

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Propagasi Gelombang Radio

Propagasi gelombang radio dibedakan menjadi dua jenis yakni propagasi di dalam ruangan (*indoor*) dan di luar ruangan (*outdoor*). Pentingnya mempelajari mekanisme peristiwa di balik propagasi (perambatan) gelombang radio untuk membangun sistem komunikasi radio tanpa kabel (*wireless*). Adapun mekanisme dasar propagasi radio dikategorikan menjadi [4][9]:

1. Pantulan atau refleksi

Pantulan terjadi bila gelombang elektromagnetik merambat lalu menyentuh atau mengenai objek yang berukuran sangat besar dibanding dengan panjang gelombang elektromagnetik itu sendiri. Hal ini dapat terjadi di bangunan disertai dinding-dindingnya dan pada permukaan bumi.

2. Difraksi

Difraksi merupakan gerakan gelombang yang terletak dekat permukaan bumi dan cenderung berbentuk sama dengan pola kelengkungan permukaan bumi. Difraksi terjadi apabila terdapat penghalang di lintasan hubungan radio antara pemancar dan penerima. Penghalang ini dapat berupa suatu benda yang memiliki ketidakteraturan pada tepi permukaannya (tajam dan kecil). Fenomena difraksi sama seperti pantulan pada gelombang yang memiliki frekuensi tinggi, tergantung pada ukuran objek, amplitudo, fasa, serta polarisasi gelombang.

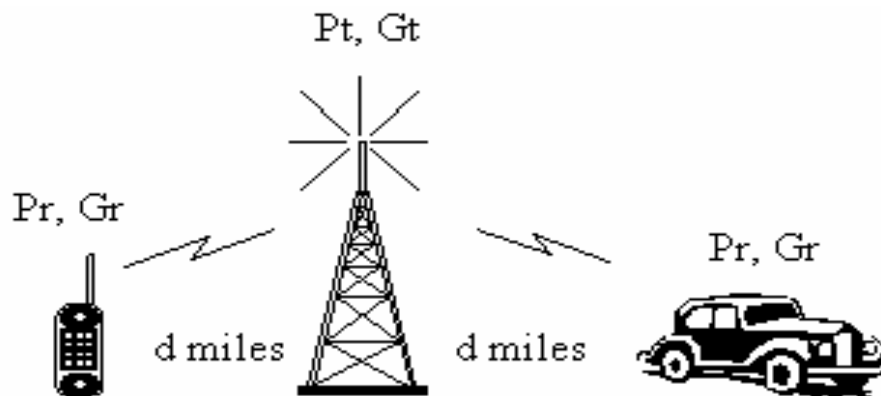
3. Pembiasan atau refraksi

Pembiasan adalah proses gelombang elektromagnetik yang mengalami pembelokan atau pemencaran.

4. Penghamburan atau *scattering*

Peristiwa penghamburan gelombang terjadi apabila pada perambatan gelombang elektromagnetik terhalang oleh objek-objek berukuran lebih kecil dibandingkan dengan panjang gelombang yang merambat tersebut, serta terdapat hambatan per satuan volume dengan nilai yang besar.

Pada kondisi yang nyata, propagasi gelombang radio dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, seperti luas suatu area terkhusus area yang memiliki bangunan dan gedung-gedung. Adapun parameter dasar pada propagasi gelombang radio ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Parameter Dasar Propagasi Gelombang Radio [3]

Dimana:

Pr : Daya terima pada penerima (*receiver*)

Gr : Penguatan (*gain*) pada penerima (*receiver*)

Pt : Daya pancar pada BTS (*Base Transceiver Station*)

Gt : Penguatan (*gain*) pada BTS (*Base Transceiver Station*)

d : Jarak antara BTS dan penerima (*receiver*)

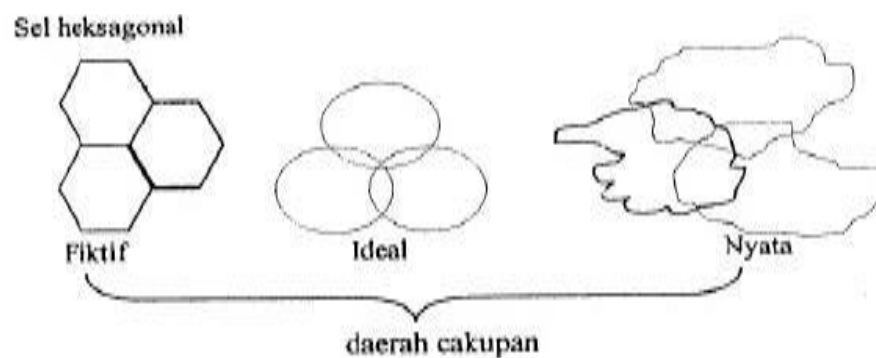
2.2 Konsep Selular

Sistem komunikasi yang mampu memberikan berbagai layanan komunikasi seperti komunikasi *voice*, data, dan video yang dilakukan dalam keadaan bergerak dikenal dengan selular. Pada konsep ini pengguna mampu berkomunikasi dengan pengguna lain tanpa harus bergantung dengan tersedianya media fisik.

Sistem ini mampu mencakup wilayah yang seluas diinginkan, namun kelemahannya ketika terdapat suatu kanal frekuensi sedang digunakan di suatu

wilayah maka kanal tersebut tidak dapat digunakan oleh pengguna lain di wilayah yang sama karena dapat menyebabkan interferensi. Dikembangkannya sistem telekomunikasi radio bergerak selular sebagai cara mengatasi interferensi penggunaan spektrum frekuensi dan keterbatasan layanan.

Konsep selular merupakan sistem yang mengganti sebuah pemancar dengan daya yang besar untuk cakupan area yang luas dengan beberapa pemancar kecil, serta di tiap pemancar memiliki cakupan area yang tidak begitu luas. Sel merupakan area cakupan pemancar yang tidak begitu luas dan dibatasi sehingga diperoleh kapasitas besar untuk dapat menggunakan kembali kanal frekuensi oleh pemancar lain yang terletak dekat dengan pemancar pertama [5]. Di tiap sel terdapat *radio base station* yang memiliki banyak kanal radio guna menghubungkan *base station* tersebut dengan *mobile stations* yang terletak di sel. Pada sistem selular, sel-sel dibagi dan dimodelkan ke dalam bentuk heksagonal yang di tiap sel memiliki frekuensi dan frekuensi tersebut tidak diperkenankan saling berdekatan supaya tidak terjadi *overlapping* [10]. Bentuk heksagonal dipilih pada perencanaan sel karena mampu menutupi suatu wilayah tanpa celah juga tanpa terjadi tumpang tindih antara satu sel dengan sel lainnya.



Gambar 2.2 Konsep Sel [10]

2.3 Drive Test

Drive test yakni suatu cara untuk mengoptimasi jaringan radio dengan mengumpulkan informasi jaringan di lapangan secara *real* [10].

Adapun tujuan dari *drive test* tersebut, yaitu:

1. Mengetahui kesesuaian antara *coverage* prediksi dengan *coverage* nyata di lapangan.
2. Mengetahui kesesuaian parameter-parameter jaringan prediksi dengan keadaan nyata di lapangan.
3. Mengetahui wilayah pada keadaan *poor coverage*.

Drive test di dunia telekomunikasi merupakan istilah suatu pekerjaan yang dilakukan pada saat dalam kondisi diam lalu berjalan, lalu diam dan berjalan lagi sesuai kebutuhan pengukuran. *Drive test* yakni sebutan bagi pengukuran di luar ruangan (*outdoor*) dan dapat dilakukan saat berkendara, sedangkan pengukuran di dalam ruangan (*indoor*) disebut *walk test* [11]. *Drive test* juga merupakan tahap awal proses yang bertujuan mengumpulkan data pengukuran, setelah data sudah terkumpul maka data tersebut diproses pada suatu perangkat lunak tertentu. Pengukuran RSL dengan metode *drive test* ini dilakukan saat MS (*Mobile Station*) dalam keadaan *idle*, yakni mengukur kualitas sinyal terima MS dalam keadaan *standby* atau tidak sedang menerima panggilan keluar [12].

2.3.1 Perangkat Lunak Pendukung *Drive Test*

Berikut perangkat lunak (*software*) yang sering digunakan sebagai penunjang pada pengukuran dengan metode *drive test* [10].

1. TEMS *Investigation*

Perangkat lunak untuk melakukan *drive test*, akan tetapi mulai versi 4 dapat juga digunakan untuk *walk test*. Menggunakan alat navigasi berupa GPS (*Global Positioning System*) serta *plotting* parameter di rute *drive test* yang dilewati.

2. *Software Nemo Analyze*

Perangkat lunak pengolah data hasil *drive test* guna untuk menganalisa *logfile*. Selain digunakan untuk *plotting* hasil *drive test*, juga guna melihat KPI yang diproses langsung dengan perangkat lunak ini, sehingga hasil yang

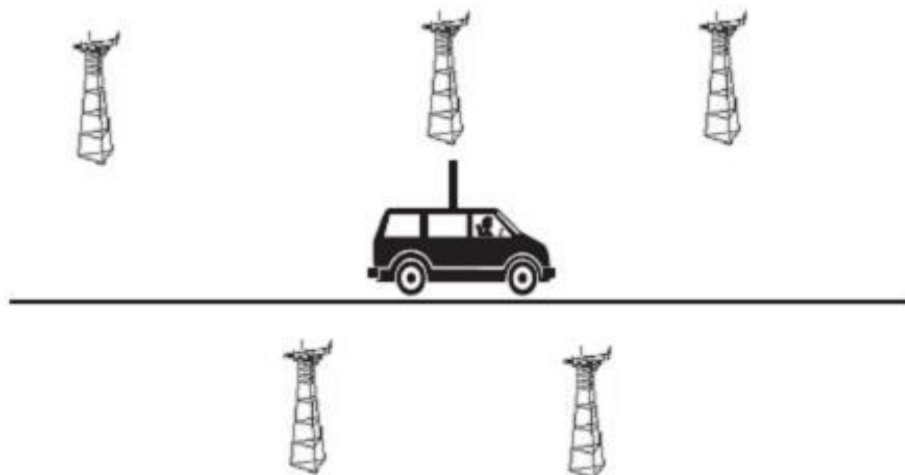
diperoleh dari hasil *drive test* dapat dilihat dengan mudah melalui pembuatan *report* dari hasil keseluruhan proses *drive test* yang sudah dilakukan.

3. *Map Info*

Perangkat lunak pemetaan (SIG) desktop yang dikembangkan lalu dipasarkan guna pemenuhan (sebagian besar) kebutuhan-kebutuhan pada dunia bisnis. Perangkat lunak ini memungkinkan penggunaanya lebih cepat untuk menganalisa serta memvisualisasikan data-data yang menjadi masukannya secara geografis dan sebagai penyedia informasi yang diperlukan pada proses pengambilan keputusan.

4. *G-Net Track*

Perangkat lunak *drive test* yang dapat diinstal pada *handphone* berbasis android guna menghasilkan *logfile* hasil *drive test* yang dapat diekspor ke dalam aplikasi *google earth*. *G-Net Track* merupakan *software* yang lebih sederhana dibandingkan dengan *software drive test* umumnya karena hanya membutuhkan satu *handphone* yang didukung dengan GPS *internal* serta SIM Card dengan spesifikasi teknologi jaringan yang digunakan dalam *handphone* tersebut misalnya EDGE/GPRS, EVDO/CDMA, UMTS/WCDMA, HSPA+, dan LTE.



Gambar 2.3 Kegiatan *drive test* di dalam mobil [11]

2.4 Pemodelan Propagasi

Secara tradisional, model-model propagasi bertujuan memprediksi kekuatan sinyal yang diterima dalam bentuk nilai rata-rata pada jarak tertentu dari pemancar, serta perubahan dalam kekuatan sinyal tersebut. Terdapat sejumlah model propagasi guna memprediksi redaman suatu lintasan pada wilayah dengan permukaan yang tidak teratur [9]. Pada dasarnya model-model propagasi berlandaskan interpretasi dan pengukuran data pada wilayah milik suatu operator.

Berikut adalah model-model propagasi yang digunakan secara umum, yakni model Longley-Rice, model Durkin, model Okumura, model Hata, model PCS *Extension to* Hata, model Bertoni dan Walfisch, serta model W.C.Y Lee, dan lain-lain [11]. Terdapat tiga model propagasi yang digunakan pada penulisan tugas akhir ini, yakni model W.C.Y Lee, model PCS *Extension to* Hata, dan model SUI.

2.4.1 Model W.C.Y Lee

Model propagasi W.C.Y Lee merupakan model yang berasal dari turunan data eksperimen di beberapa kota besar. Terdapat parameter referensi yang telah ditentukan, yakni [13]:

1. Frekuensi *carrier* (f_c) = 900 MHz
2. Tinggi antena pada *base station* = 30,48 m (100 ft)
3. Daya antena *base station* = 10 W
4. Penguatan antena *base station* = 6 dB
5. Tinggi antena *mobile station* = 3 m (10 ft)
6. Penguatan antena *mobile station* = 0 dB

Rumus *path loss* pada model W.C.Y Lee tertera pada persamaan (1) [5]:

$$L_{50} = L_o + \gamma \log d + F_o \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

L_{50} = Rugi-Rugi propagasi model Lee (dB)

L_o = *Loss* transmisi pada jarak 1 Km (dB)

γ = Slope dari *path loss* (dB/decade)

d = Jarak dari *base station* (m)

F_o = Faktor penyesuaian

Nilai L_o dan γ didapat dari data eksperimen yang tertera pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Parameter Model W.C.Y Lee [5]

No	ENVIRONMENT	L_o (dB)	γ
1	Free Space	91,3	20
2	Open (rural)	91,3	43,5
3	Suburban	104	38
4	Urban Tokyo	128	30
5	Urban Philadelphia	112,8	36,8
6	Urban Newark	106,3	43,1

F_o merupakan faktor penyesuaian, apabila kondisi suatu wilayah berbeda dengan parameter referensi yang telah ditetapkan, maka nilai F_o diperoleh dengan persamaan (2) [13]:

$$F_o = 10 \log_{10}(F_1 F_2 F_3 F_4 F_5) \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

$$F_1 = \frac{[\text{Actual base station antenna height}]^2}{(30.5 \text{ m})^2}$$

$$F_2 = \frac{[\text{Actual transmitter power (W)}]}{10 \text{ W}}$$

$$F_3 = \frac{[\text{Actual gain of base station antenna}]}{4}$$

$$F_4 = \frac{[\text{Actual mobile antenna height}]^v}{(3 \text{ m})^v}$$

$$F_5 = \frac{[f_c]^2}{[f_o]^2}, \text{ fo} = 1800 \text{ MHz}$$

$v = 2$ untuk tinggi antena *mobile station* > 10 m dan 1 untuk tinggi antena *mobile station* < 3 m.

2.4.2 Model PCS *Extension to Hata*

Terbentuknya komite kerja COST-231 oleh *The European Co-operative for Scientific and Technical Research* (EURO COST) guna mengembangkan rumus model propagasi Hata hingga ke frekuensi 2 GHz.

Rumus *path loss* model ini, dijelaskan pada persamaan (3) [9]:

$$L_{50}(\text{perkotaan}) = 46,3 + 33,9 \log f_c - 13,82 \log h_{te} - a(h_{re}) + (44,9 - 6,55 \log h_{te}) \log d + C_M \dots\dots\dots(3)$$

Nilai $a(h_{re})$ ditentukan pada persamaan (4, 5, 6) [9][12].

Kota sedang

$$a(h_{re}) = (1,1 \log f_c - 0,7) h_{re} - (1,56 - 1 \log f_c - 0,8) \text{ dB} \dots\dots (4)$$

Kota besar, $f_c \leq 300 \text{ MHz}$

$$a(h_{re}) = 8,29 [\log (1,54 h_{re})]^2 - 1,1 \text{ dB} \dots\dots\dots(5)$$

Kota besar, $f_c \geq 400 \text{ MHz}$

$$a(h_{re}) = 3,2 [\log (11,54 h_{re})]^2 - 4,97 \text{ dB} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana:

$$f = 900 \text{ MHz} - 2100 \text{ MHz}$$

$$h_{te} = 30 \text{ m} - 200 \text{ m}$$

$$h_{re} = 1 \text{ m} - 10 \text{ m}$$

$$d = 1 \text{ Km} - 20 \text{ Km}$$

$$C_M = 0 \text{ dB (pinggiran kota) dan } 3 \text{ dB (metropolitan)}$$

2.4.3 Model SUI (*Stanford University Interim*)

Model propagasi SUI merupakan model yang direkomendasikan untuk standar IEEE 802.16a yang cocok diterapkan di wilayah urban Indonesia [14]. Model ini didapatkan dari data hasil percobaan di Amerika Serikat dengan melakukan *sampling* di 95 makrosel dan frekuensi kerja yang digunakan sebesar

1,9 GHz. Adapun parameter-parameter pada penggunaan model propagasi ini, yakni tinggi *base station* berkisar 10 – 80 m dan jarak sel berkisar 0,1 – 10 Km.

Rumus model SUI tertera pada persamaan (7) [14]:

$$PL = A + 10 \gamma \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_f + X_{hCPE} + s \dots\dots\dots(7)$$

Dimana:

$$A = \text{Free space loss di } d_0 = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi \cdot d_0}{\lambda} \right)$$

λ = Panjang gelombang

d_0 = 100 m (jarak referensi)

$$\gamma = \text{Path loss exponent} = a - b \cdot h_b + \left(\frac{c}{hb} \right)$$

a, b, c = Konstanta yang menunjukkan kategori *terrain*

h_b = Tinggi *base station*

d = Jarak antara *base station* dan *subscriber station* (m)

$$X_f = \text{Faktor koreksi frekuensi} = 6 \log \left(\frac{f}{1900} \right) \text{ (f dalam MHz)}$$

X_{hCPE} = Faktor koreksi tinggi antenna penerima

$$X_{hCPE} = -10,8 \log \left(\frac{hCPE}{2} \right) \text{ (terrain a dan b)}$$

$$X_{hCPE} = -20 \log \left(\frac{hCPE}{2} \right) \text{ (terrain c)}$$

s = Peubah acak yang terdistribusi secara lognormal sebagai representasi *shadowing* oleh pohon atau bangunan yang bernilai antara 8,2 dB – 10,6 dB tergantung pada tipe *terrain*

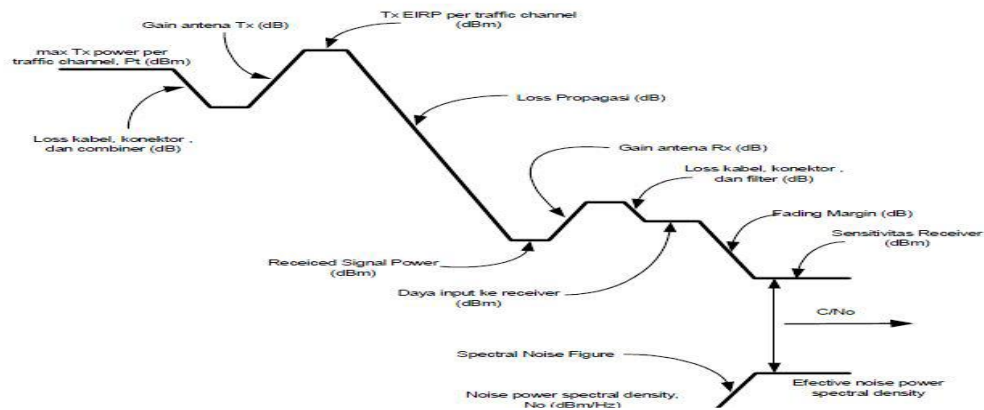
Adapun nilai a, b, c merupakan daerah yang akan dilayani berdasarkan tipe pepohonan atau bangunan yang berada di daerah tersebut dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Parameter *Terrain* [15]

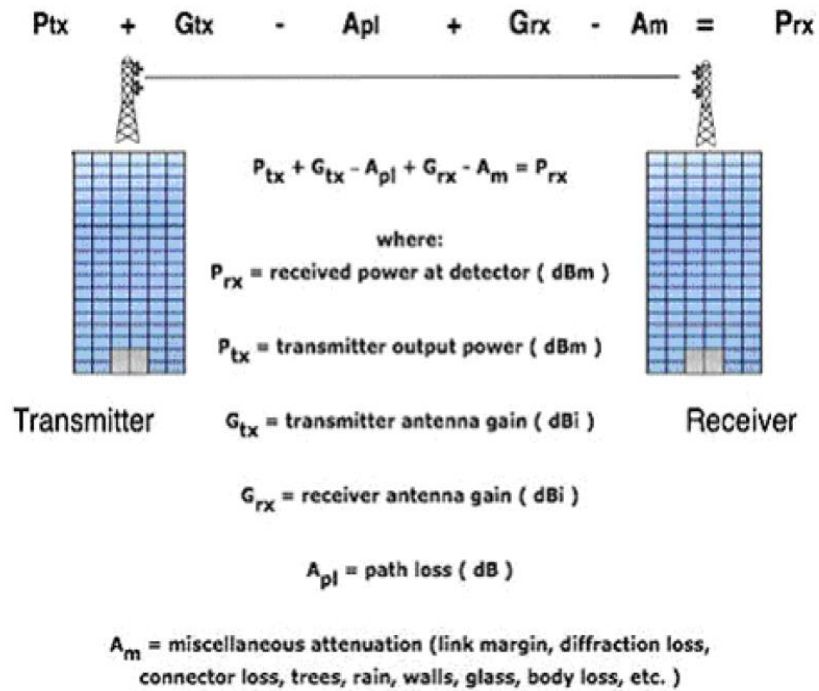
Model Parameter	Type A (<i>Heavy Multipath</i>)	Type B (<i>Intermediate Multipath</i>)	Type C (<i>Few Multipath</i>)
a	4,6	4	3,6
b	0,0075	0,0065	0,005
c	12,6	17,1	20
<i>Shadowing Margin</i> (dB)	10,6	9,4	8,2

2.5 Link Budget

Link budget (anggaran daya) diperkenalkan sebagai pendekatan yang berfungsi sebagai desain dasar dari sebuah sistem komunikasi yang lengkap [16] merupakan perhitungan dari penguatan pemancar dan penerima setelah melewati redaman diberbagai media transmisi sampai pada akhirnya diterima *receiver* dalam suatu sistem telekomunikasi [10]. Perhitungan *link budget* bertujuan untuk memprediksi parameter serta konfigurasi yang tepat sehingga dapat menghasilkan suatu *link* transmisi dengan kinerja yang baik. Adapun parameter-parameter pada perhitungan *link budget* yakni propagasi gelombang radio guna memprediksi rugi-rugi propagasi pengirim dan penerima, daya pancar transmisi, penguatan antenna, sensitifitas penerima, dan tertera margin pada gambar 2.4 [6].

Gambar 2.4 Parameter *Link Budget* [6]

Adapun ilustrasi *link budget* yang menggambarkan alur propagasi sinyal antara sisi pengirim dan penerima tertera pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Ilustrasi *Link Budget* [10]

RSL (*Received Signal Level*) merupakan level sinyal yang diperoleh penerima serta memiliki nilai yang lebih besar dari sensitifitas perangkat penerima ($RSL \geq R_{th}$). Beberapa buku ataupun penelitian RSL juga biasa disebut RSRP (*Reference Signal Received Power*). Rumus untuk menghitung RSL / RSRP dapat dilihat pada persamaan (9) [9] :

$$EIRP = P_t + G_t - Loss_{system} \dots\dots\dots(8)$$

$$RSL / RSRP = EIRP - path_{loss} \dots\dots\dots(9)$$

Dimana:

$EIRP$ = *Effective Isotropic Radiate Power* (dBm)

- Pt = Daya pancar Tx (dBm)
 Gt = Penguatan antena Tx (dB)
 Loss = *Loss* konektor Tx (dB)

Tabel 2.3 Parameter Analisis Nilai RSL / RSRP dari *Drive Test* [10]

Nilai	Keterangan
-70 dBm s/d -90 dBm	Baik
-91 dBm s/d -110 dBm	Normal
-110 dBm s/d -130 dBm	Buruk

Pada tabel 2.4 menjelaskan deskripsi dari parameter-parameter spesifikasi pada perangkat *mobile station* dan *system base station* guna menghitung *link budget* [10].

Tabel 2.4 Deskripsi Parameter Spesifikasi Perangkat BS dan MS [10]

Parameter	Deskripsi
BS	<i>Base Station</i> ataupun <i>Base Transceiver Station</i>
MS	<i>Mobile Station</i> merupakan perangkat pengguna
<i>Tx Power</i>	Daya pancar maksimum ditransmisikan oleh BS ataupun MS
<i>Tx Antenna Gain</i>	Nilai penguat yang dimiliki masing-masing antena, nilai tersebut tergantung pada frekuensi dan tipe perangkatnya
<i>Transmit Array Gain</i>	Penguatan karena terdapat penggunaan multiple-antena (array) pada pemancar
<i>Data Channel Power Loss Due to Pilot</i>	Rugi-rugi daya akibat terdapat sinyal pilot
<i>Cable Loss</i>	Redaman yang terjadi antara <i>base station</i> dan

	antena konektor, dimana nilai redaman bergantung pada spesifikasi perangkat (jenis kabel)
<i>EIRP (Effective Isotropic Radiated Power)</i>	Nilai daya pancar dari antena
<i>Receiver Antenna Gain</i>	Besar penguat antena yang diterima
<i>Body Loss</i>	Rugi-rugi yang disebabkan karena interaksi dengan <i>user</i>
<i>Receiver Noise Figure</i>	Nilai gangguan, yang mana nilai tersebut akan tergantung pada implementasi desain (rangkain elektronik pada <i>receiver base station</i>)
<i>Thermal Noise Density</i>	Besar <i>noise</i> yang dialami dan dihitung dengan rumus : $N = 10 \log kTB$
<i>Receiver Interference Density for Data Channel</i>	Densitas interferensi penerima untuk kanal data
<i>Total Noise Plus Interference Density for Data Channel</i>	Total densitas <i>noise</i> ditambah interferensi untuk kanal data
<i>Occupied Channel Bandwidth for Data Channel</i>	Bandwidth kanal yang digunakan untuk data
<i>Effective Noise Power for Data Channel</i>	Daya <i>noise</i> efektif untuk kanal data
<i>Required SNR for the Data Channel</i>	<i>Signal Noise Ratio</i> , dimana nilai tersebut akan bergantung pada <i>data rate</i> dan modulasi yang digunakan.
<i>Receiver Implementation Margin</i>	Margin yang sampai pada penerima pada saat implementasi

<i>H-ARQ Gain for the Data Channel</i>	<i>Hybrid Automatic Request</i> yakni gabungan dari <i>Error Corection</i> (EC) dengan <i>Automatic Requist</i> (AR), berfungsi melakukan pengiriman kembali
<i>Receiver Sensitivity for Data Channel</i>	Nilai sensitivitas minimum yang dapat diterima
<i>Hardware Link Budget for Data channel</i>	Perangkat yang digunakan pada dalam perhitungan <i>link budget</i>
<i>Log Normal Shadow Fading Deviation</i>	Nilai standar deviasi untuk <i>log normal shadow margin</i>
<i>Shadow Fading Margin for Data channel</i>	Rugi-rugi akibat dari <i>fading</i>
<i>Diversity Gain</i>	Penguat yang dihasilkan menggunakan sistem antena <i>space diversity</i>
<i>Penetration Margin</i>	Rugi-rugi dari margin
<i>Other Gain</i>	Nilai penguat yang diakibatkan dari perangkat lain

2.6 Coverage Area

Coverage area guna menunjukkan seberapa jauh wilayah / area cakupan dari suatu *provider* dalam mengirim dan menerima data. *Coverage area* berguna untuk menunjukkan wilayah layanan dari komunikasi radio ke stasiun pemancar. Umumnya *coverage area* akan menunjukkan wilayah dimana pengguna dapat menerima sinyal yang baik dari suatu layanan provider [12].

Breakpoint didefinisikan sebagai titik dimana nilai *path loss* pada grafik *path loss* mengalami penurunan secara terus-menerus, serta menunjukkan daya jangkau maksimum dari suatu pemancar. Nilai *breakpoint* dapat ditentukan dari grafik *path loss* fungsi jarak [12]. Untuk menentukan *breakpoint* dari suatu grafik digunakan regresi linier untuk *breakpoint* secara empiris berdasarkan grafik model

two-ray yang dihasilkan dan dibandingkan secara teoritis dengan persamaan *free space loss*.

2.6.1 Model Two Ray

Pada pemodelan ini diasumsikan dua buah sinar, satu sinar jalur langsung serta satu sinar pantul, persamaan (10) menunjukkan perhitungan daya penerima (P_r) dari penjumlahan pengaruh dari kedua sinar [2].

$$P_r = P_t \left(\frac{\lambda}{4\pi}\right)^2 \left| \frac{1}{r_1} \exp(-jkr_1) + \Gamma(\alpha) \frac{1}{r_2} \exp(-jkr_2) \right|^2 \dots\dots(10)$$

Dimana :

- ht : Tinggi antena Tx
- hr : Tinggi antena Rx
- d : Jarak antenna Tx dan Rx
- Pt : Daya pancar
- Pr : Daya terima
- λ : Panjang gelombang
- r1 : Pancaran dari Tx ke Rx
- r2 : Jarak pancaran Tx ke titik pantul di tanah
- Γ : Koefisien refleksi tergantung sudut datang
- α : Sudut datang
- k : $\frac{2\pi}{\lambda}$

Persamaan (10) guna mencari besar nilai koefisien refleksi tergantung dari besar sudut datang (α).

$$\Gamma(\theta) = \frac{\cos \theta - a \sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta}}{\cos \theta + a \sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta}} \dots\dots\dots(11)$$

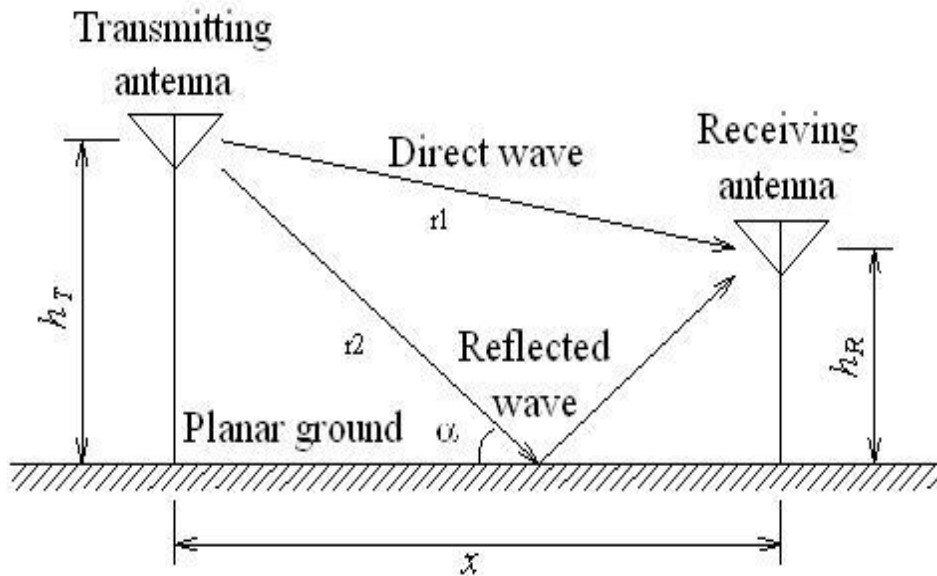
Dimana :

$$\theta = 90 - \alpha$$

$$a = \frac{1}{\epsilon_r} \text{ (polarisasi vertikal) dan } 1 \text{ (polarisasi horizontal)}$$

$$\epsilon_r = 15 - j60\tau\lambda$$

$$\tau = 0,005 \text{ mho/m}$$



Gambar 2.6 Model *Two Ray* [2]

2.6.2 Pathloss Eksponen

Pada pengaplikasian kanal radio bergerak , rata-rata *path loss* merupakan fungsi jarak (PL(d)) sebanding dengan pathloss eksponen (n) dari jarak *relative* terhadap jarak referensi. Berikut merupakan persamaan (12) dan (13) model empiris *path loss* [12].

$$PL(d) \propto \left(\frac{d}{d_0}\right)^n \dots\dots\dots(12)$$

Atau

$$PL(dB) = PL(d_0) + 10 n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0}\right) \dots\dots\dots(13)$$

Parameter yang berpengaruh pada penentuan batas kritis dari suatu cakupan wilayah serta kapasitas radio adalah pathloss eksponen [16]. Parameter

pathloss eksponen (n) dikelompokkan berdasarkan kondisi lingkungannya yang tertera seperti pada tabel 2.5.

Tabel 2.5 Parameter Pathloss Eksponen (n) [16]

<i>Environment</i>	Pathloss Eksponen (n)
<i>Free Space</i>	2
<i>Urban Area Cellular Radio</i>	2.7 – 3.5
<i>Shadowed Urban Cellular Radio</i>	3 - 5
<i>In Building Line-of-Sight</i>	1.6 – 1.8

Persamaan (16) guna mencari nilai pathloss eksponen dengan rumus regresi linier pada persamaan (14) yang berdasarkan hubungan fungsional atau kausal suatu variabel independen serta variabel dependen [2].

$$Y = a + bX \dots\dots\dots(14)$$

$$a = \frac{(\sum Y_1)(\sum X_1^2) - (\sum X_1)(\sum X_1 Y_1)}{n \sum X_1^2 - (\sum X_1)^2} \quad b = \frac{n \sum X_1 Y_1 - (\sum X_1)(\sum Y_1)}{n \sum X_1^2 - (\sum X_1)^2} \dots\dots(15)$$

$$PE = \frac{b}{10} \dots\dots\dots(16)$$

Dimana :

Y : Variabel independen yang diprediksi

a : Konstanta

b : Koefisien regresi X pada Y

X : Variabel dependen yang memiliki nilai tertentu

PE : Nilai pathloss exponent

Persamaan (14) diindikasikan sebagai persamaan (13) dengan Y merupakan *path loss* hasil pengukuran PL(dB), a merupakan nilai *path loss* jarak

referensi $PL(d_0)$, b merupakan $10n$, serta X merupakan $\log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right)$. Maka, nilai pathloss eksponen adalah $\frac{b}{10}$ [12].

2.6.3 Free Space Loss (FSL)

Persamaan (17) guna mencari nilai *free space loss* yang merupakan redaman ruang bebas terjadi pada saat perambatan diruang bebas terdapat penurunan daya gelombang radio [17]. Dimana propagasi *free space loss* digunakan untuk memprediksi level sinyal terima ketika *transmitter* dan *receiver* memiliki lintasan langsung sehingga diperoleh karakteristik redaman sepanjang lintasan tanpa ada hambatan (*obstacle*) [16].

$$FSL = 32,45 + 20 \log f + 20 \log d \dots\dots\dots(17)$$

Dimana :

FSL : Rugi-rugi propagasi di udara (dB)

f : Frekuensi (MHz)

d : Jarak Tx ke Rx (km)

2.7 Tinjauan Mutakhir

Terdapat referensi-referensi dari penelitian sebelumnya yang digunakan sebagai acuan pada penelitian kali ini, dimana pada tiap penelitian, penulis menggunakan metode berbeda sesuai permasalahan yang dibahas. Referensi ini digunakan untuk membedakan pembahasan pada penelitian tugas akhir ini dengan penelitian yang sudah ada. Tabel 2.6 menunjukkan referensi dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya [2-8][18-23].

Tabel 2.6 Tinjauan Mutakhir (*State of Art*)

No.	Nama Penulis	Judul	Tahun	Metode	Hasil
1	Ratih Hikmah Puspita	Perhitungan <i>Link Budget</i> pada Komunikasi GSM di Daerah Urban <i>Cluster Central Business Distric</i> (CBD), <i>Residences</i> , dan Perkantoran	2011	Perhitungan <i>link budget</i> melalui <i>software</i> visualisasi yang telah dibuat. Metode perhitungan <i>pathloss</i> dengan model Okumura dan perhitungan <i>coverage area</i> dengan <i>Two Ray Model</i> . Pengukuran dilakukan dengan <i>drive test</i> .	Penelitian ini dilakukan pada jarak 2 Km, tinggi antena Tx = 30 m, tinggi antena Rx = 1 m, frekuensi 1875 MHz, nilai <i>pathloss</i> yang diperoleh pada <i>cluster</i> CDB sebesar 127,8 dB, <i>cluster residences</i> sebesar 121,8 dB, dan <i>cluster</i> perkantoran sebesar 119,9 dB.
2	Teddy Purnamamirza	Model Propagasi untuk Kanal Radio Bergerak pada Frekuensi 900 MHz di Kota Pekanbaru	2014	Model propagasi yang diteliti yakni model Hata Dense Urban, model Cost 231, model Walfisch Ikegami, dimana mendapatkan data <i>loss</i> dan jarak menggunakan Matlab. Pengukuran <i>drive test</i>	Pada model Hata Dense Urban didapatkan nilai <i>loss</i> propagasi maksimum dan minimum sebesar 116,264 dBm dan 69,539 dBm, model Cost 231 didapatkan nilai <i>loss</i> propagasi maksimum dan minimum

				menggunakan TEMS <i>Investigation</i> .	sebesar 116,241 dBm dan 69,155 dBm, model Walfisch Ikegami didapatkan nilai <i>loss</i> propagasi maksimum dan minimum sebesar 98,123 dBm dan 63,369 dBm. Nilai perhitungan model propagasi yang mendekati nilai pengukuran yakni model propagasi Hata Dense Urban.
3	Satrio Nindito	Analisa <i>Pathloss Exponent</i> pada Daerah Urban dan Suburban	2013	<i>Drive test</i> dilakukan pada pengambilan data dengan <i>software</i> TEMS. Perhitungan <i>pathloss exponent</i> menggunakan <i>Two Ray Model</i> .	Level daya terima semakin kecil apabila jarak antara BTS dan MS semakin jauh yakni -60 hingga -100 dBm. Nilai <i>pathloss exponent</i> dapat dipengaruhi oleh tipe daerah, nilai <i>pathloss</i> akan semakin rendah bila tipe daerah memiliki <i>obstacle</i> rendah pula.

4	Yulie Wirasati	Analisa Perbandingan Pemodelan Propagasi pada Sistem DCS 1800 di Kota Semarang	2011	Model propagasi yang digunakan pada penelitian ini diantaranya model Okumura-Hata, model Walfisch-Ikegami, dan model W.C.Y Lee.	RSL pada model Okumura-Hata yakni daerah urban -73 dBm , daerah suburban -74 dBm, dan daerah rural -59 dBm. RSL pada model Walfisch-Ikegami baik untuk daerah urban dan suburban sekitar -73 dBm. RSL pada model W.C.Y Lee daerah suburban -77 dBm dan daerah rural -57 dBm.
5	Zulkha Sarjudin	Simulasi <i>Link Budget</i> pada Komunikasi Selular di Daerah Urban dengan Metode Walfisch Ikegami	2012	Metode yang dipakai pada penelitian ini adalah Walfisch Ikegami dengan program simulasi menggunakan <i>software</i> Visual Basic.	Hasil pada penelitian ini dibuat ke dalam bentuk tabel, pada kota sedang dapat dilihat di jarak 20 meter memiliki <i>pathloss</i> sebesar 56,8874928 dB dan jarak 5000 meter memiliki <i>pathloss</i> 148,009213

					dB. Analisanya yakni semakin jauh jarak MS dari BTS maka <i>pathloss</i> semakin besar pula.
6	Sindak Hutauruk	Simulasi Model Empiris Okumura-Hata dan Model COST 231 untuk Rugi-Rugi Saluran pada Komunikasi Selular	2011	Model Okumura-Hata dan Model COST 231 adalah dua metode yang digunakan pada penelitian ini dan simulasi data dilakukan pada <i>software</i> Visual Basic.	Hasil keluaran penelitian ini berupa grafik yang ditampilkan pada visual basic. Grafik berdasarkan proses perhitungan menampilkan hasil dari kedua model dengan parameter jarak atau frekuensi, atau tinggi antena BS dan MS.
7	Ria Oktavia Manalu	Pemodelan Empiris COST 231-Walfisch Ikegami Guna Estimasi Rugi-Rugi Lintasan Antena Radar di Perum LPPNPI Indonesia	2017	Model Propagasi yang digunakan yakni model COST 231-Walfisch Ikegami lalu data yang diperoleh disimulasikan pada <i>software</i> Matlab.	Faktor ketergantungan <i>pathloss</i> mempegaruhi nilai perhitungan <i>pathloss</i> pada parameter jarak serta frekuensi di persamaan <i>multiscreen loss</i> . Peningkatan frekuensi pada tiap interval 100 MHz, nilai <i>pathloss</i> meningkat secara konstan sebesar 0,26%.

8	Kevin Kristian Pinem	Analisis <i>Link Budget</i> pada Pembangunan BTS <i>Rooftop</i> Cemara IV Sistem Telekomunikasi Seluler Berbasis GSM	2014	Perhitungan <i>link budget</i> dengan menggunakan model propagasi Okumura-Hata untuk mendapatkan nilai <i>pathloss</i> . Parameter perhitungan sudah ditetapkan oleh <i>provider</i> jaringan seluler.	Pada perhitungan penelitian ini didapatkan nilai RSL pada BTS Pancing sebesar -31,2602 dBm dengan sensitivitas daya RAU pada antenna <i>microwave</i> BTS sebesar -76 dBm. Hasil perhitungan nilai RSL pada MS sebesar -90,9799 dBm dengan sensitivitas MS sebesar -101 dBm.
9	Iwan Nofi Yono Putro	Desain <i>Link Budget</i> dengan Metode <i>Free Path Loss Model</i> untuk Analisis Jarak Jangkau LSU 02 LD	2017	Penelitian mengenai regulasi keamanan terbang di UAV menggunakan metode <i>free path loss model</i> dengan kondisi LOS (<i>Line of Sight</i>) untuk menghitung dari sisi <i>telemetry</i> , <i>control</i> , dan <i>payload</i> .	Hasil perhitungan pada jarak 100 km telah memenuhi regulasi keselamatan operasi dengan kelancaran data <i>payload</i> di sisi <i>telemetry</i> dan <i>telecommand</i> membutuhkan daya sebesar 36 dB yang sama dengan 4 Watt.
10	Eka Wahyudi	Analisis <i>Link Budget</i>	2013	Perhitungan <i>link budget</i> pada	Analisa mengenai atenuasi

		<i>Antena Sideband Doppler Very High Omni-Directional Range (DVOR) pada Jalur Lintasan Penerbangan</i>		penelitian mengenai salah satu peralatan navigasi penerbangan yang disebut DVOR menggunakan parameter <i>gain</i> antena, <i>pathloss</i> , <i>cross section clutter</i> dari area target, serta efek <i>doppler</i> pada antena <i>sideband</i> .	pada antena dengan jangka waktu 32 detik, 29 detik, 26 detik, 22 detik, 18 detik, 15 detik, 12 detik, 10 detik, dan 8 detik menghasilkan perubahan sebesar ± 1 dB
11	Purnima K. Sharma	<i>Cell Coverage Area and Link Budget Calculations in GSM System</i>	2012	Metode pada penelitian ini menggunakan model Hata, model COST 231, dan model Walfisch-Bertoni.	Perhitungan <i>pathloss</i> dilakukan dengan ketiga metode di daerah yang berbeda. Analisa dari perhitungan yakni ditemukan keseimbangan dari daya pancar <i>uplink-downlink</i> pada BTS-MS sebesar 5 dB.
12	George R. MacCartney Jr.	<i>Path Loss Models for 5G Millimeter Wave Propagation</i>	2013	Penelitian dengan perhitungan <i>pathloss</i> pada kondisi LOS (<i>Line of Sight</i>) dan NLOS (<i>Non Line of Sight</i>)	Penelitian dilakukan di dua tempat yang berbeda yakni di Austin dan New York City (NYC). Di NYC memiliki

		<i>Channels in Urban Microcells</i>		menggunakan <i>close-in reference model</i> dan <i>floating intercept model</i> .	<i>pathloss exponent</i> sebesar 5,76 dan δ_{SF} sebesar 9.02 dB, sedangkan di Austin memiliki <i>pathloss exponent</i> sebesar 3,18 hingga 3,88 dengan δ_{SF} sebesar 11 hingga 14,6 dB.
13	Arsyad Ramadhan Darlis	Pengukuran Model Propagasi <i>Outdoor</i> dan <i>Indoor</i> Sistem WiMAX 2,3 GHz di Lingkungan Kampus ITB	2010	Pada penelitian ini, metode yang digunakan dalam perhitungan <i>pathloss</i> menggunakan model propagasi SUI (<i>Stanford University Interim</i>)	Dari data hasil pengukuran RSL pada penelitian ini, nilai RSL <i>outdoor</i> lebih besar dari <i>indoor</i> dengan kata lain <i>pathloss outdoor</i> juga lebih besar dari <i>indoor</i> . Pada tahap perbandingan data, diketahui bahwa selisih <i>pathloss shadowing</i> dengan LOS sebesar 5,50743 dB dan selisih <i>pathloss blocking</i> dengan LOS sebesar 9,99618 dB

Penelitian pada tugas akhir ini mengenai analisis nilai RSL (*Received Signal Level*) disebut juga dengan istilah RSRP (*Reference Signal Received Power*) pada perhitungan *link budget*. Penelitian ini membandingkan hasil RSL/RSRP dimana pada nilai *pathloss* diperoleh dari tiga model propagasi berbeda, guna menentukan model propagasi manakah yang cocok digunakan di daerah urban dengan lokasi penelitian di daerah urban kota Palembang. Frekuensi yang digunakan pada penelitian kali ini sebesar 900 MHz. Adapun pedoman pada hasil pengukuran menggunakan *drive test* ditetapkan jarak pengukuran berkisar 500 meter – 1500 meter dengan jarak antar titik sebesar 100 meter, lalu membandingkan hasil tersebut dengan hasil perhitungan guna mengetahui model propagasi manakah yang mendekati hasil pengukuran.