

EVALUASI KINERJA LPWA BERBASIS INTERNET OF THINGS MENGGUNAKAN RADIO FREKUENSI LORA 915 MHz DAN 920 MHz

Puput Dani Prasetyo Adi¹, Machmud Efendi²

¹ Universitas Merdeka Malang, Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Elektro

² Program Profesi Insinyur, Universitas Muhammadiyah Malang, Jl. Raya Tlogomas 246 Malang

Kontak Person:

Puput Dani Prasetyo Adi

Jl. Terusan Raya Dieng Nomor 62-64, Klojen, Kota Malang

E-mail: puput.danny@unmer.ac.id, Phone. +62 81227103387

Abstrak

Teknologi perangkat Wireless Sensor Network (WSN) terus dikembangkan dalam konsumsi daya, ukuran atau dimensi, dan fungsionalitas (medis, monitor cuaca, pergerakan sapi peliharaan, pemantauan titik kebakaran hutan, dll.). Perangkat WSN memiliki 3 kriteria berikut, yaitu, Konsumsi Daya Rendah, Transmisi Data Kecepatan Tinggi, Jarak Jauh. Selanjutnya LoRa, memiliki Konsumsi Daya Rendah dan kemampuan pengiriman data Jarak Jauh (km), Kecepatan Rendah Data Rate atau Transmisi Data (bps). LoRa tidak dapat mengirim data Payload berkapasitas besar seperti file video, musik, atau Gambar. Namun dilihat dari faktor fungsionalitas, LoRa adalah perangkat Radio Frequency (RF) untuk mengirimkan data sensor dengan Bit Rate atau Data Rate (bps) yang rendah untuk pemantauan kesehatan manusia, penderita disabilitas, mengutamakan korban bencana berdasarkan konsep triase menggunakan sensor denyut, dan sensor lainnya seperti data Suhu, SPO₂, dan Tekanan Darah, pada penelitian ini difokuskan pada denyut jantung (bpm), oleh karena itu perangkat Low Power Wide Area (LPWA) direalisasikan dengan analisis rinci. Perangkat ini berkomunikasi dengan Gateway atau Application Server, oleh karena itu, komunikasi Uplink dan Downlink terjadi, secara umum, perangkat WSN yang berkomunikasi satu sama lain ini disebut dengan Internet of Things (IoT). Pada IoT terdapat ribuan perangkat sensor node yang terhubung ke Gateway atau server Internet, oleh karena itu perlu adanya manajemen untuk menjaga agar sensor Node atau WSN tetap hidup dalam waktu yang lama, penelitian ini juga membahas tentang pendekatan topologi pada WSN. untuk mengatur Konsumsi Daya node Sensor.

Kata kunci: lora, monitoring, power, consumption, IoT, WSN

1. Pendahuluan

Saat ini teknologi Internet of things (IoT) terus berkembang dengan pesat, IoT terus berkembang ke berbagai sector dengan berbagai level dan fokus analisis LoRa, seperti Pertanian [1], Kesehatan, Smart-City [2], dan berbagai sektor lainnya. salah satu yang menjadi keunggulan perangkat IoT adalah spesifikasi device IoT yang sesuai dengan bahasa pemrograman yang berkembang saat ini, e.g., Raspberry Pi dengan bahasa Python. Raspberry Pi 4 dan perangkat Micro board e.g., ESP 8266 atau ESP32 yang kompatibel dengan sensor-sensor yang mendukung bidang Internet of Things. Selain device yang compatible dengan IoT, device juga diharapkan memiliki kemampuan Low Power Wide Area (LPWA) and Low Power Wide Area Network (LPWAN). Frekuensi Radio Lora (Long Range) adalah jenis radio frekuensi yang memiliki kemampuan transmisi data yang jauh yaitu 15 km pada free space path Loss [3], LoRa bekerja pada frekuensi tertentu yaitu 433 MHz, 868 MHz, 915 MHz, dan 923 MHz. frekuensi ini berbeda jika digunakan oleh belahan dunia yang berbeda, pengaturan penggunaan frekuensi disebut pita Industrial, Scientific, and Medical (ISM) dan ini telah dilindungi oleh Undang-Undang Telekomunikasi jika dilanggar maka akan dikenakan sanksi oleh pengguna. misal peneliti jaringan LoRa 920.6 MHz berada di Jepang, maka peneliti harus mengikuti ISM Band yang diijinkan di Jepang pada Range Frekuensi antara 915.9 - 929.7 MHz, data selengkapnya dapat dilihat pada tabel 1. penelitian ini meneliti tentang kinerja dari 2 radio frekuensi yaitu milik Dragino LoRa 915 MHz dan Easel LoRa 920 MHz. dan data yang digunakan adalah sensor Detak Jantung atau pulse sensor, dan sensor pendukung lainnya yaitu sensor suhu dan kelembaban (DHT11). Analisis ditingkatkan ke arah manajemen Power Consumption agar dapat menghemat energy baterai pada Sensor Node. Selain melakukan transmisi data pada node statis atau tidak bergerak, juga mengarah pada mobile node atau node yang bergerak, pada research berikutnya akan dikembangkan ke Drone [4], sehingga data yang

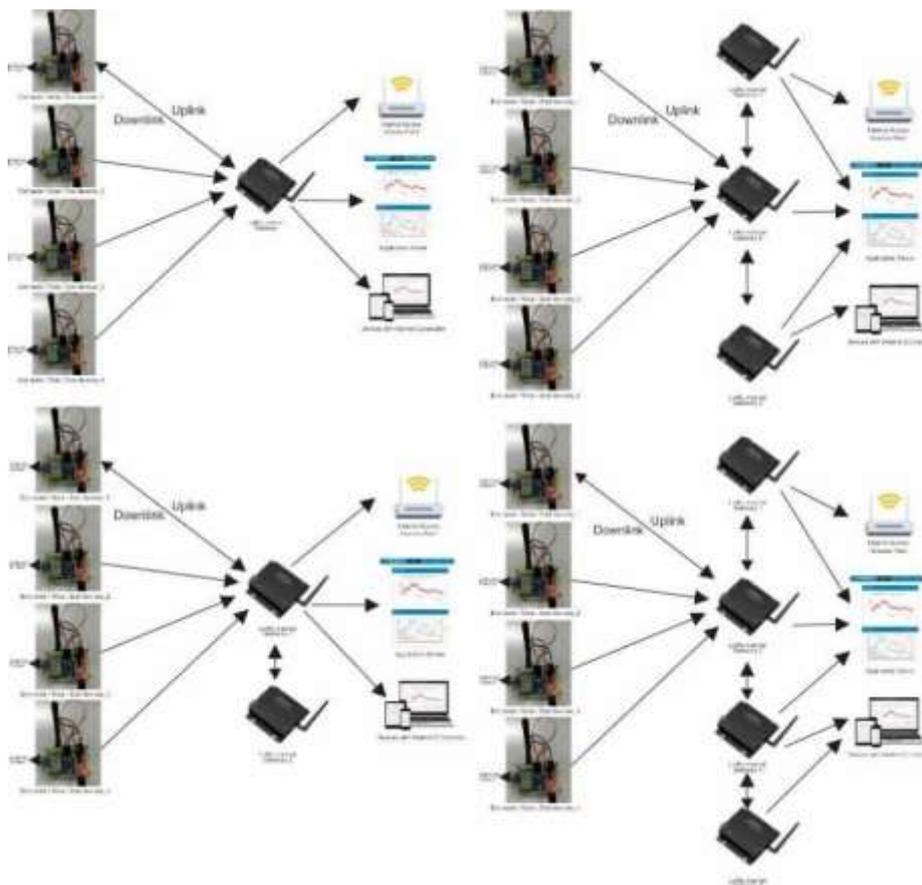
didapatkan adalah data-data Global Positioning System (GPS) [5], yang dikombinasikan dengan LoRa module dengan ukuran yang kecil dan ringan seperti ES920LR dan Leafony Board.

Tabel 1. Peraturan Frekuensi Band ISM

Wilayah	Pita ISM sub-GHz tersedia
USA	902 – 928 MHz
Europe	863 – 868 MHz
Australia & New Zealand	915 – 928 MHz
Korea	917.5 – 923.5 MHz
Japan	915.9 – 929.7 MHz
Singapore	866 – 869 MHz & 920 – 925 MHz
China	775 – 787 MHz

2. Metode Penelitian

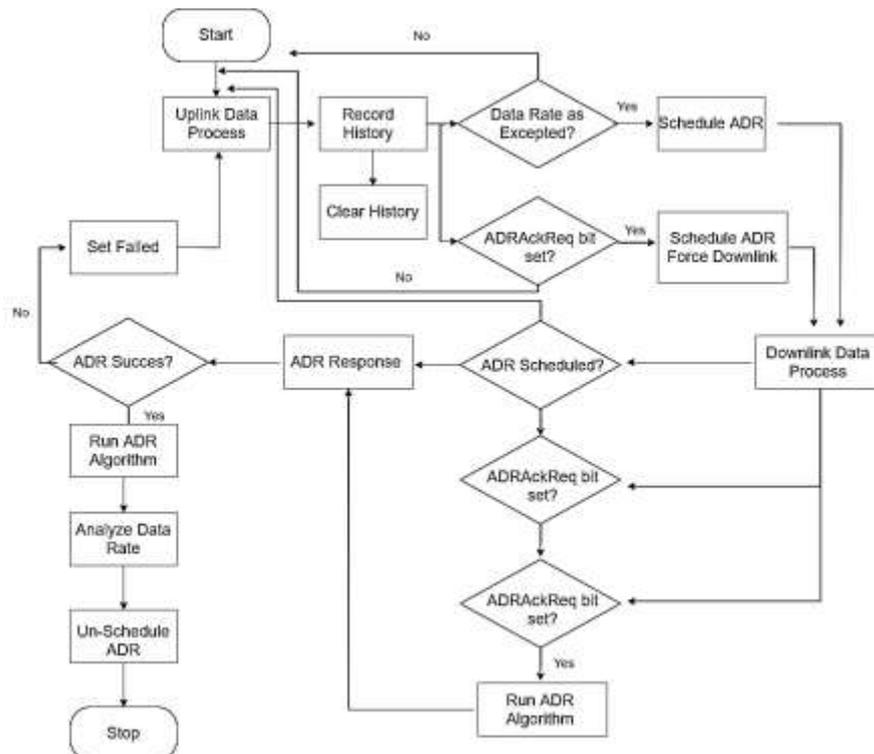
Pada bagian ini memfokuskan pada Metode yang digunakan pada saat proses transmisi data LoRa ES920LR 920 MHz dan 915 MHz LoRa. Gambar 1 adalah transmisi data LoRa menggunakan metode Adaptive Data Rate (ADR). Metode ini memungkinkan proses pada saat uplink [6] dan downlink data dapat diatur berdasarkan ID Node LoRa secara bergantian berdasarkan banyaknya node atau disebut Multi hop atau multi node [7], sehingga node sensor tidak terus menerus mengirimkan data. Untuk lebih mudahnya dapat dilihat pada gambar 2 tentang flowchart Metode Adaptive Data Rate (ADR).



Gambar 1 Metode Adaptive Data Rate pada LoRa

Gambar 1 merupakan konsep pada penelitian ini, end device / end node atau mote terdiri lebih dari satu node sensor yang terhubung ke LoRa Internet Gateway. Oleh karena itu, LoRa Internet Gateway ini berfungsi untuk menyimpan dan menangkap sinyal LoRa dari perangkat akhir untuk diteruskan ke Server Aplikasi yang kompatibel, The Things Network (TTN) atau Thingspeak dan kemudian diteruskan ke Perangkat yang terhubung ke perangkat Internet. Tahap analisis adalah data rate (byte / s) dari proses Uplink dan Downlink, transmisi data secara terus menerus oleh node sensor akan membuat baterai cepat habis dan hal ini tidak diinginkan pada metode LPWAN. Pada Gambar 1, jika hanya menggunakan 1 LoRa Internet Gateway, maka paket data atau data bytes akan terjadi penumpukan bit data dari n-number end-node yang mengirimkan data ke satu sumber, akibatnya metode multiplexing ini menghasilkan peningkatan bit rate Error Ratio (BER (%)) atau Packet Error Ratio (PER (%)). Mekanisme Adaptive Data Rate (ADR) dikembangkan dengan menurunkan dan memperbarui konfigurasi transmisi LoRaWAN (9,10) yang optimal, peningkatan kinerja kinerja sebesar 15% [8].

Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan terhadap jumlah gateway yang dapat secara dinamis mengatur paket data (byte / s) yang masuk dari end-node atau end-device. End-node perlu menggunakan pendekatan sleep mode, oleh karena itu tidak terus menerus mengirimkan paket data (bytes / s) tanpa henti menyebabkan bottleneck packet data (bytes) di gateway. Penambahan gateway menjadi jawaban, selanjutnya end node dapat memilih gateway tujuan selanjutnya, yaitu tidak ada penumpukan data paket sehingga terjadi pengurangan throughput. Sehingga diperlukan suatu pendekatan menggunakan algoritma yang dapat mengatur pengiriman data (byte / s) secara terus menerus oleh node sensor atau node akhir / mote ke gateway. Inti dari algoritma ADR adalah node sensor dapat secara dinamis beralih ke mode off atau sleep sehingga konsumsi daya dapat dikurangi, sehingga masa pakai node sensor semakin lama. Oleh karena itu, algoritma Adaptive Data Rate (ADR) [9] digunakan untuk mengoptimalkan kecepatan data, airtime dan konsumsi energi, Diagram Alir ADR pada Gambar 2.



Gambar 2 Flowchart Metode Adaptive Data Rate LoRa

Untuk menghitung tingkat daya atau sensitivitas Receiver, perlu diketahui 3 parameter yaitu Bandwidth (BW), Noise Figure (NF) dan SNR limit, Sensitivitas (dBm) disingkat dengan S sebagai persamaan 1. S adalah Sensitivitas (-dBm), BW adalah Bandwidth (Hz), Noise Figure (NF) adalah ukuran degradasi Signal to Noise Ratio (SNR), Noise Figure (NF) dari LoRa berbeda untuk masing-masing perangkat, secara umum nilai LoRa NF adalah 6. Sedangkan SNR limit mengacu pada Tabel 2.

$$S = -174 + 10 \log_{10} (BW) + NF + SNR \text{ limit} \quad (1)$$

Tabel 2. Perbandingan Faktor Penyebaran LoRa dengan batas SNR

Spreading Factor (SF)	Chips /Symbol	SNR Limit (dB)	Time on Air (ToA) (10 byte Packet)	Bitrate or Data rate (bps)
7	128	-7.5	56 ms	5470 bps
8	256	-10	103 ms	3125 bps
9	512	-12.5	205 ms	1758 bps
10	1024	-15	371 ms	977 bps
11	2048	-17.5	741 ms	537 bps
12	4096	-20	1483 ms	293 bps

Link Budget menunjukkan kemampuan LoRa dalam propagasi sinyal pada jarak tertentu. Faktor penting yang mempengaruhi *Link Budget* termasuk *Power Transmitter*, *Transmitter dan Receiver gain*, Hambatan pada Penyebaran Sinyal dan faktor Sensitivitas. Hubungan antara sensitivitas dan *Link Budget* ditunjukkan pada persamaan 2.

$$\text{Link Budget (dB)} = \text{TX Power} - S \text{ (Sensitivitas)} \quad (2)$$

Bit Rate atau *Data Rate* (R_b) adalah beberapa bit yang dikirim dalam satuan waktu atau dinyatakan dalam *bits per second* (*bps*). Ada hubungan penting antara *Spreading Factor* dan *Bandwidth* untuk menentukan berapa banyak *Bit rate* (R_b) atau *data rate* (*bps*) yang dihasilkan. selanjutnya, *bit rate* LoRa dinyatakan seperti pada persamaan 3.

$$R_b = SF \cdot \frac{\left[\frac{4}{4+CR} \right]}{\left[\frac{2^{SF}}{BW} \right]} \cdot 1000 \quad (3)$$

Time on Air (T_oA) adalah waktu yang digunakan Radio Transmisi LoRa dalam satu kali pengiriman data dari Transmitter (Tx) ke Receiver (Rx) yang terdiri dari T_{Preamble} dan T_{Payload} . Rumus *Time on Air* ditunjukkan pada Persamaan 4, Persamaan 5 [10].

$$T_oA = T_{\text{Preamble}} + T_{\text{Payload}} \quad (4)$$

$$T_{\text{preamble}} = N_{\text{preamble}} (8) + \text{symbols added by radio} (4.25) \times T_{\text{symbol}} \quad (5)$$

$$T_{\text{payload}} = N_{\text{payload}} \times T_{\text{symbol}} \quad (6)$$

$$n_{\text{payload}} = 8 + \left(\text{ceil} \left[\frac{(8PL - 4SF + 28 + 16CRC - 20IH)}{4(SF - 2DE)} \right] \right) (CR + 4), 0 \quad (7)$$

Persamaan 6 digunakan untuk mencari T_{payload} , sedangkan persamaan 7 untuk mendapatkan nilai n_{payload} . Selanjutnya, Simbol LoRa adalah waktu yang digunakan oleh LoRa dalam waktu 1 detik untuk mengirimkan data atau sinyal, sinyal ini merupakan sinyal Chirp yang terdiri dari Preamble, Payload dan Payload CRC. Selanjutnya Simbol LoRa dapat diakui seperti pada persamaan 8.

$$T_{\text{sym}} \text{ or } T_S = \frac{2^{SF}}{BW} \quad (8)$$

Signal Noise Ratio atau *Signal to interferensi rasio* (SIR) adalah mengirimkan Power (P_i) atau (P_t) dikalikan dengan *Direct Channel* atau Gain pada pemancar (G_{ii}) dibagi dengan Power receiver (P_j) atau (P_r) dikalikan dengan *Direct Channel* atau Gain pada receiver (G_{ij}) ditambah noise pada transmitter (n_i) yang dipengaruhi oleh interferensi atau noise. oleh karena itu persamaan 9 menunjukkan nilai *Signal to Interference Ratio* (SIR) saat mentransfer data LoRa 915 MHz. Selanjutnya persentase SIR1 dan SIR2 dapat dilihat dari persamaan 10.

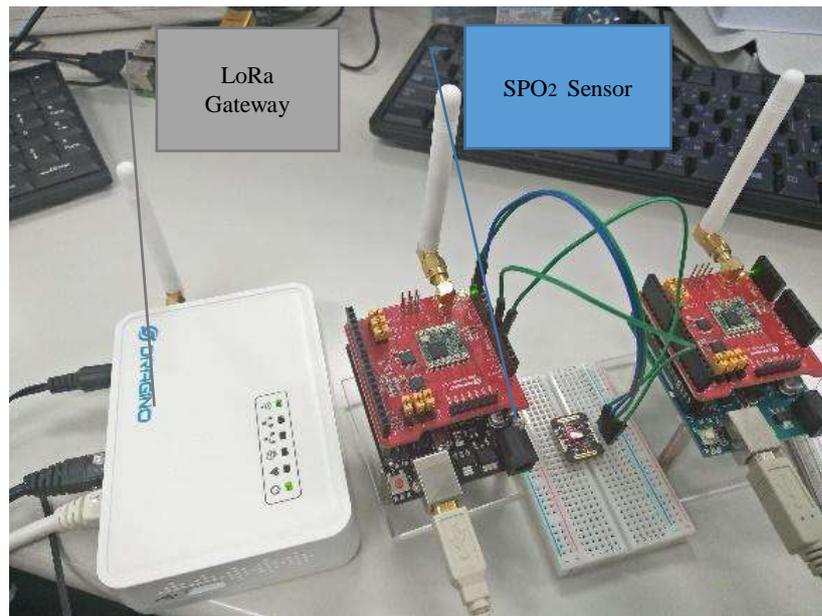
$$SIR_i = \frac{P_i \cdot G_{ii}}{\sum_{j \neq i} P_j \cdot G_{ij} + n_i} \quad (9)$$

$$SIR_1 = \frac{P_1 \cdot G_{11}}{P_2 \cdot G_{12} + n_1} \text{ dan } SIR_2 = \frac{P_2 \cdot G_{22}}{P_1 \cdot G_{21} + n_2}, \text{ seterusnya} \quad (10)$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Desain Prototipe dan Pengaturan End Node, Gateway LoRa

Uji coba pertama adalah pengiriman data sensor MH-ET Live max30102 sensor point to point dari pemancar 915 MHz LoRa (Tx) ke penerima LoRa (Rx), dari langkah ini akan diketahui bahwa LoRa dapat berkomunikasi dengan baik, lebih jauh lagi, GW, Lora Tx dan LoRa Rx dapat dilihat pada gambar 3. pada percobaan sebelumnya nilai RSSI dan SNR akan mengalami sinyal redaman berdasarkan jarak antara Tx dan Rx yang semakin jauh.



Gambar 3. LoRa Gateway, LoRa Tx (MH-ET) dan LoRa Rx



Gambar 4. Node Sensor Pulsa Berbasis LoRa 920MHz

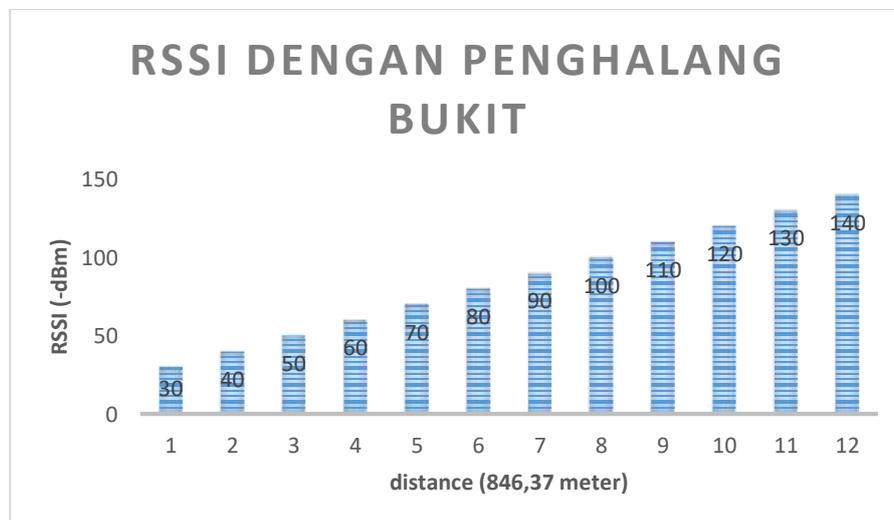
Gambar 4 adalah salah satu penerapan IoT-LoRa untuk medical [11], gambar 4 merupakan pulse sensor node berbasis LoRa 920 MHz pada pergelangan tangan, selanjutnya sensor ini akan dianalisis secara detail pada bagian sistem komunikasi menggunakan parameter RSSI atau Receiver Signal Strength Indicator (dBm), dan paket data yang terkirim, terlebih lagi. output untuk tampilan Graphical User Interface (GUI) menggunakan Arduino Processing.

3.2 Analisis Transmisi Data LoRa

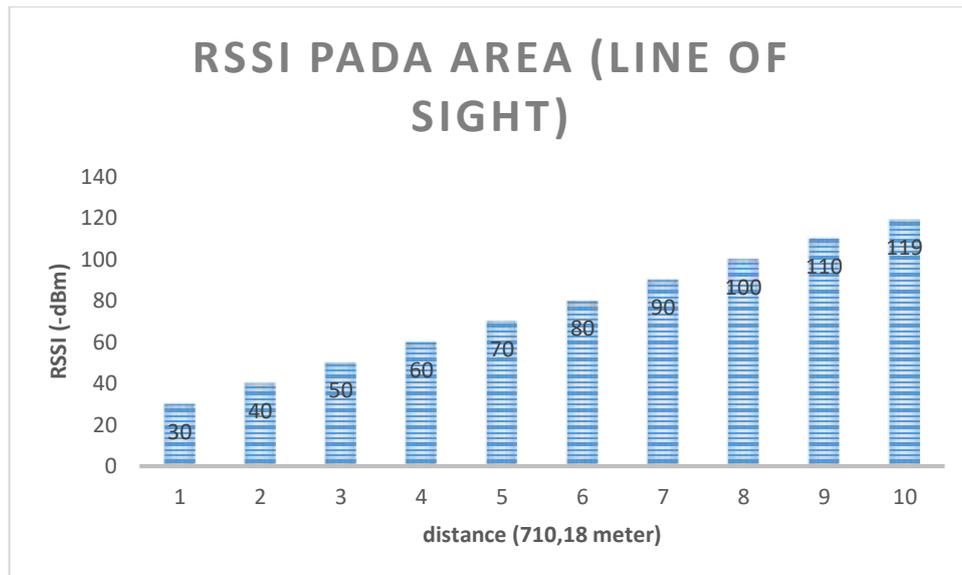
Gambar 5 adalah medan area transmisi data LoRa berlangsung, ini adalah kondisi real dimana data pulse dikirimkan dari satu titik ke titik lain pada jarak yang berbeda, kondisi ini disebut dengan Radio Propagation [5, 12], dimana terdapat kondisi LoS, dan kondisi obstacles (bukit, dan pegunungan, serta gedung). Gambar 6 adalah hasil pengujian RSSI (-dBm) pada jarak berbeda dari Tx dan Rx di area perbukitan. pada titik terjauh yaitu 846.37 meter dihasilkan RSSI sebesar -140 dBm.



Gambar 5. Area Transmisi Data LoRa

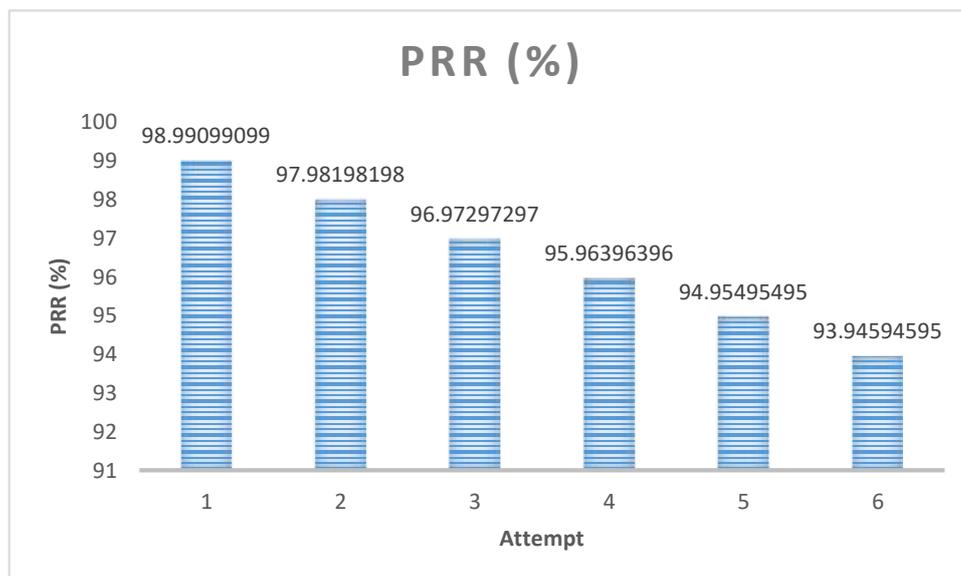


Gambar 6. RSSI (-dBm) pada daerah Perbukitan



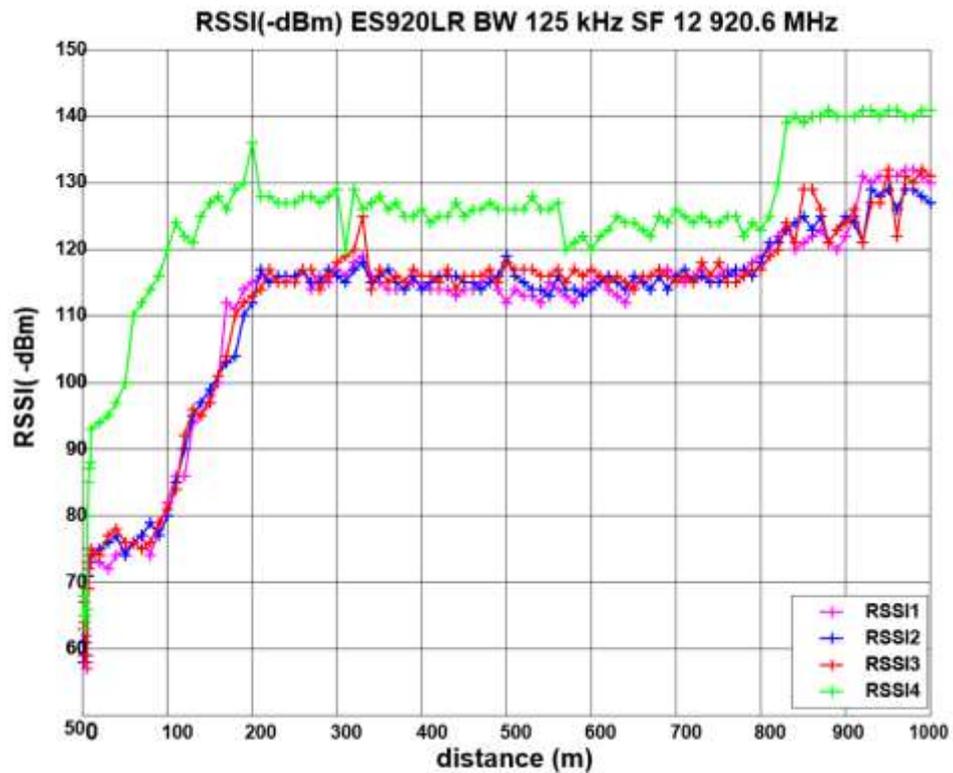
Gambar 7. RSSI (-dBm) LoRa ES920LR 920 MHz pada LoS

Gambar 7 adalah RSSI (-dBm) pada kondisi LoS (Line of Sight), pada kondisi LoS pada jarak 710,18 meter terdapat RSSI sebesar 119 dBm. Pada jarak yang hampir sama, antara analisis gambar 6, namun menghasilkan RSSI yang lebih kuat, dikarenakan tidak adanya halangan yang menyebabkan pemantulan sinyal sehingga tidak mengarah kepada receiver (Rx).

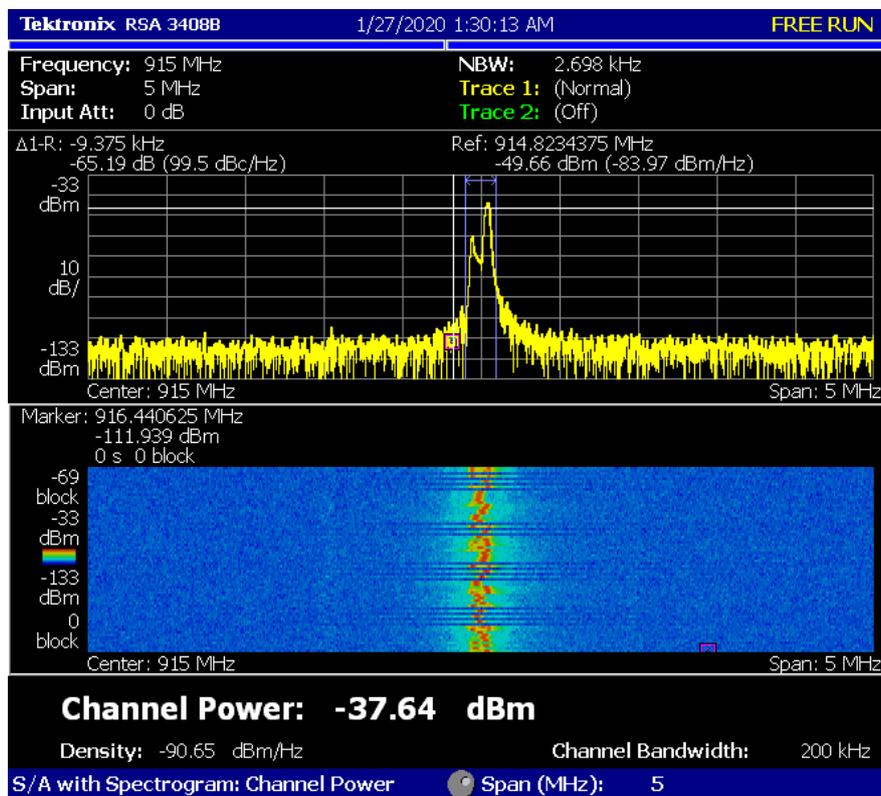


Gambar 8. LoRa PRR (%) ES920LR 920 MHz

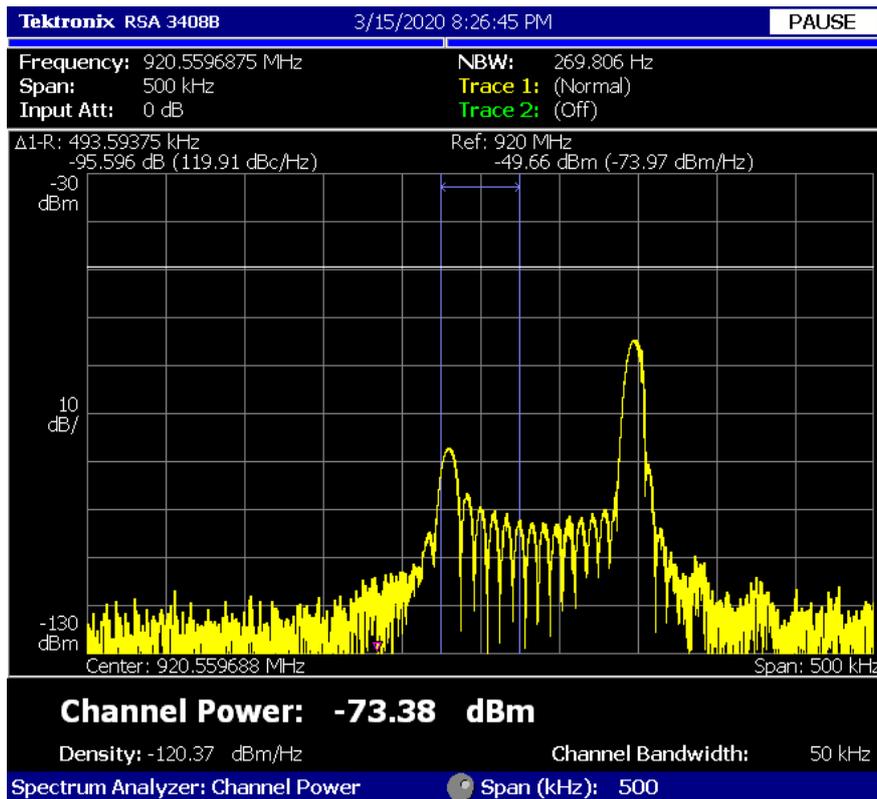
Gambar 8 adalah PRR (%) pada jarak 1 km pada kondisi LoS, Pada jarak terjauh menghasilkan nilai RSSI sebesar 93, 945 %, hal ini menunjukkan hasil yang sangat bagus, karena hanya 6% data yang hilang. Namun pengujian ini tidak dapat sebagai patokan pada letak Tx dan Rx yang berbeda keadaan halangannya. Selanjutnya pada gambar 9, pengujian secara realtime dilakukan pada daerah yang berbeda letaknya dengan perlakuan atau halangan yang berbeda antara jarak 100 meter sampai 800 meter, tidak menunjukkan suatu pelemahan sinyal, namun sinyal tetap dalam kondisi sama pada ~115 dBm. Berarti hal ini menunjukkan bahwa jarak yang semakin jauh tidak selalu menghasilkan pelemahan sinyal, namun banyaknya halangan yang dilewati oleh sinyal dari Tx ke Rx.



Gambar 9. RSSI (-dBm) ES920LR BW 125kHz 12 SF, 920.6MHz



Gambar 10. Kekuatan Sinyal LoRa 915 MHz dengan Sinyal Analyzer

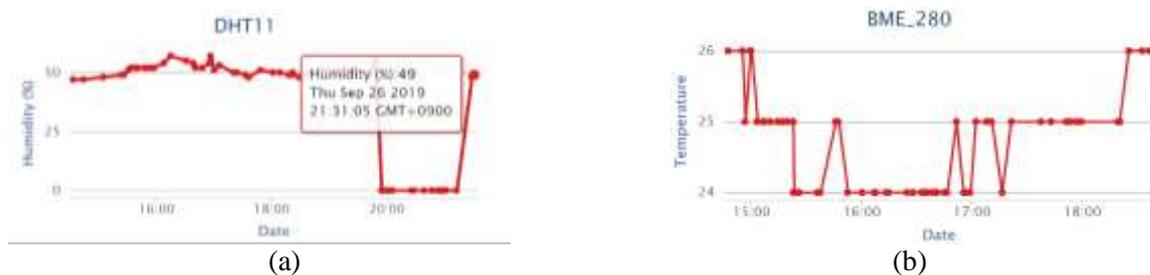


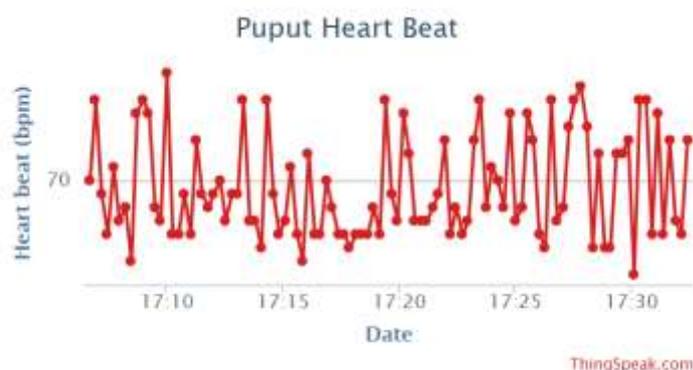
Gambar 11. Kekuatan Sinyal LoRa 920 MHz dengan Sinyal Analyzer

Gambar 10 dan 11 adalah realtime kekuatan sinyal LoRa pada 2 Frekuensi berbeda yaitu 915 MHz dan 920 MHz saat mengirimkan data sinyal LoRa Tx ke LoRa Rx. Ini menjadi parameter penting untuk membandingkan kekuatan sinyal (RSS) pada jarak yang berbeda-beda dalam km.

3.3 Analisis transmisi Data dan Keluaran Data di Server

Keluaran sensor ditunjukkan pada Gambar 12 a,b, dan c. diambil dari server aplikasi Thingspeak. Data tersebut dapat ditangkap secara realtime oleh smartphone, komputer desktop, mini PC atau perangkat lain yang terkoneksi dengan jaringan internet, sehingga data tersebut dapat diterima dengan mudah, cepat, dinamis dan leluasa, dimanapun berada.





(c)

Gambar 12. Realtime Data Sensor pada Thingspeak IoT

Tabel 3. Perbandingan Jenis Algoritma Protokol Algoritma dari Multi Node IoT

Node_Identifier	Power_C PU (mW)	Power_LPM (mW)	Power_TX (mW)	Power_RX (mW)	Total_Power (mW)
LEACH_20	0.384	0.152	0.146	0.529	1.21
LEACH- TLCH_20	0.418	0.151	0.148	0.55	1.266
HEED_20	0.381	0.152	0.139	0.562	1.235
PEGASIS_20	0.389	0.152	0.163	1.657	1.361
LEACH_50	0.498	0.148	0.169	0.789	1.604
LEACH- TLCH_50	0.591	0.146	0.218	0.998	1.952
HEED_50	0.457	0.15	0.182	0.769	1.558
PEGASIS_50	0.483	0.149	0.233	1.043	1.908
LEACH_100	0.613	0.145	0.186	1.094	2.038
LEACH- TLCH_100	0.854	0.138	0.494	3.366	4.851
HEED_100	0.665	0.143	0.343	1.538	2.689
PEGASIS_100	0.715	0.142	0.425	3.028	4.31

Selanjutnya, pada Tabel 3. Adalah perbandingan metode protokol yang digunakan pada kondisi node dengan jumlah yang banyak, terdapat nama-nama protokol antara lain LEACH [13], TLCH, HEED, dan PEGASIS, beberapa jenis protocol ini diujicoba menggunakan software CONTIKI-COOJA Simulator, dan mendapatkan hasil perbandingan kekuatan daya sensor node. Daya sensor node (mW) yang paling kecil, akan dipilih menjadi suatu algoritma protokol yang tepat dan efisien.

Hasil perbandingan jenis protokol dengan 50 node sensor ditampilkan dan perhitungan Konsumsi Daya (mW) tertinggi hingga terendah diurutkan sebagai berikut: LEACH-TLCH (1.952 mW), PEGASIS (1.908 mW), LEACH (1.604 mW) dan HEED (1.558 mW). perbedaan nilai HEED Algorithm dan LEACH pada 50 node adalah 0.046 mW, hal ini tidak berpengaruh signifikan, selisihnya juga rendah untuk membuktikan LEACH menghasilkan konsumsi daya yang paling rendah. Selanjutnya perbandingan tipe Algoritma dengan 100 node didapatkan bahwa LEACH-TLCH memiliki Konsumsi Daya total tertinggi yaitu 4,851 mW diikuti oleh PEGASIS 4,31 mW, HEED 2,689 mW dan Konsumsi Daya Total terendah adalah LEACH yaitu 2.038 mW menunjukkan metode protocol terbaik dan efisien.

4. Kesimpulan

Analisis data LoRa dan Percobaan menggunakan LoRa Node ES920LR 920 MHz dan LoRa dragino 915 MHz dengan variasi sensor untuk pemantauan medis seperti Pulse sensor dan sensor suhu DHT11 menunjukkan hasil yang tepat pada *real time* IoT menggunakan Thingspeak Mathworks. Pengaturan konsumsi daya adalah dengan membuat mode tidur end node dengan modifikasi program bahasa C menggunakan *sleep mode*, dan mode bangun saat melakukan transmisi data. Metode pengaturan konsumsi daya juga dilakukan dengan menggunakan algoritma protocol lewat simulasi dengan software Contiki-Cooja dan menghasilkan kesimpulan algoritma LEACH adalah yang paling efisien dibandingkan algoritma lainnya. Selain konsumsi daya, selanjutnya dilakukan perubahan Node sensor ke papan Leafony berbasis LoRa, hal ini dilakukan untuk pengembangan ke mode drone untuk analisis yang lebih kompleks pada parameter LoRa yaitu Spreading Factor (SF), dan Receive Signal Strength (RSS), Bandwidth (BW), yang terpantau real time pada Drone yang ditunjukkan dengan perubahan posisi pada Global Positioning System (GPS).

Referensi

- [1] D. TAŞKIN and S. Yazar, "A Long-range Context-aware Platform Design For Rural Monitoring With IoT In Precision Agriculture," *INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTERS COMMUNICATIONS & CONTROL*, vol. 15, 2020.
- [2] G. Premsankar, B. Ghaddar, M. Slabicki, and M. Di Francesco, "Optimal configuration of lora networks in smart cities," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 16, pp. 7243-7254, 2020.
- [3] M. Lauridsen, H. Nguyen, B. Vejlgaard, I. Z. Kovács, P. Mogensen, and M. Sorensen, "Coverage comparison of GPRS, NB-IoT, LoRa, and SigFox in a 7800 km² area," in *2017 IEEE 85th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, 2017, pp. 1-5.
- [4] V. Delafontaine, F. Schiano, G. Cocco, A. Rusu, and D. Floreano, "Drone-aided Localization in LoRa IoT Networks," *arXiv preprint arXiv:2004.03852*, 2020.
- [5] C. Rus, M. Leba, R. Marcuş, L. Pellegrini, and A. Costandoiu, "LoRa communication and geolocation system for sensors network," in *MATEC Web of Conferences*, 2020, p. 00043.
- [6] J. M. de Souza Sant'Ana, A. Hoeller, R. D. Souza, S. Montejo-Sánchez, H. Alves, and M. de Noronha-Neto, "Hybrid coded replication in LoRa networks," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 16, pp. 5577-5585, 2020.
- [7] D. L. Mai and M. K. Kim, "Multi-Hop LoRa network protocol with minimized latency," *Energies*, vol. 13, p. 1368, 2020.
- [8] R. M. Sandoval, D. Rodenas-Herraiz, A.-J. Garcia-Sanchez, and J. Garcia-Haro, "Deriving and updating optimal transmission configurations for lora networks," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 38586-38595, 2020.
- [9] S. Li, U. Raza, and A. Khan, "How agile is the adaptive data rate mechanism of LoRaWAN?," in *2018 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, 2018, pp. 206-212.
- [10] J. Haxhibeqiri, E. De Poorter, I. Moerman, and J. Hoebeke, "A survey of LoRaWAN for IoT: From technology to application," *Sensors*, vol. 18, p. 3995, 2018.
- [11] A. M. C. Drăgulescu, A. F. Manea, O. Fratu, and A. Drăgulescu, "LoRa-Based Medical IoT System Architecture and Testbed," *Wireless Personal Communications*, pp. 1-23, 2020.
- [12] D.-H. Kim, E.-K. Lee, and J. Kim, "Experiencing LoRa network establishment on a smart energy campus testbed," *Sustainability*, vol. 11, p. 1917, 2019.
- [13] G. K. Nigam and C. Dabas, "Performance analysis of heed over leach and pegasis in wireless sensor networks," in *The World Congress on Engineering and Computer Science*, 2015, pp. 259-266.