

PERANCANGAN JARINGAN LORA UNTUK MENDUKUNG MONITORING SENSOR DI KAWASAN INDUSTRI NGORO, MOJOKERTO

1stAthallah Rafi Andro Mulyawan
Telecommunication Engineering
Telkom University Surabaya
Surabaya, Indonesia

athallahrafian@student.telkomuniversity.ac.id

2ndTri Agus Djoko Kuntjoro
Telecommunication Engineering
Telkom University Surabaya
Surabaya, Indonesia

triagusdjokokuntjoro@telkomuniversity.ac.id

3rdNilla Rachmaningrum
Telecommunication Engineering
Telkom University Surabaya
Surabaya, Indonesia

nrachmaningrum@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Ngoro Industrial Park (NIP) Mojokerto, sebagai salah satu kawasan industri terbesar di Jawa Timur, memiliki potensi besar untuk implementasi smart factories guna meningkatkan efektivitas produksi dan keamanan. Penelitian ini menganalisis coverage dan capacity jaringan LoRaWAN dalam mendukung monitoring sensor di kawasan industri tersebut. LoRaWAN, sebagai teknologi LPWAN dengan jangkauan luas dan konsumsi daya rendah, dievaluasi berdasarkan parameter signal level, signal-to-noise ratio, RSRP, SINR, dan throughput. Hasil menunjukkan bahwa SF-11 mampu mencakup seluruh area NIP dan mendukung 30.628 sensor dengan performa jaringan yang optimal. Studi ini mengindikasikan bahwa LoRaWAN dapat menjadi solusi efektif untuk monitoring sensor di NIP sebagai bagian dari implementasi Industry 4.0.

Kata kunci— LoRaWAN, coverage, capacity, monitoring sensor, kawasan industri

I. PENDAHULUAN

Ngoro Industrial Park (NIP) Mojokerto, salah satu kawasan industri terbesar di Jawa Timur dengan luas 480 hektar[1], menjadi pusat berbagai sektor industri seperti makanan dan minuman, suku cadang kendaraan, dan pengolahan tembakau. Seiring meningkatnya investasi, kebutuhan akan konektivitas andal untuk mendukung monitoring sensor berbasis LoRa-IoT semakin penting dalam implementasi smart manufacturing guna meningkatkan efisiensi dan keamanan industri. LoRa sebagai teknologi LPWAN menawarkan jangkauan luas dan konsumsi daya rendah, namun memerlukan gateway untuk menghubungkan sensor ke server. Penelitian ini merancang jaringan LoRa di NIP menggunakan software Atoll untuk memprediksi coverage dan capacity dalam mendukung implementasi teknologi IoT di kawasan industri tersebut[2].

Dengan berpusat pada jaringan LoRa serta penerapan solusi Internet of Things (IoT). Sistem IoT pada industri yang

menerapkan Smart manufacturing akan secara otomatis memberi informasi kepada perusahaan secara realtime. Terutama di era globalisasi saat ini, internet berintegrasi dengan perangkat elektronik untuk mendukung berbagai aktivitas manusia. IoT dikembangkan untuk membuat aktivitas manusia menjadi lebih efektif dan efisien. Dengan jumlah total perangkat IoT di Indonesia diprediksi pada tahun 2025 akan mencapai 678 juta perangkat[2]. Pengembangan Internet of Things (IoT) selalu didukung oleh konsep Wireless Sensor Network (WSN). Mayoritas WSN menggunakan daya baterai, sehingga ada kebutuhan untuk mengurangi konsumsi energi. Teknologi LoRa (Long Range) memiliki keunggulan dalam konsumsi daya yang rendah dan jangkauan komunikasi yang luas hingga lebih dari 2 km. Namun, LoRa tidak dapat mengirim data langsung ke server. Oleh karena itu, diperlukan sistem pengiriman data untuk menghubungkan perangkat di node sensor dengan server, yang disebut gateway[3].

Pada Tugas Akhir ini peneliti akan melakukan perancangan jaringan LoRa di kawasan Ngoro Industrial Park menggunakan software Atoll. Tujuannya adalah memprediksi capacity dan coverage suatu wilayah yang akan dibangun jaringan untuk kebutuhan mengakses teknologi LoRa.

II. KAJIAN TEORI

Dasar teori dalam tugas akhir merupakan landasan konseptual yang digunakan untuk mendukung penelitian atau analisis yang dilakukan. Bagian ini berisi penjelasan tentang teori, konsep, dan prinsip yang relevan dengan topik penelitian, serta hasil studi sebelumnya yang mendukung perumusan masalah dan metodologi yang digunakan. Penyusunan dasar teori harus mengacu pada literatur yang kredibel, seperti buku, jurnal ilmiah, atau penelitian terdahulu, sehingga dapat memperkuat argumen dan justifikasi dalam tugas akhir

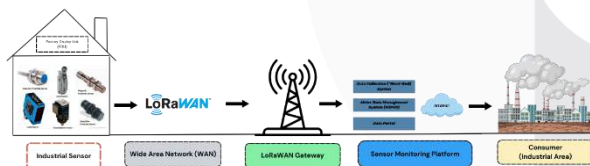
A. LoRa (Long Range)

LoRa adalah sistem telekomunikasi nirkabel jarak jauh dengan daya rendah dan kecepatan bit rendah. LoRa menjadi solusi infrastruktur yang cocok untuk mendukung Internet of Things. End-device menggunakan satu hop LoRa nirkabel untuk berkomunikasi dengan gateway yang terhubung ke internet, dan server berfungsi sebagai jembatan yang memungkinkan komunikasi pesan terhubung antara end-device dan network server pusat[4].

LoRa adalah teknik modulasi spread spectrum yang berasal dari teknologi chirp spread spectrum (CSS) yang dimaksudkan untuk digunakan pada end-device yang memiliki energi yang terbatas (seperti baterai), sehingga end-device tidak perlu mentransmisikan banyak byte sekaligus. Selain itu, LoRa memungkinkan end-device (seperti sensor) atau entitas eksternal yang ingin berkomunikasi dengan end-device untuk memulai proses lalu lintas data. LoRa cocok untuk infrastruktur teknologi penginderaan pintar (seperti pemantauan kesehatan, meteran pintar, pemantauan lingkungan, dll.) dan aplikasi industri karena jangkauan dan dayanya yang rendah[5].

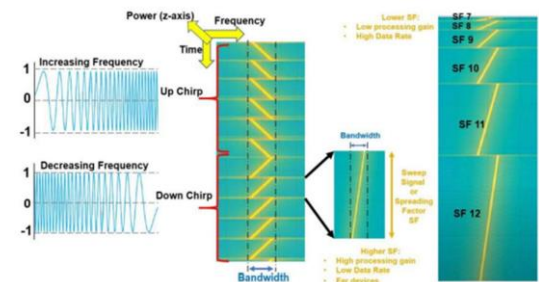
B. LoRaWAN

LoRaWAN adalah salah satu standar Low Power Wide Area Network (LPWAN) yang dikelola oleh LoRa Alliance. LoRaWAN dirancang untuk menghubungkan perangkat yang dioperasikan dengan baterai secara nirkabel ke internet pada jaringan regional, nasional, atau global. Standar LoRaWAN memenuhi persyaratan utama Internet of Things (IoT) seperti komunikasi dua arah, keamanan end-to-end, mobilitas, dan layanan geolokasi. LoRaWAN memanfaatkan spektrum radio tanpa lisensi yang dikenal sebagai Industrial, Scientific, and Medical (ISM) band [6]. Spesifikasi ini mendefinisikan parameter lapisan fisik perangkat ke infrastruktur LoRa dan standar LoRaWAN, serta memberikan interoperabilitas tanpa batas antar produsen. Perusahaan Semtech menyediakan chipset LoRa, sementara Aliansi LoRa mendorong standarisasi dan harmonisasi global standar LoRaWAN untuk menciptakan ekosistem yang luas.



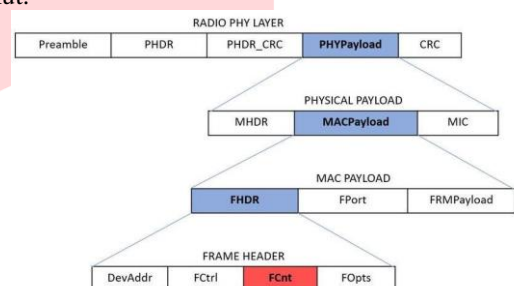
GAMBAR 1
(ARSITEKTUR LORAWAN)

LoRaWAN menggunakan TDD (Time Division Duplexing) sebagai metode duplexing dalam komunikasinya. LoRaWAN menggunakan frekuensi yang sama untuk uplink dan downlink tetapi dengan pengaturan waktu berbeda, yang merupakan karakteristik TDD. Lapisan fisik LoRa menggunakan teknik modulasi Spread Spectrum yang didasarkan pada modulasi Chirp Spread Spectrum (CSS) [7].



GAMBAR 2
(LORA CHIRP SPREAD SPECTRUM ILLUSTRATION)

Gambar 2 menunjukkan bahwa paket LoRaWAN disimpan dalam payload LoRa fisik. Untuk memastikan keamanan data, paket LoRaWAN dienkripsi menggunakan AES 128. Paket ini terdiri dari tiga komponen utama: MAC Header, MAC Payload, dan MIC yang ditunjukkan pada gambar 2.4 yang dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.



GAMBAR 3
(STRUKTUR LORAWAN PACKET)

Gateway adalah perangkat yang berfungsi seperti base station yang melayani dan berhubungan dengan mobile station, pada LoRaWAN node, mereka juga dapat berhubungan dengan gateway tertentu. Gateway LoRaWAN harus terhubung ke jaringan seluler, WiFi, satelit, dan Ethernet yang terhubung ke jaringan internet untuk dapat mengirimkan data dan rekaman ke internet. Setelah itu, data disimpan di jaringan cloud untuk diproses[8].



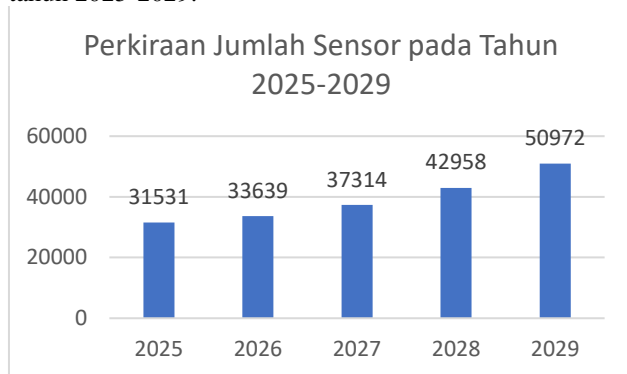
GAMBAR 4
(GATEWAY WIRNET ISTATION 920 MHZ)

III. METODE PENELITIAN

A. Jumlah sensor pada tahun 2029 dan Lokasi Penelitian

Dalam perencanaan LoRa, perhitungan capacity diperlukan untuk memastikan kinerja jaringan dapat mencakup seluruh pelanggan yang dibutuhkan dalam beberapa tahun ke depan. Di Kawasan Ngoro Industrial Park (NIP), terdapat 102 perusahaan, untuk memperkirakan tingkat adopsi sensor baru setiap tahunnya digunakan bass

model. Pada tahun 2024, jumlah pengguna di kawasan ini mencapai 30.628, mencakup berbagai jenis sensor untuk keperluan operasional, keamanan, serta sensor yang digunakan pada mesin di setiap perusahaan. Setiap perusahaan memiliki alokasi user yang berbeda sesuai dengan kebutuhan masing-masing. Berikut adalah gambar 5 yang menunjukkan perkiraan peningkatan jumlah user pada tahun 2025-2029.



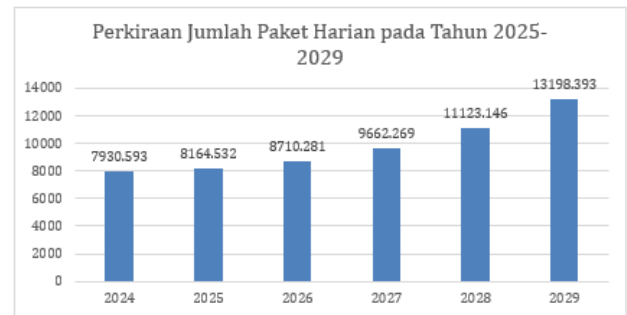
GAMBAR 5
(PERKIRAAN PENINGKATAN JUMLAH USER PADA TAHUN 2025-2029)

B. Capacity Approach

Analisis perencanaan jaringan ini dilakukan di wilayah Ngoro Industrial Park dengan luas 4,8 km². Peramalan dalam penelitian ini didasarkan pada jumlah sensor industri wilayah tersebut hingga tahun 2029. Layanan monitoring sensor yang digunakan dalam studi ini terbagi menjadi lima jenis, yaitu Scheduled Sensor Reading, On-Demand Reading, ToU Pricing, ORM, dan Firmware Update. Berdasarkan data statistik mengenai jumlah sensor pada Kawasan industri Ngoro Mojokerto dapat diperoleh estimasi kebutuhan paket LoRaWAN harian, sebagaimana disajikan dalam Tabel II.

TABEL 1
(PERKIRAAN JUMLAH PAKET HARIAN PADA NIP)

Features	Event Frequency	Number of End Devices	Packet per hari per perangkat	Burstiness Margin	Security Margin	Number of Required Packet
Scheduled Sensor Reading	per 1 jam/perangkat/hari	30.628	24	20%	10%	744.260,4
On-Demand Reading	50/1000 devices	1.532	1	20%	10%	1.991,6
ToU Pricing	100 per 1000 devices	3.063	1	20%	10%	3.981,9
ORM	1 perangkat per acara	30.628	1	20%	10%	39.816,4
Firmware Update	1 per 1000 perangkat per 6 bulan	30	100	20%	10%	3009
Duty Cycle		1%	TOTAL		7930,593	



GAMBAR 6
(PERKIRAAN JUMLAH PAKET HARIAN PADA TAHUN 2025-2029)

C. Coverage Planning

Perencanaan coverage bertujuan untuk memperkirakan jumlah gateway yang dibutuhkan untuk mencakup kawasan industri Ngoro, Mojokerto. Perhitungan perencanaan berdasarkan coverage dimulai dengan penghitungan link budget untuk menentukan PL. Nilai PL memungkinkan untuk memprediksi jangkauan radius sel maksimum antara pemancar dan penerima menggunakan model propagasi tertentu. Berikut adalah parameter link budget LoRaWAN pada tabel 2

TABEL 2
(PARAMETER PADA LINK BUDGET LORAWAN)

No	Perangkat	Parameter	DL	UL	Satuan
1	Gateway	Tx Power	20	15	dBm
2		Gain Antenna	9	0	dBi
3		Loss Cable	-3	-1	dB
4		Frequency	920		MHz
5		ht	30		m
6	End Device	Rx Power			dBm
7		Gain Antenna	0	10	dBi
8		Rx Environment Noise	0	-10	dB
9		Frequency	920		MHz
10		ht	1,5		m
11	General	Bandwidth	125		KHz
12		Luas Area	5		km ²

Nilai MAPL (Maximum Allowable Path Loss) atau nilai maksimum dari pelemahan sinyal yang dimaklumi antara end devices dengan gateway. Tujuan dari menghitung MAPL adalah untuk mencari radius sel. Nilai MAPL yang didapat lalu dihitung radius selnya dengan menggunakan rumus propagasi. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai MAPL adalah sebagai berikut:

$$EIRP \left(\frac{DL}{UL} \right) = Tx Power + Gain Antenna Tx - Loss Cable \quad (1)$$

$$MAPL = (Tx Power + Tx Gain + Rx Gain) - RSSI \quad (2)$$

Dimana,

Tx Power = Daya pancar dari perangkat, satuannya dBm

Tx Gain = Gain antenna pemancar, satuannya dBi

Rx Gain = Gain antenna penerima, satuannya dBi

RSSI = Sensitivitas, satuannya dBm

D. Okumura-Hatta Model

Coverage dimensioning merupakan tahap awal dalam perencanaan jaringan yang bertujuan untuk menghitung link budget guna memperoleh nilai Maximum Allowed Pathloss (MAPL). Berdasarkan nilai MAPL, dapat ditentukan radius sel berdasarkan perencanaan cakupan sesuai dengan model propagasi yang digunakan, mengingat frekuensi yang digunakan berada dalam rentang 920-923 MHz. Ngoro Industrial Park diklasifikasikan sebagai wilayah urban, yang memiliki karakteristik kepadatan penduduk tinggi serta banyaknya bangunan di area tersebut. Oleh karena itu, dalam perencanaan ini digunakan model propagasi Okumura-Hatta, sebagaimana ditunjukkan dalam persamaan terkait.

$$PL = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(hb) - a(hm) \\ (44.9 - 6.55 \log(hb)) \log_{10} d \quad (3)$$

$$a(hr) = (1.1 \log_{10}(f) - 0.7)hm - (1.56 \log_{10}(f) - 0.8)$$

Adapun rumus perhitungan menghitung luas sel adalah sebagai berikut.

$$LCell = \frac{3\sqrt{3}d^2}{2} \quad (4)$$

Dalam perhitungan luas sel, penting untuk mengetahui nilai (d), yang merupakan jarak antara pemancar (transmitter) dan penerima (receiver) dalam satuan kilometer. Sel diartikan sebagai area cakupan dengan ukuran yang relatif kecil. Adapun untuk rumus perhitungan jumlah gateway adalah sebagai berikut.

$$\text{Jumlah Gateway} = \frac{\text{Luas Wilayah}}{\text{Luas Cell}} \quad (5)$$

Dalam langkah terakhir pada perencanaan cakupan (coverage planning), jumlah gateway dihitung menggunakan persamaan yang diberikan (2.8). Proses ini melibatkan pembagian luas wilayah perancangan, yang dalam kasus ini adalah Kota Bandung sebagai daerah penelitian, dengan luas sel yang telah dihitung sebelumnya. Perhitungan ini harus dilakukan dengan tepat untuk memastikan hasil yang sesuai dengan perencanaan yang telah dilakukan

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Capacity Planning

Tujuan dari analisis perhitungan capacity pada perencanaan jaringan LoRaWAN adalah untuk memperkirakan jumlah gateway yang dibutuhkan dan memodelkan konfigurasi penempatan gateway di wilayah Kawasan Industri Ngoro. LoRaWAN menurut Peraturan Direktur Jenderal Sumber daya dan perangkat pos Indonesia No 3 Tahun 2019 termasuk dalam kategori wideband non-cellular LPWAN yang dialokasi pada rentang frekuensi 920-923 MHz dengan bandwidth <250 kHz dan duty cycle 1% [10]. Didapat kapasitas gateway seperti yang ditunjukkan pada tabel 3 berikut.

TABEL 3
(PERHITUNGAN GATEWAY CAPACITY)

SF (Spreading Factor)	Capacity of LoRaWAN Gateway (packet/day)			
	CR=4/5	CR=4/6	CR=4/7	CR=4/8
SF-7	142,858	142,858	145,946	145,946
SF-8	78,035	78,035	79,882	79,882
SF-9	41,926	41,926	42,994	42,994
SF-10	22,059	22,652	22,652	22,652
SF-11	10,749	10,749	11,030	11,030
SF-12	5,663	5,819	5,819	5,819

Berdasarkan hasil peramalan jumlah paket harian pada Gambar 4.3, perhitungan jumlah gateway LoRaWAN dilakukan dengan bandwidth 125 kHz serta variasi Coding Rate (CR) dan Spreading Factor (SF) sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4 Hasil perhitungan menunjukkan bahwa jumlah gateway yang dibutuhkan bergantung pada nilai SF yang digunakan. Pada SF7 hingga SF10, hanya diperlukan 1 gateway, sementara pada SF11 jumlahnya meningkat menjadi 2 gateway, dan pada SF12 menjadi 3 gateway. Hal ini disebabkan oleh semakin tingginya nilai SF, yang menyebabkan kapasitas jaringan menurun, sehingga dibutuhkan lebih banyak gateway untuk mendukung komunikasi dan mengimbangi keterbatasan kapasitas jaringan akibat peningkatan SF.

TABEL 4
(JUMLAH GATEWAY BERDASARKAN CAPACITY)

Tahun	Number of Site by Capacity					
	SF-7	SF-8	SF-9	SF-10	SF-11	SF-12
2024	1	1	1	1	1	2
2025	1	1	1	1	1	2
2026	1	1	1	1	1	2
2027	1	1	1	1	1	2
2028	1	1	1	1	2	2
2029	1	1	1	1	2	3

B. Coverage Planning

Perencanaan cakupan bergantung pada kondisi geografis, jenis propagasi, dan tipe lingkungan (rural, sub-urban, urban, and dense urban), sedangkan radius sel bergantung pada model propagasi yang digunakan. Parameter cell radius digunakan untuk menghitung jumlah sel yang dibutuhkan di area tersebut, guna memperoleh perkiraan jumlah gerbang yang diperlukan. Perhitungan perencanaan cakupan dalam LoRaWAN dipengaruhi oleh frekuensi, link budget, dan SF. Variasi SF sangat berpengaruh terhadap radius sel gerbang karena perbedaan nilai sensitivitas untuk setiap nilai SF; semakin besar nilai SF, semakin jauh jarak cakupannya. Berikut adalah beberapa perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan nilai jumlah gateway yang diperlukan untuk mencapai coverage yang baik pada LoRaWAN.

1. Sensitivitas

Untuk mendapatkan nilai MAPL (Maximum Allowable Path Loss) maka sebelumnya harus menentukan tingkat

sensitivitas terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan (2.15) untuk setiap Spreading Factor seperti pada tabel 4.11 berikut.

TABEL 5
(SENSITIVITAS LORAWAN)

Sensitivitas (dBm)					
SF - 7	SF - 8	SF - 9	SF - 10	SF - 11	SF - 12
-125	-127	-130	-132	-135	-137

Setelah nilai sensitivitas atau RSSI ditemukan maka langkah selanjutnya adalah menentukan nilai Effective Isotropic Radiated Power (EIRP) pada uplink dan downlink. Perhitungan EIRP dapat dilihat pada persamaan Maximum Allowable Path Loss (MAPL)

TABEL 6
(PERHITUNGAN MAPL)

Spreading Factor	MAPL Downlink (dBm)	MAPL Uplink (dBm)
7	151,00	139,00
8	153,00	141,00
9	156,00	144,00
10	158,00	146,00
11	161,00	149,00
12	163,00	151,00

2. Model Propagasi Okumura-Hata

Model propagasi dapat digunakan untuk menentukan jarak antara pemancar dan penerima. Dengan menggunakan persamaan (3) dan (4), jarak untuk area urban dapat dihitung. Perhitungan radius sel untuk setiap Spreading Factor (SF) menggunakan model propagasi Okumura-Hata dapat dilihat pada tabel 7 berikut.

TABEL 7
(PERHITUNGAN MODEL PROPAGASI)

Spreading Factor	a(hr)	d(km)downlink	d(km)uplink
7	0.0167	4,911	2,242
8		5,597	2,555
9		6,810	3,108
10		7,761	3,542
11		9,442	4,310
12		10,761	4,911

3. Luas Cell dan Jumlah Gateway

Nilai luas sel untuk LoRaWAN dapat dihitung menggunakan persamaan (4) sebagai berikut. Hasil nilai luas sel dan jumlah gateway untuk kategori urban berdasarkan variasi SF-7 hingga SF-12 ditampilkan pada Tabel 8 dan Tabel 9 berikut.

TABEL 8
(LUAS CELL BERDASARKAN SPREADING FACTOR)

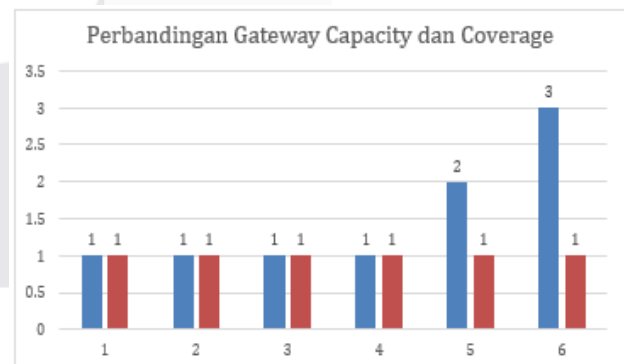
Spreading Factor	Luas Cell DL (km ²)	Luas Cell UL (km ²)
7	62.673	13.054
8	81.402	16.955
9	120.495	25.098
10	156.503	32.598
11	231.664	48.253
12	300.895	62.673

TABEL 9
(JUMLAH GATEWAY BERDASARKAN SPREADING FACTOR)

Spreading Factor	Jumlah Gateway DL	Jumlah Gateway UL
7	0.077	0.368
8	0.059	0.283
9	0.040	0.191
10	0.031	0.147
11	0.021	0.099
12	0.016	0.077

C. Analisis Hasil

Berdasarkan Tabel 3 dan Tabel 9, hasil perhitungan jumlah gateway dari aspek coverage dan capacity menunjukkan bahwa penggunaan LoRaWAN merupakan pilihan yang efektif untuk mendukung sistem monitoring sensor di Ngoro Industrial Park, Mojokerto. Dari segi cakupan, gateway LoRa dapat menjangkau area yang luas, di mana setiap SF mampu mencakup seluruh kawasan industri hanya dengan 1 gateway. Sementara itu, dari aspek kapasitas, jumlah gateway yang dibutuhkan bervariasi, yaitu 1 gateway untuk SF7 hingga SF11 dan 2 gateway untuk SF12, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7



GAMBAR 7
(GRAFIK PERBANDINGAN GATEWAY COVERAGE DAN CAPACITY)

Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa penggunaan SF12 lebih optimal karena data histogram yang dihasilkan dari nilai signal level (RSSI), throughput, dan signal-to-noise ratio (SNR) menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan SF lainnya. Hal ini didukung oleh Tabel 5.1, yang membandingkan cakupan berdasarkan tingkat sinyal untuk setiap SF, di mana rentang tingkat sinyal SF12 lebih baik dibandingkan SF yang lebih rendah, dengan rata-rata -

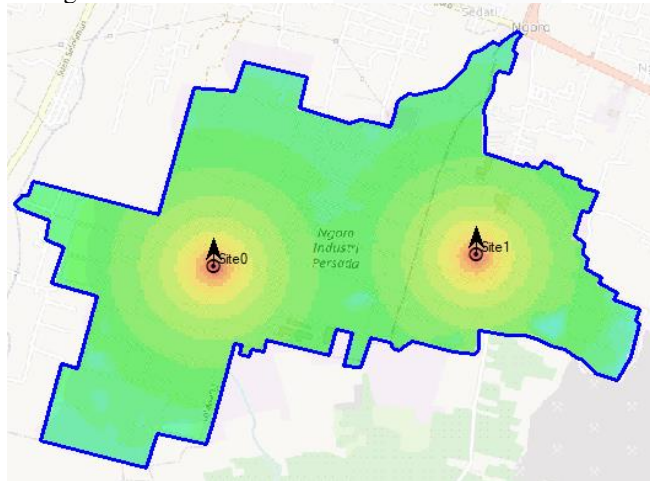
68,8 dBm yang terus meningkat seiring penurunan nilai SF. berdasarkan signal to interference noise ratio (SINR) untuk setiap spreading factor. Rentang SINR SF-12 menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan spreading factor yang lebih rendah, yaitu pada rata-rata -68,8 dBm dengan rata-rata yang terus meningkat pada spreading factor yang lebih rendah.

D. Simulasi Perencanaan Pada Atoll

Berdasarkan perhitungan coverage dan capacity di Ngoro Industrial Park (NIP) dengan luas 480 hektar (4,8 km²), diperoleh bahwa satu site dapat mencakup seluruh wilayah serta memenuhi kebutuhan kapasitas jaringan. Perhitungan coverage menggunakan model propagasi Okumura-Hatta dengan parameter tinggi transmitter (hb) 30 meter, tinggi User Terminal (hUT) 1,5 meter, gain antenna 9 dB, serta daya transmit (Tx Power) sebesar 20 dBm untuk download (DL) dan 15 dBm untuk upload. Hasil simulasi menunjukkan bahwa satu site dapat memberikan signal level yang sangat baik untuk mencakup seluruh kawasan NIP.

Perhitungan kapasitas juga menunjukkan bahwa satu site sudah cukup untuk mendukung monitoring sensor di kawasan NIP, kecuali untuk SF-11 yang membutuhkan 2 site gateway, dan SF-12 yang memerlukan 3 site gateway agar kapasitas jaringan tetap terjaga. Dengan total 30.628 pengguna, yang terdiri dari berbagai sensor industri, keamanan, serta sensor lainnya, simulasi jaringan menggunakan software Atoll membuktikan bahwa SF-11 memberikan hasil RSSI dan SNR yang lebih baik dibandingkan SF yang lebih rendah. Hasil simulasi ini juga menegaskan bahwa LoRaWAN merupakan solusi yang tepat untuk mendukung sistem monitoring sensor di NIP, baik dari segi cakupan (coverage) maupun kapasitas jaringan. Simulasi ini menghasilkan parameter penting seperti Signal Level Prediction, Throughput Prediction, dan Signal to Noise Ratio Prediction.

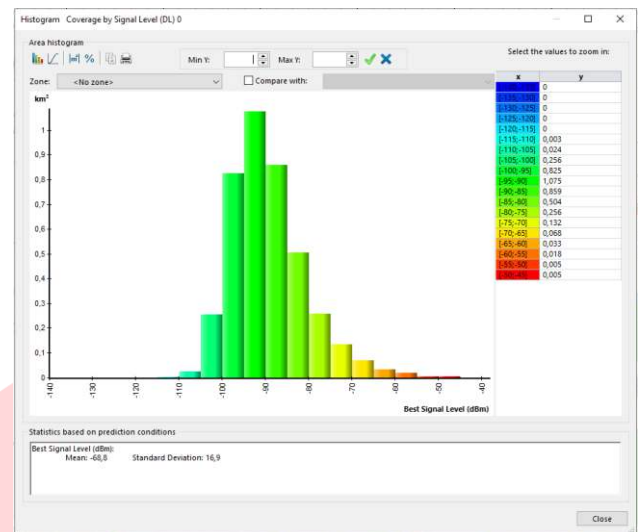
1. Signal Level Prediction



GAMBAR 8
(HASIL SIMULASI SIGNAL LEVEL PREDICTION)

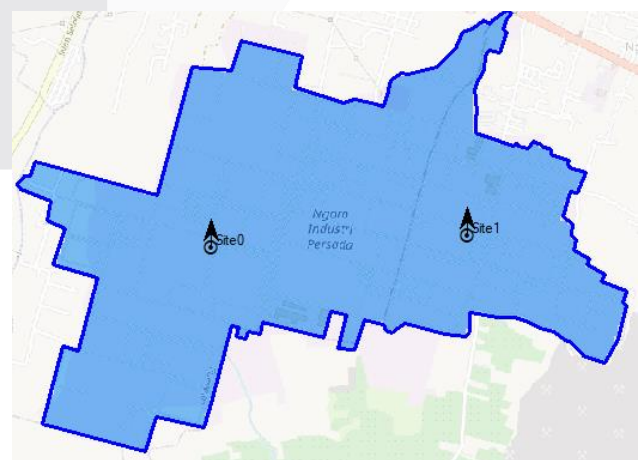
Hasil simulasi prediksi signal level ditampilkan pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2. Gambar 5.1 menunjukkan hasil simulasi signal level pada SF-11. Sementara itu, Gambar 5.2 menjelaskan bahwa rata-rata tingkat sinyal pada simulasi yang telah dijalankan adalah -68,8 dBm, sedangkan signal level terendah dari simulasi adalah -110 dBm, yang mencakup 0,07% dari total area, dan tingkat sinyal tertinggi adalah -45 dBm, yang mencakup 0,12% dari total area. Maka dari simulasi signal level untuk perencanaan jaringan

LoRaWAN dalam penelitian ini merekomendasikan penggunaan SF11 dengan rata-rata RSSI paling tinggi di -68,8 dBm, dimana hasil tersebut masih sesuai dengan persyaratan tingkat sinyal minimum.



GAMBAR 9
(HISTOGRAM SIGNAL LEVEL PREDICTION)
2. Throughput Prediction

Throughput dalam jaringan LoRaWAN dipengaruhi oleh terrain medan di area yang dituju. Terrain medan mempengaruhi kualitas parameter distribusi throughput. Karena penelitian ini berada di kawasan industri maka jaringan LoRa yang dirancang harus bisa mencakup seluruh user yang berada didalam gedung pabrik dan gudang yang ada di kawasan industri. Berdasarkan hasil simulasi, rata-rata distribusi throughput adalah 5,47 kbps. Gambar 10 menunjukkan bahwa 100% dari total area mendapatkan throughput 5,47 kbps. Hal ini disebabkan bandwidth yang digunakan untuk LoRaWAN di Indonesia adalah 125kHz berdasarkan Peraturan Direktur Jenderal Sumber daya dan perangkat pos Indonesia No 3 Tahun 2019 termasuk dalam kategori wideband non-cellular LPWAN yang dialokasi pada rentang frekuensi 920-923 MHz dengan bandwidth <250 kHz[10]. Sementara itu, Gambar 11 menggambarkan distribusi throughput jaringan LoRaWAN di Ngoro Industrial Park.



GAMBAR 10
(HASIL THROUGHPUT PREDICTION)

jangkauan luas (hingga 10-15 km di area terbuka dan 2-5 km di lingkungan industri), penetrasi sinyal yang baik terhadap hambatan fisik, serta konsumsi daya rendah yang memungkinkan sensor bertenaga baterai bertahan hingga 10 tahun. Selain itu, LoRa mendukung konektivitas skala besar dengan biaya operasional lebih rendah dibandingkan 4G atau 5G. Dari sisi keamanan, LoRaWAN menggunakan enkripsi AES-128 dan beroperasi pada frekuensi bebas lisensi (920-923 MHz di Indonesia).

Namun, LoRa memiliki keterbatasan, seperti kecepatan data rendah (≤ 50 kbps) yang tidak cocok untuk transfer data besar dan latensi tinggi, sehingga kurang ideal untuk aplikasi real-time seperti kontrol robotik. LoRa juga rentan terhadap interferensi di lingkungan industri yang memiliki banyak perangkat elektronik. Meskipun demikian, teknologi ini tetap banyak digunakan dalam pemantauan mesin, manajemen energi, pelacakan aset, dan keamanan industri. Dengan mempertimbangkan keunggulan dan keterbatasannya, LoRa sangat layak diterapkan di kawasan industri untuk aplikasi jangkauan luas dan konsumsi daya rendah, sementara teknologi lain seperti WiFi 6 atau 5G lebih sesuai untuk kebutuhan dengan latensi rendah dan bandwidth tinggi.

REFERENSI

- [1] kmap.asia, "Ngoro Industrial Park (NIP). Industrial Mojokerto" Accessed: Apr. 25, 2024. [Online]. Available: <https://kmap.asia/industrial/ngoro-industrial-park-nip-11268>.
- [2] H. Arijuddin, A. Bhawiyuga, and K. Amron, "Pengembangan Sistem Perantara Pengiriman Data Menggunakan Modul Komunikasi LoRa dan Protokol MQTT Pada Wireless Sensor Network," J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komputer., vol. 3, no. 2, pp. 1655–1659, 2019.
- [3] suara.com, "Kominfo Prediksi Jumlah Perangkat IoT di Indonesia Capai 678 Juta pada 2025," 14 Desember 2021. Available: <https://www.suara.com/tekno/2021/12/14/150652/kominfo-prediksi-jumlah-perangkat-iot-di-indonesia-capai-678-juta-pada-2025> [Accessed on 22 May 2024, 15:01:24 WIB].
- [4] A. A. Faradila Purnama, "A Comparative Feasibility Study Of The Internet Of Things Network Deployment For Advanced Metering Infrastructure Service In Surabaya City," M.S. Thesis, Telkom University, Bandung, Indonesia, 2021.
- [5] M. Imam Nashiruddin, S. Winalisa, "Designing LoRaWAN Internet of Things Network for Smart Manufacture in Batam Island", presented at 8th International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT), Bandung, Indonesia, 2020.
- [6] I. K. Enriko et al., "LoRA Gateway Coverage and Capacity Analysis for Supporting Monitoring Passive Infrastructure Fiber Optic in Urban Area," vol. 8, no. 2, pp. 164 - 170, Dec 2023. doi: 10.21831/elinvo.v8i2.59280
- [7] P. Rahmawati, A. Hikmaturokhman, K. Ni'amah, M. Imam Nashiruddin, "LoRaWAN Network Planning at Frequency 920-923 MHz for Electric Smart Meter: Study Case in Indonesia Industrial Estate", Journal of Communications Vol. 17, No. 3, Maret 2022. doi: 10.12720/jcm.17.3.222-229
- [8] A.S.Ayuningtyas, U. K. Usman, I. Alinursafa, "Analisis Perencanaan Jaringan LoRa (Long Range) Di Kota Surabaya", e-Proceeding of Engineering : Vol.7, No.2, pp. 3350, Agustus 2020
- [9] G. H. Fahreja, "Pengaruh Nilai Spreading Factor Terhadap Jumlah Gateway Pada Jaringan LoRaWAN Di Kota Bandung," B.S. thesis, Dept. of Telecommunication. Engineering., Institute of Technology Telkom Purwokerto, Purwokerto, Indonesia, 2022.
- [10] Kementerian Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia, "Peraturan Direktur Jenderal Sumber Daya dan Perangkat Pos dan Informatika Nomor 3 Tahun 2019 tentang Persyaratan Teknis Alat dan/atau Perangkat Telekomunikasi Low Power Wide Area," 2019.