

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Berdasarkan topik kajian yang akan dilakukan, ada beberapa penelitian terkait dengan dalam penelitian ini diantaranya :

1. Sofyan Harefa (2011) “Analisis perbandingan model propagasi untuk komunikasi bergerak pada sistem gsm 900” pada penelitian ini menjelaskan analisis perbandingan ketiga model propagasi yaitu model Okumura, model Hata, dan model Lee dengan pengukuran secara langsung di lapangan pada 5 BTS, dari hasil analisis propagasi pada 5 BTS dengan menghitung besarnya *mean relative error* dari RSL (*Received Signal Level*) di sisi penerima terhadap nilai RSL (*Received Signal Level*) hasil pengukuran di lapangan, didapat bahwa model yang lebih tepat di beberapa daerah *urban* kota Medan adalah model Lee di BTS Graha XL Medan dengan *mean relative error* 14.70 %, dan model Okumura di keempat BTS lainnya yaitu BTS Pandau Hilir, BTS Sei Rengas, BTS Sidodadi, dan BTS Sun Yat Sen dimana masing-masing BTS tersebut mempunyai *mean relative error* berturut-turut 14.52 %, 9.07 %, 3.93 %, dan 4.59 %.
2. Adedipe (2010) “*Investigation of radio waves propagation models in Nigerian rural and sub-urban areas*” penelitian ini menjelaskan faktor yang paling penting untuk merancang sebuah jaringan seluler yaitu kemampuan membuat model propagasi yang akurat pada suatu lingkungan. Prediksi model propagasi yang akurat akan menghasilkan perancangan yang bagus. Setelah mendapatkan model propagasi pada daerah tersebut, mereka membandingkan dengan model propagasi yang sudah ada. Dari perhitungan yang telah dilakukan maka model yang sesuai untuk daerah *sub-urban* adalah model cost 231, sedangkan untuk daerah *rural* adalah model hata.
3. Purnima (2013) “*Comparative Analysis of Propagation Path loss Models with Field Measured Data*” pada penelitian ini mereka menjelaskan model propagasi mempunyai peran aktif dalam penelitian dari tahun ketahun. Mereka membandingkan hasil pengukuran dan perhitungan untuk frekuensi 900 dan 1800 di daerah *urban*, *sub urban* dan *rural*,

adapun model yang digunakan adalah model *Pathloss*, model SUI, Hata, Okumura, Cost 231 dan ECC-33. Dari grafik path loss yang sudah diplot menggunakan *software* maka dapat diperoleh kesimpulan yang bagus. Dengan mengamati grafik maka dapat disimpulkan bahwa model ECC-33 dan SUI memberikan hasil yang terbaik untuk daerah *urban*. Model ECC-33, SUI dan COST 231 memperlihatkan hasil yang bagus untuk daerah *sub urban*. Model HATA dan *PATHLOSS* juga memberikan hasil yang bagus untuk daerah *rural*. Model OKUMURA memperlihatkan hasil yang bagus untuk daerah *urban* dan *sub urban*.

Dari hasil review atau study literatur yang telah dilakukan, penulis tidak menemukan model propagasi untuk daerah Taluk Kuantan, sehingga penulis tertarik untuk melakukan penelitian tentang model propagasi kanal radio bergerak pada GSM frekuensi 900 MHz di daerah Taluk Kuantan untuk mendapatkan model akurat yang sesuai dengan daerah tersebut.

2.2 Propagasi Gelombang Radio

Propagasi gelombang radio merupakan suatu yang penting untuk mengetahui rintangan dan gangguan dalam lingkungan radio bergerak. Pengetahuan terhadap propagasi gelombang radio juga sangat penting dalam perencanaan dan pengoprasian komunikasi dengan gelombang radio agar komunikasi dapat berjalan dengan lancar.

2.3 Mekanisme Dasar Perambatan Gelombang Elektromagnetik

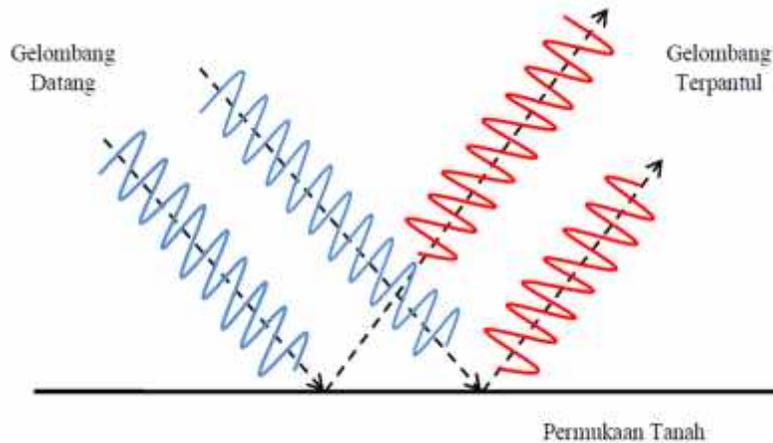
Ada beberapa mekanisme dasar perambatan gelombang elektromagnetik yang dikenal, yaitu :

2.3.1 Refleksi (Pemantulan)

Refleksi seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.1, terjadi ketika gelombang elektromagnetik mengenai obyek yang memiliki dimensi lebih besar dibandingkan dengan panjang gelombang sinyal dari pemancar gelombang. *Refleksi* terjadi pada permukaan bumi, bangunan, tembok, dan penghalang yang lain.

Ketika gelombang radio mengenai bahan dielektrik sempurna, sebagian dari energinya ditransmisikan ke medium kedua, dan sebagian lagi dipantulkan kembali ke medium pertama sehingga tidak ada kehilangan energi karena penyerapan. Jika medium kedua adalah

konduktor yang sempurna, maka semua energinya terpantul kembali ke medium pertama tanpa kehilangan energi.

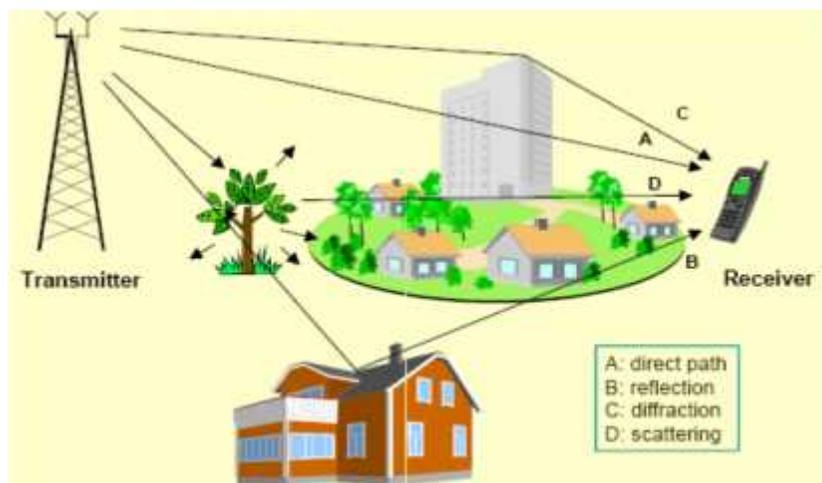


Gambar 2.1 Refleksi (Pemantulan)

Sumber : (Agung Surya, 2010)

2.3.2 Scattering (Hamburan/Penyebaran)

Scattering terjadi ketika medium dimana gelombang merambat mengandung obyek yang lebih kecil dibandingkan dengan panjang sinyal gelombang tersebut dan jumlah obyek perunit volume sangat besar. Gelombang tersebar dihasilkan dari permukaan kasar, benda kecil, atau obyek seperti tiang lampu dan pohon seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.2.



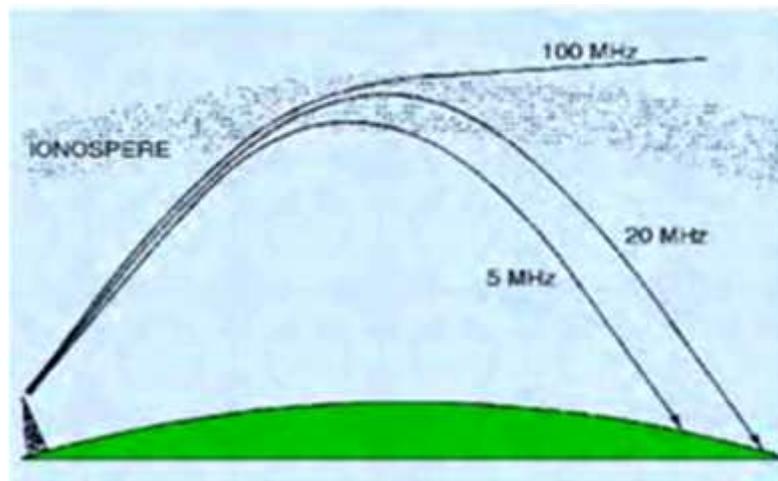
Gambar 2.2 Scattering (hamburan)

Sumber : (Agung Surya, 2010)

2.3.3 Refraksi (Pembiasan)

Refraksi digambarkan sebagai pembelokan gelombang radio yang melewati medium yang memiliki kepadatan yang berbeda. Dalam ruang hampa udara, gelombang elektromagnetik merambat pada kecepatan sekitar 300.000 km/detik. Ini adalah nilai konstan c , yang umum disebut dengan kecepatan cahaya tetapi sebenarnya merujuk kepada kecepatan cahaya dalam ruang hampa. Dalam udara, air, gelas, dan media transparan, gelombang elektromagnetik merambat pada kecepatan yang lebih rendah dari c .

Ketika suatu gelombang elektromagnetik merambat dari satu medium ke medium lain dengan kepadatan berbeda maka kecepatannya akan berubah. Akibatnya adalah pembelokan arah gelombang pada batas kedua medium tersebut. Jika merambat dari medium yang kurang padat ke medium yang lebih padat, maka gelombang akan membelok ke arah medium yang lebih padat seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.3.

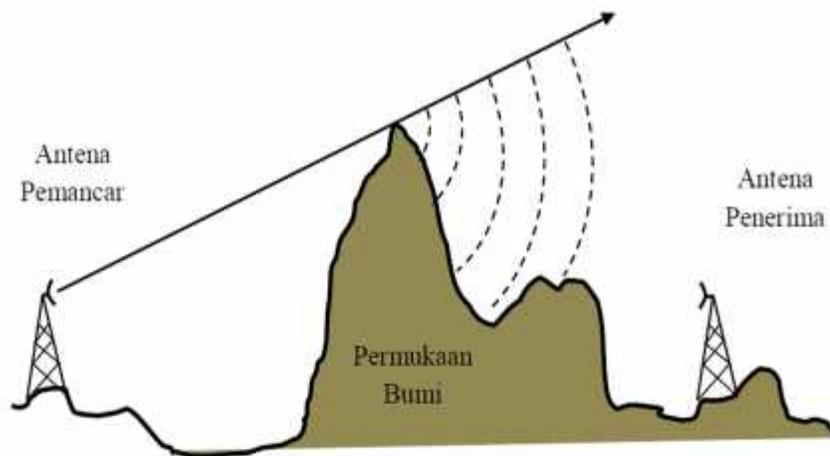


Gambar 2.3 Refraksi (Pembiasan)

Sumber : (Agung Surya, 2010)

2.3.4 Difraksi (Lenturan)

Difraksi terjadi ketika garis edar radio antara pengirim dan penerima dihambat oleh permukaan yang tajam atau dengan kata lain kasar seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.4. Pada frekuensi tinggi, difraksi, seperti halnya pada *refleksi*, tergantung pada ukuran objek yang menghambat dan amplitudo, fase, dan polarisasi dari gelombang pada titik *difraksi*.

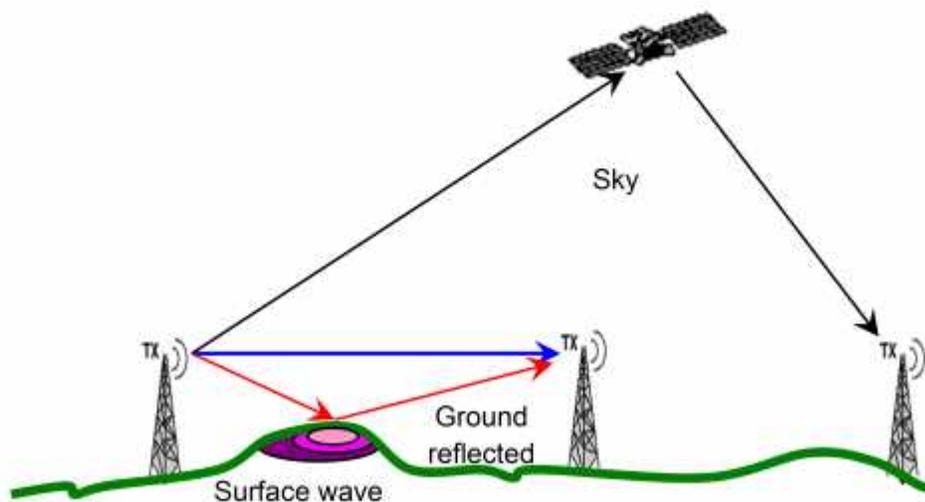


Gambar 2.4 Difraksi (lenturan)

Sumber : (Agung Surya, 2010)

2.4 Jenis Perambatan Gelombang Radio

Perambatan gelombang radio merupakan tulang punggung komunikasi seluler. Dalam gelombang radio yang bergerak atau merambat tersebut dibawah semua informasi yang akan dipertukarkan dalam proses komunikasi. Gelombang radio sendiri merupakan gelombang elektromagnetik yang didalamnya terdapat besaran kuat medan magnet (H) dan kuat medan listrik (E).



Gambar 2.5 Perambatan gelombang radio

Sumber : (<http://www.te.ugm.ac.id>)

Gelombang radio berdasarkan perambatannya dalam ruang dibagi menjadi dua kelompok besar yaitu *ground wave* dan *sky wave*. *Ground wave* adalah gelombang yang dekat dengan permukaan tanah dan *sky wave* adalah gelombang yang merambat ke langit. *Ground wave* sendiri ada yang merambat secara *line of sight* (LoS) atau secara garis lurus pada ruang bebas (sering disebut *space wave*) dan merambat secara memantul dengan tanah (*ground reflected wave*). Satu lagi gelombang dalam kategori *ground wave* yang benar-benar merambat dipermukaan tanah yaitu gelombang permukaan (*surface wave*).

2.5 Model Perambatan Ruang Bebas

Model ini merupakan model perambatan ideal yang hanya mungkin terjadi pada komunikasi satelit dan komunikasi LoS jarak pendek. Perambatan pada ruang bebas ini menggambarkan bagaimana daya yang dikirimkan menurun dalam fungsi logaritmik terhadap jarak pemancar dan penerima. Hal tersebut juga yang menjadi landasan bagi *large scale modelling*. Besarnya daya yang diterima dapat digambarkan dengan persamaan Friis. Misalkan pada gambar 2.6 antara pemancar dan penerima terpisah oleh jarak sebesar d meter, serta dimana antenna pemancar memiliki gain sebesar G_t , memancarkan daya sebesar P_t , maka pada antenna penerima akan diterima daya yang besarnya sesuai dengan persamaan 2.1 Dimana P_r adalah daya yang diterima, G_r adalah gain antenna penerima, L adalah rugi-rugi dalam sistem yang tidak dipengaruhi oleh perambatan gelombang ($L > 1$), serta λ adalah panjang gelombang sinyal dalam satuan meter.



Gambar 2.6 Model perambatan gelombang pada ruang bebas

Sumber : (<http://dosen.narotama.ac.id>)

Dari gambar diatas maka dapat dituliskan persamaan sebagai berikut : (Agung, 2010)

$$P_r(d) = \frac{P_t G_r G_t \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

Pt = Daya yang di pancarkan

Gt = Gain antena transmiter

Gr = Gain antena receiver

λ = Panjang gelombang

L = Faktor rugi-rugi

Untuk menghitung nilai *loss propagasi* yang didalamnya terdapat *loss* lain maka digunakan rumus dengan persamaan dibawah ini :

$$L = Pt+Gt+Gr-Pr.....(2.2)$$

Keterangan :

L = Rugi-rugi propagasi gelombang radio (dBm)

Pt = Daya pancar (dBm)

Gt = Gain antenna BTS (dBi)

Gr = Gain antenna penerima (dBi)

Pr = Daya terima (dBm)

2.6 Pengaruh Atmosfer

Gelombang radio yang ditransmisikan dalam ruang hampa mempunyai lintasan gelombang berupa garis lurus. Karena pengaruh fenomena atmosfer, watak lintasan akan berbeda untuk frekuensi yang berbeda. Pembiasan gelombang radio akan terjadi karena perubahan indeks bias atmosfer terhadap perubahan ketinggian. Gas-gas atmosfer akan menyerap dan menghamburkan energi gelombang radio yang besarnya merupakan fungsi frekuensi dan ketinggian di atas laut.

2.7 Perambatan Gelombang di Permukaan Bumi

Pada kondisi perambatan yang sebenarnya, gelombang radio yang dipancarkan oleh antena pemancar sebagian sinyalnya akan mengalami berbagai perlakuan. Apabila gelombang dipantulkan oleh permukaan bumi, maka daya yang diterima oleh stasiun penerima MS adalah sebesar : (Agung, 2010)

$$P_r = P_t \cdot G_t G_r \frac{(h_t h_r)^2}{d^4}$$

$$P_r = 20 \log_{10} (P_t G_t G_r) - 10 \log_{10} d + 20 \log_{10} h_t + 20 \log_{10} h_r \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan :

- P_r = Daya yang diterima (dBm)
- h_t = Tinggi antena pemancar (m)
- h_r = Tinggi antena penerima (m).
- d = Jarak antara antena pemancar dan penerima (m)

2.7.1 Pantulan Permukaan Bumi

Permukaan bumi terdiri atas permukaan halus dan air yang dapat menyebabkan pantulan gelombang. Pada titik pantul, gelombang pantul mengalami redaman yang mengakibatkan kedua gelombang berbeda fase dan amplitudo saat sampai di penerima.

Koefisien *refleksi* merupakan nilai perbandingan antara gelombang pantul dengan gelombang radio langsung, besarnya adalah : (Agung, 2010)

$$R = R_v e^{j \varphi_v} = \frac{\epsilon_c \sin \theta_1 - (\epsilon_c - \cos^2 \theta_1)^{1/2}}{\epsilon_c \sin \theta_1 + (\epsilon_c - \cos^2 \theta_1)^{1/2}} \dots \dots \dots (2.4)$$

- dengan, θ_1 = adalah besar sudut datang
- ϵ_c = adalah permisivitas kompleks
- $\epsilon_c = -j(1800) / f$ Mhz

Faktor R_v menunjukkan perubahan amplitud dan φ_v menyatakan perubahan fase. Nilai masing-masing tergantung pada polarisasi gelombang, sudut datang, konstanta dielektrik, permukaan bumi, dan panjang gelombang.

Pada frekuensi gelombang mikro terdapat dua sifat khusus yaitu sebagai berikut :

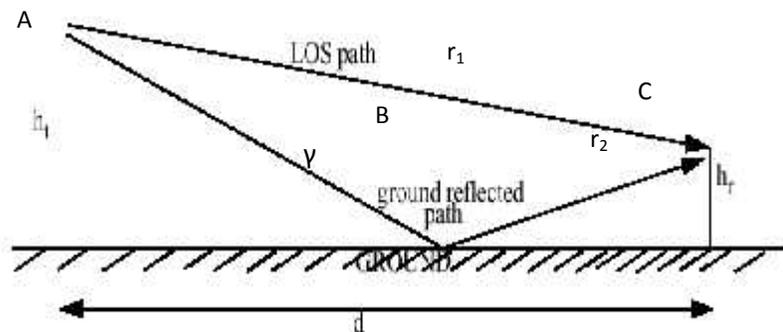
1. Untuk gelombang dengan polarisasi horizontal dan sudut datang kecil, maka $R = -1$ untuk semua permukaan. Hal ini berarti gelombang pantul tidak mengalami perubahan amplitude, tetapi perubahan fase 180° ,
2. Untuk gelombang dengan polarisasi vertikal dan sudut datang kecil, maka $R = -1$ untuk semua permukaan. Koefisien pantul mengecil dengan naiknya sudut datang dan mencapai nol pada $\theta_v = 10^\circ$.

Berikut ini tabel *koefisien refleksi* dari beberapa tipe permukaan bumi menurut Von Hippel.

Tabel 2.1 Tabel *Koefisien Refleksi* Permukaan Bumi. (Sumber: Rappaport, hal.80)

Tipe Permukaan	(rata-rata)	Rata-rata (mho/meter)
Air Tawar (danau, sungai)	81	0.001
Air laut	81	5.0
Permukaan yang baik(rata)	28	0.02
Permukaan rata-rata	15	0.005
Permukaan yang buruk	4	0.001
Pegunungan	-	0.00075

Perhitungan beda panjang lintasan antara gelombang langsung dengan gelombang pantul yang menganggap permukaan bumi datar terlihat pada Gambar dibawah ini :



Gambar 2.7 Perbedaan panjang lintasan gelombang langsung dan pantul

Sumber : (<http://dosen.narotama.ac.id>)

Pengirim A dengan tinggi antena h_t dan penerima B dengan tinggi h_r dipisahkan dengan jarak d , sudut pantul θ , r_1 merupakan lintasan gelombang antara pengirim dan penerima, sedangkan r_2 lintasan gelombang pantul melalui jalan ACB. Karena perbedaan dalam panjang lintasan, komponen yang datang melalui lintasan pantul tertinggal dari komponen yang datang dari lintasan langsung dengan dengan besar sudut sebagai fungsi perbedaan panjang gelombang. Rumusnya dapat diuraikan sebagai berikut: (Agung, 2010)

$$r_1^2 = (h_r - h_t)^2 + d^2 \dots\dots\dots(2.5)$$

$$r_2^2 = (h_r + h_t)^2 + d^2 \dots\dots\dots(2.6)$$

2.7.2 Fresnel Zone (Daerah Fresnel)

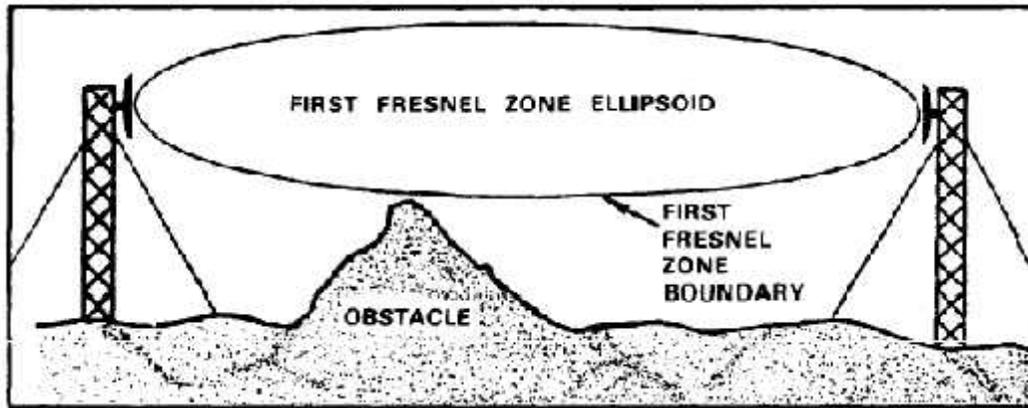
Gelombang mengalami *difraksi* ketika melewati penghalang yang lebih besar daripada panjang gelombangnya. Pada frekuensi yang tinggi, penghalang akan menyebabkan redaman yang cukup besar, sehingga dalam perencanaan mata rantai transmisi radio harus disediakan *clearance* yang cukup untuk mengkompensasi daerah tersebut.

Daerah Fresnel ke- n adalah elipsoid yang merupakan tempat kedudukan titik-titik pantul yang menyebabkan gelombang yang dipantulkan oleh titik-titik tersebut berbeda jalan n kali setengah panjang gelombang dengan gelombang langsung. Radius Fresnel ke- n diberikan oleh

$$r_n = 17,3 \sqrt{\frac{nd_1d_2}{fd}} \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

- d_1 = Jarak dari pengirim ke suatu titik pada suatu lintasan (km)
- d_2 = Jarak dari penerima ke suatu titik pada suatu lintasan (km)
- d = Panjang lintasan gelombang (km)
- f = Frekuensi kerja (GHz)



Gambar 2.8 Daerah Fresnel

Sumber : (<http://dosen.narotama.ac.id>)

Gambar 2.8 memperlihatkan daerah Fresnel I untuk lintasan garis pandang, dengan panjang lintasan 40 km dan frekuensi 8 GHz. Jarak h menunjukkan *clearance* antara lintasan garis pandang dengan halangan tertinggi pada lintasan tersebut. Suatu lintasan gelombang radio dapat dianggap sebagai perambatan ruang bebas apabila daerah Fresnel I bebas dari penghalang. Perubahan pembiasan atmosfer yaitu perubahan perbandingan indek bias yang dinyatakan k , dapat terjadi setiap waktu yang mengakibatkan keadaan garis pandang berubah.

Apabila daerah Fresnel I bebas dari penghalang pada profil lintasan yang digambarkan untuk nilai $k = 4/3$, maka untuk nilai $k = 1$, sebagian daerah Fresnel akan terhalang. Keadaan ini memungkinkan hilangnya gelombang radio garis pandang.

Pada umumnya perubahan penambahan *clearance* yang optimum pada tinggi panghalang berdasarkan pada kriteria berikut:

- a. 60% radius daerah Fresnel I bebas, untuk $k = 4/3$,
- b. 30% radius daerah Fresnel I bebas, untuk $0,6 < k < 1$, dan
- c. 100% radius daerah Fresnel I bebas, untuk k yang lainnya.

Jika persyaratan hubungan garis pandang terlalu sulit untuk dikerjakan atau tidak ekonomis sehingga daerah Fresnel I terhalang, maka redaman yang disebabkan oleh penghalang tersebut harus diperhitungkan. Bila *clearance* yang diberikan di bawah nilai minimum sehingga koefisien *clearance* ($=hc/r_1$) terletak pada daerah $0 < < 1$, maka

redaman halangan merupakan fungsi linear atas d dan mencapai nilai maksimal 6 dB pada saat menyentuh titik tertinggi penghalang. Di daerah yang jauh terlindungi, yakni rintangan menutup seluruh daerah Fresnel I ($\alpha < 0$), kuat medan akan menurun berbanding terbalik terhadap d . Dalam keadaan demikian, redaman halangan dapat dihitung pendekatannya dari persamaan.

$$L = 20 \log[v] + 16(dB) \dots\dots\dots(2.8)$$

2.8 Klasifikasi Daerah Layanan

Karena tipe daerah baik alamiah maupun buatan manusia ikut menentukan propagasi gelombang radio. Tipe daerah dibedakan berdasarkan struktur yang dibuat manusia (*human-made structure*) dan keadaan alamiah daerah. Tipe daerah ini secara garis besar dibagi menjadi daerah *rural*, daerah *suburban*, dan *urban*.

Daerah *Rural*, yaitu ditandai dengan jumlah bangunan yang sedikit dan jarang, alam terbuka yang biasa ditemui di daerah pedesaan. Tipe ini dapat dibedakan menjadi dua, yaitu: *quasi open area* dan *open area*. Daerah *quasi* bercirikan mempunyai gedung yang lebih banyak dibandingkan dengan daerah *open area*.

Daerah *Suburban*, ditandai dengan jumlah bangunan yang mulai padat dengan tinggi rata-rata antara 12 – 20 m dan lebar 18 – 30 m, biasanya ditemui pada pinggiran kota maupun kota-kota kecil.

Daerah *Urban*, yaitu daerah pusat kota baik metropolis maupun kota menengah dengan gedung-gedung yang rapat dan tinggi. Daerah *urban* ini memiliki tingkat kesulitan perancangan yang tinggi dan dapat dilakukan implementasi mikrosel untuk memenuhi permintaan layanan yang sangat padat.

2.9 Model Perambatan Gelombang Luar Ruangan

Berdasarkan cara pembuatannya model perambatan gelombang luar ruangan dibagi menjadi tiga kategori utama yaitu:

1. *Deterministic Model*: sebuah model yang dibuat berdasarkan relasi antara sebuah persamaan dan peristiwa yang terjadi, sehingga jika diberi input yang sama maka akan menghasilkan output yang sama pula. Contoh: Parabolic equation

2. *Empirical Model*: Sebuah model yang dibuat dengan membandingkan secara statistik sebuah persamaan dengan data hasil observasi, eksperimen, atau pengalaman. Contoh: Hata-okumura, *Walfisch-Ikegami*
3. *Ray Optical Model*: Model yang dibuat berdasarkan gerakan berkas sinar yang dipancarkan sebagai pengganti sinyal radio. Sinyal elektromagnetik juga merupakan cahaya (energi gelombang elektromagnetik merupakan energi dari foton berdasarkan persamaan E adalah energi, h = tetapan Planck, dan f =banyaknya foton). Contoh: Intelligent Ray Tracing

2.9.1 Model Lee

Model propagasi Lee diturunkan dari data eksperimen yang dilakukan di beberapa kota besar dunia. Model Lee ini pertama kali dirumuskan sebagai prediksi level sinyal yang diterima (*Received Signal Level*) yang didasarkan pada daya pancar dan *gain* antena untuk digunakan pada frekuensi 900 MHz. Formulasi yang disajikan disini telah diubah dari model RSL menjadi model rugi-rugi lintasan (*path loss*) agar lebih sesuai dengan format model-model lain yang telah ada. Model ini terdiri dari dua mode yaitu *area to area* dan *point to point*. Meskipun data asli terbatas pada rentang frekuensi 900 MHz, tetapi adanya implementasi langsung, kemampuan untuk dicocokkan dengan data empiris, dan hasilnya terlihat membuatnya menjadi model yang menarik. Model ini mencakup faktor penyesuaian terhadap frekuensi yang dapat digunakan untuk meningkatkan rentang frekuensi secara analitis.

a. Mode *Area to Area*

Untuk prediksi *area to area*, nilai L dalam dB/dekade, dan faktor penyesuaian yaitu F_0 .
 Persamaan matematika untuk model Lee dengan mode *area to area* adalah sebagai berikut :

$$PL = L_0 + 10 \log(d) - 10 \log(F_0) \dots\dots\dots(2.9)$$

dengan :

L = rugi-rugi propagasi model Lee (dB)

L_0 = *loss* transmisi

= *kemiringan* dari kurva *path loss* (dB/dekade)

d = jarak dari *base station* (km)

F_0 = faktor penyesuaian

Dimana:

$$F_0 = F_1.F_2.F_3.F_4.F_5$$

F1 = faktor koreksi ketinggian antenna BS

F2 = faktor koreksi daya pancar BS

F3 = faktor koreksi gain antenna BS

F4 = faktor koreksi ketinggian antenna MS

F5 = faktor koreksi frekuensi kerja

b. Mode *Point to Point*

Model Lee dengan mode *point to point* menyertakan faktor kemiringan permukaan tanah. Persamaan matematika untuk model Lee dengan mode *point to point* adalah sebagai berikut :

$$PL = L_0 + \log(d) - 10 \log(F_0) - 20 \log 30 \dots \dots \dots (2.10)$$

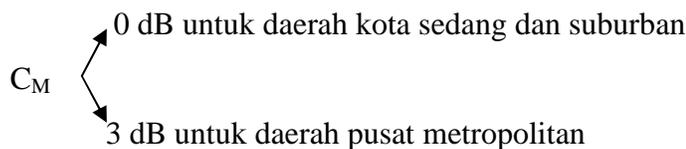
dimana heff dalam satuan meter. Lee membuat standar deviasi kesalahan (*error*) pada mode *area to area* sebesar 8 dB dan pada mode *point to point* sebesar 3 dB. Pada Tugas Akhir ini dipakai model Lee dengan mode *area to area*.

2.9.2 Model COST-231.

European Co-operative for Scientific and Technical Research (EURO-COST) membentuk komite kerja COST-231 untuk membuat model Hata yang disempurnakan atau diperluas. COST-231 mengajukan suatu persamaan untuk menyempurnakan model Hata agar bisa dipakai pada frekuensi 2 GHz. Model redaman lintasan yang diajukan oleh COST-231 ini memiliki bentuk persamaan:

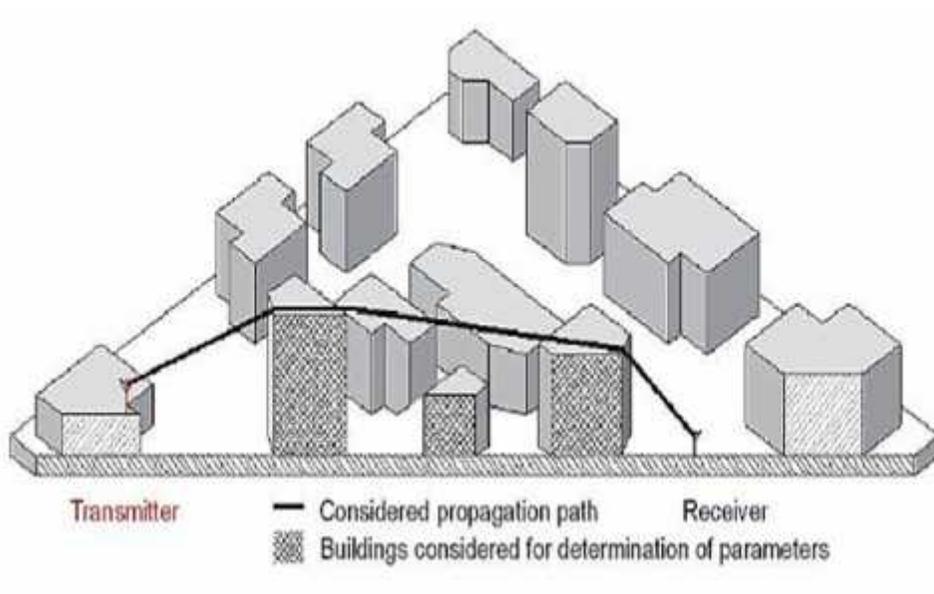
$$L = 46,3 + 33,9 \log f_c - 13,82 \log h_{te} - a(h_{re}) + (44,9 - 6,55 \log h_{te}) \log d + C_M \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana $a(h_{re})$ adalah faktor koreksi tinggi efektif antenna MS sesuai dengan hasil Hata, dan



2.9.3 Model Walfisch – Ikegami

Model empiris ini adalah kombinasi dari model yang dibuat oleh J. Walfisch dan F. Ikegami. Model ini selanjutnya dikembangkan oleh COST dalam proyek COST 231. Oleh karena itu model ini sering juga disebut dengan model empiris COST-Walfisch-Ikegami. Dalam perhitungannya, model ini hanya memperhitungkan jalur transmisi secara lurus pada bidang vertikal antara pemancar-penerima. Jadi yang diperhitungkan hanyalah efek dari benda-benda yang segaris dengan jalur transmisi. Pada daerah perkotaan dimana terdapat banyak gedung-gedung maka yang diperhitungkan hanyalah gedung-gedung yang dilalui bidang vertikal jalur transmisi. Tingkat ketepatan dari model empiris ini sangat tinggi karena, pada daerah perkotaan perambatan yang terjadi melalui atap gedung (*multiple diffraction*) merupakan faktor yang sangatlah dominan dan paling berpengaruh. Hanya saja efek akibat *refleksi* yang berulang-ulang (*Multiple reflection*) tidak diperhitungkan. Gambar 2.9 menjelaskan mengenai jalur perambatan berdasar model walfisch ikegami ini.



Gambar 2.9 Penampang dua dimensi jalur gelombang berdasar model Walfisch-Ikegami

Sumber : (<http://www.itelkom.ac.id>)

Model ini bisa digunakan secara akurat pada parameter-parameter sebagai-berikut:

Frekuensi = f (800...2000 MHz)

Ketinggian pemancar = h_{TX} (4...50 m)

Ketinggian penerima = h_{RX} (1...3 m)

Jarak antara pemancar dan penerima = d (20...5000 m)

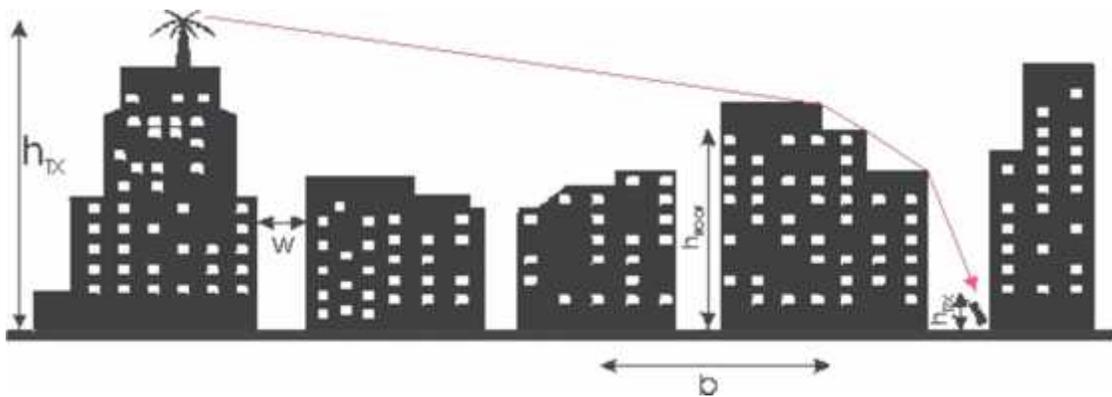
Gambar 2.10 menunjukkan penampang vertikal dari gedung-gedung yang berada pada jalur transmisi. Sebuah pemancar pada atap sebuah gedung dengan tinggi h_{TX} memancarkan gelombang dengan frekuensi f agar penerima disebelah gedung-gedung tersebut dapat menerima sinyal.

Parameter yang didapat dari gedung tersebut antara lain :

Nilai rata-rata dari ketinggian gedung (h_{ROOF})

Nilai rata-rata dari lebar jalan (w)

Nilai rata-rata dari jarak gedung (b)



Gambar 2.10 Penampang vertikal jalur gelombang berdasar model Walfisch-Ikegami

Sumber : (<http://www.itelkom.ac.id>)

Perarahan pada jalan yang berhubungan dengan jalur pemancar-penerima, tidak diperhitungkan dalam implementasi model ini. Hal tersebut dikarenakan data penampang melintang tersebut tidak dapat mewakili perarahan (contohnya pada persimpangan, pada halaman gedung yang dikelilingi tembok maka program-program komputasi model ini tidak dapat menggambarkan perarahan dalam pixel-pixel database gambar mereka.

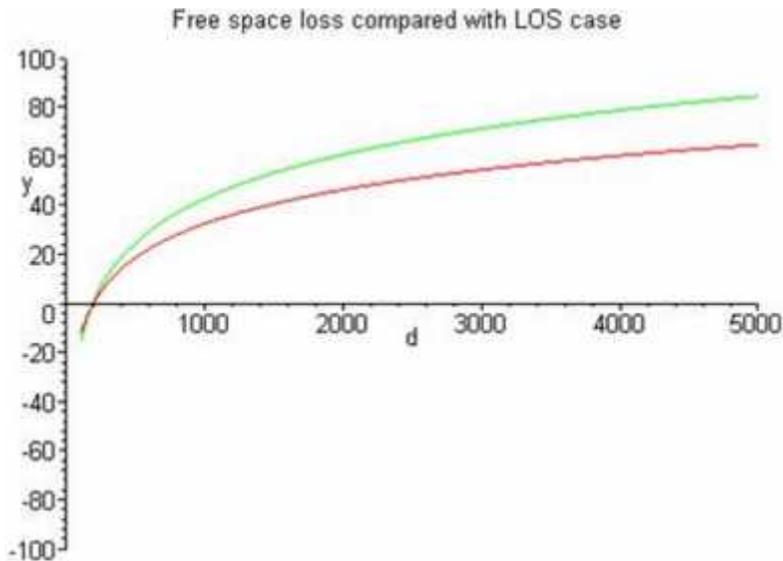
Jika parameter-parameter di atas saja yang diikutsertakan dalam perhitungan, maka walfisch Ikegami dapat dikategorikan sebagai model statistik saja. Namun selain memperhitungkan karakteristik dari parameter-parameter diatas, model walfisch Ikegami juga

membuat perbandingan dan membedakan antara dua situasi berbeda, yaitu saat terjadi LOS dan NLOS (*None Line of Sight*).

Perambatan LOS adalah perambatan langsung antara pemancar (TX) dan penerima (RX). Saat terjadi situasi LOS maka fungsi yang digunakan dalam prediksi menggunakan model ini sangatlah sederhana. Cuma dibutuhkan sebuah persamaan dengan dua parameter saja. Persamaan 2.12 menunjukkan hal tersebut

$$L_p = 42,6 + 26 \log (d) + 20 \log (f) \dots \dots \dots (2.12)$$

Persamaan LOS ini hampir sama dengan persamaan *losses* pada perambatan gelombang di ruang bebas. Persamaan itu diturunkan dari persamaan *free space loss* yang mengalami modifikasi berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan di kota-kota di eropa. Jika jarak $d = 20$ m, *losses* yang terjadi hampir sama dengan *losses* pada ruang bebas dengan jarak yang sama. Grafik pada gambar 2.11 di bawah menunjukkan perbandingan antara *free space loss* dan *transmission loss* dengan persamaan LOS diatas pada jarak d .



Gambar 2.11 Perbandingan *free space loss* dan *transmission loss* pada model Walfisch-Ikegami

Sumber : (<http://www.itttelkom.ac.id>)

Perambatan *NLOS* adalah perambatan tidak langsung antara pemancar (TX) dan penerima (RX) dimungkinkan akibat *refleksi*, *difraksi*, maupun hamburan. Persamaan pada

situasi NLOS ini lebih rumit. *Losses* total dari kasus NLOS ini merupakan hasil penjumlahan *free space loss* (l_0).

Untuk *space loss* :

$$L_0 = 32,44 + 20 \log f + 20 \log d \dots\dots\dots(2.13)$$

2.9.4 Model Hata

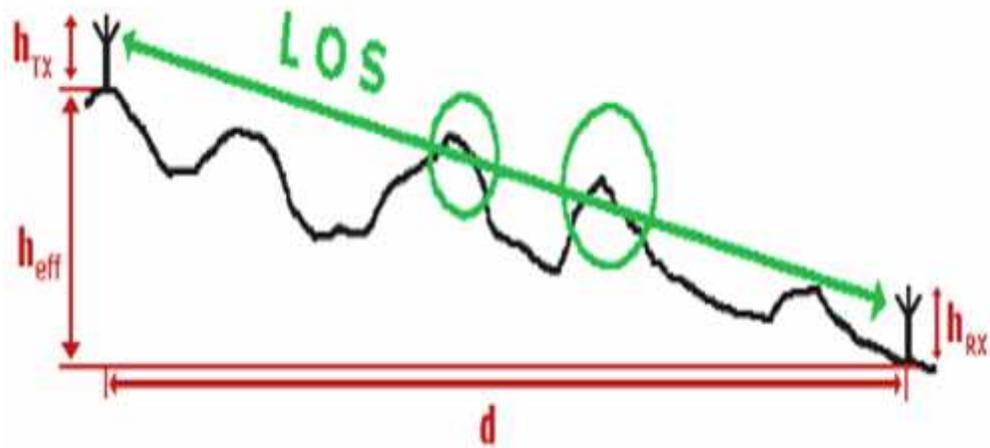
Model Hata merupakan bentuk persamaan empirik dari kurva redaman lintasan yang dibuat oleh Okumura, karena itu model ini lebih sering disebut sebagai model Okumura-Hata. Model ini cocok untuk daerah dengan rentang frekuensi 150 MHz – 1500 MHz. Hata membuat persamaan standar untuk menghitung redaman lintasan di daerah *urban*, sedangkan untuk menghitung redaman lintasan di tipe daerah yang lain (*sub-urban, open area*), Hata memberikan persamaan koreksinya.

Persamaan prediksi Hata untuk daerah *urban* adalah :

$$PL (urban) (dB) = 69.55 + 26.16 \log_{10} (f_c) - 13.82 \log_{10} h_{te} - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55 \log_{10} h_{te}) \log_{10} d \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan :

- F_c = Frekuensi kerja antara 150 MHz – 1500 MHz
- H_{te} = Tinggi efektif antena pemancar BTS sekitar 30 m – 200 m
- H_{re} = Tinggi efektif antena penerima MS sekitar 1 m – 10 m
- d = Jarak antara Tx – Rx (km)
- a(h_{re}) = Faktor koreksi untuk tinggi efektif antena penerima sebagai fungsi dari luas daerah yang dilayani.



Gambar 2.12 model prediksi hata
 Sumber : (<http://www.itelkom.ac.id>)

Untuk kota kecil sampai kota sedang (*small to medium sized city*), faktor koreksi a(hre) adalah :

$$a(hre) = (1.1 \log_{10} fc - 0.7) hre - (1.56 \log_{10} fc - 0.8) \text{ dB}$$

Dan untuk kota besar (*large city*), faktor koreksi a(hre) diberikan oleh :

$$a(hre) = 8.29 (\log_{10} 1.54 hre)^2 - 1.1 \text{ dB untuk } fc < 300 \text{ MHz}$$

$$a(hre) = 3.2 (\log_{10} 11.75 hre)^2 - 4.97 \text{ dB untuk } fc > 300 \text{ MHz}$$

Persamaan prediksi Hata untuk daerah *sub-urban* adalah :

$$PL \text{ (dB)} = PL \text{ (urban)} - 2 [\log_{10} (fc / 28)]^2 - 5.4 \dots\dots\dots(2.15)$$

Dan persamaan prediksi Hata untuk daerah *open rural* adalah :

$$PL \text{ (dB)} = PL \text{ (urban)} - 4.78 (\log_{10} fc)^2 - 18.33 \log_{10} fc - 40.98 \dots\dots\dots(2.16)$$



Gambar 2.13 Grafik prediksi *path loss* di daerah *rural* dan *open*

Sumber : (<http://www.itelkom.ac.id>)

Walaupun model Hata tidak memiliki koreksi lintasan spesifik seperti yang disediakan model Okumura, tetapi persamaan-persamaan diatas sangat praktis untuk digunakan dan memiliki akurasi yang sangat baik. Hasil prediksi dengan model Hata hampir mendekati hasil dengan model Okumura, untuk jarak d lebih dari 1 km. Model ini sangat baik untuk sistem mobile dengan ukuran sel besar, tetapi kurang cocok untuk sistem dengan radius sel kurang dari 1 km.

2.9.5 Model *Free Space Loss*

Model *Free Space Loss* merupakan model propagasi bebas tanpa hambatan. Gelombang memancar bebas ke jarak tak terbatas tanpa diserap atau dipantulkan. Pada perambatan ruang bebas, kondisi lintasan gelombang elektromagnetik menggunakan antena isotropis. Adapun rumus yang digunakan adalah :

$$PL = 32.45 + 20 \log_{10} (d) + 20 \log_{10} (f) \dots \dots \dots (2.17)$$

Dimana :

d = Jarak antara BTS ke MS

F = Frekuensi

2.9.6 Model Egli

Model Egli adalah model propagasi untuk gelombang radio. Model ini sangat cocok digunakan pada frekuensi 3MHz- 3GHz dan biasanya digunakan ketika pada kondisi LOS antara antena pengirim ke penerima.

$$Pl = \begin{cases} 20 \log 10 fc + po + 76,3, & hr \leq 10 \\ 20 \log 10 fc + po + 83,9, & hr > 10 \end{cases} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana :

$$P0 = 40 \log 10 d - 20 \log 10 ht - 10 \log 10 hr$$

F : Frekuensi

Ht : Tinggi antena BTS

Hr : Tinggi antena MS

d : Jarak BTS ke MS

2.9.7 Model Ecc-33

Model ECC 33 dikembangkan oleh Electronic Komite Komunikasi (ECC) dari pengukuran aslinya oleh Okumura dan dimodifikasi sehingga asumsinya lebih dekat dengan fixed wireless access (FWA) sistem. Path loss dengan menggunakan model prediksi ecc-33 dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$PL (dB) = Afs + Abm - Gt - Gr \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana :

Afs = Redaman ruang bebas

Abm = Path loss dasar

Gt = Gain antena BTS

Gr = Gain antena MS