

ANALISIS PERENCANAAN JARINGAN LORA (LONG RANGE) DI KOTA SURABAYA

LORA (LONG RANGE) NETWORK PLANNING ANALYSIS IN SURABAYA CITY

Atika Shinta Ayuningtyas¹, Ir. Uke Kurniawan Usman, M.T.², Ibnu Alinursafa, S.T., M.B.A.³

^{1,2,3} Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung

¹atikashinta@student.telkomuniversity.ac.id, ²ukeusman@telkomuniversity.ac.id,

³ibnua@telkom.co.id

Abstrak

Jaringan LoRa (*Long Range*) merupakan jaringan pendukung pengembangan *Internet of Things* (IoT) berdaya rendah yang memiliki area komunikasi sangat luas hingga 15 km dan bergantung pada kepadatan *end device* yang ada di area tersebut. Proses pengiriman data pada LoRa yaitu dimulai dari *end device* yang mengirimkan data melalui *gateway*, setelah itu lanjut dikirimkan ke server. Pada penelitian ini dilakukan perencanaan jaringan LoRa di Kota Surabaya untuk beberapa tahun ke depan yang masih belum terlayani jaringan LoRa. Perencanaan jaringan diawali dengan pembelajaran suatu konsep planning LoRa dari paper, penentuan beberapa parameter untuk perhitungan, hingga pengaplikasian pada simulasi. Proses pengiriman data dapat dikatakan lancar bila dengan *bandwidth* 125 kHz, pada *spreading factor* 7 dan *coding rate* 4/5 hasil SNR yang diperoleh adalah lebih dari -7,5 dB dan RSSI lebih dari -120 dBm. Berdasarkan perhitungan pada perencanaan jaringan yang telah dilakukan, hasil yang diperoleh adalah dibutuhkan 20 *site gateway* LoRa untuk dapat melayani jaringan LoRa di Kota Surabaya dengan total pengguna 12% dari keseluruhan jumlah pelanggan. Adapun hasil simulasi perencanaan jaringan adalah dengan *bandwidth* 125 kHz dan pada SF 7 CR 4/5, nilai rata-rata *signal level* yang dihasilkan sebesar -93,93 dBm, SNR sebesar -7,77 dB, RSSI sebesar -124,058 dBm radius sebesar 2,642 km, dapat dikatakan akan menghasilkan sinyal yang bagus, sehingga dapat disimpulkan bahwa perencanaan jaringan LoRa pada *capacity planning* dapat terpenuhi jika diimplementasikan di Kota Surabaya pada tahun 2025.

Kata kunci: LoRa, *end device*, *coverage planning*, *capacity planning*, RSSI, SNR.

Abstract

LoRa (Long Range) network is a network supporting the development of low-power Internet of Things (IoT) which has a very wide communication area of up to 15 km and depends on the density of end devices in the area. The process of sending data on LoRa is started from the end device that sends data through the gateway, after that it is then sent to the server. In this research LoRa network planning is carried out in the City of Surabaya for the next few years which are still not served by the LoRa network. Network planning begins with learning a LoRa planning concept from the paper, determining some parameters for calculation, to applying to the simulation. The process of sending data can be said to be smooth when with a bandwidth of 125 kHz, the spreading factor 7 and the coding rate of 4/5 SNR results obtained are more than -7.5 dB and RSSI more than -120 dBm. Based on calculations on network planning that have been done, the results obtained are 20 LoRa gateway sites needed to be able to serve LoRa networks in Surabaya City with a total of 12% users of the total number of customers. The network planning simulation results are with a bandwidth of 125 kHz and in SF 7 CR 4/5, the average value of the signal level generated is -93.93 dBm, SNR of -7.77 dB, RSSI of -124.058 dBm radius of 2.642 km, can be said to produce a good signal, so it can be concluded that the LoRa network planning on capacity planning can be fulfilled if implemented in the city of Surabaya in 2025.

Keyword: LoRa, *end device*, *coverage planning*, *capacity planning*, RSSI, SNR.

1. Pendahuluan

Pada era globalisasi saat ini, perkembangan teknologi yang semakin pesat di segala aspek telah membawa manfaat bagi kemajuan peradaban umat manusia. Salah satunya adalah internet dimana pengembangannya dianggap sebagai solusi permasalahan yang dapat mempermudah pekerjaan manusia, seperti mengamati suhu air untuk mengetahui air layak pakai untuk kawasan pabrik, mematikan listrik rumah ketika sedang berada di luar rumah menggunakan ponsel, dan lain-lain. Seluruh teknologi terbaru tersebut merupakan bagian dari *Internet of Things* (IoT). Teknologi Lora merupakan teknologi pengembangan dari IoT yang memiliki keunggulan yaitu dapat mengoptimalkan daya tahan baterai sehingga dayanya juga rendah, data *rate* paling rendah sebesar 27 kb/s dengan *spreading factor* 7 dan kanal 500 KHz atau 50 kb/s dengan FSK, memiliki *bandwidth* sebesar 125 kHz, dan memiliki cakupan berkomunikasi sebesar 2 – 5 km di area urban dan 15 km di area sub urban[1]. Penggunaan LoRa saat ini masih belum terlalu digunakan, namun kedepannya LoRa akan digunakan seiring berkembangnya teknologi. Peraturan penggunaan frekuensi LoRa di Indonesia pada rentan 920-923 MHz, sedangkan *bandwidth* LoRa yang digunakan di Indonesia adalah 125 KHz sudah diatur pada Lora Alliance[2].

Pada penelitian ini dilakukan perencanaan jaringan LoRa di Kota Surabaya yang memiliki karakteristik urban dengan menggunakan software Atoll dan beberapa tahapan perhitungan untuk mendapatkan jumlah gateway guna memprediksi kekuatan sinyal suatu jaringan jika dibangun pada suatu daerah yaitu di Kota Surabaya berdasarkan beberapa parameter, seperti *bandwidth*, *spreading factor*, *code rate*, RSSI dan SNR.

2. Konsep Dasar

2.1 LoRaWAN

LoRaWAN merupakan suatu protokol komunikasi sedangkan LoRa merupakan suatu *physical layer* yang digunakan pada LoRaWAN yang memiliki fitur-fitur seperti berdaya rendah dengan baterai yang mampu mengoptimalkan daya tahan baterai, memiliki cakupan berkomunikasi sebesar 2 – 5 km di area urban dan 15 km di area sub urban. Jaringan LoRaWAN ini diorganisasikan oleh topologi star[2].

2.2 Gateway LoRa

Pada penelitian ini perencanaan jaringan LoRa menggunakan gateway LoRa ber-merk Kerlink - Wirnet Station 923. Gateway LoRa Kerlink – Wirnet Station 923 merupakan *Gateway LoRa* berkapasitas 8 kanal yang sudah *certified* oleh LoRa Alliance.

2.3 End Device LoRa

Pada *end device* LoRa ini terdiri atas beberapa bagian, salah satunya adalah modul LoRa. Modul LoRa yang digunakan pada penelitian ini adalah iM980A-L. Modul iM980A-L merupakan modul radio yang telah *ter-certified* oleh LoRa Alliance dan beroperasi pada band 915 MHz *unlicensed*.

2.4 Parameter LoRa

Parameter LoRa merupakan suatu ukuran yang dapat menentukan performansi dari teknologi LoRa dan parameter LoRa yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari:

2.8.1 Bandwidth

Bandwidth merupakan kapasitas yang tersedia pada saat pengiriman dan penerimaan data dalam satuan *bit per second* (bps). Pada penelitian ini menggunakan *bandwidth* sebesar 125 kHz.

2.8.2 Spreading Factor

Spreading factor menentukan berapa banyak chip untuk merepresentasikan sebuah simbol, simbol terdiri dari chip N dimana $N=2^{\{SF\}}$. Nilai SF adalah dari 7-12.

2.8.3 Code Rate

Code rate digunakan untuk mengatasi *packet error rate* (PER) akibat adanya interferensi.

$$CR = \frac{4}{4+n} \quad (2.1)$$

n adalah 1,2,3,4

2.8.4 RSSI (Received Signal Strength Indicator)

Receive Signal Strength Indicator (RSSI), atau sensitivitas adalah level daya minimum dengan BER sehingga penerima dapat menerima sinyal. [11]. Adapun rumus untuk menghitung nilai Sensitivitas adalah sebagai berikut.

$$Sensitivitas = -174 + 10 \log BW + NF - SNR \text{ limit} \quad (2.2)$$

2.8.5 SNR (Signal to Noise Ratio)

SNR digunakan untuk menentukan kualitas sinyal dari suatu sinyal yang terganggu oleh noise.

2.5 Bit Rate

Bit rate merupakan laju perubahan bit tiap satuan waktu yang bersifat biner dan dinyatakan dalam bps (*bit per second*). Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung bit rate adalah pada persamaan berikut[13].

$$Rb = SF * \frac{1}{\left[\frac{2^{SF}}{BW}\right]} * CR \text{ bits/sec} \quad (2.3)$$

2.6 Adaptive Data Rate (ADR)

Adaptive data rate merupakan mekanisme guna mengoptimalkan kecepatan data, airtime, konsumsi energi dalam jaringan LoRaWAN®, sehingga dapat mempermudah dalam skala jaringan yaitu hanya dengan menambahkan gateway. Selain itu, ADR juga dapat digunakan untuk meningkatkan kapasitas suatu jaringan. *End device* yang memutuskan apakah ADR harus digunakan atau tidak, bukan jaringan atau aplikasi.

2.7 Perencanaan Jaringan LoRa

Dalam perancangan jaringan LoRa ini terbagi atas dua tahap, yaitu *capacity planning* dan *coverage planning*.

2.8 Perencanaan Jaringan LoRa berdasarkan kapasitas

Dalam perencanaan jaringan LoRa ini dapat dilakukan perencanaan berdasarkan jumlah *user* yang ada.

2.8.1 Forecasting Number of Customer

Perhitungan *forecasting number of customer* merupakan pendekatan yang digunakan untuk memprediksi jumlah pelanggan listrik, gas, dan air di wilayah Kota Surabaya dalam beberapa tahun ke depan. Adapun rumus untuk menghitung *forecasting number of customer* adalah menggunakan rumus sebagai berikut[14].

$$\text{Future Population} = (1 + GF)^n \quad (2.4)$$

2.8.2 Required Packet for IoT Devices per Day

Required packet for IoT devices per day adalah perhitungan untuk mendapatkan jumlah paket yang ditransmisikan per hari dalam lima tahun ke depan dengan berbagai fitur yaitu *Scheduled Sensor Reading*, *On-Demand Sensor Reading*, *Time of Use Pricing*, *Firmware Updates*, *Outage Restoration and Management* (ORM).

2.8.3 Single Gateway Capacity

Single Gateway Capacity merupakan perhitungan untuk mendapatkan jumlah paket yang dikirimkan per hari pada sebuah kanal dalam suatu gateway. Adapun rumus *single gateway capacity* adalah sebagai berikut[14].

$$\text{Single Gateway Capacity} = \frac{(24 \times 3600 \times 1000)}{\text{Durasi Paket}} \quad (2.5)$$

Namun sebelum menghitung *single gateway capacity*, terdapat beberapa tahapan perhitungan seperti symbol rate, durasi symbol, durasi preamble, payload symbol, durasi payload, durasi paket dengan rumus perhitungan berdasarkan semtech[15].

2.8.4 Single Gateway with 8 Channel Capacity (Packet per day)

Perhitungan *single gateway with 8 channel capacity* ini merupakan perhitungan jumlah paket data yang ditransmisikan per hari, dengan arah transmisi data yang terbagi atas *uplink* dan *downlink*. Perhitungan *single gateway with 8 channel capacity* didapatkan dari persamaan 2.6 berikut.

$$\text{Max App THP} = \text{Single Gateway Capacity} \times \text{Duty Cycle} \times 8 \quad (2.6)$$

Perhitungan *Single Gateway with 8 Channel Capacity* pada arah *uplink* dan *downlink* dibedakan nilai *duty cycle*-nya. *Duty cycle* merupakan persentase waktu pengiriman paket selama *end device* menempati suatu kanal. Nilai *duty cycle* adalah 1% pada *uplink* dan *downlink*.

2.8.5 Perhitungan Jumlah Gateway

Adapun rumus untuk perhitungan jumlah gateway pada *capacity planning* adalah sebagai berikut.

$$\text{Jumlah gateway} = \frac{\text{Total paket yang ditransmisikan per hari}}{\text{Total paket pada gateway 8 kanal}} \quad (2.7)$$

2.8.6 Perhitungan Cell Coverage

Perhitungan *cell coverage* merupakan perhitungan pada luas wilayah sel yang tercakupi berdasarkan perhitungan yang sudah dilakukan. Adapun rumus untuk perhitungan *cell coverage* adalah sebagai berikut.

$$\text{Cell Coverage} = \frac{\text{Luas Area}}{\text{Jumlah Gateway}} \quad (2.8)$$

2.8.7 Perhitungan Cell Radius

Perhitungan *cell radius* merupakan perhitungan pada jari-jari yang dimiliki dari suatu luas wilayah pada suatu sel. Adapun rumus untuk melakukan perhitungan *cell radius* adalah sebagai berikut.

$$\text{Cell Radius} = \sqrt{\frac{\text{Cell Coverage}}{2.6}} \quad (2.9)$$

2.9 Perencanaan Jaringan LoRa berdasarkan daerah cakupan

Perancangan ini memastikan agar seluruh area dapat terlayani dengan baik dan menghitung jumlah *site* yang dibutuhkan.

2.13.1 Maximum Allowable Path Loss (MAPL)

Perhitungan MAPL ini merupakan nilai tertinggi redaman yang diperbolehkan antara gateway LoRa dan *end device*. Namun sebelum menghitung MAPL, terdapat perhitungan EIRP terlebih dahulu. Adapun rumus untuk Perhitungan EIRP adalah sebagai berikut[11].

$$\text{EIRP}_{(UL/DL)} = \text{Tx Power} + \text{Gain Antenna Tx} - \text{Loss Cable} \quad (2.10)$$

Setelah mendapatkan nilai EIRP, barulah dapat menghitung nilai MAPL. Adapun rumus persamaan MAPL adalah sebagai berikut[11].

$$\text{MAPL}_{(UL/DL)} = \text{EIRP} - \text{Sensitivity} \quad (2.11)$$

2.13.2 Model Propagasi

Model propagasi yang digunakan pada perencanaan jaringan LoRa ini adalah Okumura-Hata *propagation model*. Adapun rumus pada propagasi untuk mendapatkan nilai radius pada daerah urban adalah sebagai berikut[11].

$$L_U = 69,55 + 26,16 \log f_c - 13,83 \log h_T - a(h_R) + [44,9 - 6,55 \log h_T] \log d \quad (2.12)$$

Faktor koreksi pada tinggi UE di area urban dinyatakan pada rumus berikut[11].

$$a(h_R) = (1,1 \log_{10} f - 0,7) h_r - (1,56 \log_{10} f - 0,8) \quad (2.13)$$

2.13.3 Perhitungan Luas Sel

Adapun rumus perhitungan untuk menghitung luas Sel adalah sebagai berikut.

$$L_{\text{Cell}} = \frac{3\sqrt{3}d^2}{2} \quad (2.14)$$

2.13.4 Perhitungan Jumlah Gateway

Adapun untuk rumus perhitungan jumlah gateway adalah sebagai berikut[14].

$$\text{Jumlah gateway} = \frac{\text{Luas Wilayah}}{\text{Luas Sel}} \quad (2.15)$$

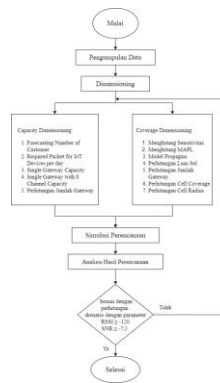
3. Perancangan Sistem

3.1 Perancangan Sistem Jaringan LoRa

Perancangan sistem jaringan LoRa yaitu diawali dengan suatu *end device* yang dapat mengumpulkan data, kemudian dikirimkan ke suatu *Gateway* LoRa dengan menggunakan Jaringan LoRa. Setelah itu data yang sudah dikirimkan ke *Gateway* LoRa, dikirimkan ke server lora.id dengan menggunakan jaringan Wi-Fi/Seluler (3G/4G)/Ethernet. Data terkirim ke server lora.id dan langsung dikirimkan ke suatu platform yang nantinya digunakan untuk membuat keluaran berupa web browser atau aplikasi android.

3.2 Tahapan Perencanaan jaringan LoRa

Tahapan perencanaan jaringan LoRa dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Flowchart perencanaan LoRa

3.3 Wilayah Perencanaan Jaringan LoRa

Pada penelitian ini, *planning* jaringan LoRa dilaksanakan di wilayah Surabaya. Kota Surabaya adalah sebuah kota metropolitan kedua setelah Jakarta yang berada di Provinsi Jawa Timur. Letak Kota Surabaya yaitu pada 7° 9 menit - 7° 21 menit Lintang Selatan dan 112° 36 menit - 112° 54 menit Bujur Timur dengan 3 - 6 meter di atas permukaan air laut (dataran rendah), kecuali di bagian selatan terdapat dua bukit landai di daerah Lidah & Gayungan dengan ketinggian 25-50 meter di atas permukaan air laut[17].

3.4 Spesifikasi perencanaan

Spesifikasi perangkat sangat dibutuhkan untuk mempermudah dalam perhitungan.

Tabel 3.1 Spesifikasi Gateway dan End Device LoRa[16]

Parameter	Keterangan	
	Gateway	End Device
Tx Power	20 dBm	7,5 dBm
Gain Antena	6 dBi	3 dBi
Tinggi Antena	30 m (urban)	1,5 m (urban)
Loss Cable	1,5 dB	0,83 dB
Frekuensi	921,5 MHz	921,5 Mhz

3.5 Capacity planning

Capacity planning merupakan perencanaan suatu jaringan dengan memperhitungkan jumlah pelanggan. Adapun beberapa tahap perhitungan yang dilakukan pada *capacity planning* adalah sebagai berikut.

3.8.1 Forecasting Number of Customer

Perhitungan *forecasting number of customer* ini menggunakan rumus pada persamaan 2.4. Adapun hasil perhitungan forecasting dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Hasil Perhitungan forecasting number of customer sampai tahun 2025

Tahun	Listrik	Air	Gas	Jumlah
2018	1.237.019	562.381	41.646	1.841.046
2019	1.277.593	600.061	48.351	1.926.005
2020	1.319.498	640.265	56.136	2.015.898
2021	1.362.778	683.162	65.173	2.111.113
2022	1.407.477	728.934	75.666	2.212.077
2023	1.453.642	777.773	87.849	2.319.263
2024	1.501.322	829.884	101.992	2.433.197
2025	1.550.565	885.486	118.413	2.554.464

3.8.2 Required Packet for IoT Devices per Day

Pada Tugas Akhir ini perhitungan *required packet for IoT devices per day* yang menghasilkan jumlah *end device* dan jumlah paket yang ditransmisikan per hari nya, hanya diambil 12%-nya saya karena tidak memungkinkan untuk penggunaan jaringan LoRa pada semua penduduk di Kota Surabaya.

Tabel 3.3 Hasil Perhitungan Required Packet per day for IoT device

Features	Event Frequency	End Device Number	Number of Packets per Day for One Device	Burstiness Margin	Security Margin	Number of Required Packets	
Scheduled Sensor Reading	per 4 hours/device	4	2.554.464	6	20%	10%	19.924.820
On-Demand Sensor Reading	50/1000 device (5%)	5%	127723,2	1	20%	10%	166.041
Time of Use (ToU) Pricing	100 per 1000 device (10%)	10%	255446,4	1	20%	10%	332.081
Firmware Updates	1 per 1000 device per 6 months	1000	2555	100	20%	10%	332.150
Outage Restoration and Management (ORM)	1 device per event	1	2.554.464	1	20%	10%	3.320.804
Total Required Packet Per Day						2.889.108	
Total Number of User						659.358	

3.8.3 Single Gateway Capacity

Perhitungan *single gateway capacity* menggunakan rumus pada persamaan 2.5. Adapun hasil perhitungan *single gateway capacity* dapat dilihat pada tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.4 Hasil Perhitungan *Single Gateway Capacity*

SF	<i>Single Gateway capacity</i>			
	CR = 4/5	CR = 4/6	CR = 4/7	CR = 4/8
7	1.785.714,29	1.824.324,32	1.824.324,32	1.824.324,32
8	975.433,53	975.433,53	998.520,71	998.520,71
9	524.068,32	524.068,32	537.420,38	537.420,38
10	275.735,29	283.137,58	283.137,58	283.137,58
11	134.355,10	134.355,10	137.867,65	137.867,65
12	70.784,40	72.737,07	72.737,07	72.737,07

3.8.4 Single Gateway with 8 Channel Capacity

Perhitungan *single gateway with 8 channel* ini menggunakan rumus pada persamaan 2.6. Adapun hasil perhitungan *single gateway with 8 channel capacity* dapat dilihat pada tabel 3.5 berikut.

Tabel 3.5 Hasil Perhitungan *Single Gateway with 8 Channel Capacity (UL)*

SF	<i>Single Gateway with 8 Channel Capacity (UL)</i>			
	CR = 4/5	CR = 4/6	CR = 4/7	CR = 4/8
7	142.857,14	145.945,95	145.945,95	145.945,95
8	78.034,68	78.034,68	79.881,66	79.881,66
9	41.925,47	41.925,47	42.993,63	42.993,63
10	22.058,82	22.651,01	22.651,01	22.651,01
11	10.748,41	10.748,41	11.029,41	11.029,41
12	5.662,75	5.818,97	5.818,97	5.818,97

3.8.5 Perhitungan Jumlah Gateway

Perhitungan jumlah gateway dilakukan pada UL dan DL. Namun karena hasilnya sama, maka menghitung salah satunya saja. Rumus yang digunakan untuk menghitung jumlah gateway ini terdapat pada persamaan 2.7. Adapun hasil perhitungan Jumlah gateway dapat dilihat pada tabel 3.6 berikut.

Tabel 3.6 Hasil Perhitungan Jumlah Gateway (UL)

SF	Jumlah Gateway (UL)			
	CR = 4/5	CR = 4/6	CR = 4/7	CR = 4/8
7	20	20	20	20
8	37	37	36	36
9	69	69	67	67
10	131	128	128	128
11	269	269	262	262
12	510	496	496	496

3.8.6 Perhitungan Cell Coverage

Perhitungan *cell coverage* ini menggunakan rumus pada persamaan 2.8. Adapun hasil perhitungan *cell coverage* dapat dilihat pada tabel 3.7 berikut.

Tabel 3.7 Hasil Perhitungan *Cell Coverage*

SF	<i>Cell Coverage</i>			
	CR = 4/5	CR = 4/6	CR = 4/7	CR = 4/8
7	17,331	17,706	17,706	17,706
8	9,467	9,467	9,691	9,691
9	5,086	5,086	5,216	5,216
10	2,676	2,748	2,748	2,748
11	1,304	1,304	1,338	1,338
12	0,687	0,706	0,706	0,706

3.8.7 Perhitungan Cell Radius

Perhitungan *cell radius* ini menggunakan rumus pada persamaan 2.9. Adapun hasil perhitungan *cell radius* dapat dilihat pada tabel 3.8 berikut.

Tabel 3.8 Hasil Perhitungan *Cell Radius*

SF	<i>Cell Radius</i>			
	CR = 4/5	CR = 4/6	CR = 4/7	CR = 4/8
7	2,582	2,610	2,610	2,610
8	1,908	1,908	1,931	1,931
9	1,399	1,399	1,416	1,416
10	1,015	1,028	1,028	1,028
11	0,708	0,708	0,717	0,717
12	0,514	0,521	0,521	0,521

3.6 Coverage planning

Coverage planning merupakan perencanaan suatu jaringan dengan mempertimbangkan luas wilayah.

3.9.1. Menghitung Nilai Sensitivitas LoRa

Perhitungan sensitivitas dapat dihitung dengan rumus pada persamaan 2.10. Adapun hasil perhitungan sensitivitas LoRa dapat dilihat pada tabel 3.9 berikut.

Tabel 3.9 Nilai sensitivitas LoRa

SF	Sensitivitas LoRa (dBm)
7	-124,531
8	-127,031
9	-129,531
10	-132,031
11	-134,531
12	-137,031

3.9.2. Perhitungan MAPL

Sebelum dilakukan perhitungan MAPL, terdapat tahap perhitungan EIRP. Perhitungan EIRP menggunakan rumus pada persamaan 2.11. Adapun hasil perhitungan EIRP dapat dilihat pada tabel 3.10 berikut.

Tabel 3.10 Nilai EIRP

Arah transmisi EIRP	Nilai EIRP (dBm)
EIRP (<i>Uplink</i>)	9,67
EIRP (<i>Downlink</i>)	24,5

Perhitungan MAPL terbagi atas arah *uplink* dan *downlink*. Perhitungan MAPL ini dilakukan menggunakan rumus pada persamaan 2.12. Adapun hasil perhitungan MAPL dapat dilihat pada tabel *downlink* 3.11 berikut. Hanya *downlink* saja karena yang terpilih adalah MAPL *downlink*.

Tabel 3.11 Nilai MAPL arah *downlink*

SF	MAPL (dB)
7	149,031
8	151,531
9	154,031
10	156,531
11	159,0310
12	161,5310

Nilai MAPL yang sudah diperhitungkan dengan persamaan di atas, nantinya dipilih nilai MAPL terbesar. Nilai MAPL yang dipilih untuk diperhitungkan pada tahap selanjutnya adalah nilai MAPL pada arah *downlink*.

3.9.3. Model Propagasi

Pada perencanaan jaringan LoRa ini, memiliki frekuensi *uplink* 920-923 MHz dan frekuensi *downlink* 920-923 MHz. Pada perencanaan jaringan ini menggunakan propagasi Okumura-hata.

3.9.4. Perhitungan radius sel

Perhitungan radius sel ini menggunakan rumus pada persamaan 2.13. Adapun hasil perhitungan sensitivitas LoRa dapat dilihat pada tabel 3.12 berikut.

Tabel 3.12 Hasil perhitungan nilai radius berdasarkan model propagasi

SF	a(hR)	log (d)	d (km)
7	0,0168	0,635	4,313
8		0,706	5,079
9		0,777	5,980
10		0,848	7,042
11		0,919	8,292
12		0,990	9,765

3.9.5. Perhitungan Luas Sel

Perhitungan luas sel ini menggunakan rumus pada persamaan 2.14. Adapun hasil perhitungan sensitivitas LoRa dapat dilihat pada tabel 3.13 berikut.

Tabel 3.13 Hasil perhitungan luas sel

SF	Luas Sel (km ²)
7	48,33190715
8	67,01610073
9	92,92324724
10	128,8456025
11	178,6548553
12	247,7194153

3.9.6. Perhitungan Jumlah Gateway

Perhitungan jumlah gateway ini menggunakan rumus pada persamaan 2.15. Hasil perhitungan sensitivitas LoRa dapat dilihat pada tabel 3.14 berikut.

Tabel 3.14 Jumlah gateway

SF	Jumlah Gateway (Unit)
7	8
8	6
9	4
10	3
11	2
12	2

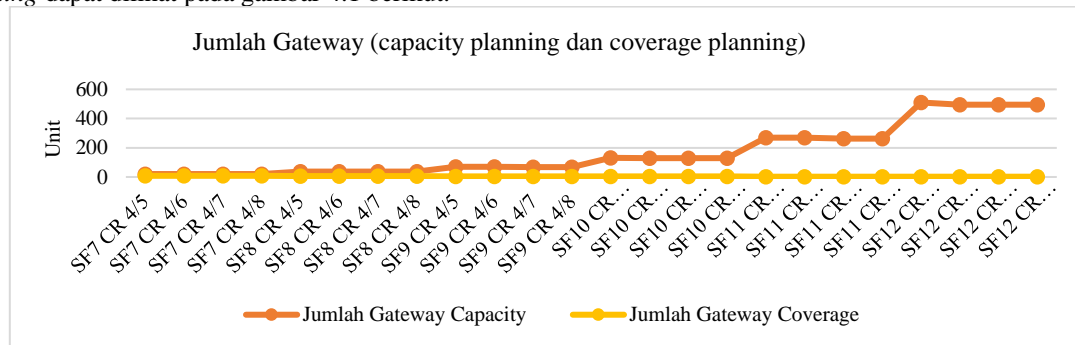
4. Hasil dan Analisis Pengujian

4.1. Pendahuluan

Pada Tugas Akhir ini dilakukan analisis terhadap hasil perhitungan *coverage planning* dan *capacity planning*, serta hasil simulasi perencanaan LoRa yang dilakukan pada *software* Atoll. Analisis dilakukan untuk mengetahui perbandingan jumlah gateway, jarak antara Tx dan daya pancar Tx terjauh, serta SNR.

4.2. Analisa Hasil Jumlah Gateway berdasarkan *coverage planning* dan *capacity planning*

Grafik komparasi jumlah gateway perhitungan jumlah gateway pada *coverage planning* dan *capacity planning* dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Grafik jumlah gateway (*capacity planning* dan *coverage planning*)

Berdasarkan gambar 4.1 di atas dan hasil jumlah gateway pada *coverage planning* dan *capacity planning* sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa jumlah gateway pada *coverage planning* dan *capacity planning* adalah berdasarkan SF 7 dan CR 4/5 dikarenakan pada perencanaan jaringan LoRa ini sangat dipentingkan suatu bit rate yang tinggi dan menangani PER (*Packet Error Rate*) akibat adanya interferensi agar memperlancar proses transmisi data. Pada sebuah perencanaan jaringan, untuk menentukan jumlah gateway adalah dengan memilih nilai terbesar suatu jumlah gateway antara perhitungan *capacity planning* dan *coverage planning*. Sehingga jumlah gateway pada *capacity planning* sebanyak 20 unit yang terpilih untuk dapat diimplementasikan suatu jaringan.

4.3. Simulasi Perencanaan Jaringan LoRa pada *coverage planning* dan *capacity planning*

Simulasi perencanaan jaringan LoRa dilakukan pada *coverage planning* dan *capacity planning*. Simulasi perencanaan jaringan LoRa pada *coverage planning* dengan jumlah gateway sebanyak 8 unit memiliki daya pancar yang tidak mencakupi seluruh area Kota Surabaya. Sedangkan untuk simulasi perencanaan jaringan LoRa pada *capacity planning* dengan jumlah gateway sebanyak 20 unit memiliki daya pancar yang mencakupi seluruh area Kota Surabaya. Sehingga perhitungan jumlah gateway pada *capacity planning* dapat dijadikan hasil akhir untuk diimplementasikan suatu jaringan LoRa di Kota Surabaya.

4.4. Analisis simulasi perencanaan Jaringan LoRa pada *Coverage Planning*

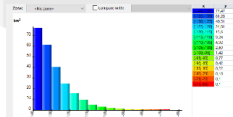
Prediksi dari suatu perencanaan jaringan LoRa tersebut lalu dilakukan analisis. Beberapa prediksi pada simulasi perencanaan jaringan LoRa pada *coverage planning* adalah sebagai berikut.

4.6.1. Jarak antara Tx dan Daya Pancar Tx terjauh

Berdasarkan pengambilan data pada simulasi, jarak terjauh daya pancar Tx pada site 0 adalah sebesar 3,791 km pada posisi pancaran daya Tx saat 139,45 dBm. Pada Tugas Akhir ini dilakukan pengambilan data jarak terjauh daya pancar Tx pada setiap gateway, bahwa rata-rata daya pancar terjauh dari seluruh site memiliki rata-rata sebesar 3,464 km hampir mendekati nilai radius pada perhitungan *cell radius* tahap propagasi model sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai *cell radius* pada simulasi dan perhitungan adalah sesuai.

4.6.2. Analisis Coverage by Signal Level

Pengambilan data yaitu rata-rata daya pancar pada suatu gateway. Pengambilan data hasil prediksi *signal level* dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut.

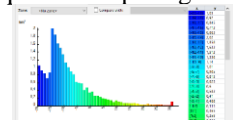


Gambar 4.2 Data hasil prediksi *Signal Level*

Berdasarkan gambar 4.2 di atas, dapat disimpulkan bahwa *best signal level* pada hasil prediksi perencanaan jaringan LoRa dengan SF 7 dan CR 4/5 yaitu memiliki nilai rata-rata sebesar -97,07 dBm. Nilai tersebut lebih dari nilai minimum RSSI yaitu sebesar -120 dBm, maka kualitas sinyal gateway LoRa dalam kategori bagus bila dipergunakan di Kota Surabaya.

4.6.3. Analisis Coverage by Signal to Noise Ratio Level

Pengambilan data hasil prediksi SNR dapat dilihat pada gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.3 Data hasil prediksi SNR

Berdasarkan gambar 4.10 dapat dilihat bahwa rata-rata SNR pada hasil prediksi perencanaan jaringan LoRa adalah sebesar -8,83 dB. Nilai rata-rata SNR pada hasil prediksi perencanaan LoRa tersebut sesuai dengan tabel SNR LoRa pada SF 7, sehingga SNR hasil simulasi dengan perhitungan adalah sesuai. Nilai SNR sebesar -8,83 dB lebih besar dari nilai minimum SNR yaitu sebesar -20 dB, maka sinyal dapat dikatakan bagus jika diimplementasikan di Kota Surabaya.

4.6.4. Analisis Link Budget

Setelah mendapatkan nilai *Path Loss* dan jarak, maka selanjutnya dianalisis dan disesuaikan dengan perhitungan MAPL dan jarak sesuai *spreading factor*. Nilai *Path Loss* dan jarak dari hasil simulasi perencanaan jaringan LoRa pada salah satu gateway bahwa pada *site 0* pada *signal level* sebesar -124,07 dBm dengan Tx power 20 dBm dan EIRP 25 dBm menghasilkan *Path Loss* sebesar 149,07 dB dan jarak 2,13 km. *Path Loss* sebesar kurang lebih -149 dB adalah sesuai dengan perhitungan MAPL dan Jarak sekitar 2 km sesuai dengan *Spreading Factor 7* yang telah dipilih pada perencanaan jaringan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa *link budget* pada simulasi dan perhitungan *link budget* pada *coverage planning* adalah sesuai.

4.5. Analisis simulasi perencanaan Jaringan LoRa pada Capacity Planning

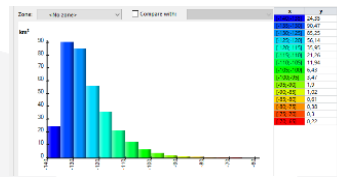
Beberapa prediksi pada simulasi perencanaan jaringan LoRa pada *capacity planning* adalah sebagai berikut.

4.7.1. Jarak antara Tx dan Daya Pancar Tx terjauh

Pengukuran jarak antara Tx dengan daya pancar Tx terjauh juga dilakukan pada *capacity planning*. Jarak antara Tx dengan daya pancar Tx terjauh pada suatu gateway bahwa jarak terjauh daya pancar Tx pada *site 1* adalah sebesar 2,759 Km pada posisi pancaran daya Tx saat 139,93 dBm. Pada Tugas Akhir ini dilakukan pengambilan data jarak terjauh daya pancar Tx pada setiap gateway, dapat disimpulkan bahwa rata-rata daya pancar terjauh dari seluruh *site* memiliki rata-rata sebesar 2,641 km hampir mendekati nilai radius pada perhitungan *cell radius* pada SF 7 CR 4/5 sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai *cell radius* pada simulasi dan perhitungan adalah sesuai.

4.7.2. Analisis Coverage by Signal Level

Pengambilan data yaitu rata-rata daya pancar pada suatu gateway. Data hasil prediksi *signal level* dapat dilihat pada gambar 4.4 berikut.

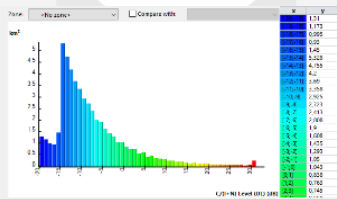


Gambar 4.4 Data hasil prediksi Signal Level

Berdasarkan gambar 4.4 di atas, dapat disimpulkan bahwa *best signal level* pada hasil prediksi perencanaan jaringan LoRa dengan SF 7 dan CR 4/5 yaitu memiliki nilai rata-rata sebesar -93,93 dBm. Nilai tersebut lebih dari nilai minimum RSSI yaitu sebesar -120 dBm, maka kualitas sinyal gateway LoRa dalam kategori bagus bila dipergunakan di Kota Surabaya.

4.7.3. Analisis Coverage by Signal to Noise Ratio Level

Pengambilan data rata-rata SNR suatu gateway. Pengambilan data hasil prediksi SNR dapat dilihat pada gambar 4.5 berikut.



Gambar 4.51 Data hasil prediksi SNR

Berdasarkan gambar 4.16 dapat dilihat bahwa rata-rata nilai SNR pada hasil prediksi perencanaan jaringan LoRa adalah sebesar -7,77 dB. Nilai rata-rata SNR pada hasil prediksi perencanaan LoRa tersebut sesuai dengan tabel SNR LoRa pada SF 7, sehingga SNR hasil simulasi dengan perhitungan adalah sesuai. Nilai SNR sebesar 7,77 dB lebih besar dari nilai minimum SNR yaitu sebesar -20 dB, maka sinyal dapat dikatakan bagus jika diimplementasikan di Kota Surabaya.

4.7.4. Analisis Link Budget

Pada simulasi perencanaan jaringan LoRa, dapat dilakukan pengambilan data nilai *Path Loss* dan jarak. Selanjutnya dianalisis dan disesuaikan dengan perhitungan MAPL dan jarak sesuai *spreading factor*. Nilai *Path Loss* dan jarak dari hasil simulasi pada salah satu gateway pada *site 0* pada *signal level* sebesar -124,09 dBm dengan Tx power 20 dBm dan EIRP 25 dBm menghasilkan nilai *Path Loss* dengan sebesar 149,09 dB dan jarak 2,181 km. *Path Loss* sebesar kurang lebih -149 dB adalah sesuai dengan perhitungan MAPL dan Jarak sekitar 2 km sesuai dengan *Spreading Factor 7* yang telah dipilih pada perencanaan jaringan LoRa ini. Sehingga dapat disimpulkan bahwa *link budget* pada simulasi dan perhitungan *link budget* pada *coverage planning* adalah sesuai.

4.8. Rekapitulasi Hasil Analisis Perencanaan Jaringan LoRa

Rekapitulasi hasil analisis perencanaan jaringan LoRa dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Rekapitulasi hasil analisis Perencanaan Jaringan LoRa

Parameter	Coverage Planning	Capacity Planning	Keterangan
Jumlah gateway	8 unit	20 unit	Hasil perencanaan jaringan LoRa pada SF 7 dan CR 4/5 yang dilakukan telah sesuai dengan perhitungan dan memenuhi standar LoRa
RSSI	-97,03 dBm	-93,93 dBm	
SNR	-8,83 dB	-7,77 dB	
Jarak daya pancar Tx terjauh	3,855 km	2,642 km	
Path Loss	149,065 dB	149,058 dB	

Berdasarkan tabel 4.1 di atas, dapat dilihat bahwa rekapitulasi hasil analisis perencanaan pada *coverage planning* dengan jumlah gateway terbesar sebesar 8 unit tidak dapat mencakupi seluruh wilayah, dengan nilai rata-rata *signal level* yaitu sebesar -97,03 dBm, memiliki radius sebesar 3,855 km, dengan nilai rata-rata pathloss sebesar -149,065 dB menghasilkan nilai rata-rata RSSI sebesar -124,068 dBm, serta nilai rata-rata SNR sebesar -8,83 dB. Sedangkan rekapitulasi hasil analisis perencanaan jaringan LoRa pada *capacity planning* dengan jumlah gateway terbesar sebesar 20 unit dapat mencakupi seluruh wilayah, dengan nilai rata-rata *signal level* yaitu sebesar -93,93 dBm, memiliki radius sebesar 2,642 km, dengan nilai rata-rata pathloss sebesar -149,058 dB menghasilkan nilai rata-rata RSSI sebesar -124,058 dBm, serta nilai rata-rata SNR sebesar -7,77 dB.

Dapat disimpulkan bahwa perencanaan jaringan LoRa pada *capacity planning* lebih memenuhi jika perencanaan jaringan LoRa diimplementasikan di Kota Surabaya pada tahun 2025.

5. Kesimpulan

Perencanaan jaringan LoRa pada Tugas Akhir ini menggunakan beberapa parameter seperti bandwidth 125 kHz, frekuensi 921,5 Mhz, *spreading factor* 7, *coding rate* 4/5, RSSI -93,93 dBm, dan SNR -7,77 dB adalah menggunakan perhitungan pada *capacity planning* yang menghasilkan gateway sebesar 20 unit yang dapat mencakupi seluruh Kota Surabaya tahun 2025. Perencanaan jaringan LoRa ini hanya mengambil 12% dari total pelanggan listrik, air, dan gas di Kota Surabaya berdasarkan data pada Badan Pusat Statistika Kota Surabaya. Jumlah user dari suatu *end device* yang diprediksikan pada tahun 2025 adalah sebanyak 659358 user. Hasil analisis perencanaan jaringan ini adalah jarak daya pancar terjauh sebesar 2,642 km, nilai RSSI sebesar -93,93 dBm, nilai SNR sebesar -7,77 dB, nilai Path Loss sebesar -149,058 dB, menggunakan Tx power sebesar 20 dBm dan EIRP sebesar 25 dBm. Nilai RSSI yang dihasilkan sudah lebih dari -120 dBm dan SNR lebih dari -20 dB diperkirakan dapat menghasilkan kualitas sinyal yang bagus jika diimplementasikan di Kota Surabaya pada tahun 2025.

Daftar Pustaka

- [1] T. M. Workgroup, "What is it? A technical overview of," *LoRa Alliance*, no. November, 2015.
- [2] L. Alliance, "Otime of," 2020.
- [3] F. Rayal, "Mobile and Wide-Area IoT: LPWA and LTE connectivity," no. January 2016, pp. 1–13, 2016.
- [4] K. Mekki, E. Bajic, F. Chaxel, and F. Meyer, "A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment," *ICT Express*, vol. 5, no. 1, pp. 1–7, 2019.
- [5] Orange, "LoRa Device Developer Guide," p. 42, 2016.
- [6] A. Junaidi, "INTERNET OF THINGS, SEJARAH, TEKNOLOGI DAN PENERAPANNYA: REVIEW," vol. I, no. 3, pp. 62–66, 2015.
- [7] I. Butun, N. Pereira, and M. Gidlund, "Security risk analysis of LoRaWAN and future directions," *Futur. Internet*, vol. 11, no. 1, pp. 1–22, 2018.
- [8] H. K. Features, "Wirnet Station 923," vol. 0, pp. 1–4, 2016.
- [9] "KERLINK SOLUTIONS PORTFOLIO," 2020.
- [10] D. Krebs, "Report for Test of Conformance to for the Customer 'IMST GmbH,'" pp. 2–5, 2019.
- [11] A. A. Faradila Purnama and M. Imam Nashiruddin, "Designing LoRaWAN Internet of Things Network for Advanced Metering Infrastructure (AMI) in Surabaya and Its Surrounding Cities," pp. 194–199, 2020.
- [12] P. Devi, D. Istianti, S. Y. Prawiro, N. Bogi, A. Karna, and I. A. Nursafa, "Analisis Performansi Teknologi Akses LPWAN LoRa Antares Untuk Komunikasi Data End Node," pp. 24–25, 2019.
- [13] A. Augustin, J. Yi, T. Clausen, and W. M. Townsley, "A study of Lora: Long range & low power networks for the internet of things," *Sensors (Switzerland)*, vol. 16, no. 9, pp. 1–18, 2016.
- [14] S. D. Usman, U.K., Prihatmoko, G., Hendraningrat, D.K. and Purwanto, *Fundamental Teknologi Seluler LTE*. Bandung, Indonesia: Rekayasa Sains, 2012.
- [15] Semtech, "SEMTECH SX1272/73 - 860 MHz to 1020 MHz Low Power Long Range Transceiver," no. January, 2019.
- [16] Kementerian Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia, "Perdirjen SDPPI No.2 Tahun 2019 WLAN.pdf." 2019.
- [17] B. P. Statistika, *Kota Surabaya Dalam Angka 2019*. 2019.