in indoor conditions is 0.51 at SF-10. Meanwhile, in outdoor conditions, the highest measurement correlation coefficient is 0.81 at SF-7. The Savitzky Golay Filter method is able to increase the correlation coefficient up to 67.52% in indoor testing. The average percentage increase in indoor conditions is more than 30% and outdoor conditions is more than 15%. So that the

Savitzky Golay Filter method is suitable for use in the pre-process stage because it can significantly increase the correlation coefficient

Keywords: LoRa, Correlation Coefficient, Savitzky Golay Filter

1. Pendahuluan

Pemanfaatan teknologi wireless merupakan suatu hal yang tidak bisa dilepaskan di dalam kehidupan sehari-hari. Sistem LoRa merupakan salah satu sistem transmisi wireless yang banyak dimanfaatkan untuk keperluan pengiriman data-data kecil [1]. LoRa digunakan sebagai teknologi transmisi pada *Wireless Sensor Network* (WSN) seperti diterapkan pada monitoring kualitas udara, bidang industri dan monitoring pada bidang peternakan [1,2,3]. Pada komunikasi *wireless* dengan menggunakan LoRa masih relative rentan terhadap penyadapan data yang dilakukan oleh *attacker*. Sehingga dibutuhkan security pada LoRa yang digunakan untuk mengamankan data yang dikirim dari Node ke *Gateway* [4].

Dikarenakan rentannya penyadapan pada komunikasi wireless. Upaya pembangkitan kunci yang aman sudah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Perangkat *wireless* yang umum digunakan yaitu perangkat *wireless* pada laptop yang dilengkapi dengan wifi untuk membangun jaringan *Ad-Hoc* [5,6]. Dari penelitian tersebut terdapat kelemahan dimana penggunaan perangkat *wireless* dilaptop sering menghasilkan koefisien korelasi rendah. Sehingga mengakibatkan kunci yang didapat kurang bervariasi. Untuk mengatasi hal tersebut pada penelitian sebelumnya mengusulkan salah satu metode yang digunakan untuk mendapatkan kunci yang aman dan bervariasi yaitu metode *Heirarcichal clustering* untuk meningkatkan nilai koefisien korelasi antara *legitimate user*. Hasil dari metode tersebut mampu meningkatkan nilai koefisien korelasi. Namun peningkatan koefisien korelasi yang didapatkan antara *legitimate user* hanya 15% pada kondisi indoor dengan adanya penghalang [5].

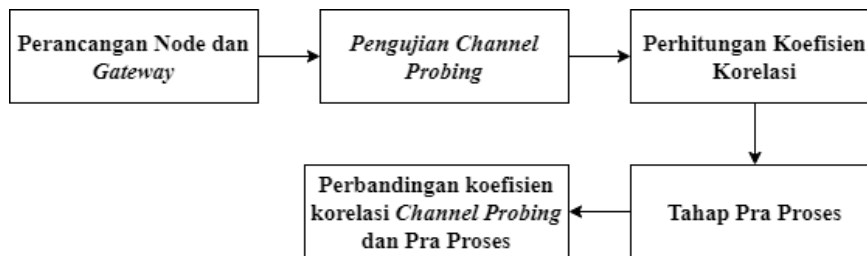
Selain menggunakan perangkat *wireless* pada laptop, beberapa peneliti membangun jaringan *Ad-Hoc* pada Raspberry Pi. Dimana perangkat tersebut lebih banyak diimplementasikan pada *Vehicle to Vehicle* (V2V) [7]. Dikarenakan jaringan *Ad-Hoc* hanya bisa mengirimkan data pada jarak yang pendek, sehingga pada proses *channel probing* ketika jarak antara *legitimate user* melebihi *Threshold* maka bisa mengakibatkan hilangnya nilai RSSI. Ketika beberapa nilai RSSI antara *legitimate user* ada yang hilang maka untuk mendapatkan kunci yang sama antara *legitimate user* menjadi susah dan harus dilakukan kembali proses *Channel Probing* [5]. Sehingga banyak peneliti yang menggunakan perangkat *Wireless LoRa* untuk proses komunikasi data [8]. Namun penelitian pembangkitan kunci di LoRa masih relatif sedikit. Hal tersebut dikarenakan pada pengukuran RSSI di LoRa sulit didapatkan nilai koefisien korelasi yang tinggi antara Node dan *Gateway*. Hal tersebut dipengaruhi oleh *coherence time* yang tidak sama, selain itu juga dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti *noise*, *multipath fading*, dan *power transmit* [9]. Oleh karena itu diperlukan pra proses sebelum tahap kuantisasi agar tingkat koefisien korelasi yang didapatkan lebih tinggi, sehingga dapat menghasilkan kunci yang lebih bervariasi [10].

Pada penelitian ini telah dilakukan perancangan dan implementasi metode untuk meningkatkan *reciprocity channel probing* antara Node dan *Gateway* dengan menggunakan algoritma *savitzky golay filter*. Di sini juga telah dilakukan pengujian dengan menggunakan nilai *spreading factor* yang berbeda pada LoRa sehingga dapat diketahui *spreading factor* yang dapat menghasilkan nilai koefisien korelasi yang tinggi antara Node dan *Gateway*. Dari penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan nilai koefisien korelasi yang tinggi. Sehingga pada tahap pembangkitan kunci selanjutnya bisa didapatkan kunci yang bervariasi untuk pengamanan data dan

menyebabkan penyadap sulit untuk melakukan *attacker* karena banyaknya kunci yang didapatkan oleh Node dan *Gateway*.

2. Metodologi

Mekanisme peningkatan *reciprocity channel probing* pada LoRa ini terdiri dari beberapa tahapan. Tahapan proses disajikan secara sederhana seperti pada Gambar 1. Pada dasarnya tahapan proses ini terdiri dari tiga tahapan penting. Yang pertama adalah perancangan Node dan *Gateway*, yang kedua adalah pengujian *channel probing* dan perhitungan koefisien korelasi. Pada pengujian *channel probing* LoRa Node dan LoRa *Gateway* melakukan proses Ping sampai sekuens Ping terpenuhi. Parameter pengujian yang digunakan pada penelitian ini yaitu kondisi *Indoor* dan *Outdoor*. Pada kondisi *Indoor* pengujian dilakukan diruangan kelas dengan jarak antara Node dan *Gateway* yaitu 10 meter. Sedangkan pada kondisi *Outdoor* jarak antara Node dan *Gateway* yaitu 300 meter dengan kondisi terhalang oleh bangunan dan pohon. Selain itu parameter pengujian yang digunakan pada penelitian yaitu dengan mengubah nilai *Spreading factor* mulai dari SF7, SF8, SF9 dan SF10. Tahapan yang ketiga adalah tahap pra proses dan perbandingan hasil nilai koefisien korelasi dari *channel probing* dan pra proses.

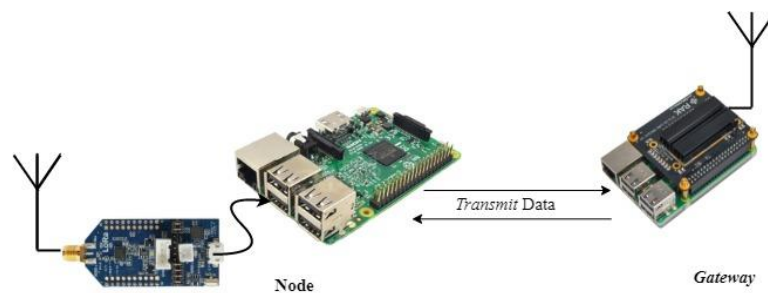


Gambar 1. Metodologi Penelitian

2.1 Perancangan Node dan Gateway

Di dalam implementasinya sistem ini memiliki dua bagian, yaitu pada sisi Node atau pengirim, dan sisi *Gateway* atau sisi penerima. Secara sederhana dapat dilihat seperti pada Gambar 2. Pada bagian Node terdapat dua buah hardware yaitu LoRa acsip ek-s76sxb dan Raspberry Pi. Luaran dari LoRa acsip ek-s76sxb dihubungkan ke Raspberry Pi dengan menggunakan kabel USB. Raspberry Pi berkomunikasi dengan LoRa acsip ek-s76sxb menggunakan pemrograman bahasa Python.

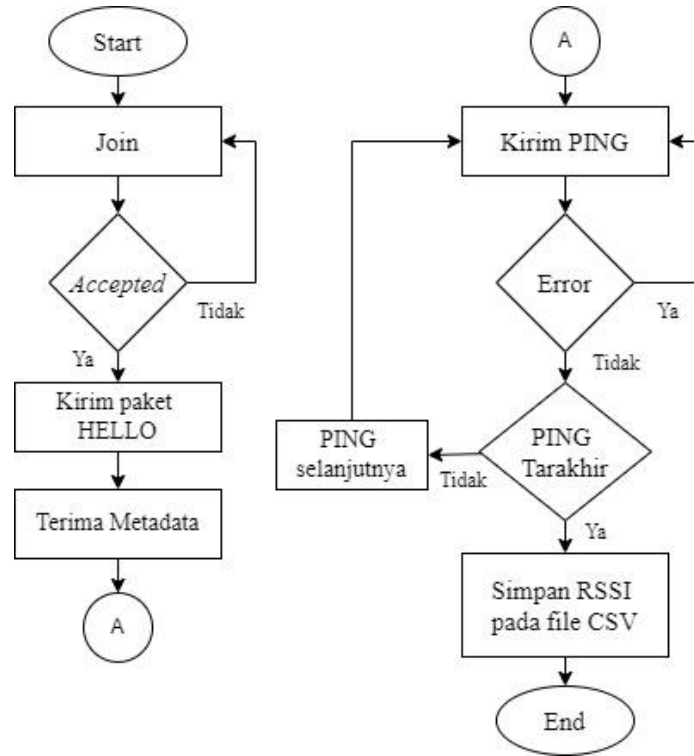
Pada bagian *Gateway* terdapat dua buah hardware yaitu LoRa Rak2245 dan Raspberry Pi. Modem LoRa Rak2245 dihubungkan dengan Raspberry Pi dengan memanfaatkan pin GPIO. Raspberry Pi berkomunikasi dengan LoRa Rak2245 menggunakan pemrograman bahasa python. Frekuensi yang digunakan pada proses pengiriman data adalah 923 MHz. Nilai tersebut dipilih karena frekuensi 923 MHz sesuai dengan lisensi Kementerian Komunikasi dan Informatika Indonesia untuk LoRa [1].



Gambar 2. Rangkaian Sistem

2.2 Channel Probing dan Perhitungan Koefisien Korelasi

Channel Probing adalah tahap pertukaran RSSI antara Node dan Gateway. Pada tahap ini Node sensor melakukan pengiriman data secara *confirmed* dengan data payload berupa sekuen Ping ke Gateway. Diagram alir proses Channel Probing dapat dilihat seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses Channel Probing

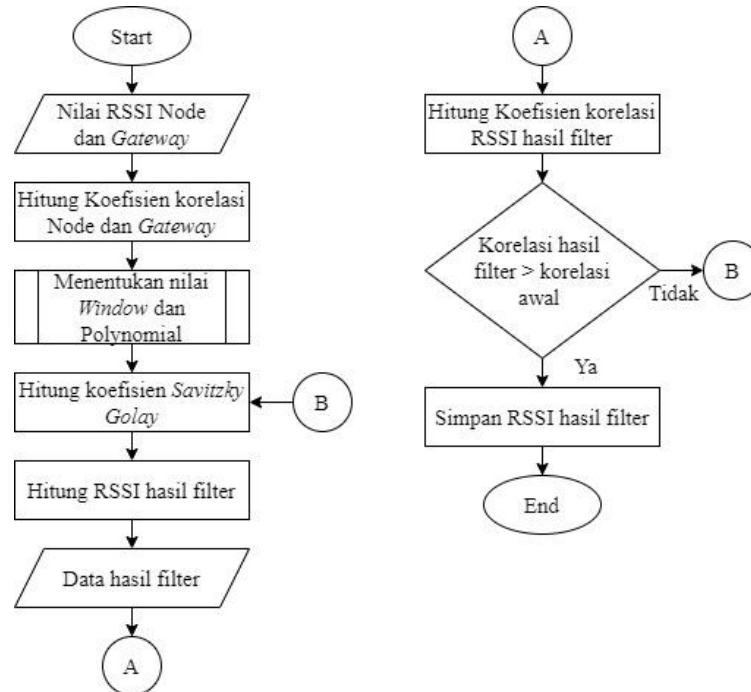
Pada proses *Channel Probing* LoRa Node melakukan join ke Gateway. Apabila proses join tersebut diterima oleh Gateway maka Node mengirimkan pesan “HELLO”. Pengiriman pesan bertujuan agar Gateway dapat mengetahui bahwa Node telah join. Kemudian Gateway mengirimkan Metadata. Di mana Metadata yang dikirimkan berupa *Interval Ping*, *Setting Spreading Factor*, dan waktu dari Gateway yang tersinkronisasi. Setelah Node menerima Meta End maka Node akan memulai proses Ping dengan mengirimkan data yang berisi Header dan Payload. Apabila pada proses Ping terjadi error maka proses Ping tersebut akan diulang kembali. Apabila proses Ping berhasil dan dapat menerima balasan dari Gateway maka dilanjutkan dengan pengiriman Ping selanjutnya. Ketika paket Ping sudah sesuai sukuens yang di setting atau pada penelitian ini sebanyak 100 kali maka data RSSI disimpan dalam file CSV baik disisi Node maupun Gateway. Dari nilai RSSI yang sudah disimpan di file CSV disisi Node maupun Gateway dapat digunakan untuk menghitung nilai koefisien korelasi dengan menggunakan persamaan 1.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \tag{1}$$

2.3 Pra Proses dan Perbandingan Nilai Koefisien Korelasi

Tahap pra proses adalah suatu tahap yang digunakan untuk meningkatkan nilai koefisien korelasi RSSI yang didapatkan pada proses *Channel Probing*. Metode yang digunakan pada

tahap pra proses ini adalah metode *Savitzky Golay Filter*. Ini merupakan sebuah metode *Filtering* yang digunakan untuk penghalusan atau *Smoothing* suatu data berdasarkan pendekatan polynomial kuadrat terkecil [11]. Diagram alir proses *Savitzky Golay Filter* dapat dilihat seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Flowchart Savitzky Golay Filter

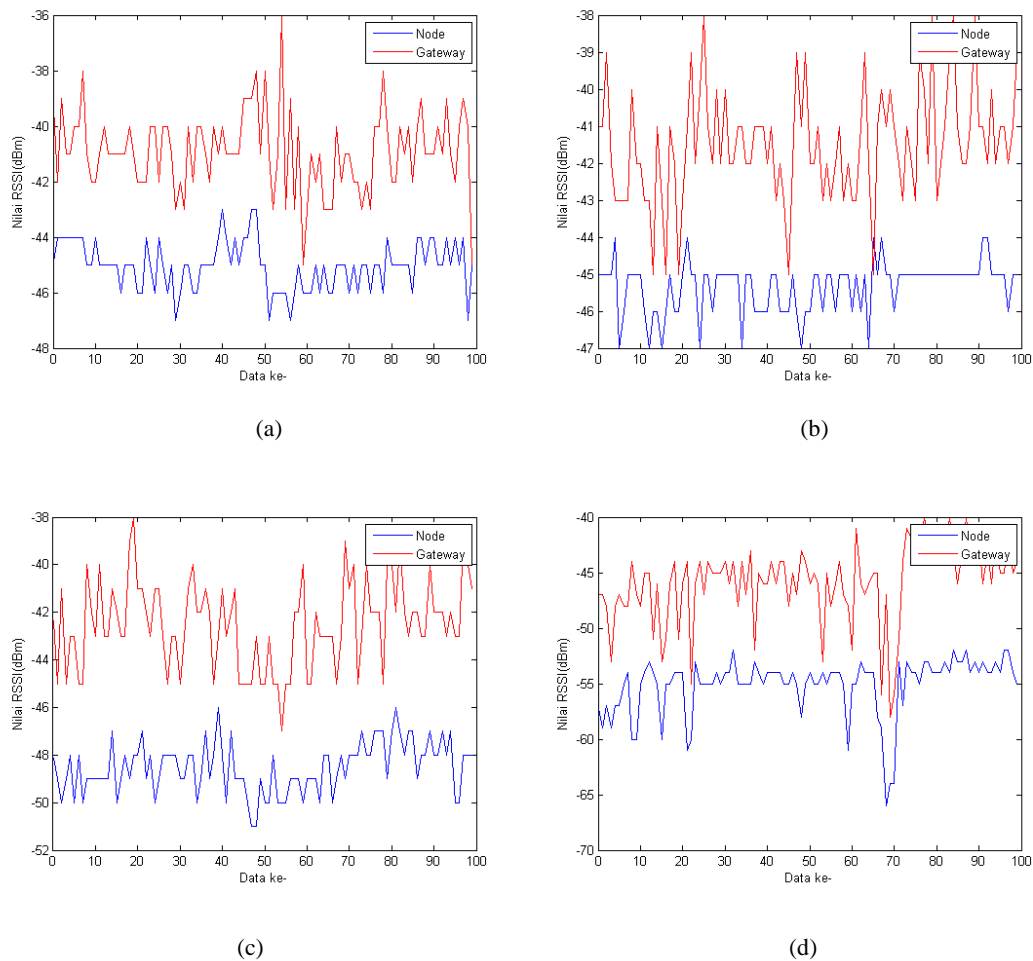
Nilai luaran RSSI Node dan *Gateway* yang didapatkan melalui proses *Channel Probing* selanjutnya dimasukkan ke *Savitzky Golay Filter*. Pada bagian ini ditetapkan nilai *Window* dan *polynomial* yang digunakan. Dalam hal ini nilai *window* yang digunakan adalah 99 dan nilai *polynomial* adalah 3. Kedua nilai tersebut akan menentukan proses pencarian nilai koefisien dari *Savitzky Golay* dengan menggunakan persamaan 2.

$$p(x) = \sum_{i=1}^d a_i x^i \quad (2)$$

Dalam hal ini a_i merupakan koefisien filter yang dicari. Nilai koefisien filter yang telah didapatkan digunakan untuk menghitung nilai RSSI hasil filter dengan cara mengalikan nilai koefisien filter *Savitzky Golay* dengan masing-masing nilai dari RSSI. Setelah didapatkan nilai RSSI baru hasil filter maka nilai RSSI digunakan untuk menghitung nilai koefisien korelasi dengan menggunakan persamaan 1. Apabila hasil koefisien korelasi hasil filter lebih besar dari koefisien korelasi hasil pengukuran maka nilai RSSI hasil filter disimpan dalam file csv. Sedangkan apabila nilai koefisien korelasi hasil filter lebih kecil dari koefisien korelasi hasil pengukuran maka dilakukan proses *filtering* ulang dengan menggunakan data input RSSI hasil filter pertama, hal tersebut akan diulang sampai mendapatkan nilai koefisien korelasi RSSI hasil filter lebih besar dibandingkan dengan koefisien korelasi hasil pengukuran pada tahap *Channel Probing*.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian pada kondisi indoor dilakukan dengan jarak antara Node dan *Gateway* 10 meter di dalam ruangan kelas di mana pada ruangan tersebut terdapat meja dan kursi yang menghalangi proses pengiriman. Data hasil pengukuran *Channel Probing* mulai dari SF7 sampai dengan SF10 seperti Gambar a-d berturut-turut pada Gambar 5.



Gambar 5. Nilai RSSI pada Kondisi Indoor

Proses *Channel Probing* yaitu untuk SF-7 membutuhkan waktu 180 detik, SF-8 membutuhkan waktu 188 detik, SF-9 membutuhkan waktu 206 detik dan untuk SF-10 membutuhkan waktu 290 detik. Sehingga dapat diketahui bahwa semakin besar nilai *Spreading Factor* yang digunakan maka waktu pengukuran RSSI akan semakin lama. Hal tersebut disebabkan nilai *Spreading Factor* berbanding terbalik dengan nilai data rate. Pada proses *Channel Probing* terjadi error 1 kali pada saat menggunakan nilai SF7 sehingga terdapat sekuen ping yang harus dikirimkan kembali sampai *Gateway* dapat menerima sekuen Ping tersebut. Dari nilai RSSI pada Gambar 5 dapat digunakan untuk menghitung nilai koefisien korelasi pada masing-masing nilai *Spreading Factor* yang digunakan. Didapatkan nilai koefisien korelasi untuk SF-7 sebesar 0.29, untuk SF-8 sebesar 0.18, untuk SF-9 sebesar 0.28 dan untuk SF-10 sebesar 0.51. Koefisien korelasi yang didapatkan tidak tinggi. Hal tersebut disebabkan oleh kondisi lingkungan. Di mana pengukuran dilakukan di dalam ruangan yang terdapat banyak bahan yang terbuat dari kaca, meja dan kursi sehingga menimbulkan pantulan dan hamburan sinyal propagasi yang mengakibatkan berkurangnya energi sinyal dan diperoleh nilai kecocokan antara node dan

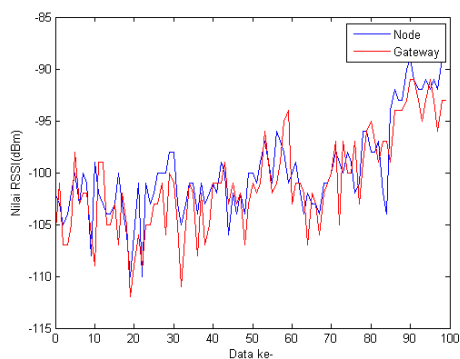
Gateway yang rendah. Dengan hasil koefisien korelasi pengukuran yang didapatkan masih relatif rendah, apabila digunakan untuk pembangkitan kunci akan mengakibatkan tidak dapat kunci atau kunci yang didapatkan sangat sedikit. Sehingga memudahkan *attacker* untuk melakukan penyerangan. Agar nilai koefisien korelasi dapat meningkat dilakukan tahap pra proses dengan menggunakan metode *Savitzky Golay Filter*.

Tabel 1. Perbandingan Nilai Koefisien Korelasi

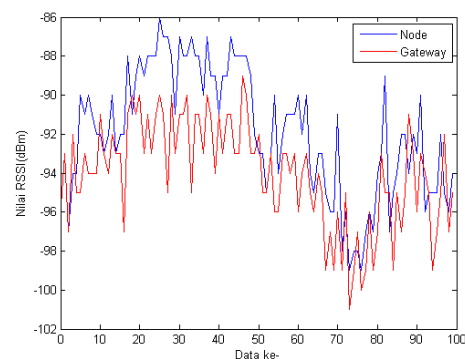
SF	Korelasi Pengukuran	Korelasi Savitzky Golay Filter	Persentase kenaikan
SF7	0.29	0.86	56.44%
SF8	0.18	0.86	67.52%
SF9	0.28	0.73	45.01%
SF10	0.51	0.86	34.87%

Tabel 1 menunjukkan hasil perbandingan antara nilai koefisien korelasi pengukuran dan koefisien korelasi setelah pra proses dengan menggunakan algoritma *Savitzky Golay Filter*. Hasil koefisien korelasi antara Node dan *Gateway* dari SF-7 sampai dengan SF-10 meningkat setelah dilakukan pra proses dengan menggunakan metode *Savitzky Golay Filter*. Pada pengujian ini metode *Savitzky Golay Filter* mampu meningkatkan koefisien korelasi sampai 67.52% yaitu pada saat menggunakan nilai *Spreading Factor* 8 (SF-8) di mana nilai koefisien korelasi pengukuran antara Node dan *Gateway* yaitu 0.18 menjadi 0.86 diproses dengan menggunakan metode *Savitzky Golay Filter*. Sedangkan untuk kenaikan persentase terendah ketika menggunakan nilai *Spreading Factor* 10 (SF-10) di mana persentase kenaikannya yaitu 34.87%. Namun pada pengujian ini dengan menggunakan metode *Savitzky Golay Filter* rata-rata mampu menaikkan persentase lebih dari 30%. Hal tersebut dikarenakan nilai koefisien korelasi pengukuran yang rendah serta parameter *Window* yang digunakan pada metode *Savitzky Golay Filter* cukup luas sehingga dapat meningkatkan nilai koefisien korelasi dengan signifikan.

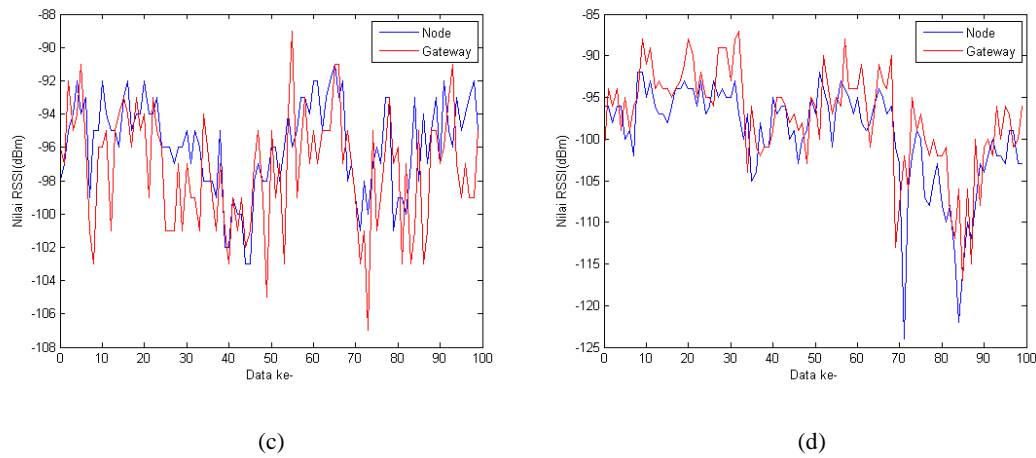
Pengujian selanjutnya yaitu pada kondisi outdoor yang dilakukan dengan jarak antara Node dan *Gateway* 300 meter. Kondisi lingkungan pada saat pengujian menunjukkan antara Node dan *Gateway* terhalang oleh bangunan dan pepohonan serta banyaknya kendaraan motor dan mobil yang lewat pada saat proses pengiriman terjadi. Data hasil pengukuran *Channel Probing* mulai dari SF7 sampai dengan SF10 seperti Gambar a sampai d berturut-turut pada Gambar 6.



(a)



(b)



Gambar 6. Nilai RSSI pada Kondisi Outdoor

Pengujian dengan jarak antara Node dan Gateway 300 meter pada kondisi Outdoor didapatkan error pada saat proses ping sebanyak 2 kali pada masing-masing nilai Spreading Factor 7 sampai Spreading Factor 9 sedangkan ketika menggunakan nilai Spreading Factor 10 tidak terjadi error pada saat proses Channel Probing. Terjadinya error pada pengujian dengan nilai Spreading Factor 7 sampai Spreading Factor 9, menyebabkan harus dilakukan pengiriman ulang oleh Node ke Gateway. Error yang terjadi pada pengujian outdoor dengan jarak 300 meter lebih banyak dibandingkan dengan pengukuran indoor. Hal ini terjadi karena jarak pengukuran yang semakin jauh sehingga menyebabkan kuat sinyal yang diterima semakin lemah. Selain itu juga disebabkan karena banyaknya penghalang seperti rumah, pohon dan kendaraan pada saat proses pengiriman data sehingga potensi kegagalan pengiriman atau terjadi error tinggi. Sedangkan waktu yang dibutuhkan untuk proses Channel Probing pada setiap nilai Spreading Factor berbeda. Untuk SF-7 membutuhkan waktu 183 detik, SF-8 membutuhkan waktu 211 detik, SF-9 membutuhkan waktu 230 detik dan SF-10 membutuhkan waktu 237 detik. Dapat diketahui bahwa waktu yang dibutuhkan untuk proses Channel Probing yaitu semakin besar nilai Spreading Factor yang di Setting pada LoRa maka waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu kali proses Channel Probing semakin lama, dan apabila terjadi error juga akan menambah durasi waktu yang dibutuhkan karena ketika terjadi error proses pengiriman harus diulang kembali pada sekuens yang terjadi error tersebut. Sedangkan untuk nilai koefisien korelasi yang didapatkan ketika menggunakan SF-7 yaitu 0.81. Ketika menggunakan SF-8 didapatkan nilai koefisien korelasi 0.76. Ketika menggunakan SF-9 didapatkan nilai koefisien korelasi 0.51, dan ketika menggunakan SF-10 didapatkan nilai koefisien korelasi 0.71. Nilai koefisien korelasi pengukuran yang didapatkan lebih tinggi dibandingkan pada pengujian kondisi indoor. Hal tersebut dikarenakan propagasi sinyal pada pengukuran kondisi outdoor lebih jauh, sehingga interferensi yang terjadi juga semakin banyak sehingga mengakibatkan nilai RSSI lebih bervariasi. Agar nilai koefisien korelasi yang didapatkan lebih tinggi dilakukan tahap pra proses dengan menggunakan metode Savitzky Golay Filter.

Tabel 2. Perbandingan Nilai Koefisien Korelasi

SF	Korelasi Pengukuran	Korelasi Savitzky Golay Filter	Persentase kenaikan
SF7	0.81	0.98	16.17%
SF8	0.76	0.98	22.60%

SF9	0.51	0.79	27.96%
SF10	0.71	0.99	28.27%

Pada pengukuran kondisi outdoor dengan jarak antara Node dan *Gateway* 300 meter didapatkan nilai koefisien korelasi yang cukup tinggi. Tetapi ketika nilai RSSI hasil *Channel Probing* dilakukan tahap pra proses dengan menggunakan metode *Savitzky Golay Filter* nilai koefisien korelasi yang didapatkan semakin tinggi. Pada pengujian ini persentase kenaikan tertinggi yaitu ketika LoRa disetting dengan nilai *Spreading Factor* 10 dengan persentase kenaikan 28.27%. Di mana nilai awal koefisien korelasi pengukuran 0.71 menjadi 0.99 setelah pra proses menggunakan metode *Savitzky Golay Filter*. Sedangkan untuk persentase kenaikan terendah yaitu ketika LoRa disetting dengan nilai *Spreading Factor* 7 dengan persentase kenaikan 16.17%. Di mana nilai awal koefisien korelasi pengukuran 0.81 menjadi 0.98 setelah pra proses menggunakan metode *Savitzky Golay Filter*. Pada pengujian ini metode *Savitzky Golay Filter* mampu meningkatkan koefisien korelasi lebih dari 15 %. Persentase kenaikan pada pengukuran indoor lebih tinggi dibandingkan pengukuran outdoor dikarenakan nilai RSSI pengukuran yang didapatkan pada kondisi indoor lebih rendah dibandingkan pada kondisi outdoor. Metode *Savitzky Golay Filter* mampu menaikkan nilai koefisien korelasi disetiap parameter pengukuran. Sehingga nilai RSSI setelah pra proses dengan menggunakan metode *Savitzky Golay Filter* dapat digunakan untuk tahap selanjutnya pada pembangkitan kunci. Dengan nilai koefisien korelasi yang tinggi maka akan didapatkan nilai kecocokan bit pada tahap kuantisasi yang tinggi juga. Sehingga pada proses *error checking* tidak banyak data yang dibuang. Apabila pada proses *error checking* tidak banyak data yang dibuang maka akan didapatkan kunci yang bervariasi untuk pengamanan data. Hal tersebut mengakibatkan *attacker* akan kesulitan melakukan penyerangan apabila kunci yang didapatkan oleh Node dan *Gateway* sangat bervariasi.

4. Kesimpulan

Dari pengujian yang telah dilakukan serta analisa tentang mekanisme peningkatan *Reciprocity Channel Probing* pada LoRawan menggunakan metode *Savitzky Golay Filter*, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil pengukuran *Channel Probing* pada kondisi outdoor lebih baik dari pada kondisi indoor. Hal tersebut dikarenakan pada kondisi indoor diperoleh nilai koefisien pengukuran tertinggi yaitu ketika menggunakan nilai *Spreading Factor* 10 dengan nilai 0.51 sedangkan pada kondisi outdoor nilai koefisien pengukuran tertinggi yaitu ketika nilai *Spreading Factor* 7 dengan nilai 0.81.
2. Metode *Savitzky Golay Filter* dapat bekerja dengan baik pada tahap pra proses karena metode ini mampu meningkatkan koefisien korelasi sampai 67.52% yaitu pada saat pengukuran dalam kondisi indoor, hal tersebut dikarenakan parameter *Window* yang digunakan tinggi.
3. Persentase kenaikan pada tahap pra proses dengan menggunakan metode *Savitzky Golay Filter* untuk kondisi indoor lebih dari 30% sedangkan pada kondisi outdoor lebih dari 15%. Sehingga nilai RSSI setelah pra proses dengan menggunakan metode *Savitzky Golay Filter* pada tahap selanjutnya mampu didapatkan tingkat kecocokan bit yang tinggi karena nilai koefisien korelasi dan kecocokan bit berbanding lurus. Dari nilai kecocokan bit yang tinggi tersebut akan didapatkan kunci yang bervariasi.

Daftar Pustaka

- [1] Juliansyah, F., Hadi, M. Z. S. and Yuliana, M. “*Implementation of RSSI Generated Channel Probing for Air Quality Monitoring System Based on LoRaWAN*”. IES 2021 - International Electronics Symposium: Wireless Technologies and Intelligent System for Better Lives. 2021.
- [2] M. Rizzi, P. Ferrari, A. Flammini, E. Sisinni and M. Gidlund, "Using LoRa for Industrial Wireless Networks," IEEE 13th International Workshop on Factory Communication Systems (WFCS), 2017, 1-4, 2017.
- [3] Q. Li, Z. Liu and J. Xiao, "A Data Collection Collar for Vital Signs of Cows on the Grassland Based on LoRa", IEEE 15th International Conference on e-Business Engineering (ICEBE), 213-217, 2018.
- [4] Andiyani, N., Kusyanti, A. and Siregar, A, “Implementasi Man in the Middle Attack pada Algoritme Blake2s Berbasis LoRa ”, Jurnal IKRAITH-INFORMATIKA, 98-103, 2022.
- [5] Kristalina, P., Dewi, F., Yuliana, M., Santoso, T.B., Sudarsono, A and Soelistijorini, R., “Skema Peningkatan Reciprocity Kanal dengan Menggunakan Metode Hierarchical Clustering”, JNTETI, 331-337, 2018.
- [6] Yuliana, M., Wirawan and Suwadi, “A Simple Secret Key Generation by Using a Combination of Pre-Processing Method with a Multilevel Quantization” Journal Entropy, 2019.
- [7] Kriswantoro, M.C., Sudarsono, A and Yuliana, M, “Secret Key Establishment Using Modified Quantization Log For Vehicular Ad-Hoc Network” Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi Informasi dan Komunikasi, 103-109, 2021.
- [8] Zhang, J., Marshall, A. and Hanzo, L., “Channel-Envelope Differencing Eliminates Secret Key Correlation: LoRa-Based Key Generation Low Power Wide Area Networks”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 12462-12466, 2018.
- [9] Ramadhani, A., Alaudin, Z., dkk, “Real Time Communication Data Using Lora Based Internet of Things for Weather Station” Jurnal Elektro Telekomunikasi Terapan, 1006-1017, 2021.
- [10] Zhang, J., Marshall, A., Duong, T.Q and Woods, R, “Key Generation from Wireless Channels: A Review”, IEEE Access, 1-12, 2016.
- [11] R. W. Schafer, "What Is a Savitzky-Golay Filter? [Lecture Notes]", in IEEE Signal Processing, vol. 28, no. 4, pp. 111-117, July 2011, doi: 10.1109/MSP.2011.941097.
- [12] Kodestani, H. and Zhang, C, “Direct Use of the Savitzky–Golay Filter to Develop an Output-Only Trend Line-Based Damage Detection Method” Journal Sensors, 2020.