

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Justifikasi Solusi

Dalam membuat sebuah solusi terhadap masalah yang dijabarkan pada Bab I, diperlukan untuk membuat sebuah analisis terhadap skema implementasi yang telah dilakukan sebelum penelitian ini dilakukan. Berikut analisis dan tinjauan teori pada penelitian ini:

2.1.1 Analisis Kebutuhan Gateway V2

Berdasarkan analisis *gateway* V1 yang dijabarkan pada bab I, kebutuhan *gateway* V2 dapat dijabarkan melalui gambar 2.1 di bawah:



Gambar 2.1 Peta Kelompok Tani

Perluasan cakupan *sensor node* mencakup lima wilayah kelompok tani untuk memenuhi salah satu tujuan MySalak dalam mencakup wilayah kelompok tani Mitra Turindo dalam menyediakan prediksi cuaca yang terlokalisasi terhadap kelompok tani. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, maka dibutuhkan *gateway* dengan kemampuan lebih baik dalam

menerima sinyal *LoRa* yang dikirim oleh *node*.

Selain itu, peningkatan akurasi *model* prediksi cuaca dilakukan dengan melakukan perubahan dari *model existing*, dimana dalam implementasinya *model* memerlukan *dataset* yang konsisten dari *node* yang terpasang pada lahan perkebunan, dengan waktu *downtime* atau waktu *node* tidak menyetor *dataset* ke *server* dibuat seminim mungkin.

Berdasarkan hal tersebut, *dataset* memiliki dua kondisi gagal per hari, yaitu:

- *Node* memiliki waktu *downtime* kumulatif lebih dari lima jam, serta
- *Node* memiliki waktu *downtime* berturut-turut lebih dari empat jam.

Syarat tersebut berlaku agar sebuah *node* dapat memantau siklus diurnal, yaitu siklus yang terjadi selama 24 jam akibat dari putaran bumi pada porosnya yang mengatur kondisi iklim seperti suhu, kelembaban, serta cahaya matahari. Jika *node* mengalami *downtime* lebih dari waktu yang ditentukan, *node* berpotensi untuk melewati puncak diurnal, seperti masa dimana suhu tertinggi pada satu hari yang akan mempengaruhi akurasi *model*.

Berdasarkan syarat tersebut, *node* harus mengirim paket secara konsisten, dimana nilai *Packet Delivery Rate* (PDR) harus di atas batas yang ditentukan. Nilai persentase PDR minimum didapat dari rumus di bawah:

$$PDR \min = \frac{(24 - \text{downtime})}{24 \times 100\%} \quad (2.1)$$

Dimana 24 merepresentasikan 24 jam dalam sehari, serta *downtime* waktu *gateway* tidak menerima paket dari *node*, sehingga untuk *downtime* berturut-turut:

$$PDR \text{ con} = \frac{(24 - 5)}{24 \times 100\%} = 79.17 \approx 80\% \text{ (pembulatan ke atas)} \quad (2.2)$$

Dan *downtime* kumulatif:

$$\text{PDR cum} = \frac{(24-4)}{24 \times 100\%} = 83.33 \approx 84\% \text{ (pembulatan ke atas)} \quad (2.3)$$

Sehingga mendapat nilai PDR minimum sebesar 84% agar dataset yang dikirim oleh *node* dapat digunakan secara optimal oleh *model*. Dalam pengetesan *gateway*, nilai PDR akan diuji terhadap nilai PDR *minimum* sebagai salah satu success metric sebuah *gateway*.

Gateway dengan nilai PDR *node* lebih tinggi akan dianggap lebih berhasil dibanding *gateway* dengan nilai PDR *node* lebih rendah.

2.1.2 Pemilihan modul *gateway*

Untuk memenuhi kebutuhan cakupan yang lebih luas, dilakukan perubahan pada *gateway* dengan mengganti modul *transceiver* yang dimiliki oleh *gateway* V1 dengan modul *gateway*. Dilakukan beberapa perbandingan terhadap beberapa jenis modul yang tersedia, seperti:

- *Seedstudio SenseCAP gateway* berbasis modul *WM1302*
- *RAK2247 Gateway Concentrator Module* berbasis modul *WM1301*
- *Seedstudio WM1302 LoRaWAN Gateway Module*

Namun keterbatasan dari tersediaan barang dimana tidak terdapat modul yang tersedia untuk *frequency plan AS923* dan stok yang tersedia, serta *Minimum Order Quantity* sebanyak 10 buah untuk *SenseCAP gateway*, maka dipilih *WM1302 LoRaWAN Gateway Module* dari *Seedstudio* untuk dilakukan pengujian. Modul tersebut jika dibuat perbandingan terhadap *gateway* V1 berbasis *RFM95W*, memiliki kemampuan untuk memproses delapan *channel LoRa* sekaligus, dengan *RF Frontend* berupa *transceiver SX1250* yang digunakan untuk mengolah sinyal *LoRa* yang diterima sebelum diproses oleh modul *gateway*, yang dapat memisahkan sinyal dari *noise* secara tepat sehingga penerimaan sinyal oleh *gateway* meningkat.

2.2 Tinjauan Teori

2.2.1 *LoRa*[11]

Long Range (*LoRa*) merupakan teknologi modulasi *spread-spectrum* pada *Physical Layer* (PHY) yang dikembangkan oleh Semtech. Untuk

mengirim data, *LoRa* menggunakan suatu metode bernama *Chirp Spread Spectrum* (CSS) sehingga memberikan sinyal *LoRa* karakteristik sebagai berikut:

- *Long Range* dimana metode CSS memiliki ketahanan tinggi terhadap *noise* dan gangguan sehingga sinyal dapat diterima meskipun tenaga sinyal lemah, sehingga sinyal *LoRa* dapat dikatakan memiliki sensitivitas tinggi.
- *Low Power* Dimana metode CSS didesain untuk bekerja dengan kebutuhan daya rendah, sehingga cocok digunakan oleh perangkat yang bertenaga baterai.
- *Trade-off* dimana keunggulan poin di atas dicapai dengan menggunakan seluruh *bandwidth* yang dimiliki sebuah saluran *LoRa* untuk mengirim sinyal, sehingga kecepatan mengirim informasi cenderung lambat.

Selain itu, proses pengiriman juga digabung dengan *Cyclic Error Coding* yang membuat sinyal *LoRa* lebih tahan terhadap gangguan, serta memiliki *link budget* yang tinggi.

Ketiga karakteristik sinyal *LoRa* dipengaruhi oleh tiga parameter yang mengatur keseimbangan antara *link budget*, ketahanan terhadap gangguan, serta kecepatan pengiriman data, yaitu:

- *Spreading Factor* (SF) yang mengatur seberapa banyak sinyal menyapu frekuensi atau *chirp* pada pengiriman paket digunakan untuk merepresentasikan satu bit informasi, dimana nilai SF yang lebih tinggi, menyebabkan informasi disebar lebih luas dalam sebuah rentang waktu, dan semakin luas informasi disebar melalui *chirp*, maka sinyal akan semakin kuat terhadap gangguan. Nilai SF yang bisa digunakan oleh *LoRa* adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Tabel Spreading Factor

Spreading Factor	Chirp / bit informasi	SNR pada demodulator
6	64	-5dB
7	128	-7.5dB
8	256	-10dB
9	512	-12.5dB
10	1024	-15dB
11	2048	-17.5dB
12	4096	-20dB

Nilai SF harus ditentukan terlebih dahulu antara *node* dan *gateway* agar perangkat dapat berkomunikasi. Selain itu, nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) pada demodulator merupakan nilai SNR minimum yang dibutuhkan pada penerima untuk dapat mengolah sinyal, dengan nilai SNR bernilai negatif mengartikan bahwa sinyal lebih lemah dibanding *background noise*, dengan nilai SF lebih tinggi akan membuat penerima atau pada kasus ini *gateway* dapat menerima sinyal yang terkubur dalam *noise*. Kemampuan *LoRa* dalam menerima sinyal lemah yang membuat karakteristik *LoRa* tahan terhadap gangguan sinyal.

- *Coding Rate* (CR) dimana *cyclic error coding* digunakan untuk memberi informasi tambahan pada sebuah paket agar ketika *bit* informasi rusak pada saat pengiriman, penerima atau *gateway* dapat mengidentifikasi *bit* yang rusak dan melakukan perbaikan tanpa *node* harus mengirim ulang paket. Nilai CR yang bisa digunakan beserta dengan penambahan *bit* koreksi berada pada tabel di bawah:

Tabel 2.2 Tabel Coding Rate

Coding Rate	Cyclic Coding Rate	Overhead Ratio
1	$\frac{1}{2}$ (4 bit informasi, 1 bit koreksi error)	1.25
2	$\frac{4}{6}$ (4 bit informasi, 2 bit koreksi error)	1.5
3	$\frac{4}{7}$ (4 bit informasi, 3 bit koreksi error)	1.75
4	$\frac{4}{8}$ (4 bit informasi, 4 bit koreksi error)	2

Parameter ini berguna pada kasus dimana ketahanan sinyal dapat dijaga pada kondisi tinggi gangguan, dimana nilai CR lebih tinggi berpengaruh terhadap ketahanan sinyal lebih tinggi terhadap gangguan karena *overhead* atau *bit koreksi error* yang lebih banyak untuk setiap 4 *bit* informasi.

- *Bandwidth* dimana nilai lebih besar meningkatkan efisiensi pengiriman informasi sehingga waktu yang dibutuhkan untuk mengirim sebuah paket dapat diperkecil, tetapi dengan dampak sensitivitas lebih kecil. Untuk *bandwidth* yang dapat digunakan oleh sebuah perangkat, mengikuti peraturan yang berlaku untuk setiap negara, dimana untuk Indonesia nilai *bandwidth* yang dapat digunakan adalah 125KHz. Contoh relasi sensitivitas dengan *parameter* di atas adalah sebagai berikut:

Tabel 2.3 Tabel Relasi Sensitivitas terhadap Parameter LoRa

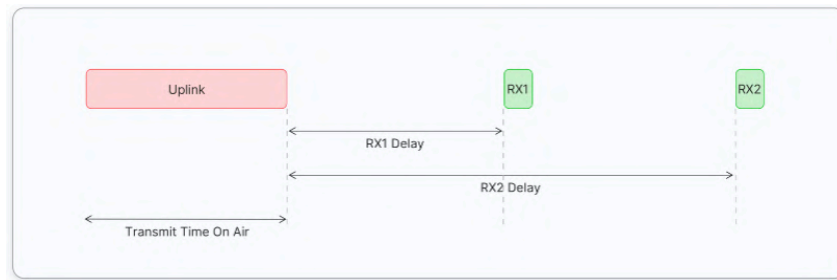
Bandwidth (KHz)	Spreading Factor	Coding Rate	Kecepatan (bps)	Sensitivitas (dBm)
125	12	$\frac{4}{5}$	293	-136
250	12	$\frac{4}{5}$	586	-133
500	12	$\frac{4}{5}$	1172	-130

Seperti pada batasan penelitian, parameter *LoRa* yang digunakan adalah SF10BW125 untuk mengikuti regulasi yang membatasi *bandwidth* pada 125KHz, serta penggunaan SF10 untuk memastikan sinyal tidak rentan terhadap *noise*.

2.2.2 *LoRaWAN* [12],[13],[17]

Long Range Wide Area Network (LoRaWAN) merupakan protokol *media access control* (MAC) yang mengatur bagaimana perangkat dapat terhubung, berkomunikasi, serta memastikan informasi terlindungi pada suatu jaringan.. *LoRaWAN* merupakan protokol komunikasi berdiri di atas lapisan *PHY* pada *LoRa*, dan merupakan arsitektur yang terdiri atas *end node*, *gateway*, serta *server* yang saling terhubung. Perangkat yang terhubung pada jaringan *LoRaWAN* terdiri dari beberapa kelas, seperti:

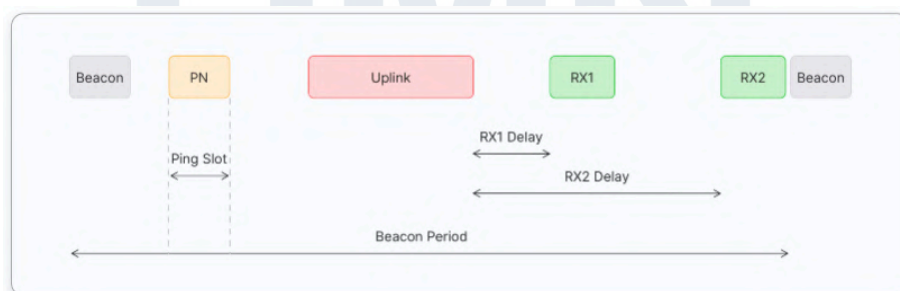
- *Class A* yang merupakan syarat wajib suatu perangkat *LoRaWAN*, dimana perangkat dapat mengirim paket atau *uplink* kapan saja, dan ketika pengiriman sudah selesai, perangkat membuka dua kurun waktu singkat setelah jeda singkat untuk menerima paket dari *gateway* atau disebut *downlink*. Jeda antara *uplink* dan *downlink* disebut *RX1 Delay* dan *RX2 Delay*. Jika *server* tidak memberikan respon selama kedua waktu *downlink*, maka *downlink* selanjutnya akan dikirim langsung ketika perangkat mengirim *uplink*.



Gambar 2.2 Device Class A

Perangkat *Class A* umumnya ditenagai oleh baterai karena selang waktu *uplink* yang lama, sehingga pada mayoritas waktu di antara *uplink*, perangkat umumnya berada dalam mode tidur untuk menghemat daya. Dengan kekurangan *downlink latency* yang tinggi karena untuk mendapat *downlink*, perangkat harus mengirim *uplink* terlebih dahulu.

- *Class B* dimana perangkat membuka ruang waktu *downlink* yang disebut *ping slot*. *Server* mengirim *downlink* atau pada kasus ini disebut *beacon* secara berkala melalui *gateway* yang digunakan oleh perangkat untuk mencocokkan waktu dengan jaringan. Jarak antara *downlink* disebut dengan *beacon period*.

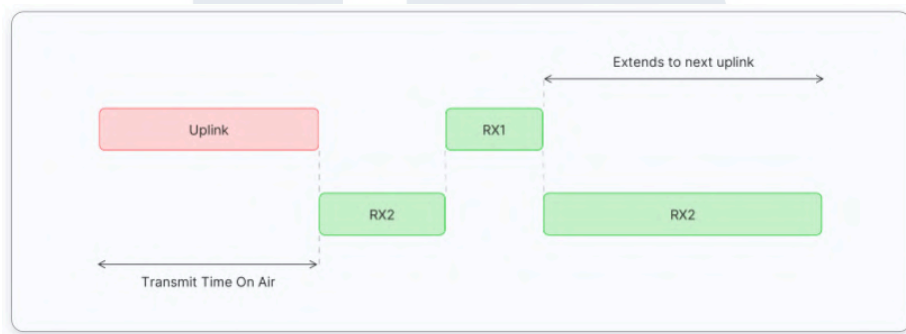


Gambar 2.3 Device Class B

Karena perangkat menerima *beacon* secara berkala, perangkat menggunakan lebih banyak daya karena lebih sering berada pada

mode aktif untuk menerima *downlink*, tetapi dengan *latency* yang lebih kecil dibanding *Class A*.

- *Class C* yang bekerja seperti perangkat *Class A* tetapi dengan perbedaan dimana setelah perangkat mengirim *uplink*, perangkat akan mendengar *downlink* sampai waktu perangkat mengirim *uplink* selanjutnya. Ini membuat perangkat *Class C* dapat menerima *downlink* kapan saja. Meskipun ini membuat perangkat *Class C* memiliki *latency* paling kecil, penggunaan daya paling besar diantara ketiga kelas perangkat.



Gambar 2.4 Perangkat Class C

2.2.3 Propagasi Sinyal [18],[19]

Propagasi merupakan proses sebuah gelombang menempuh sebuah media, dimana *wave motion* dideskripsikan sebagai pergerakan terus menerus sebuah gelombang. Dalam propagasi sinyal radio, sebuah gelombang yang dipancarkan dan diterima oleh penerima tidak hanya melewati jalur langsung, atau disebut dengan *Line of Sight* (LOS), tetapi mengalami jalur dimana gelombang mengalami *reflection* atau pantulan. Pantulan yang dialami oleh gelombang radio akan menyebabkan energi pada gelombang berkurang, dengan semakin banyak pantulan maka kekuatan sinyal akan semakin kecil yang diakibatkan oleh energi gelombang yang terserap ketika terjadi pantulan, atau terjadi pembiasan pada gelombang radio.

2.2.4 Ray Tracing dan Interference [14]

Dalam proses propagasi gelombang dari pemancar ke penerima, gelombang menempuh jalur atau *path* yang berbeda. Pada konteks ini yang dimana posisi pemancar dan penerima tidak bergerak, dipengaruhi oleh jalur LOS atau NLOS yang ditempuh oleh gelombang. Dalam penelitian ini, *Two-Ray Model* digunakan sebagai referensi terhadap karakteristik sinyal *LoRa* dimana gelombang yang menempuh ruang antara pemancar dan penerima melewati udara terbuka dan *multipath* yang dipantulkan oleh permukaan tanah. Perbedaan *path* tersebut akan menghasilkan perbedaan waktu dari *path* tersebut untuk sampai pada penerima.

Perbedaan *path* yang menyebabkan *interference* pada penerima bergantung pada perbedaan jarak *path* yang ditempuh serta *frequency* yang digunakan, yang berdampak pada beda fase gelombang ketika diterima, dengan perbedaan fase bergantung pada *frequency* karena mengubah *wavelength* sehingga membuat pola *interference* yang berbeda juga.

Ketika dua gelombang tersebut bergerak dalam fase yang sama, maka terjadi *constructive interference* dimana *amplitude* gelombang menguat, tetapi ketika gelombang tersebut bergerak dengan fase yang berbeda, maka terjadi *destructive interference* dimana *amplitude* gelombang melemah.

Pada penelitian referensi, *Two-Ray Model* diemulasikan dengan mengirim dua sinyal, satu dengan jalur langsung, serta satu melalui *reflected path* dengan nilai jeda antara kedua sinyal tersebut. Nilai yang diamati adalah *Packet Error Rate* (PER), SNR, serta RSSI

RSSI atau *Received Signal Strength Indicator* adalah besaran pengukuran terhadap sebuah sinyal yang diterima oleh penerima dengan besaran dBm, dimana nilai RSSI diukur dengan rumus

$$RSSIdBm = RSSI_{raw} + RSSI_{offset}$$

Nilai RSSI offset berupa nilai konstan pada modul *LoRa* yang bertujuan untuk mengkompensasi *power loss* yang dialami oleh sinyal ketika melewati komponen.

SNR atau *Signal to Noise Ratio* adalah besaran perbandingan kekuatan sinyal yang diterima terhadap *noise*, dimana SNR digunakan sebagai

indikator kejernihan sinyal dengan angka negatif mengartikan bahwa sinyal lebih lemah dibandingkan dengan *noise*. Selain itu, nilai SNR juga digunakan sebagai indikator kualitas sinyal yang diterima karena nilai SNR berpengaruh terhadap kemampuan *gateway* dalam mendemodulasi sinyal.

Meskipun sinyal *LoRa* melalui metode CSS memiliki ketahanan tinggi terhadap *multipath*, dimana meskipun beberapa “salinan” gelombang datang pada waktu yang berbeda akibat perbedaan *path*, penerima mengkorelasikan gelombang datang dengan *chirp* yang telah ditentukan, dan gelombang yang datang akibat perbedaan *path* tidak selalu memiliki *chirp* yang sama persis dengan yang telah ditentukan.

Sinyal *LoRa* melalui metode CSS memang memiliki ketahanan terhadap *noise* karena gelombang yang diterima dikorelasikan dengan *chirp* yang telah ditentukan. Namun, untuk kondisi *static multipath* seperti pada konteks penelitian ini, nilai parameter *LoRa* tidak mengubah pola *frequency-selective fading pattern*, melainkan *carrier frequency* dari pemancar karena hal tersebut disebabkan oleh perbedaan fase gelombang yang diterima, dimana *constructive* dan *destructive interference* terjadi, sedangkan perbedaan nilai SF membantu penerimaan sinyal pada penerima dalam kondisi dinamis dimana posisi pemancar atau penerima dapat berubah yang diakibatkan oleh lama waktu gelombang dipancarkan di udara.

Hal tersebut mengakibatkan adanya perbedaan karakteristik sinyal pada lokasi yang diamati, yang tergantung oleh *frequency* gelombang yang dipancarkan oleh pemancar, dimana parameter *LoRa* (CR, SF, *Bandwidth*) tidak mengubah penerimaan sinyal secara signifikan.

2.2.5 Experimental Evaluation of LoRaWAN Connectivity Reliability in Remote Rural Areas of Mozambique [15]

Penelitian ini menguji performa *LoRa* pada area *rural* di Mozambik, dimana nilai PDR dapat dipertahankan pada nilai 89% pada jarak 1km. Selain itu, nilai RSSI, SNR, dan PDR menurun semakin rendah ketinggian penerima atau *gateway* terhadap pemancar atau *node*, dimana

ketinggian *gateway* yang lebih rendah menyebabkan sinyal lebih rentan terhadap permukaan tanah yang tidak rata, pepohonan, serta halangan lainnya yang membuat sinyal menjadi lebih lemah.

Selain itu, nilai RSSI yang diukur juga mengalami penurunan terhadap jarak *node* terhadap *gateway* dimana pada jarak 100 meter nilai RSSI berada pada -14 dBm, dan menurun menjadi -108 dBm pada jarak 1Km. Nilai SNR juga mengalami penurunan dari 10 dB menjadi 2.75 dB pada jarak yang sama. Meskipun hal tersebut, nilai PDR dapat dipertahankan pada nilai 89% dengan metode yang dilakukan.

Untuk mengatasi hal tersebut, salah satu alternatif yang dilakukan selain memasang *gateway* pada lokasi lebih tinggi, *gateway* juga dipasang pada kontur alami dan buatan seperti pada puncak bukit, atap rumah, dimana *gateway* yang terpasang pada ketinggian 334 meter memiliki performa lebih tinggi dibanding dengan *gateway* yang dipasang pada ketinggian 298 meter.

Meskipun penelitian ini dapat mempertahankan nilai PDR pada jarak 1km, mengingat kontur tanah dan halangan yang berbeda terhadap lokasi, penelitian ini digunakan sebagai referensi bahwa pada kondisi yang tepat, jarak *gateway* dapat melampaui jangkauan yang dimiliki oleh *gateway* V1.

2.2.6 Theoretical Performance of LoRa System in Multi-Path and Interference Channels [16]

Penelitian ini menjelaskan *multipath* dengan *frequency-selective fading* menyebabkan *packet loss* pada perangkat LoRa. Proses demodulasi LoRa bekerja dengan cara melakukan *Discrete Fourier Transform* (DFT) pada sinyal simbol yang diterima menjadi *frequency bin* dimana *bin* dengan *peak* tertinggi digunakan untuk menentukan simbol dari sinyal yang diterima.

Pada kondisi *multipath*, sinyal yang diterima tidak hanya sinyal bersih, namun beberapa sinyal datang berbeda waktu dengan *peak* berbeda yang menyebabkan *symbol error* pada proses demodulasi dimana penerima

salah memilih *peak* yang benar. Pada kondisi sinyal dengan SNR rendah, hal ini dapat menyebabkan gagal demodulasi.

2.2.7 LoRa Performance under Variable Interference and Heavy-Multipath Conditions [18]

Penelitian ini melakukan pengujian terhadap parameter *LoRa* dimana sinyal *LoRa* memiliki ketahanan sangat tinggi terhadap gangguan, dengan proses korelasi pada metode CSS dapat memilah salinan gelombang yang datang pada waktu berbeda. Namun nilai *Spreading Factor* tidak berpengaruh secara fundamental dalam mencegah *frequency-selective fading*, serta parameter lainnya seperti nilai *bandwidth* yang semakin sempit semakin berpengaruh terhadap sensitivitas gelombang.

