

BAB 2 DASAR TEORI

2.1. KAJIAN PUSTAKA

Penelitian [6] penulis menganalisa hasil dari simulasi yang dilakukan terhadap *Signal Level*, *Level Carrier Noise to Interference*, dan *link budget* sebagai parameter dalam proses perencanaan di wilayah Palabuhanratu. Pada penelitian ini dilakukan dua tahap perencanaan jaringan LoRa. Pertama, perhitungan *capacity* dan perhitungan *coverage*. Selanjutnya pada tahap kedua dilakukan simulasi menggunakan *software* Atoll 3.4.0. Hasil analisa dari simulasi pada penelitian ini diantaranya adalah 10 unit *gateway capacity* yang diperoleh dari simulasi pada *software* Atoll 3.4.0. Dari simulasi pada *software* Atoll 3.4.0 tersebut menghasilkan nilai rata-rata untuk parameter *Signal Level* sebesar -64.06 dBm, parameter *Level Carrier Noise to Interference* sebesar 27.71 dB, dan parameter *Path loss* sebesar -107,74 dBm pada radius sel 1.261 km. Berbeda dengan penelitian pada tugas akhir ini, pada tugas akhir ini menganalisa satu parameter yaitu *Received Signal Strength Indicator* (RSSI).

Penelitian [7] penulis merancang jaringan teknologi LoRa 923 MHz di wilayah kabupaten Cilacap. Perancangan jaringan LoRa ini dilakukan berdasarkan *capacity* dan *coverage planning*. Hasil dari perencanaan jaringan LoRa *capacity* menggunakan *Spreading factor* 7 dan *code rate* 4/5 menghasilkan *gateway* 10 dengan *cell radius* 6.28 km, nilai RSSI -75.51 dBm, SNR -97.08 dBm, *throughput* 21.85 Kbps, nilai *effective signal analysis* -93.34 dBm. Perencanaan jaringan LoRa *coverage* mendapat hasil jumlah *gateway* perencanaan 3 dengan *radius cell* 18,73 km, kemudian nilai RSSI -80,85 dBm, SNR -98,67 dBm, *throughput* 21,65 Kbps, *effective signal analysis* -103,94 dBm. Berbeda dengan penelitian tugas akhir ini, penulis menggunakan frekuensi 920 MHz dan metode *coverage area* untuk mengetahui seberapa luas *gateway* LoRa dapat melayani area cakupan di beberapa daerah di kabupaten Banyumas,

Penelitian [8] penulis menganalisis serta mensimulasikan perencanaan jaringan LoRa di kota Bandung berdasarkan spesifikasi perangkat *gateway*

RAK83. Hasil simulasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah menghasilkan 100 unit *gateway* berdasarkan hasil perhitungan *capacity planning*. Selain itu analisis parameter yang diperoleh diantaranya adalah nilai *Spreading factor* 7, *code rate* 4/5, *Bandwidth* 125 kHz, dan *bit rate* tertinggi yang didapat adalah 5.47 kbps. Berbeda dengan penelitian tugas akhir ini, penulis melakukan perencanaan di beberapa daerah kabupaten Banyumas berdasarkan *coverage planning* menggunakan model *Irregular Terrain*.

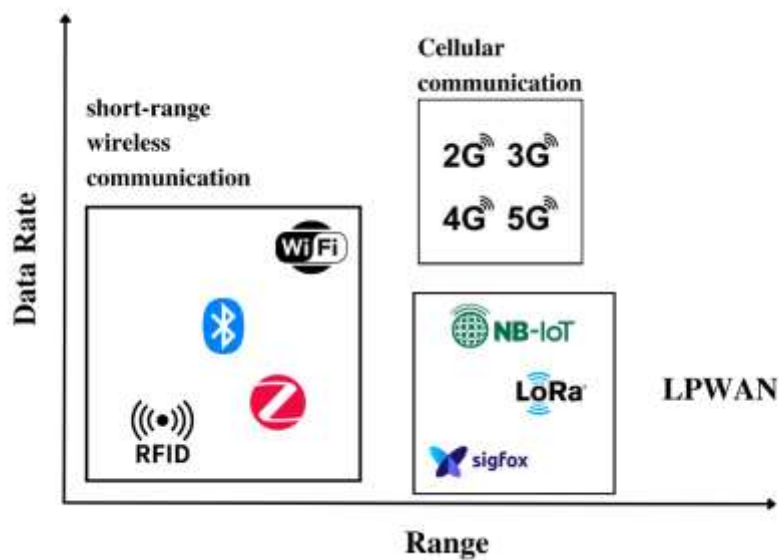
Penelitian [9] penulis meneliti tentang bagaimana cakupan dan analisis kapasitas LoRa WAN untuk aplikasi IoT yang masif digunakan serta membandingkan kapasitas LoRa WAN pada urban dengan sub urban. Hasil analisis dari penelitian ini adalah perhitungan kapasitas untuk kebutuhan *gateway* dipengaruhi oleh nilai *Bandwidth* (BW), *spreadinng factor* (SF), dan *code rate* (CR). Dengan simulasi menggunakan *software* Atoll 3.4.0 disimpulkan bahwa seluruh area yang telah ditentukan dapat *tercover* serta diperoleh nilai >-137 dBm untuk sensitivitas minimum pada *spreading factor*. Sedangkan *signal level* pada urban -84.58 dBm dan sub urban -90.9 dBm. Berbeda dengan penelitian tugas akhir ini, penulis merencanakan dan menganalisis area cakupan yang mampu dilayani LoRa *gateway* yang diposisikan di atas gedung Rektorat Institut Teknologi Telkom Purwokerto.

2.2. DASAR TEORI

2.2.1 Overview Teknologi LoRa

Teknologi nirkabel atau yang dikenal dengan teknologi *wireless* merupakan teknologi yang mampu menghubungkan dua perangkat atau lebih tanpa menggunakan kabel melainkan dengan memanfaatkan gelombang elektromagnetik. Salah satu teknologi nirkabel adalah *Long Range* atau yang disingkat LoRa. LoRa merupakan teknologi komunikasi nirkabel yang dipatenkan oleh Semtech [10]. LoRa merupakan teknologi LPWAN (*Low Power Wide Area Network*) yang memiliki kemampuan komunikasi dengan jangkauan jarak yang jauh hingga beberapa kilometer dalam kondisi *Line of Sight*.

Grafik Pada Gambar 2.1 merupakan perbandingan performansi teknologi nirkabel, LoRa berada pada *range* yang sama dengan teknologi seluler seperti 2G, 3G, 4G, 5G, dan teknologi seluler lainnya. Ini menandakan bahwa LoRa dapat melakukan komunikasi yang jaraknya sebanding teknologi seluler lainnya. Pada Gambar 2.1 menunjukkan bahwa LoRa juga memiliki *Data rate* yang rendah dibandingkan teknologi seluler lainnya. Selain itu, LoRa juga memiliki kemampuan ketahanan yang baik terhadap efek *Doppler* dan interferensi.

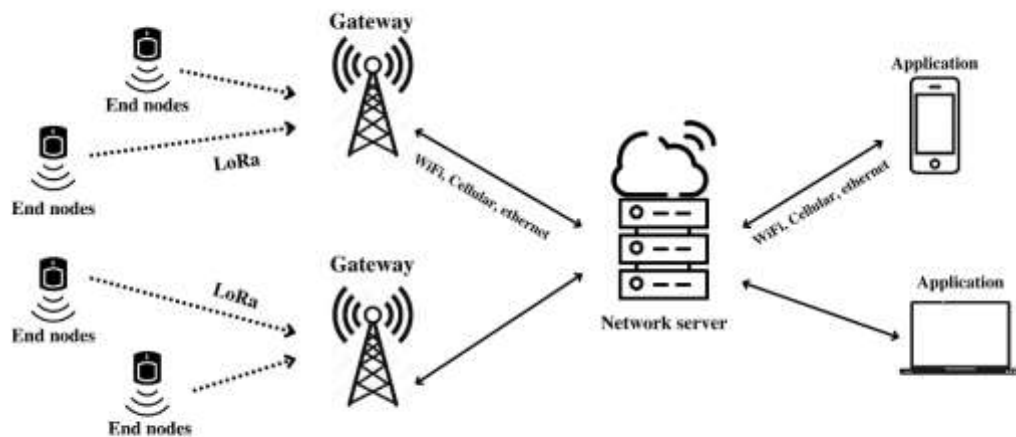


Gambar 2.1 Perbandingan performansi teknologi nirkabel

Spektrum penyebaran pada LoRa menggunakan modulasi *Chrip Spread Spectrum* (CSS) [11]. Dengan modulasi *Chrip Spread Spectrum* (CSS) tersebut LoRa mampu mengirimkan data dari jarak jauh dengan daya yang rendah. Modulasi *Chrip Spread Spectrum* (CSS) juga beroperasi pada pita frekuensi ISM (*Industrial, Scientific, and Medical*). Pita frekuensi ISM (*Industrial, Scientific, and Medical*) ini tidak berlisensi dan tergantung pada regulasi masing-masing negara dan wilayah [12]. Pita frekuensi ISM (*Industrial, Scientific, and Medical*) ini juga dirancang untuk keperluan industri, ilmiah dan medis. Pita frekuensi ini digunakan tanpa memperoleh lisensi dan pengguna harus membayar biaya selama kebutuhannya terpenuhi dan tidak terjadi gangguan yang muncul karena pita frekuensi lain. Karakteristik pita frekuensi ISM ini memiliki tujuan agar tidak menimbulkan

terjadinya interferensi dengan perangkat ISM maupun perangkat telekomunikasi lainnya. Hal ini sudah diinformasikan dalam rekomendasi ITU-R SM.1056.

Jaringan LoRaWAN terdiri dari *end nodes*, *gateway*, *network server*, dan *applications* seperti pada Gambar 2.2 yang merupakan arsitektur dari jaringan LoRaWAN. Pada Gambar 2.2 dapat dilihat bahwa arsitektur jaringan LoRaWAN terdiri dari beberapa bagian dan memiliki fungsi serta peran masing-masing. Bagian-bagian tersebut diantaranya *End nodes* yang memiliki fungsi sebagai perangkat yang terhubung dengan sensor, *gateway* yang memiliki fungsi sebagai komponen penghubung atau gerbang antara *end device* dengan *network server*, dan *network server* sendiri memiliki fungsi sebagai jaringan *interface* ke semua jaringan mulai dari *end device*, *gateway*, dan *application*.



Gambar 2.2 Arsitektur jaringan LPWAN

2.2.2 Parameter LoRa

Parameter LoRa merupakan ukuran yang dapat menentukan performansi teknologi LoRa, parameter tersebut diantaranya sebagai berikut.

2.2.2.1 Spreading factor (SF)

Spreading factor yang disingkat SF merupakan faktor penyebaran yang merepresentasikan seberapa banyak *chip* yang dipakai dalam mewakili satu simbol. Nilai *Spreading factor* adalah 7-12, dimana tiap nomor pada SF menunjukkan berapa banyak *chips* yang dimodulasi per simbol. *Spreading factor* yang lebih tinggi meningkatkan *Signal to Noise Ratio*, *Bit rate*, sensitivitas, dan juga jangkauan. Semakin besar nilai *Spreading factor* maka semakin besar *noise* yang diperoleh. Misalkan pada SF7 akan memberikan kecepatan bit yang lebih tinggi dan sensitivitas yang lebih tinggi juga dibandingkan SF10, namun hal itu tetap tergantung dengan jangkauan yang dimiliki. Seperti pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Hubungan pengaruh SF

<i>Spreading factor</i>	<i>Chips/symbol</i>	SNR limit	<i>Bit rate</i> (bps) (<i>Bandwidth</i> 125 KHz)	Sensitivitas Penerima (<i>Bandwidth</i> 125 KHz)
SF7	128	-7,5	5469	-123 dBm
SF8	256	-10	3125	-126 dBm
SF9	512	-12,5	1758	-129 dBm
SF10	1024	-15	977	-132 dBm
SF11	2048	-17,5	537	-134.5 dBm
SF12	4096	-20	293	-137 dBm

Pada Tabel 2.1 dapat diartikan bahwa *Spreading factor* yang tinggi serta jangkauan yang lebih besar maka akan memberikan sensitivitas penerima dan *bit rate* yang rendah. Pada umumnya, LoRa akan menggunakan *Spreading factor* yang tinggi apabila sinyal lemah. Sensitivitas penerima pada LoRa dapat dihitung dengan rumus (2.1) berikut [8]:

$$S = -174 + 10 \text{ Log } (BW) + NF + (-SNR \text{ limit}) \quad (2.1)$$

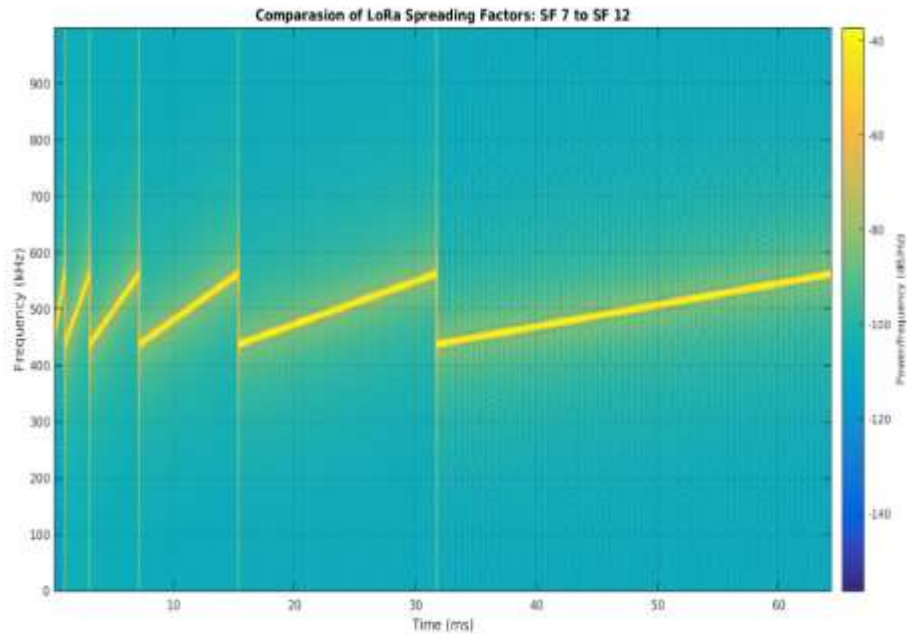
Keterangan:

S = Sensitivitas (dBm)

BW = *Bandwidth* (KHz)

NF = *Noise Figure* penerima (dB)

SNR = *Signal to Noise Ratio* (dB)



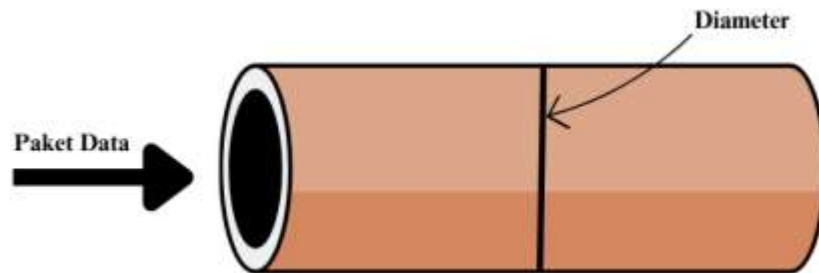
Gambar 2.3 Spektogram perbandingan SF7-12 pada LoRa [13]

Pada Gambar 2.3 menunjukkan hasil perbandingan SF7 sampai SF 12 terhadap waktu. Spektogram tersebut menunjukkan bahwa waktu yang diperlukan untuk mentransfer 1 *chirp* semakin besar seiring dengan bertambahnya besar SF.

2.2.2.2 *Bandwidth* (BW)

Bandwidth yang disingkat BW merupakan lebar frekuensi pada pita transmisi. *Bandwidth* juga dapat diartikan sebagai besaran yang menunjukkan seberapa banyak data yang dapat dilewatkan melalui sebuah jaringan yang dihitung dalam satuan waktu bit per *second* (bps). *Bandwidth* dapat diilustrasikan sebagai diameter pipa air dimana air sebagai paket data yang akan ditransfer melalui pipa tersebut. Pipa akan menentukan seberapa banyak air yang akan ditransfer, sama halnya dengan *Bandwidth* yang akan menentukan seberapa banyak atau seberapa besar

paket data yang akan ditransfer. Ilustrasi dari *Bandwidth* dapat dilihat pada Gambar 2.4 seperti di bawah ini.



Gambar 2.4 Ilustrasi *Bandwidth*

Agar penggunaan *Bandwidth* lebih efektif maka klien harus mengetahui kebutuhan layanan untuk dirinya sehingga dapat menghitung total *Bandwidth* yang dibutuhkan. Pada LoRa tinggi rendahnya nilai *Bandwidth* akan mempengaruhi kecepatan data dan sensitivitas. Semakin tinggi nilai *Bandwidth* maka kecepatan data akan semakin tinggi, namun sensitivitas yang dihasilkan lebih rendah disebabkan integrasi kebisingan tambahan. Begitu juga sebaliknya, semakin rendah nilai *Bandwidth* maka kecepatan data akan rendah, namun sensitivitas yang dihasilkan akan lebih tinggi. LoRa sendiri beroperasi pada pita 500 KHz, 250 KHz, dan 125 KHz. *Bandwidth* merepresentasikan *chip rate* dari modulasi sinyal LoRa yang dibuktikan dengan persamaan (2.2) berikut [14]

$$R_c = BW \quad (2.2)$$

Keterangan:

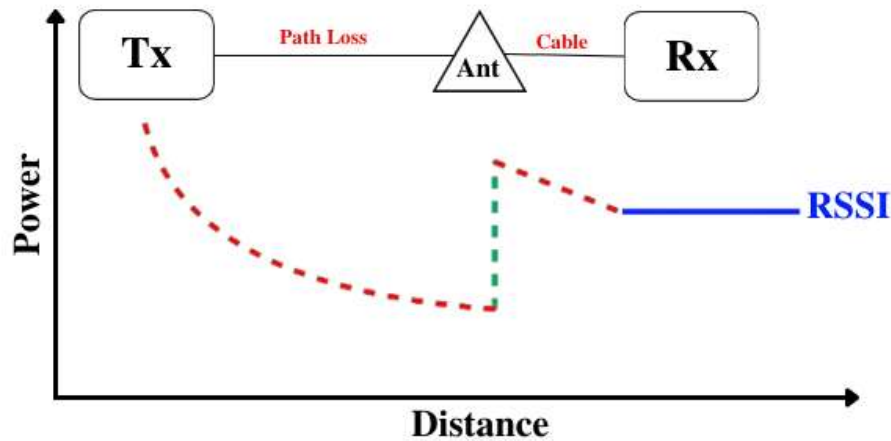
R_c = *Chip rate* (bps)

BW = *Bandwidth* (bps)

2.2.2.3 RSSI

Received Signal Strength Indicator (RSSI) merupakan ukuran tingkat daya yang diterima perangkat RF. Dalam komunikasi nirkabel *receiver* membutuhkan kekuatan sinyal yang baik untuk memisahkan sinyal informasi dan sinyal *carrier* yang ter modulasi, sehingga RSSI digunakan sebagai indikator dalam mengukur

kekuatan sinyal. Satuan dari RSSI sendiri adalah dBm dan nilainya dalam bentuk negatif. RSSI dapat dikatakan baik apabila nilainya mendekati nol, artinya sinyal yang diterima semakin kuat.



Gambar 2.5 Ilustrasi *Received Signal Strength Indicator*

Pada Gambar 2.5 dapat dilihat bahwa ketika *transmitter* memancarkan sinyal ke *receiver* maka selama sinyal ditransmisikan dengan jarak tertentu akan mengalami *path loss* seperti garis putus-putus berwarna merah. Selanjutnya, pada saat sinyal menyentuh *antena*, sinyal akan Kembali lagi dan *receiver* menerima sinyal yang telah ditransmisikan oleh kabel dengan memiliki indikasi RSSI. Dari Gambar 2.5 dapat disimpulkan bahwa terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi RSSI diantaranya adalah *path loss*, *antena Gain*, dan *connector loss* atau kabel seperti pada gambar. Besar RSSI dapat dihitung menggunakan rumus (2.3) sebagai berikut [15].

$$RSSI = P_t - P_L - 10n_p \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + x_\sigma \quad (2.3)$$

Keterangan:

$RSSI$ = *Received Signal Strength Indicator* (dBm)

P_t = Daya transmisi (dBm)

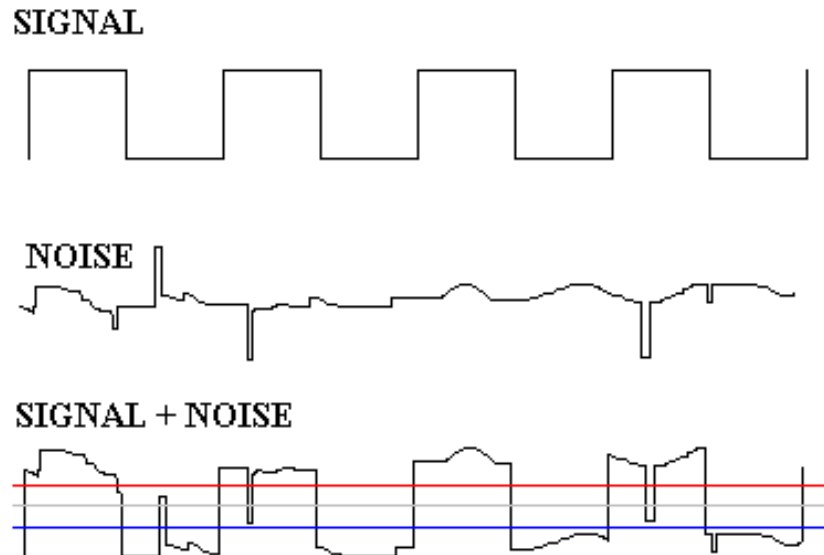
P_L = *Path loss*

n_p = *Path loss eksponen (tergantung kondisi propagasi)*

x_σ = $N(0, \sigma^2)$ (*Tergantung kondisi propagasi*)

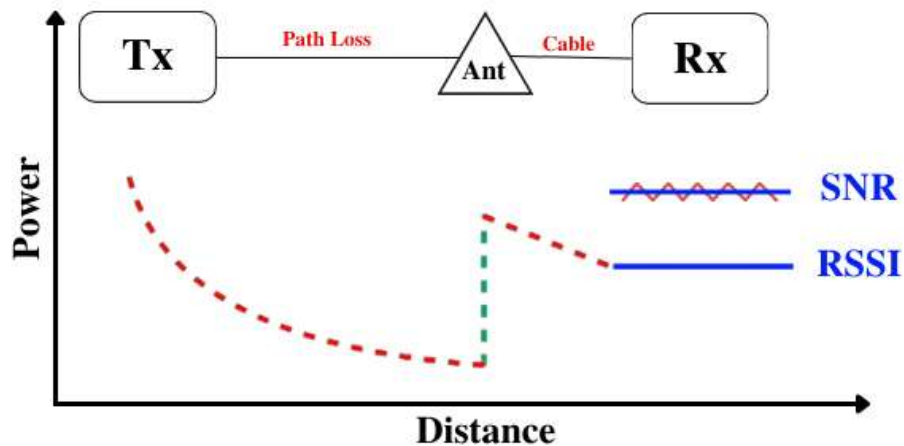
2.2.2.4 SNR

Signal to Noise Ratio (SNR) merupakan perbandingan antara besar sinyal dengan besar *noise* yang diperoleh. Hampir sama dengan RSSI, SNR juga dapat digunakan untuk menentukan kekuatan sinyal.



Gambar 2.6 Sinyal yang terkena *noise* [16]

Pada Gambar 2.6 merupakan ilustrasi sinyal yang terkena *noise*. Pada saat sinyal sampai di *receiver* *noise* tersebut akan merubah sedikit informasi yang dikirimkan oleh *transmitter*. Pada kondisi tersebutlah perbandingan SNR dapat diperhitungkan. Pada *Signal to Noise Ratio* (SNR) terdapat istilah *Noise Floor*. *Noise Floor* adalah ukuran sinyal atau *noise* di sekitar frekuensi yang digunakan. *Noise Floor* pada SNR terdapat dua kondisi yaitu $SNR > 0$ dan $SNR < 0$. Pada kondisi $SNR > 0$ sinyal yang diterima berada di atas *noise Floor*, sedangkan pada kondisi $SNR < 0$ sinyal yang diterima berada di bawah *noise Floor*.



Gambar 2.7 Ilustrasi *Signal to Noise Ratio*

Pada Gambar 2.7 merupakan ilustrasi SNR, gambar tersebut terdapat garis lurus biru yang terdapat *noise* berwarna merah yang merepresentasikan SNR. Berbeda dengan Gambar 2.5, gambar tersebut hanya merepresentasikan sinyal awal yaitu garis lurus biru (RSSI) tanpa menghadirkan besar *noisenya*. Ilustrasi SNR tersebut juga menunjukkan *noise Floor* dari sinyal yang diterima. Besar SNR dapat dihitung menggunakan rumus (2.4) sebagai berikut [17]:

$$SNR = P_s - P_n \quad (2.4)$$

Keterangan:

SNR = *Signal to Noise Ratio* (dBm)

P_s = Sinyal yang diterima

P_n = *Noise*

2.2.2.5 *Throughput*

Throughput merupakan salah satu parameter pada sistem komunikasi dalam melakukan proses pengiriman data. *Throughput* adalah besar paket yang sukses diterima oleh *transmitter* pada interval waktu tertentu yang kemudian dibagi oleh interval waktu tertentu atau disebut dengan lama waktu pengiriman. Besar *Throughput* dapat dihitung dengan rumus (2.5) di bawah ini [18].

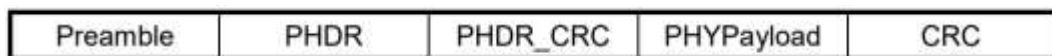
$$\text{Throughput} = \frac{\text{Paket data diterima}}{\text{Lama pengiriman}} \quad (2.5)$$

LoRa memiliki dua format paket data yaitu eksplisit dan implisit.

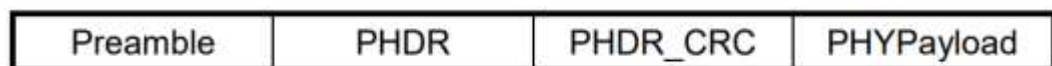
Pada format paket data eksplisit terdapat beberapa elemen sebagai berikut.

1. *Preamble*, digunakan untuk menyinkronkan *receiver* dengan *transmitter*. *Preamble* ini terdiri dari 8 simbol. Selanjutnya *transmitter* akan menambahkan 4.25 simbol lagi sehingga memiliki total *Preamble* 12.25 simbol.
2. PHDR (*Physical Header*), merupakan elemen opsional yang hanya ada pada format paket data eksplisit. PHDR ini berisi informasi ukuran *payload* dan CRC (*Cyclic Redundancy Check*).
3. PHDR CRC (*Header CRC*), merupakan elemen opsional yang berisi kode pendeteksi kesalahan pada *header*.
4. PHY*Payload*, berisi *frame* lengkap yang diperoleh dari lapisan MAC. *Payload* memiliki ukuran maksimum yang bervariasi berdasarkan berdasarkan *data rate*.
5. CRS, merupakan elemen opsional yang berisi kode pendeteksi kesalahan untuk mengoreksi kesalahan pada pesan *uplink*.

Struktur paket *uplink* dan *downlink* pada format paket data eksplisit pada LoRa adalah seperti pada Gambar 2.8 dan Gambar 2.9 berikut.



Gambar 2.8 Susunan paket data *uplink* format eksplisit [19]



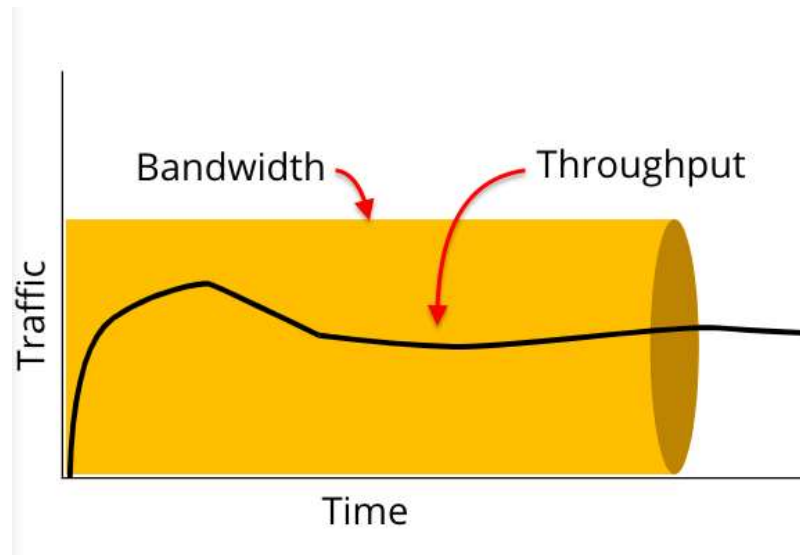
Gambar 2.9 Susunan paket data *downlink* format eksplisit [19]

Sedangkan format paket data implisit *header* dihilangkan dari paket di mana besar *payload* dan tingkat pengodean telah ditetapkan sebelumnya. Struktur paket pada format implisit dapat dilihat pada Gambar 2.10 sebagai berikut.



Gambar 2.10 Susunan paket data format implisit [19]

BCNPayload pada Gambar 2.10 merupakan paket radio LoRa yang berfungsi untuk mengirimkan informasi sinkronisasi waktu dari *gateway* ke *end device*.

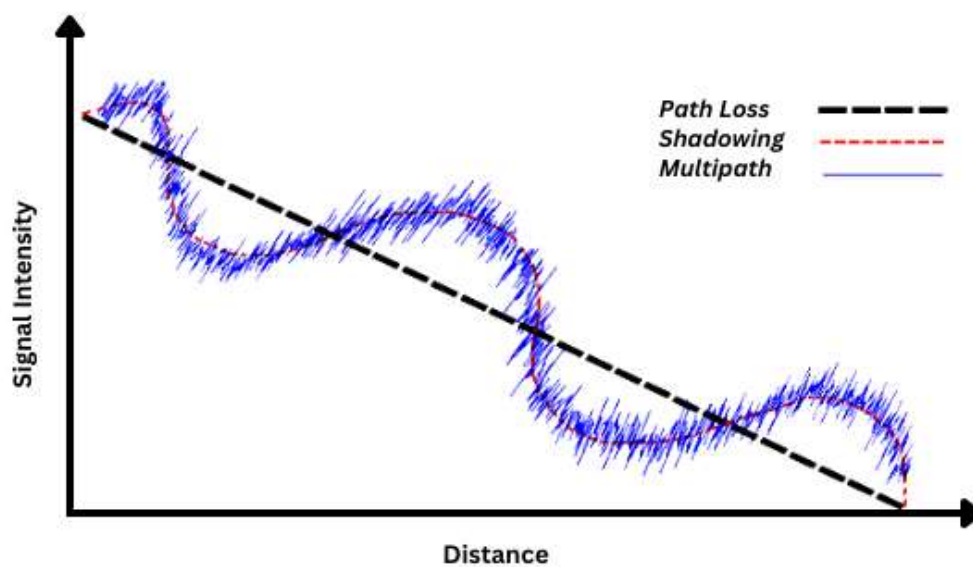


Gambar 2.11 *Throughput* [18]

Throughput memiliki kaitan erat dengan *Bandwidth* seperti pada gambar 2.11 di atas, gambar tersebut menunjukkan bahwa *Bandwidth* yang berwarna kuning merupakan lebar jalur dari *Throughput*. *Throughput* sendiri diilustrasikan sebagai garis hitam pada gambar. Jika diperhatikan *Throughput* mengarah kepada besar *Bandwidth* yang sebenarnya pada waktu tertentu menyesuaikan kondisi jaringan. Namun *Bandwidth* dapat dinaikan yang akan menimbulkan performa komunikasi dengan *noise to signal ratio* tertentu akan lebih baik. Hal tersebut berdasarkan teorema Shannon-Hartley yang membahas kapasitas kanal. *Bandwidth* yang lebih besar dapat mengompensasi kerugian dari SNR. Pada modulasi CSS ini data yang akan dikirim dikalikan dengan *spreading code* yang memiliki frekuensi yang jauh lebih tinggi, sehingga jika kedua sinyal dikalikan *Bandwidth* dari keluaran sinyal akan lebih lebar dari *Bandwidth* asli [20].

2.2.3 Path loss

Path loss merupakan perbedaan daya yang dikirim *transmitter* dengan daya yang diterima *receiver* dalam bentuk dB. *Path loss* digunakan untuk mengukur besar *loss* yang disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah kontur wilayah dan cuaca. Nilai *Path loss* juga digunakan untuk menunjukkan level sinyal yang mengalami pelemahan atau *attenuation* yang disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah *reflection*, *diffraction*, dan *scattering*.



Gambar 2.12 *Path loss*

Pada umumnya untuk memodelkan *Path loss* harus melibatkan efek *shadowing* dan *multipath*. Jika digambarkan tanpa efek variabel lainnya maka *Path loss* digambarkan hanya berupa garis lurus terhadap jarak. Pada Gambar 2.12 merupakan gambar *Path loss* terhadap *shadowing* dan *multipath*. *Path loss* akan selalu bervariasi dikarenakan faktor lainnya. Nilai *Path loss* dapat dihitung menggunakan rumus (2.6) [21] dengan menyesuaikan kondisi lingkungan sebagai *Path loss* eksponen seperti pada Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2 Referensi *Path loss* eksponen terhadap lingkungan [21]

<i>Environment</i>	<i>Path loss</i> eksponen (γ)
<i>Urban macrocells</i>	3,7-6,5
<i>Urban microcells</i>	2,7-3,5
<i>Office building (same Floor)</i>	1,6-3,5
<i>Office building (multiple Floors)</i>	2-6
<i>Store</i>	1,8-2,2
<i>Factory</i>	1,6-3,3
<i>Home</i>	3

$$P_r = P_t + 10 \gamma \text{Log}_{10} \frac{d}{d_0} \quad (2.6)$$

Keterangan:

P_r = Tingkat daya yang diukur pada penerima (dBm)

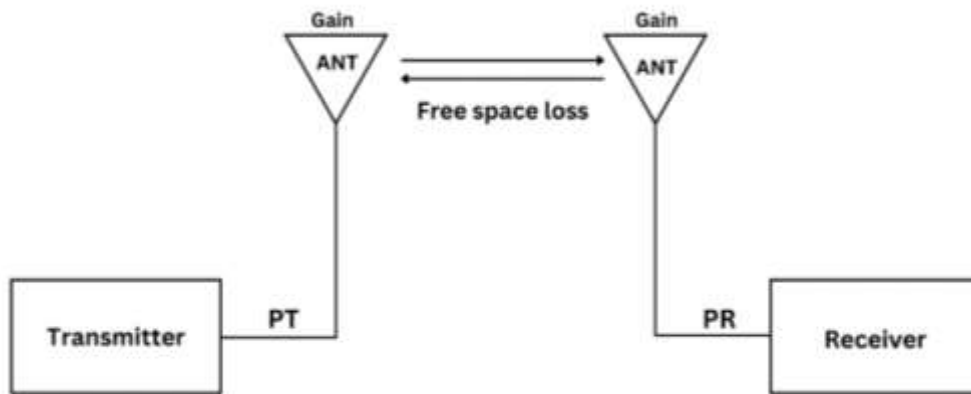
P_t = Daya yang ditransmisikan (dBm)

γ = *Path loss* eksponen

d = Jarak *transmitter* dengan *receiver* (m)

d_0 = Jarak lognormal

Membahas *Path loss* tidak terlepas dengan *Free Space Loss*. *Free Space Loss* merupakan redaman ruang bebas yang ada di sepanjang ruang antara antena *transmitter* dan *receiver* seperti pada Gambar 2.13. Pada saat *transmitter* memancarkan sinyalnya ke *receiver* semakin jauh jarak yang ditempuh maka dayanya akan semakin berkurang sekalipun tidak terdapat *obstacle* di sepanjang lintasan. Dapat disimpulkan bahwa redaman akan semakin besar apabila jarak tempuh semakin jauh. Seperti pada Gambar 2.13 tidak terdapat adanya *obstacle* atau penghalang karena kondisi *Free Space Loss* merupakan keadaan dimana redaman pada ruang bebas tanpa *obstacle*.



Gambar 2.13 *Free Space Loss*

Besar *Free Space Loss* dapat dihitung menggunakan rumus (2.7) seperti di bawah [14]:

$$FSPL = 32,44 + 20 \text{Log}_{10} d + 20 \text{Log}_{10} f \quad (2.7)$$

Keterangan:

$FSPL$ = *Free Space Loss* (dB)

d = Jarak (Km)

f = Frekuensi (MHz)

2.2.4. *Coverage Planning*

Coverage planning merupakan suatu perencanaan yang digunakan untuk menentukan cakupan area yang mampu dilayani oleh *gateway* dengan mempertimbangkan luas wilayah. *Coverage planning* dilakukan berdasarkan model propagasi yang digunakan. Dalam menentukan model propagasi dan melakukan perencanaan jaringan perlu diperhatikan karakteristik keadaan wilayah yang akan dijadikan lokasi perencanaan jaringan. Berikut merupakan pembagian keadaan wilayah:

1. Daerah Urban



Gambar Gambar 2.14 Daerah urban [22]

Gambar 2.14 merupakan contoh dari gambar daerah urban. Seperti Gambar 2.14 dapat dikatakan bahwa daerah urban merupakan suatu daerah yang kondisinya padat penduduk dan terdapat bangunan bertingkat. Daerah urban juga biasanya merupakan pusat perkotaan yang kegiatan utamanya bukan pertanian. Contoh dari daerah urban di antaranya adalah kota Jakarta, kota Bekasi, kota Bandung, dan masih banyak lagi.

2. Daerah Sub urban



Gambar 2.15 Daerah Sub urban [23]

Gambar 2.15 merupakan contoh dari gambar daerah Sub urban. Pada umumnya daerah Sub urban merupakan daerah pemukiman yang tingkat kepadatan penduduknya tidak terlalu tinggi. Seperti pada Gambar 2.15 bahwa daerah Sub urban ini letaknya berada dekat dengan perkotaan. Biasanya daerah Sub urban muncul karena adanya pemekaran kota. Berbeda dengan daerah urban, daerah Sub urban biasanya masih terdapat lahan pertanian. Contoh daerah Sub urban di antaranya adalah kabupaten Banyumas, kota Serang, kota Banjar, kota Cimahi, dan masih banyak lagi.

3. Daerah Rural



Gambar 2.16 Daerah rural [24]

Gambar 2.16 merupakan contoh gambar daerah rural. Daerah rural merupakan daerah yang tergolong memiliki populasi penduduk yang sedikit. Dapat dikatakan daerah rural merupakan daerah yang terdiri dari pedesaan dan memiliki lahan pertanian yang cukup luas sehingga pada daerah rural biasanya kegiatan utamanya adalah pertanian. Contoh dari daerah rural di antaranya adalah kabupaten Karawang, kabupaten Indramayu, kabupaten Ngawi, dan masih banyak lagi.

1.2.5. Radio Propagasi

Propagasi merupakan proses perambatan gelombang. Propagasi sangat erat kaitannya dengan gelombang radio. Pada saat *transmitter* bekerja maka *transmitter*

akan memancarkan gelombang radio bersamaan dengan informasi menuju *receiver*. Gelombang radio yang dipancarkan oleh *transmitter* adalah gelombang elektromagnetik. Gelombang radio ini memiliki sifat seperti cahaya yang dapat dipantulkan, dibiaskan, dan dipolarisasikan. Perambatan gelombang sendiri lintasannya terbagi menjadi tiga macam yaitu sebagai berikut:

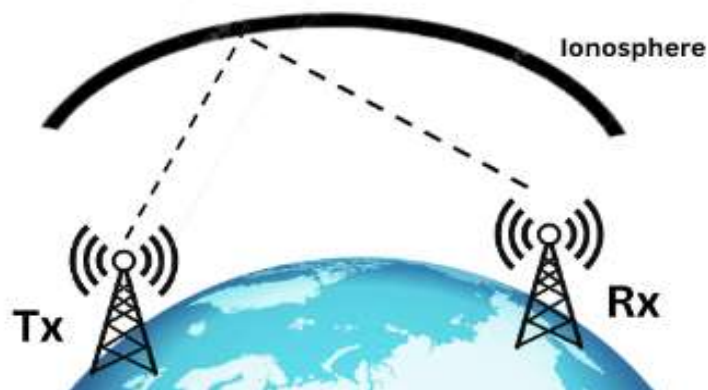
1. Propagasi gelombang tanah



Gambar 2.17 *Ground wave propagation*

Propagasi gelombang tanah atau yang lebih dikenal dengan *Ground wave propagation* merupakan propagasi yang terjadi di sepanjang permukaan bumi atau tanah. Seperti Gambar 2.17 pada propagasi gelombang tanah ini gelombang harus terpolarisasi secara vertikal atau garis gaya listriknya tegak lurus terhadap permukaan bumi atau tanah. Apabila secara horizontal maka bumi akan menghubungkan singkatkan medan listriknya.

2. Propagasi gelombang langit



Gambar 2.18 *Sky wave propagation*

Propagasi gelombang langit atau yang lebih dikenal dengan *Sky wave propagation* merupakan propagasi yang terjadi di sepanjang lapisan *ionosphere*. Seperti pada Gambar 2.18 propagasi ini dapat menempuh jarak yang jauh akibat pemantulan lintasan pada *ionosphere*. pada propagasi gelombang langit ini juga akan menghasilkan sudut tertentu terhadap muka bumi.

3. Propagasi gelombang langsung



Gambar 2.19 *Direct wave propagation*

Propagasi gelombang langsung atau yang lebih dikenal dengan *Direct wave propagation* merupakan propagasi yang terjadi secara *Line of Sight* atau tanpa mengalami pemantulan seperti pada Gambar 2.19. Pada propagasi langsung ini jarak transmisi yang dapat dijangkau relatif pendek dan dibatasi oleh tinggi antenna Tx dan Rx. Ketiga jenis propagasi tersebut memiliki hubungan dengan frekuensi seperti pada Tabel 2.3 di bawah ini:

Tabel 2.3 Hubungan frekuensi dengan jenis gelombang

Frekuensi	Propagasi umumnya
<500 KHz	Gelombang permukaan
500 KHz – 1,5 MHz	Gelombang permukaan untuk jarak pendek dan gelombang <i>ionosphere</i> untuk jarak yang lebih Panjang
1,5 MHz – 30 MHz	Gelombang <i>ionosphere</i>

>30 MHZ	Gelombang ruang dalam arah segaris pandang
---------	--------------------------------------------

1.2.5.1. Shadowing

Shadowing merupakan keadaan dimana daya sinyal berfluktuasi yang disebabkan oleh keberadaan obyek pemantul atau penghalang pada kanal propagasi. *Shadowing* dapat menimbulkan perubahan sinyal dalam hal energi, fasa, bahkan *delay*.



Gambar 2.20 *Shadowing*

Gambar 2.20 merupakan ilustrasi saat transmisi mengalami *shadowing*. Jika sinyal mengalami kondisi tersebut akibatnya sinyal akan mengalami *reflection*, *Scattering*, dan *diffraction*. Pada penjelasan bagian *Path loss* sebelumnya, *shadowing* memiliki kaitan erat dengan *shadowing*. Maka pada perhitungan *Path loss* setelah digabungkan dengan *shadowing* akan menjadi seperti rumus (2.8) di bawah ini [25]:

$$P_L(d) = \bar{P}_L(d_0) + 10\alpha \text{Log} \left(\frac{d}{d_0} \right) + x \quad (2.8)$$

Keterangan:

$P_L(d)$ = *Path loss* jarak normal (dBm)

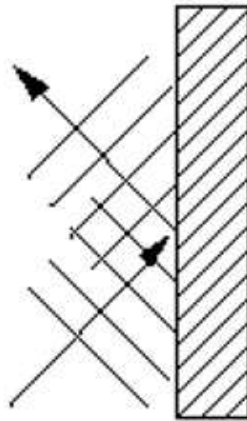
$\bar{P}_L(d_0)$ = *Path loss* jarak lognormal (dBm)

d = Jarak *transmitter* dengan *receiver* (m)

d_0 = Jarak lognormal (dBm)
 x = Distribusi normal (gaussian)

Pada rumus di atas terdapat x (*chi*) yang merupakan distribusi normal (Gaussian) dimana x ini merepresentasikan efek *shadowing*. Dari efek *shadowing* ini mengakibatkan daya yang diterima *receiver* berbeda dengan jarak yang sama akan menghasilkan perbedaan daya dan akan terdistribusi lognormal.

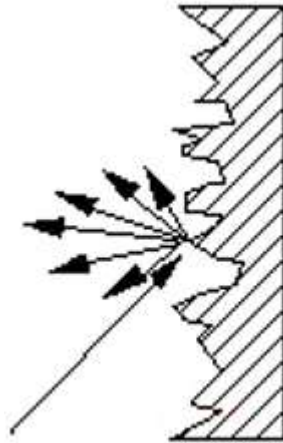
2.2.5.2. Reflection



Gambar 2.21 Reflection [21]

Reflection merupakan keadaan sinyal ketika mengenai suatu penghalang yang luas permukaannya relatif lebih besar dibanding gelombang sinyal. Seperti pada Gambar 2.21 sinyal yang datang ke *receiver* merupakan sinyal hasil pantulan dari penghalang. Pemantulan sinyal ini mengakibatkan sinyal mengalami redaman. Adapun redaman akibat *reflection* ini dipengaruhi beberapa faktor diantaranya adalah frekuensi, sudut pantul yang dihasilkan, dan sifat material penghalang.

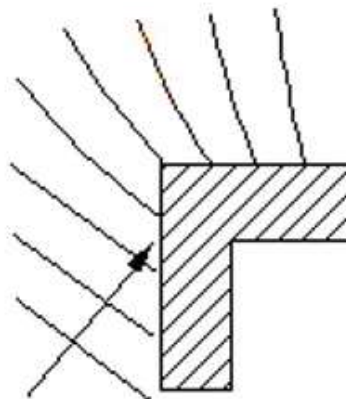
2.2.5.3. Scattering



Gambar 2.22 *Scattering* [21]

Scattering merupakan keadaan sinyal ketika mengenai suatu penghalang yang luas permukaannya relatif lebih kecil dan kasar. Seperti pada Gambar 2.22 sinyal yang datang ke *receiver* merupakan sinyal hamburan akibat bertabrakan dengan penghalang. Sinyal yang bertabrakan dengan penghalang tersebut akan tersebar menjadi beberapa sinyal yang lebih lemah sehingga sinyal sulit diperkirakan.

2.2.5.4. Diffraction

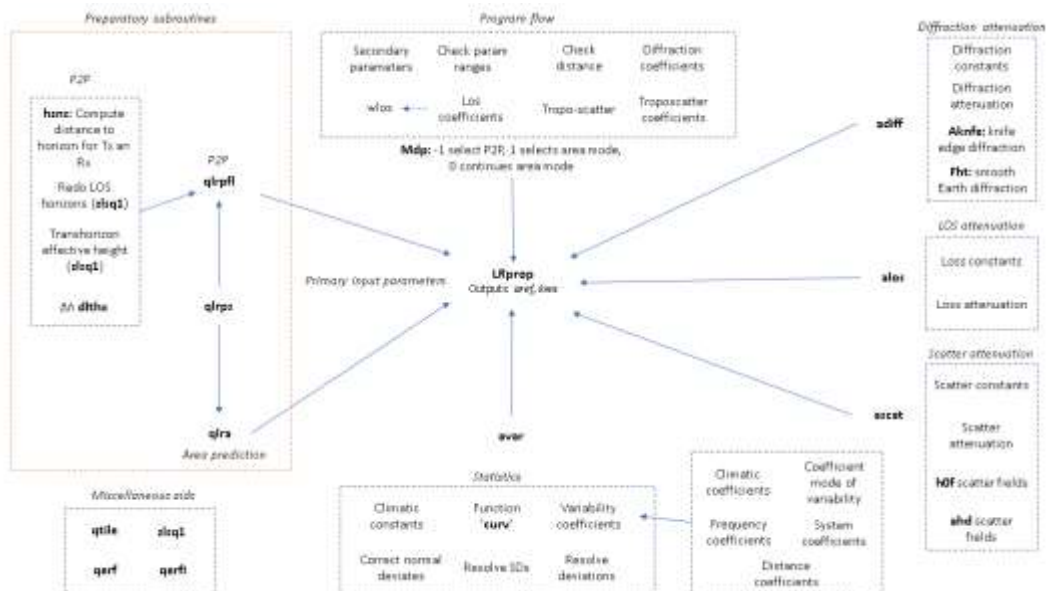


Gambar 2.23 *Diffraction* [21]

Diffraction merupakan keadaan sinyal ketika mengenai suatu penghalang yang tajam dan relatif lebih besar dibanding gelombang sinyal. Seperti pada Gambar 2.23 sinyal yang datang dari *transmitter* dihalangi oleh permukaan yang tajam mengalami pembelokan.

2.2.6. Pemodelan *Irregular Terrain*

Model propagasi *Irregular Terrain* atau yang sering dikenal dengan model Longley-Rice merupakan model propagasi klasik yang dikembangkan oleh *Central Radio Propagation Laboratory* selama tahun 1960 di Colorado, Amerika Serikat. Model propagasi *Irregular Terrain* ini dikembangkan oleh AG Longley dan PL Rice. Model propagasi ini dapat memprediksi *path loss* pada kontur wilayah yang tidak teratur.



Gambar 2.24 Alur program, *sub routine*, dan statistik pada ITM [26]

Gambar 2.24 tersebut merupakan gambaran tentang alur program, *sub routine*, dan statistik pada model propagasi *Irregular Terrain Model*. Singkatnya, di dalam garis putus merah tersebut merupakan parameter *input* pada ITM diantaranya adalah perhitungan jarak Tx dan Rx, Redo LOS horizons, dan Transhorizon effective height. Kemudian parameter *input* tersebut akan diolah oleh

sub routine dan akan menghasilkan *output* seperti *diffraction attenuation*, *LOS attenuation*, dan *scatter attenuaition*. *Output* tersebut akan memberikan informasi yang berguna bagi pengguna model propagasi ITM untuk mengevaluasi karakteristik sinyal radio di wilayah yang dipilih.

Model *Irregular Terrain* ini digunakan pada rentang frekuensi antara 20 MHz hingga 20 GHz. Panjang jalurnya dapat dimulai dari 1 km hingga 2000 Km untuk telekomunikasi. Model propagasi *Irregular Terrain* memiliki rumus umum seperti pada rumus (2.9) sampai (2.13) sebagai berikut [27].

$$L = A + L_b \quad (2.9)$$

Keterangan:

L = *Path loss* total (dB)

A = Faktor koreksi (tergantung frekuensi dan keadaan lingkungan)

L_b = *Path loss* bebas (dB)

Rumus (2.9) merupakan rumus untuk menghitung total *path loss* dalam propagasi *Irregular Terrain*. Pada rumus (2.9) tersebut memperhitungkan besar *path loss* bebas dan faktor koreksi dengan satuan dB. Di mana *path loss* bebas merupakan *path loss* yang terjadi secara alami pada jalur transmisi tanpa adanya faktor tambahan seperti *obstacle*, *path loss* dasar ini dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jarak antara *transmitter* dengan, frekuensi sinyal radio, dan daya *transmitter*. Sedangkan *path loss* tambahan merupakan *path loss* yang muncul akibat adanya faktor tambahan seperti *obstacle* dan interferensi. Untuk menentukan besar *path loss* dasar maka digunakan rumus sebagai berikut [28].

$$L_b = 32.45 + 20 \log(f) + 20 \log(r) \quad (2.10)$$

Keterangan:

L_b = *Path loss* bebas (dB)

r = Jarak *transmitter* dengan *receiver* (km)

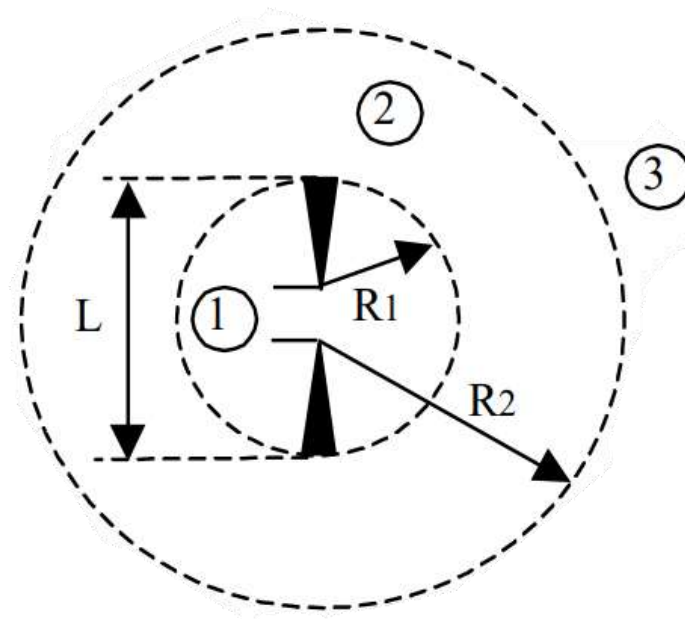
f = Frekuensi (MHz)

Rumus 2.10 merupakan rumus untuk menentukan besar *path loss* dasar yang akan digunakan pada rumus umum *path loss Irregular Terrain*. Pada rumus ini nilai 32.45 merupakan faktor yang dihitung berdasarkan kondisi lingkungan dan

frekuensi yang digunakan. 32.45 untuk daerah di mana model propagasi *Irregular Terrain* digunakan yaitu Colorado, jadi besar konstanta tersebut menyesuaikan wilayah. Selain itu, nilai $20\log(r)$ menunjukkan peningkatan jumlah kerugian daya sinyal karena jarak semakin besar maka semakin jauh, sedangkan nilai $20\log(f)$ menunjukkan bahwa semakin besar frekuensi yang digunakan maka kerugian daya sinyal yang diperoleh akan lebih besar.

2.2.7. Antena

Terdapat beberapa parameter penting yang sangat diperhatikan pada propagasi *Irregular Terrain* diantaranya adalah frekuensi yang digunakan, *Effective Radiated Power* (ERP), jenis antena, ketinggian antena, dan polarisasi antena. Berbicara mengenai jenis antena, pada model propagasi *Irregular Terrain* ini antena merupakan komponen penting dalam komunikasi. Antena pada model propagasi *Irregular Terrain* dirancang agar mampu mengatasi perbedaan ketinggian dan topografi. Topografi merupakan keadaan permukaan bumi seperti ketinggian dan kemiringan. Topografi yang tidak beraturan dapat mempengaruhi pola radiasi antena sehingga akan mempengaruhi kualitas sinyal yang diterima.



Gambar 2.25 Medan di sekitar antena [29]

Balanis dan Kraus membedakan daerah antenna menjadi 3 yaitu daerah medan reaktif, daerah medan dekat, dan daerah medan jauh. Seperti pada Gambar 2.25 tersebut pada bagian yang ditandai dengan angka 1 merupakan daerah antenna medan reaktif yang mana daerah tersebut sebagai daerah medan listrik dan magnet yang menyimpan energi elektromagnetik. Daerah medan reaktif sangat sensitif terhadap benda logam karena akan mempengaruhi karakteristik antenna. Selanjutnya bagian yang ditandai dengan angka 2 merupakan daerah antenna medan dekat, di mana daerah tersebut medan listrik dan magnet belum transversal penuh. Daerah yang ditandai dengan angka 3 merupakan daerah antenna medan jauh, pada daerah tersebut medan listrik dan magnet transversal penuh dan keduanya tegak lurus terhadap arah perambatan gelombang.

Selain itu, perhitungan impedansi antenna juga harus diperhatikan dalam perancangan model propagasi *Irregular Terrain*. Impedansi dapat dipengaruhi oleh perbedaan ketinggian yang ada sehingga akan menyebabkan sinyal yang ditransmisikan tidak efektif. Antenna dapat dibagi menjadi dua kategori karakteristik utama yaitu karakteristik radiasi dan karakteristik impedansi.

2.2.8.1. Karakteristik Radiasi

Karakteristik Radiasi mengacu pada kemampuan antenna untuk memancarkan dan menerima gelombang elektromagnetik dalam arah tertentu. Karakteristik radiasi diantaranya adakah sebagai berikut:

1. Direktivitas

Direktivitas merupakan kemampuan antenna untuk memfokuskan energi dalam arah tertentu. Direktivitas merepresentasikan pengarahannya antenna, semakin besar direktivitas maka dapat diartikan *beamwidth* nya akan semakin sempit. Besar direktivitas dapat didefinisikan dengan rumus (2.12) sebagai berikut [30], [31].

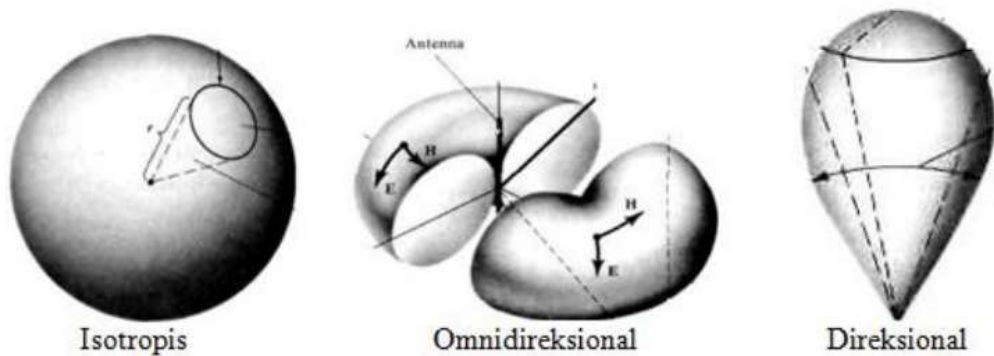
$$D = \frac{4\pi}{A_e} \quad (2.12)$$

Keterangan:

D = Direktivitas antenna (dBi)

A_e = Luas efektif (m^2)

Luas efektif antenna dapat dihitung berdasarkan pola radiasi antenna dan dapat bervariasi tergantung pada bentuk dan dimensi antenna. Semakin besar nilai direktivitas, semakin fokus atau terarah pola radiasinya, selain itu sinyal yang diterima *transmitter* akan semakin kuat.



Gambar 2.26 Jenis pola radiasi [32]

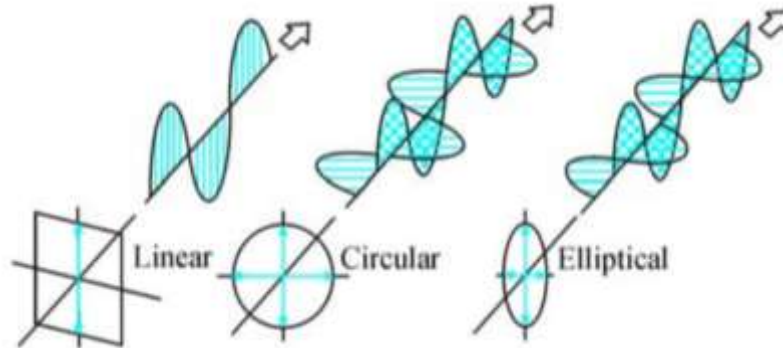
Gambar 2.26 merupakan macam-macam pola radiasi di mana Pola radiasi adalah pola yang terbentuk dari distribusi daya yang diradiasikan oleh antenna ke udara atau suatu ruang. Ada 3 jenis pola radiasi, yaitu isotropis, direksional dan omnidireksional seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.26. Pola isotropis adalah pola radiasi yang memiliki pancaran yang sama besar di segala arah. Pola direksional memiliki pancaran utama dalam arah tertentu. Sedangkan pola omnidireksional memiliki pancaran ke segala arah pada bidang tertentu saja dan daya yang diradiasikan adalah nol pada arah lain.

2. Polarisasi

Polarisasi merupakan arah getaran medan listrik dari gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh antenna. Untuk mengetahui arah polarisasi antenna dapat menggunakan rumus (2.13) sebagai berikut [30], [31]

$$Polarisasi = \cos(\theta) \quad (2.13)$$

(θ) Merupakan sudut antara sumbu polarisasi antenna dengan sumbu pengamatan. Pada antenna terdapat 3 polarisasi diantaranya adalah polarisasi vertikal, polarisasi *circular*, dan polarisasi *elliptical*.



Gambar 2.27 Polarisasi pada antenna [33]

Pada Gambar 2.27 tersebut dapat dilihat bahwa polarisasi yang terjadi pada antenna terdapat 3 macam. Pada polarisasi linear suatu gelombang yang berubah menurut waktu pada suatu titik di ruang memiliki vektor medan elektrik (magnet) pada titik tersebut selalu berorientasi pada garis lurus yang sama pada setiap waktu. Sedangkan polarisasi *circular* terjadi jika suatu gelombang yang berubah menurut waktu pada suatu titik memiliki vektor medan elektrik (magnet) pada titik tersebut berada pada jalur lingkaran sebagai fungsi waktu. Yang ketiga adalah polarisasi *elliptical*, polarisasi *elliptical* ini terjadi ketika gelombang yang berubah menurut waktu memiliki vektor medan (elektrik atau magnet) berada pada jalur kedudukan elips pada ruang.

3. Gain

Gain merupakan rasio antara radiasi maksimum dalam arah tertentu dengan radiasi isotropik. *Gain antenna* dapat dihitung menggunakan rumus (2.14) sebagai berikut [30], [31].

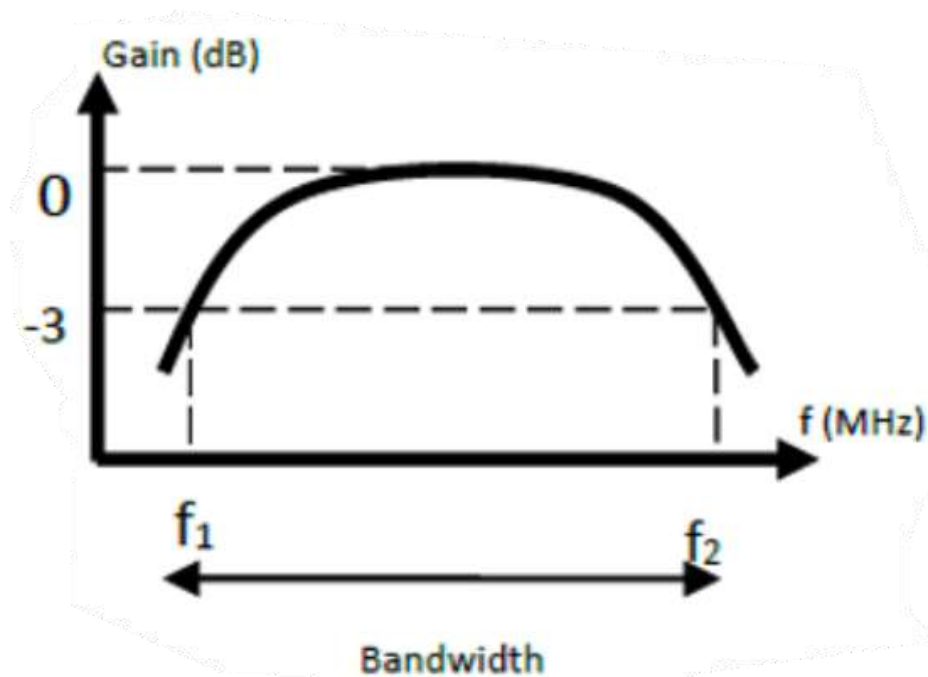
$$Gain = 4\pi(\text{antena efficiency}) \left(\frac{\text{antena effective aperture}}{\lambda} \right)^2 \quad (2.14)$$

Keterangan:

G_{ain} : perbandingan kekuatan sinyal (dB)

λ : Panjang gelombang (m)

Pada rumus (2.14) di atas antenna *efficiency* didefinisikan sebagai rasio antara daya yang dipancarkan dan daya yang diterima antenna. Sedangkan antenna *effective aperture* didefinisikan sebagai daerah efektif antenna yang menangkap atau memancarkan sinyal elektromagnetik. Gambar 2.28 menunjukkan berapa banyak daya yang dapat dipancarkan oleh antenna pada sudut elevasi tertentu. Semakin tinggi *gain*, semakin efektif antenna dalam memancarkan energi dalam arah tertentu. Grafik tersebut menunjukkan bahwa *gain* antenna meningkat dengan sudut elevasi, mencapai puncak pada sudut elevasi tertentu, dan kemudian mulai menurun.



Gambar 2.28 *Gain* antenna [34]

4. *Bandwidth*

Bandwidth di sini di sini didefinisikan dengan rentang frekuensi di mana antenna bekerja dengan baik. Rumus (2.15) berikut ini merupakan rumus untuk menentukan besar *Bandwidth* yang digunakan pada antenna [30], [31].

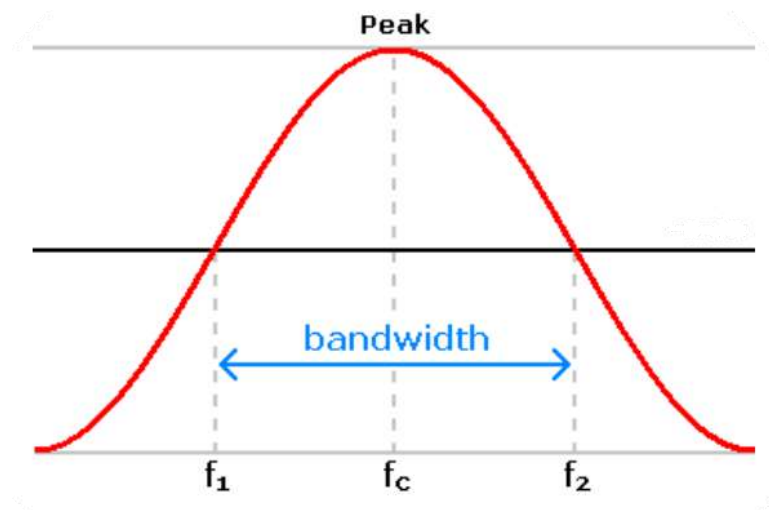
$$\text{Bandwidth} = f_2 - f_1 \quad (2.15)$$

Keterangan:

f_2 : Frekuensi atas (Hz)

f_1 : Frekuensi bawah (Hz)

Untuk mengetahui rentang frekuensi, dapat dilakukan dengan cara mengukur parameter-parameter antenna seperti resonansi, impedansi, dan pola radiasi pada beberapa frekuensi yang berbeda. Kemudian dari pengukuran tersebut akan ditentukan frekuensi minimum dan maksimumnya.



Gambar 2.29 Ilustrasi *bandwidth* antenna [35]

Gambar 2.29 tersebut mengilustrasikan bahwa daerah frekuensi kerja dimana antenna masih dapat bekerja dengan baik dinamakan *bandwidth* antenna. Misalnya sebuah antenna bekerja pada frekuensi tengah sebesar f_c , namun ia juga masih dapat bekerja dengan baik pada frekuensi f_1 (di bawah f_c) sampai dengan f_2 (di atas f_c).

5. Efisiensi

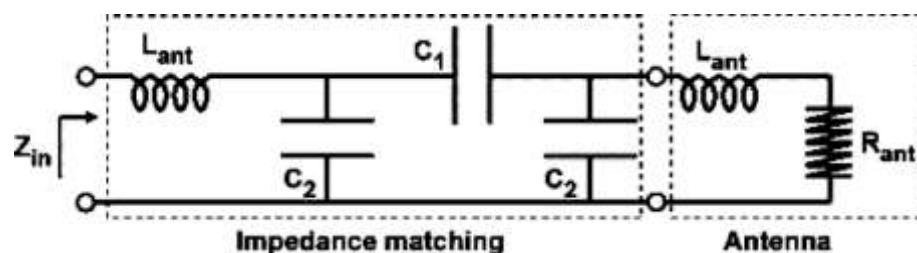
Efisiensi di sini didefinisikan sebagai rasio daya yang dipancarkan oleh antenna dengan daya yang disuplai ke antenna. Untuk menentukan besar efisiensi pada antenna dapat menggunakan rumus (2.16) sebagai berikut [36]

$$\eta = \left(\frac{\text{Radiated power}}{\text{Input Power}} \right) \times 100\% \quad (2.16)$$

Di mana *Radiated Power* adalah daya yang dipancarkan oleh antenna dan *Input Power* adalah daya yang diterapkan pada antenna. Efisiensi antenna biasanya dinyatakan dalam persentase (%).

2.2.8.2. Karakteristik Impedansi

Karakteristik Impedansi mengacu pada karakteristik listrik dari antenna yang mempengaruhi transfer energi antara antenna dan kabel transmisi yang digunakan untuk menghubungkan antenna ke sistem. Berbicara tentang impedansi, pada antenna terdapat istilah *matching impedance*. *Matching impedance* merupakan suatu teknik untuk menghasilkan efisiensi transmisi antenna yang maksimum dengan cara menyesuaikan impedansi antenna dengan impedansi karakteristik dari sistem pemancar. Hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya pantulan sinyal kembali ke pemancar (*reflected signal*) yang dapat menyebabkan kerusakan pada sistem pemancar dan mengurangi daya pancar sinyal yang diterima oleh penerima. Dalam melakukan *matching impedance*, pertama dilakukan pengukuran impedansi antenna menggunakan alat ukur impedansi. Setelah itu, impedansi yang diukur akan dibandingkan dengan impedansi karakteristik dari sistem pemancar. Apabila impedansi antenna tidak sama dengan impedansi karakteristik sistem pemancar, maka diperlukan suatu rangkaian *matching impedance* untuk menyesuaikan impedansi antenna dengan impedansi karakteristik sistem pemancar.



Gambar 2.30 Contoh rangkaian *matching impedance* [37]

Gambar 2.30 merupakan rangkaian untuk *matching impedance* pada antenna. Pada rangkaian tersebut terdapat komponen seperti induktor (L) dan kapasitor (C) yang tersusun secara seri dan paralel. Kedua komponen tersebut digunakan untuk menyesuaikan impedansi *output* antenna dengan impedansi karakteristik dari sistem pemancar. Rangkaian penyama impedansi tersebut dapat disesuaikan dengan menggunakan nilai-nilai yang tepat dari induktor (L) dan kapasitor (C). Rangkaian ini bertujuan untuk menyesuaikan impedansi *output* dari antenna dengan impedansi karakteristik dari sistem pemancar. Berikut ini karakteristik impedansi diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Impedansi

Impedansi *antena* di sini didefinisikan sebagai karakteristik listrik dari antenna yang mana meliputi resistansi dan reaktansi. Untuk menentukan besar impedansi antenna dapat menggunakan rumus (2.17) sebagai berikut [30].

$$Z_a = R_r + jX_i \quad (2.17)$$

Keterangan:

Z_a	= Impedansi antenna (ohm)
R_r	= Resistansi (ohm)
X_i	= Reaktansi (ohm)

Resistansi dan reaktansi dapat dihitung menggunakan simulasi numerik atau metode pengukuran langsung. Namun terdapat juga beberapa model teoritis yang dapat digunakan untuk memperkirakan nilai impedansi dari antenna.

2. VSWR

VSWR atau *Voltage Standing Wave Ratio* didefinisikan sebagai rasio antara impedansi karakteristik antenna dengan impedansi karakteristik kabel transmisi yang digunakan. Untuk dapat menentukan besar VSWR dapat menggunakan rumus (2.18) sebagai berikut [38]

$$VSWR = \frac{(1 + \Gamma)}{(1 - \Gamma)} = \frac{(V_{max})}{(V_{min})} \quad (2.18)$$

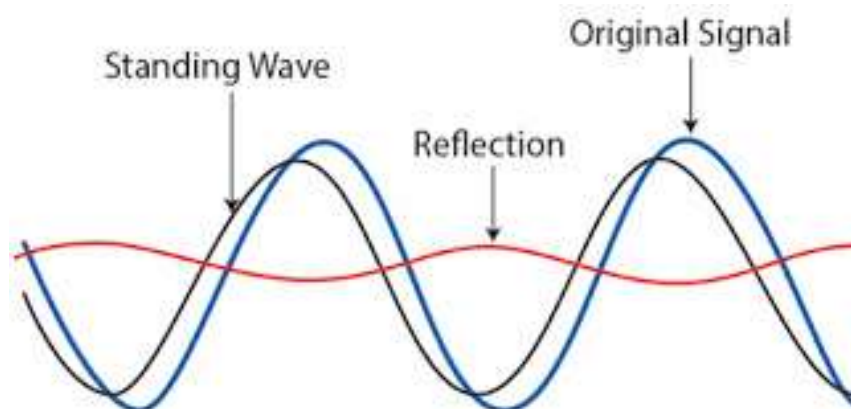
Keterangan:

Γ = Koefisien refleksi antenna

V_{max} = Tegangan maksimum antenna (v)

V_{min} = Tegangan minimum antenna (v)

Nilai VSWR menunjukkan seberapa besar tegangan maksimum dan minimum pada antenna berbeda. Semakin kecil nilai VSWR, semakin baik performa antenna dalam meradiasikan energi radio dari *transmitter* ke *receiver*. Sebaliknya, semakin besar nilai VSWR, semakin buruk performa antenna dan dapat menyebabkan kehilangan sinyal radio.



Gambar 2.31 Ilustrasi *standing wave* [39]

Gambar 2.31 menggambarkan ilustrasi dari *standing wave*, dalam kasus impedansi beban yang berbeda dengan impedansi karakteristik antenna, maka terdapat pembiasan pada arus dan tegangan yang terjadi pada antenna. Pembiasan seperti garis hitam pada Gambar 2.31 tersebut menyebabkan terjadinya gelombang berdiri pada antenna, yang menyebabkan adanya *Voltage Standing wave Ratio* (VSWR). VSWR sendiri menggambarkan rasio antara amplitudo dari *maximum* dan *minimum* tegangan pada transmisi. Sebuah VSWR yang baik adalah VSWR yang mendekati 1:1 atau setidaknya kurang dari 2:1. Semakin kecil VSWR, semakin sedikit energi yang dipantulkan kembali ke sumber, sehingga semakin efisien energi dapat dipindahkan dari sumber ke antenna.