

BAB II

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Penelitian [5] pada tahun 2020 dengan judul “ *Designing LoRaWAN Internet of Things Network for Smart Manufacture in Batam Island* “ menjelaskan mengenai perencanaan jaringan LoRaWAN sebagai implementasi dari Revolusi Industri 4.0. Implementasi ini akan mencakup 25 kawasan industri di 7 wilayah Pulau Batam. Perencanaan LoRaWAN menggunakan *capacity planning* dan *coverage planning*. Hasil penelitian ini yaitu untuk mencakup 25 kawasan industri di Pulau Batam, dibutuhkan 11 *gateway* berdasarkan *spreading factor* 7 dengan hasil dari parameter SNR sebesar -30 dB dan rata-rata *throughput* yang dihasilkan adalah 18,82 kbps dengan *data rate* dari 20-22 kbps.

Penelitian [6] pada tahun 2020 dengan judul “ *LoRaWAN Internet of Things Network Planning for Smart metering Services in Dense Urban Scenario* ” mengusulkan perancangan jaringan LoRaWAN untuk *smart metering* di dense urban *scenario* yaitu di wilayah Jakarta dengan menggunakan perencanaan dari sisi *coverage* dan *capacity*. Untuk hasil MAPL dan RSSI pada parameter *spreading factor* (SF) 7 hingga 12 memiliki perbedaan, dimana pada nilai RSSI akan semakin kecil saat menggunakan *spreading factor* yang semakin besar, sedangkan pada MAPL semakin besar *spreading factor*, maka nilainya juga akan semakin besar. Pada penelitian ini dikatakan bahwa semakin kecil nilai SF maka akan semakin banyak jumlah *gateway* yang dibutuhkan.

Penelitian [7] pada tahun 2020 dengan judul “ Analisis Perencanaan Jaringan Lora (*Long Range*) Di Kota Surabaya ” membahas mengenai perencanaan jaringan LoRa untuk beberapa tahun kedepan di Kota Surabaya yang belum terlayani jaringan LoRa. Pada penelitian ini, untuk perhitungan *Required packet for IoT devices per day* hanya diambil sebesar 12% saja dengan alasan bahwa tidak memungkinkan jika jaringan LoRa digunakan oleh semua penduduk Surabaya. Perencanaan jaringan LoRa pada penelitian ini menggunakan frekuensi 921,5 Mhz dengan besar *bandwidth* 125 kHz, *coding rate* yang digunakan 4/5 dan pengiriman data dapat berjalan dengan lancar jika parameter *spreading factor* yang digunakan adalah *spreading factor* (SF) 7.

Penelitian [8] pada tahun 2021 dengan judul “*LoRaWAN Network Planning At Frequency 920-923 MHz for Electric Smart Meter: Study Case in Indonesia Industrial Estate* “ membahas mengenai perancangan jaringan LoRaWAN untuk smart meter di Kawasan Industri Karawang untuk memonitoring penggunaan listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan jumlah *gateway* yang diperlukan untuk mengoptimalkan cakupan *gateway* di Industri Karawang Estate. Simulasi perencanaan LoRaWAN menghasilkan RSRP dengan rata-rata -77,94 dBm. Hasil SNR memiliki mean 13,14 dB. Parameter terakhir adalah *throughput* berkisar 4-6 kbps dengan rata-rata 5,47 kbps. Hasil dari perencanaan ini menghasilkan nilai parameter RSRP, SNR, dan *Throughput* dengan baik kondisi yang akan diterapkan pada aplikasi *smart metering* di Kawasan Industri Karawang.

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 LoRa

LoRa merupakan teknologi nirkabel yang digunakan untuk membuat *link* komunikasi jarak jauh. LoRa menggunakan modulasi *chirp spread spectrum* (CSS), yang mempertahankan karakteristik daya rendah yang sama dengan modulasi FSK, tetapi secara signifikan meningkatkan jangkauan komunikasi [8].

LoRa adalah teknik modulasi *spread spectrum* yang berasal dari teknologi *chirp spread spectrum* (CSS). LoRa Semtech merupakan *platform* nirkabel jarak jauh berdaya rendah yang telah menjadi *platform* nirkabel untuk *Internet of Things* (IoT) [10].



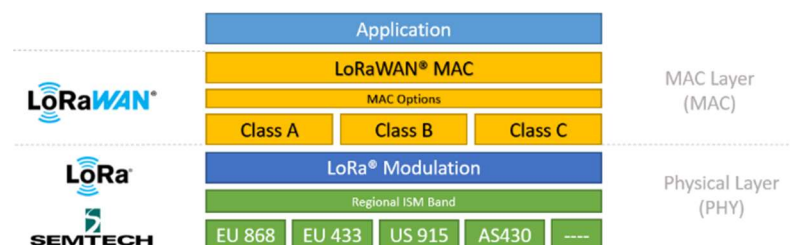
Gambar 2.1 LoRa Untuk IoT [10].

LoRa menggunakan enam faktor penyebaran (SF7 sampai SF12). Faktor penyebaran yang lebih tinggi memungkinkan rentang yang lebih panjang dengan mengorbankan laju data yang lebih rendah, dan sebaliknya. Kecepatan data LoRa adalah antara 300 bps dan 50 kbps tergantung pada faktor penyebaran dan *bandwidth* saluran. Selanjutnya, pesan yang dikirim menggunakan faktor penyebar yang berbeda dapat diterima secara bersamaan oleh Gateway LoRa. [11].

2.2.2 LoRaWAN

LoRaWAN adalah standar *Low Power Wide Area Network* (LPWAN) berdaya rendah yang dikelola oleh *LoRa Alliance*. LoRaWAN dirancang untuk menghubungkan perangkat yang dioperasikan dengan baterai secara nirkabel ke internet di 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 yaitu *Industrial, Scientific and Medical (ISM) band*. Spesifikasi mendefinisikan perangkat ke infrastruktur parameter lapisan fisik LoRa dan standar LoRaWAN, dan memberikan interoperabilitas tanpa batas antar produsen. Sementara Perusahaan *Semtech* menyediakan *chipset* LoRa, Aliansi LoRa mendorong standarisasi dan harmonisasi global standar LoRaWAN untuk ekosistem yang luas [10].

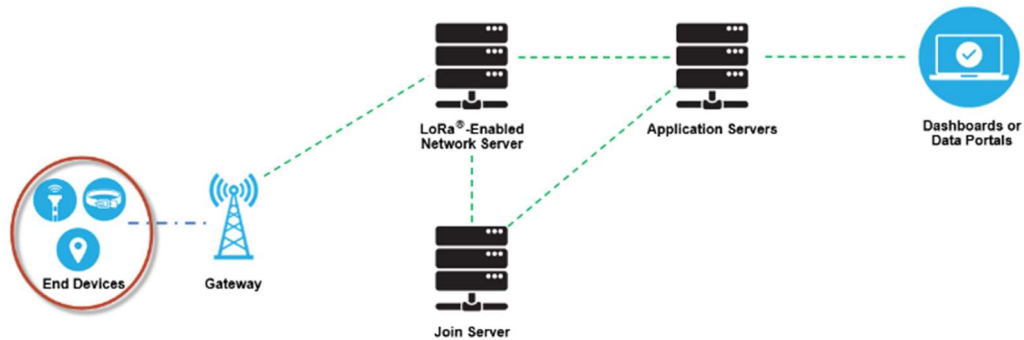
LoRaWAN merupakan protokol komunikasi dan arsitektur sistem untuk jaringan sementara lapisan fisik LoRa yang memungkinkan jangkauan komunikasi jarak jauh. Protokol dan arsitektur jaringan memiliki pengaruh paling besar dalam menentukan masa pakai baterai dari sebuah *node*, kapasitas jaringan, kualitas layanan, keamanan, dan beragam aplikasi yang dilayani oleh jaringan [11].



Gambar 2.2 LoRaWAN Layers [13].

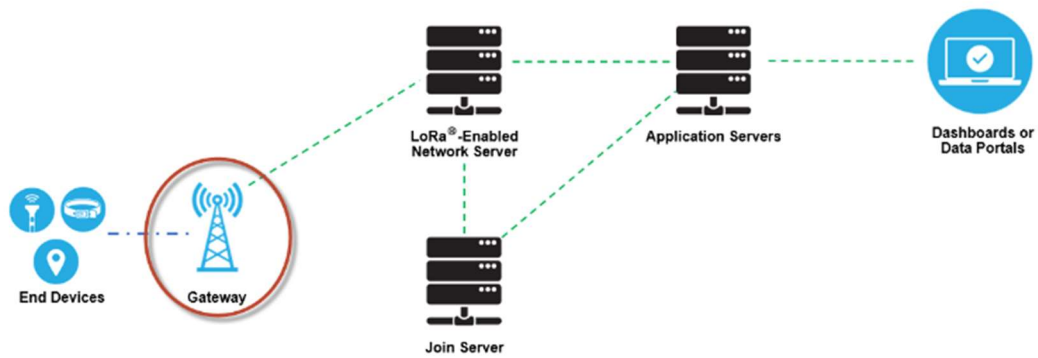
End Device yang mendukung LoRaWAN adalah sensor atau aktuator yang terhubung secara nirkabel ke jaringan LoRaWAN melalui *gateway radio* menggunakan Modulasi RF LoRa. Di sebagian besar aplikasi, *End Device* adalah sensor otonom yang sering dioperasikan dengan baterai yang mendigitalkan kondisi fisik dan peristiwa lingkungan. Kasus penggunaan umum untuk aktuator meliputi: penerangan jalan, kunci nirkabel, katup air mati, pencegahan kebocoran, antara lain.

Saat diproduksi, perangkat berbasis LoRa diberi beberapa pengidentifikasi unik. Pengidentifikasi ini digunakan untuk mengaktifkan dan mengelola perangkat dengan aman, untuk memastikan pengangkutan paket yang aman melalui jaringan pribadi atau publik dan untuk mengirimkan data terenkripsi ke *Cloud* [13].



Gambar 2.3 Konfigurasi *End Device* [13].

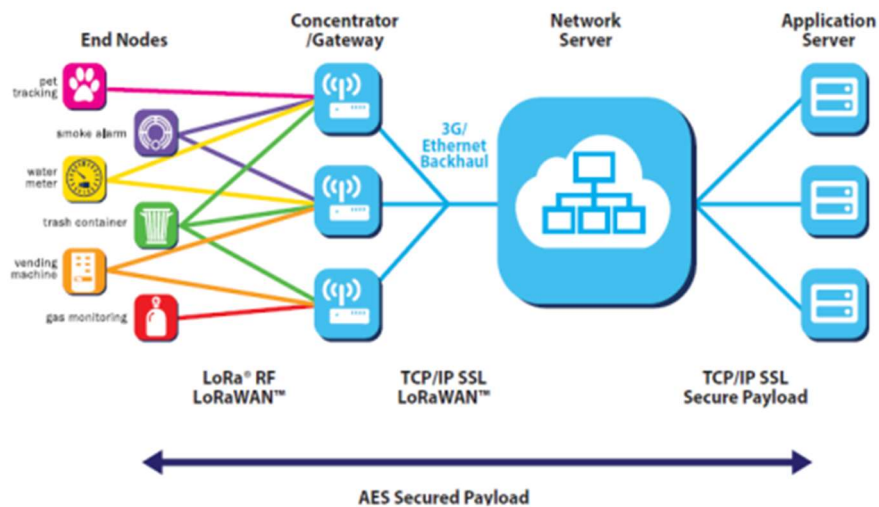
Gateway LoRaWAN menerima pesan RF termodulasi LoRa dari perangkat ujung mana pun dalam jarak pendengaran dan meneruskan pesan data ini ke *server* jaringan LoRaWAN (LNS), yang terhubung melalui *Core IP*. Tidak ada hubungan tetap antara perangkat akhir dan *gateway* tertentu. Sebagai gantinya, sensor yang sama dapat dilayani oleh beberapa *gateway* di area tersebut. Dengan LoRaWAN, setiap paket *uplink* yang dikirim oleh *End Device* akan diterima oleh semua *gateway* dalam jangkauan, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.4. Pengaturan ini secara signifikan mengurangi tingkat kesalahan paket (karena kemungkinan setidaknya satu *gateway* akan menerima pesan sangat tinggi), secara signifikan mengurangi *overhead* baterai untuk sensor seluler/nomaden, dan memungkinkan geolokasi berbiaya rendah (dengan asumsi *gateway* yang dimaksud berkemampuan geolokasi) [13].



Gambar 2.4 Konfigurasi *Gateway* [12].

2.2.3 Arsitektur LoRaWAN

Jaringan LoRaWAN dibangun menggunakan topologi *star to star* yang memungkinkan *device* dapat bekerja menggunakan baterai dalam jangka waktu yang lama dibandingkan topologi *mesh network*. Pada arsitektur LoRaWAN, *device* tidak ter-asosiasi dengan *gateway* tertentu.



Gambar 2.5 Arsitektur LoRaWAN [11].

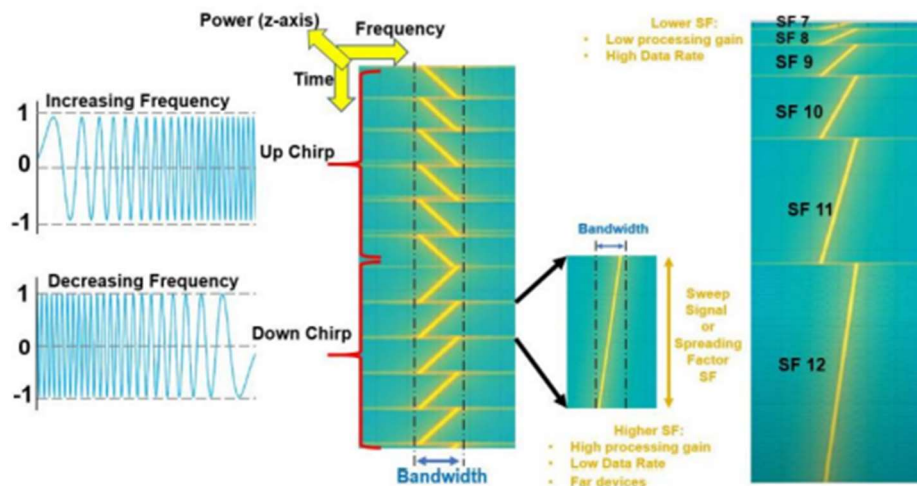
Dalam LoRaWAN *end-node* jaringan tidak terkait dengan *gateway* tertentu. Sebagai gantinya, data yang dikirimkan oleh suatu simpul biasanya diterima oleh banyak *gateway*. Setiap *gateway* akan meneruskan paket yang diterima dari *end-node* ke *server* jaringan berbasis *cloud* melalui beberapa *backhaul* (baik seluler, *Ethernet*, satelit, atau Wi-Fi) seperti yang terlihat pada Gambar 2.5 [11].

Kecerdasan dan kompleksitas didorong ke *server* jaringan, yang mengelola jaringan dan akan memfilter paket yang diterima berlebihan, melakukan

pemeriksaan keamanan, menjadwalkan ucapan terima kasih melalui *gateway* optimal, dan melakukan kecepatan data adaptif, dll. Jika sebuah *node* bergerak atau bergerak ada tidak diperlukan penyerahan dari *gateway* ke *gateway*, yang merupakan fitur penting untuk mengaktifkan aplikasi pelacakan aset - aplikasi vertikal target utama untuk IoT [11].

2.2.4 Modulasi LoRaWAN

Modulasi adalah proses mengubah parameter sinyal pembawa sesuai dengan nilai dari sinyal modulasi (informasi yang membawa sinyal digital atau sinyal analog). LoRa *physical layer* menggunakan teknik modulasi *Spread Spectrum* yang didasarkan pada modulasi *Chirp Spread Spectrum*. *Chirp Spread Spectrum* (CSS) adalah teknik akses ganda spektrum tersebar yang dapat menampung banyak pengguna dalam satu saluran serentak. Teknik *spread spectrum* merupakan teknik modulasi eksklusif yang disediakan oleh *Semtech*. Cakupan yang luas dapat dimungkinkan karena penggunaan CSS yang memiliki sensitivitas penerima yang 14 rendah [6]. Selain itu juga memiliki keuntungan dimana dapat menggunakan *link budget* yang lebih besar, lebih tahan terhadap *interference*, performa pada *low power communication link*, dan tahan terhadap *multi-path* dan *fading* (kombinasi dari *direct and reflected signals*) [14].



Gambar 2.6 LoRa Chirp Spread Spectrum Illustration [14].

Pada Gambar 2.6 terdapat 2 jenis *chirp* yaitu *up-chirp* (meningkatnya frekuensi dari rendah ke tinggi) dan *down chirp* (menurunnya frekuensi dari tinggi ke rendah). Keuntungan dari metode ini adalah pengaturan waktu dan frekuensi

antara pemancar dan penerima setara, sehingga sangat mengurangi kompleksitas desain penerima. *Bandwidth* frekuensi *chirp* ini setara dengan *bandwidth spektral* sinyal. Sinyal data yang membawa data dari perangkat akhir ke *gateway* terkelupas pada kecepatan data yang lebih tinggi dan dimodulasi ke sinyal pembawa *chirp*. Modulasi LoRa juga mencakup skema koreksi kesalahan variabel yang meningkatkan ketahanan sinyal yang ditransmisikan. Untuk setiap empat *bit* informasi yang dikirim, *bit* kelima dari informasi paritas dikirim [14].

2.2.5 Alokasi Frekuensi LoRaWAN

Setiap kawasan atau negara memiliki regulasi dalam penggunaan frekuensi LoRaWAN yang berbeda-beda. Spesifikasi ini bergantung pada alokasi spektrum dan kebijakan masing-masing kawasan atau negara. Secara global, alokasi frekuensi LoRaWAN di tunjukkan pada Gambar 2.7 [15].

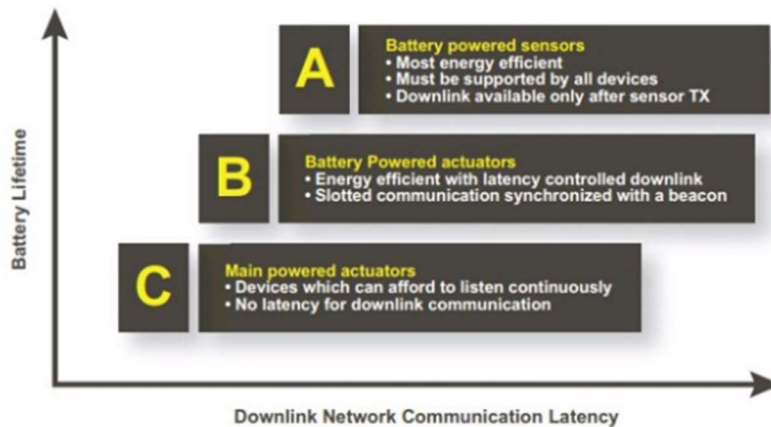
	Europe	North America	China	Korea	Japan	India
Frequency band	867-869MHz	902-928MHz	470-510MHz	920-925MHz	920-925MHz	865-867MHz
Channels	10	64 + 8 + 8				
Channel BW Up	125/250kHz	125/500kHz				
Channel BW Dn	125kHz	500kHz				
TX Power Up	+14dBm	+20dBm typ (+30dBm allowed)				
TX Power Dn	+14dBm	+27dBm				
SF Up	7-12	7-10				
Data rate	250bps-50kbps	980bps-21.9kbps				
Link Budget Up	155dB	154dB				
Link Budget Dn	155dB	157dB				

Gambar 2.7 Alokasi Frekuensi LoRaWAN di Berbagai Negara [15].

Indonesia sendiri menggunakan 920-923 Mhz, sesuai dengan PM Kominfo No.1 2019 : Penggunaan Spektrum Frekuensi Radio Berdasarkan Izin Kelas dan PERDIRJEN SDPPI No 3 Tahun 2019: LPWA *Specification* [16].

2.2.6 Kelas *End Device* pada LoRaWAN

LoRaWAN memiliki kelas *end devices* yang berbeda untuk memenuhi berbagai kebutuhan dalam pengaplikasiannya, dimana faktor persyaratan utamanya ada pada masa pakai baterai dan latensi komunikasi dari *network server* menuju ke *gateway* sampai ke *device (downlink)* [17].



Gambar 2.8 Perbandingan kelas pada LoraWAN [18].

.*Device* melayani berbagai jenis aplikasi dan tentu saja memiliki persyaratan yang berbeda di tiap penerapannya. Yang menjadi faktor persyaratan utama adalah mengenai umur pakai baterai dan *latensi* komunikasi dari *network server* menuju *gateway* sampai ke *device* (*downlink*) [18]. Sehingga *device* LoRaWAN di golongkan menjadi tiga *class*, diantaranya :

1. Kelas A

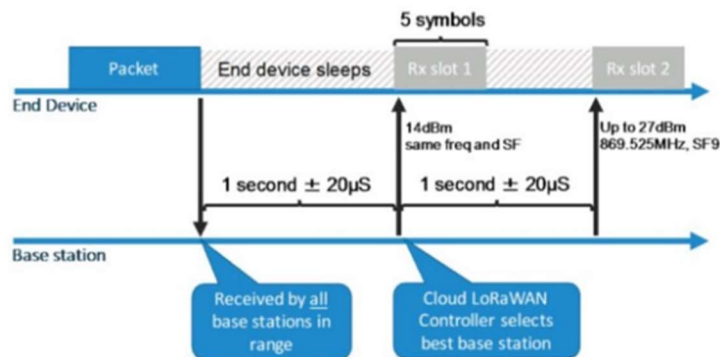
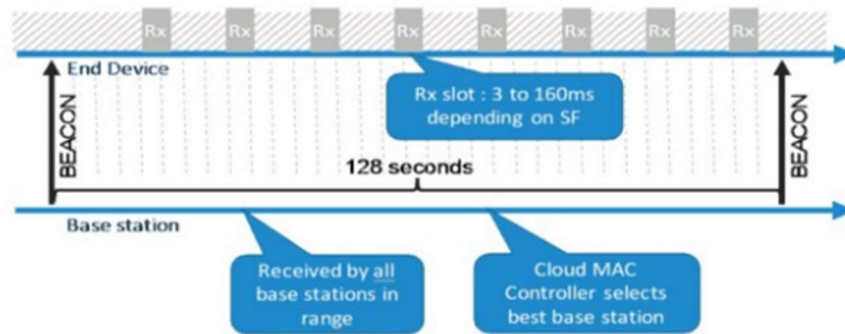


Fig 8. Class A default configuration profile

Gambar 2.9 LoRaWAN Kelas A [18].

Tipe *device* ini memungkinkan komunikasi dua arah dimana tiap *device* mengirimkan data (*Uplink message*) akan di ikuti dua *Downlink receive window* yang pendek. *Slot* transmisi di jadwalkan oleh *device* sendiri bisa bersifat periodik *atw event*. *Device class* A memiliki konsumsi daya paling rendah dan cocok untuk di terapkan pada *device* sensor dengan sumber daya baterai. Skema komunikasi LoRaWAN *device class* A di tunjukkan pada Gambar 2.9 [18].

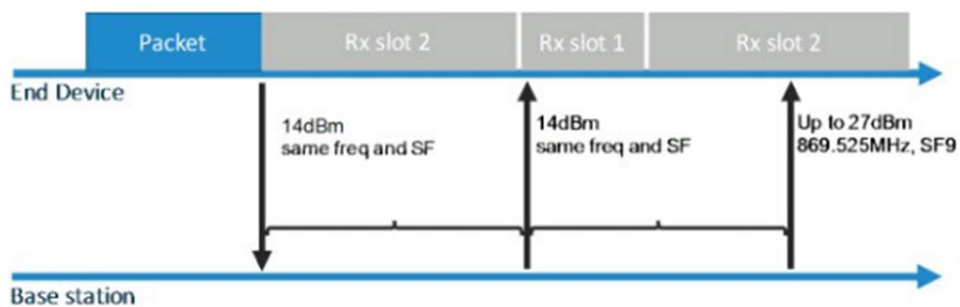
2. Kelas B



Gambar 2.10 LoRaWAN Kelas B [18].

Class B membuka lebih banyak *receive window* di bandingkan dengan *class A*. Hal ini memungkinkan *device* dapat melakukan *time-synchronization beacon* dari *gateway* dan juga membuat *server* tau kapan *device* dalam posisi *listening*. *Class B* masih tergolong *battery powered device* dengan kemampuan kontrol (*aktuator*). Skema komunikasi LoRaWAN *device class B* pada SF12 di tunjukan pada Gambar 2.10 [18].

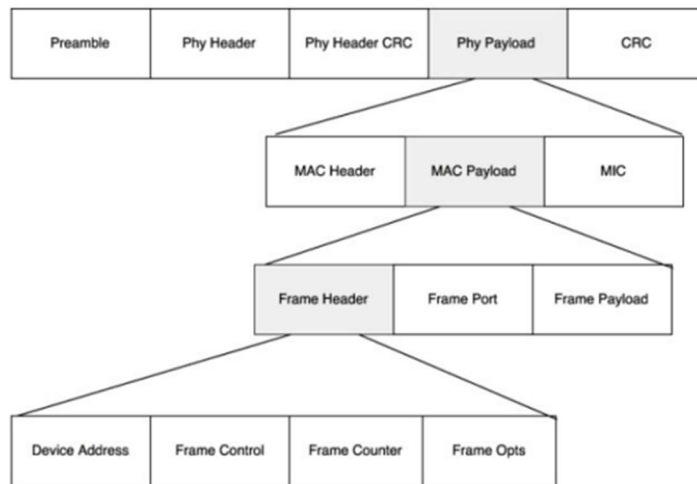
3. Kelas C



Gambar 2.11 LoRaWAN Kelas C [18].

Device class C hampir memiliki *slot receive window* yang terbuka terus menerus dan hanya tertutup saat mengirimkan data. Sehingga *device* tipe ini memakan daya yang lebih besar dan memang di desain untuk *device* aktuator tanpa latensi untuk komunikasi *downlink*-nya. *Device* ini tidak diperuntukkan menggunakan sumberdaya baterai yang terbatas kecuali sumber baterai yang memiliki sistem pengisian otomatis seperti dari solar panel atau menggunakan sumber listrik PLN. Skema komunikasi LoRaWAN *device class C* ditunjukkan pada Gambar 2.11 [18].

2.2.7 LoRaWAN Packet



Gambar 2.12 Struktur LoRaWAN Packet [18].

Pada Gambar 2.12 LoRaWAN packet di simpan dalam *payload* LoRa *physical*. Terdiri dari tiga bagian utama yaitu, *MAC Header*, *MAC Payload* dan *MIC*. *Packet* LoRaWAN di enkripsi menggunakan AES128 untuk menjamin keamanan data [18].

2.2.8 Gateway LoRaWAN



Gambar 2.13 Gateway Kerlink Wirnet™ Station 923 MHz [19].

Gateway Wirnet pada Gambar 2.13 adalah *gateway* LoRaWAN yang kuat, berkinerja, dan sangat andal untuk jaringan IoT cerdas. Diperkenalkan pada tahun 2014, *Gateway Wirnet* adalah *gateway* LoRaWAN pertama yang tersedia secara komersial di pasar di seluruh dunia . *Gateway* ini dirancang untuk menjadi bagian dari *Long Range Radio fix network* untuk menyediakan tautan konektivitas M2M antara *low power end points* dan akses internet. *Gateway* ini tidak mudah terbakar, menawarkan ketahanan UV yang baik dan juga ketahanan kimia yang baik.

Dimensinya 231 mm x 125 mm x 60 mm, dengan berat sekitar 2 kg (termasuk *mounting kit*) [19].

Fitur utama dari *gateway* ini adalah memiliki frekuensi 915-928 MHz ISM *band LongRange* kemampuan komunikasi dua arah. *Gateway* ini juga *embedded*, *remote* dan *open low power communication station*. Kemudian *gateway* ini juga *open development framework based on standard Linux OS* (berbasis OS Linux) dan *WAN connectivity over GPRS | EDGE | 3G or Ethernet* (konektivitas WAN melalui GPRS, EDGE, 3G atau Ethernet) [20]. Memiliki konsumsi daya rendah dan luas cakupan area (15 km di daerah semi-urban dan 2 km di daerah urban). *Use case* dari *gateway* ini digunakan pada *Smart energy, Smart Cities, Smart Agricultures & Environment, Smart Transportation & Logistics, Smart Industries dan Smart Building & Facilities* [19].

2.2.9 Parameter LoRaWAN

Parameter sangat berpengaruh terhadap kinerja dari LoRa. Parameter-parameter berikut yang menjadi acuan dalam penelitian ini, antara lain:

1. *Spreading Factor*

Tabel 2.1 *Spreading Factor* [21].

SF	Chip/Symbol	SNR Limit	Time on Air	Bitrate
7	128	-7,5	56 ms	5469 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

SF dapat diartikan banyaknya *bit* pada 1 *symbol*. *Spreading factor* yang lebih tinggi meningkatkan *Signal to Interference Noise Ratio* (SINR), sensitivitas, dan jangkauan, tetapi juga meningkatkan *airtime* paket.

Nilai *Spreading Factor* pada LoRa terdiri dari SF7 sampai dengan SF12, tiap nomer pada SF merepresentasikan *chips* yang dimodulasi per simbol. *Spreading Spectrum* menggunakan teknik *Code Division Multiple Access* (CDMA). CDMA digunakan sebagai solusi dalam menghindari kekurangan

standardisasi LoRaWAN untuk jaringan LoRa dalam penghindaran tabrakan data. *Spreading code* adalah suatu protokol yang memiliki kebijakan untuk memilih *code* yang akan digunakan sehingga dapat memberi informasi bahwa sebuah terminal memiliki paket yang harus dikirimkan.[1].

2. *Bandwidth*

Tabel 2.2 *Bandwidth* [1].

<i>Bandwidth</i>	<i>Spreading Factor</i>	<i>Code Rate</i>
125 kHz	7	4/5
	8	
	9	
	10	
	11	
	12	
125 kHz	7	4/6
	8	
	9	
	10	
	11	
	12	
125 kHz	7	4/7
	8	
	9	
	10	
	11	
	12	
125 kHz	7	4/8
	8	
	9	
	10	
	11	
	12	

Bandwidth adalah lebar frekuensi dalam pita transmisi. *Bandwidth* yang lebih tinggi memberikan kecepatan data yang lebih tinggi (sehingga waktu lebih pendek pada proses transmisi), tetapi sensitivitasnya lebih rendah (karena integrasi kebisingan tambahan). *Bandwidth* yang lebih rendah memiliki sensitivitas tinggi, tetapi kecepatan data lebih rendah. Data dikirim pada tingkat *chip* sama dengan *bandwidth*, *bandwidth* yang sesuai 125 kHz ke tingkat *chip* 125 kcps. Meskipun *bandwidth* bisa dipilih dalam kisaran 7,8 kHz hingga 500 kHz, sebuah LoRa beroperasi pada 500 kHz, 250 kHz atau 125 kHz (resp. BW500, BW250 dan BW125) [1].

3. *Coding Rate*

Coding Rate merujuk kepada jumlah *bit* yang memuat data atau informasi untuk ditransmisikan. *Coding Rate* diformulasikan untuk menangani *Packet Error Rate* (PER) akibat adanya interferensi [7].

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

Dimana,

CR = Code Rate

n = Nilai Code Rate (1,2,3,4)

4. *Received Signal Strength Indicator* (RSSI)

Received Signal Strength Indicator (RSSI) merupakan parameter yang menunjukkan daya terima dari seluruh sinyal pada band frekuensi saluran yang digunakan. Dapat dilihat pada Tabel 2.3, nilai RSSI semakin dekat dengan 0, maka semakin baik sinyal tersebut [1].

Tabel 2.3 Level Sinyal RSSI [1].

RSSI (dBm)	Keterangan
-30 s/d -60	Sangat kuat. Jarak pemancar dan penerima sangat dekat
-60 s/d -90.	Sangat baik. Cakupan dekat
-90 s/d -105	Baik. Terdapat beberapa data yang tidak diterima.
-105 s/d -115	Buruk. Dapat menerima tetapi sering drop-out
-115 s/d -120	Sangat buruk. Sinyal lemah data sering hilang

5. *Signal Noise Ratio (SNR)*

Signal Noise Ratio (SNR) adalah daya sinyal yang diterima oleh *user* dengan kekuatan derau (*noise*). Semakin besar nilai SNR maka semakin besar daya yang diperoleh *user* [1].

Tabel 2.4 SNR pada LoRa [1].

SF	SNR
7	-7,5 dB
8	-10 dB
9	-12,5 dB
10	-15 dB
11	-17,5 dB
12	-20 dB

Pada Tabel 2.4 dapat dilihat bahwa konektivitas LoRaWAN dapat memodulasi nilai SNR hingga - 20 dB sebagaimana mestinya dapat bekerja di bawah *floor noise* [5].

2.2.10 *Coverage Planning*

Pada *coverage planning*, parameter yang digunakan adalah *antenna*, *power transmit*, *power received*, *loss*, dan *receiver sensitivity*. Parameter ini digunakan untuk menghitung nilai *Link Budget* untuk mendapatkan *range* maksimum *gateway* dan jumlah *gateway* yang diperlukan. *Link Budget* diperlukan untuk mengetahui estimasi kerugian yang akan terjadi ketika sinyal merambat dari *transmitter* ke penerima. Model yang akurat dan komprehensif sangat penting untuk memprediksi pemancar daya dan sensitivitas penerima yang dibutuhkan. Perhitungan *Link Budget* digunakan untuk perhitungan *uplink* dan *downlink* [7].

1. Menghitung Nilai Sensitivitas LoRa

LoRa memiliki sensitivitas tinggi dan dapat diidentifikasi meskipun sinyalnya lemah. Perhitungan sensitivitas LoRa berdasarkan pada penggunaan *spreading factor* dan SNR [1].

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

Nilai Sensitivitas akan berpengaruh terhadap *link budget* LoRa berdasarkan persamaan.

2. *Maximum Allowable Path Loss (MAPL)*

Perhitungan MAPL ini merupakan nilai tertinggi redaman yang diperbolehkan antara *gateway* LoRa dan *end device* [7].

$$EIRP (UL/DL) = Tx Power + Gain Antenna Tx - Loss Cable \quad (2.3)$$

Setelah mendapatkan nilai EIRP, barulah dapat menghitung nilai MAPL. Adapun rumus persamaan MAPL adalah sebagai berikut [7].

$$MAPL (UL/DL) = EIRP - Sensitivitas \quad (2.4)$$

3. Model Propagasi *Okumura-Hata*

Model *Okumura-Hata* adalah model propagasi yang paling sederhana dan memberikan akurasi terbaik dalam estimasi *pathloss* (PL). Model ini digunakan untuk menentukan *pathloss* di frekuensi kisaran 150 MHz hingga 1500 MHz, radius sel berkisar 1-20 km, tinggi *antenna transmitter* 30-200 m, dan ketinggian *antenna terminal* berkisar dari 1 –10 m. Sebagian besar orang menggunakannya untuk memprediksi *pathloss* di perkotaan, pinggiran kota dan pedesaan, karena memiliki performa dalam *accuracy* dan *simplicity*. Persamaan yang digunakan untuk menghitung *pathloss* adalah sebagai berikut [1].

$$PL = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log hb - a(hm) (44.7 - 6.55 \log hb) \log_{10} d \quad (2.5)$$

$$a(hm) = (1.1 \log_{10}(f) - 0.7)hm - (1.56 \log_{10}(f) - 0.8) \quad (2.6)$$

dimana,

f = frekuensi (150 Mhz – 1500 MHz)

hb= tinggi *transmitter* (30 s/d 200 m)

hm = tinggi *receiver* (1 m s/d 10 m)

d = jarak antara *transmitter* dengan *receiver* (1 km s/d 20 km)

a(hm)= *Receiver factor correction*

Perlu diperhatikan pada model propagasi ini, *Receiver Factor Correction* akan berbeda persamaannya berdasarkan daerah penelitian dimana persamaan yang digunakan untuk daerah urban akan berbeda dengan daerah suburban dan rural.

4. Perhitungan Luas Sel

Adapun rumus perhitungan untuk menghitung luas sel adalah sebagai berikut [7].

$$L_{Cell} = \frac{3\sqrt{3}d^2}{2} \quad (2.7)$$

Pada perhitungan luas sel, perlu diketahui nilai d dimana d berarti jarak antara *transmitter* ke *reciver* dalam satuan km. Sel diartikan sebagai wilayah cakupan dengan ukuran kecil.

5. Perhitungan Jumlah Gateway

Adapun untuk rumus perhitungan jumlah *gateway* adalah sebagai berikut [7].

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

Pada perhitungan terakhir dalam *coverage planning* ini adalah menghitung jumlah *gateway* seperti pada persamaan (2.8) dengan membagi luas wilayah dimana perancangan dilakukan dan dikasus ini memilih Bandung sebagai daerah penelitian dan kemudian dibagi dengan luas sel yang sudah dihitung sebelumnya. Perhitungan ini harus dilakukan dengan benar agar mendapatkan hasil sesuai dengan perancangan yang dilakukan.