

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Penelitian Terkait**

Harefa (2011) dengan penelitiannya tentang Perbandingan Model Propagasi untuk Komunikasi Bergerak. Dalam penelitian ini menjelaskan bahwa pemodelan propagasi adalah pemodelan rugi-rugi yang merupakan bagian paling penting dalam merancang suatu jaringan komunikasi bergerak. Dalam sistem komunikasi bergerak, model rugi-rugi propagasi diperlukan untuk menganalisis kondisi karakteristik propagasi, perkiraan interferensi dan perkiraan parameter sel. Sehingga dapat menunjang pembuatan sistem komunikasi yang mempunyai kualitas pelayanan yang efektif. Tanpa model yang akurat, untuk mengetahui kehandalan dari suatu jaringan, maka perlu membangun suatu jaringan, menguji kehandalannya, dan kemudian menggunakan metode *trial* dan *error* untuk mengoptimalkan *desain* jaringan yang dibuat. Hal ini dapat memakan waktu, mahal, beresiko, dan *desain* akhir mungkin tidak sebaik yang diharapkan. Dengan prediksi propagasi yang akurat dan metode simulasi, *desain* jaringan dapat sepenuhnya diuji sebelum jaringan tersebut dibangun.

Wirasati (2009) dengan penelitiannya tentang Pemodelan Propagasi pada Sistem DCS 1800. Perambatan gelombang radio dari pemancar ke penerima mengalami rugi-rugi propagasi. Besarnya rugi propagasi tersebut bervariasi sesuai spektrum frekuensi dan kondisi alam serta lingkungan sekitarnya. Secara empiris, terdapat beberapa model propagasi yang dapat digunakan. Model propagasi yang secara umum dipergunakan antara lain adalah model Okumura-Hata, model Walfisch-Ikegami, serta model W.C.Y. Lee. Pengambilan data pada pembahasan dan analisa perbandingan pemodelan propagasi pada sistem DCS 1800 pada daerah urban di kota Semarang ini dilaksanakan pada operator selular PT. INDOSAT M-3 Area Jateng & DIY dengan mengambil beberapa lokasi BTS yang berada di kota Semarang.

Sarjudin (2011) dengan penelitiannya tentang Simulasi *Link Budget* pada Komunikasi Selular di Daerah Urban dengan Metode Walfisch Ikegami. Pada penelitian ini dibuat simulasi metode Walfisch Ikegami untuk menghitung *pathloss* pada daerah urban dengan nilai parameter yang dapat bervariasi. Parameter-parameter tersebut antara lain tinggi BTS, tinggi gedung, frekuensi, lebar jalan, jarak antar gedung, sudut orientasi jalan dan jarak BTS-MS.

Hasil perhitungan *pathloss* kemudian digunakan untuk menghitung *link budget* untuk mendapatkan nilai RSL (*Receive Signal Level*) untuk daerah urban. Pada tahap pengujian dilakukan dua perhitungan di antaranya perhitungan *pathloss* dan perhitungan *link budget*. *Pathloss* merupakan perhitungan rugi-rugi propagasi di daerah kota sedang dan kota metropolitan dengan metode Walfisch Ikegami. Pada tahap perhitungan *link budget*, dilakukan untuk mendapatkan level daya yang diterima MS.

Purba (2011) dengan judul penelitiannya Simulasi Prediksi Cakupan Antena pada BTS, disini menyimpulkan bahwa dari data hasil simulasi terlihat jari-jari sel dipengaruhi oleh tinggi antena dan jenis antena, semakin tinggi dan besar Gain antena akan menghasilkan jari-jari yang besar. Nilai jari-jari sel dan sudut HPBW akan mempengaruhi nilai cakupan sinyal yang terjadi. Pada model propagasi Walfish Ikegami terlihat antena kathrein seri 730370 memiliki cakupan sinyal yang besar jika berada pada ketinggian 72 meter dan pada model propagasi Okumura Hatta terlihat antena kethrein seri 732967 memiliki cakupan sinyal yang besar jika berada pada ketinggian 72 meter dengan tipe tempat berdirinya BTS ialah daerah sub urban.

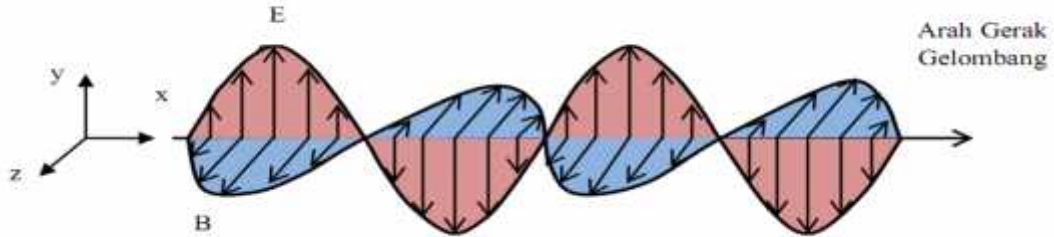
Dari uraian di atas dapat dipahami bahwa model propagasi sangat penting untuk diketahui. Di Pekanbaru sendiri belum memiliki model propagasi untuk frekuensi 900 MHz. Oleh karena itu penulis tertarik untuk melakukan studi kasus untuk wilayah Pekanbaru dengan acuan dari studi literatur di atas, namun penulis hanya akan mengambil pembahasan tentang model propagasi untuk kanal radio bergerak pada frekuensi 900 MHz, di Kota Pekanbaru.

## **2.2. Gelombang Elektromagnetik**

### **2.2.1 Defenisi Gelombang elektromagnetik**

Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang dapat merambat walaupun tidak ada medium dan terdiri dari medan listrik dan medan magnetik seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.1. Energi elektromagnetik merambat dalam gelombang dengan beberapa parameter yang bisa diukur, yaitu panjang gelombang, frekuensi, amplitudo, dan kecepatan. Amplitudo adalah tinggi gelombangnya, sedangkan panjang gelombang adalah jarak antara dua puncak. Frekuensi adalah jumlah gelombang yang melalui suatu titik dalam satu satuan waktu. Frekuensi tergantung dari kecepatan merambatnya gelombang. Karena kecepatan energi elektromagnetik adalah konstan (kecepatan cahaya), panjang gelombang dan frekuensi

berbanding terbalik. Semakin panjang suatu gelombang, semakin rendah frekuensinya, dan semakin pendek suatu gelombang semakin tinggi frekuensinya.



Gambar 2.1 Perambatan Gelombang Elektromagnetik yang Terdiri dari Medan Listrik E Dan Medan Magnetik B

(Sumber : Sofyan P.A. Harefa, 2011)

### 2.2.2 Spektrum Gelombang Elektromagnetik

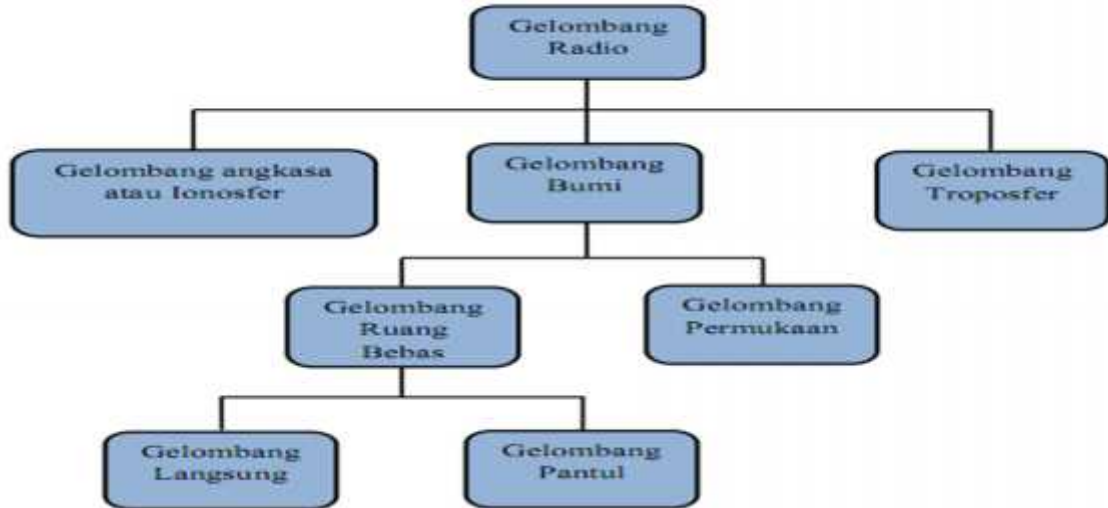
Spektrum frekuensi gelombang radio dapat dibagi menjadi beberapa pita frekuensi, seperti yang terlihat dibawah ini.

Tabel 2.1 Pembagian pita frekuensi

No	Pita Frekuensi	Rentang Frekuensi
1.	<i>Extremely Low Frequency (ELF)</i>	< 3kHz
2.	<i>Very Low Frequency (VLF)</i>	3 - 30 kHz
3.	<i>Low Frequency (LF)</i>	30 - 300 kHz
4.	<i>Medium Frequency (MF)</i>	300 kHz – 3 MHz
5.	<i>High Frequency (HF)</i>	3 - 30 MHz
6.	<i>Very High Frequency (VHF)</i>	30 - 300 MHz
7.	<i>Ultra High Frequency (UHF)</i>	300 MHz – 3 GHz
8.	<i>Super High Frequency (SHF)</i>	3 - 30 GHz
9.	<i>Extra High Frequency (EHF)</i>	30 - 300 GHz

### 2.3. Mode Perambatan Gelombang Elektromagnetik

Secara umum beberapa gelombang elektromagnetik dapat dilihat pada mode perambatan gelombang berikut ini:



Gambar 2.2 Mode Perambatan Gelombang Radio

(Sumber : Sofyan P.A. Harefa, 2011)

Beberapa mode perambatan gelombang elektromagnetik yang dikenal adalah sebagai berikut:

#### 1. Propagasi Gelombang Bumi/Tanah (*Ground Wave*)

Gelombang bumi/tanah (*ground wave*) merambat mengikuti bentuk atau kontur dari permukaan bumi dan merambat pada jarak yang cukup jauh. Efek ini ditemukan pada frekuensi-frekuensi sampai 2 MHz. Gelombang elektromagnetik dalam rentang frekuensi ini tersebar di atmosfer sedemikian rupa sehingga gelombang-gelombang ini tidak menembus atmosfer atas.

#### 2. Propagasi Gelombang Angkasa/Langit (*Sky Wave*)

Dengan propagasi gelombang angkasa/langit, sinyal dari antenna bumi dipantulkan dari lapisan terionisasi pada atmosfer atas (ionosfer) kembali ke bumi. Walaupun sepertinya gelombang dipantulkan oleh ionosfer adalah permukaan pemantul yang keras, efek ini sebenarnya disebabkan oleh refraksi.

Sebuah sinyal gelombang langit dapat menjalar melalui beberapa lompatan, memantul bolak-balik antara ionosfer dan permukaan bumi. Dengan mode propagasi ini, sebuah sinyal dapat diterima ribuan kilometer dari pemancar.

### 3. Propagasi Segaris Pandang (*Line of Sight*)

Di atas 30 MHz, baik propagasi gelombang bumi maupun langit tidak bekerja dan komunikasi harus dilakukan secara segaris pandang (*Line of Sight*). Untuk komunikasi berbasis bumi, antena pemancar dan antena penerima harus berada dalam garis pandang efektif antara satu dengan yang lainnya. Istilah efektif digunakan karena gelombang mikro dibengkokkan atau mengalami refraksi oleh atmosfer. Besar arah dan pembengkokan ditentukan oleh berbagai keadaan, tetapi pada umumnya gelombang mikro dibengkokkan sesuai kelengkungan bumi sehingga merambat lebih jauh daripada garis pandang optik.

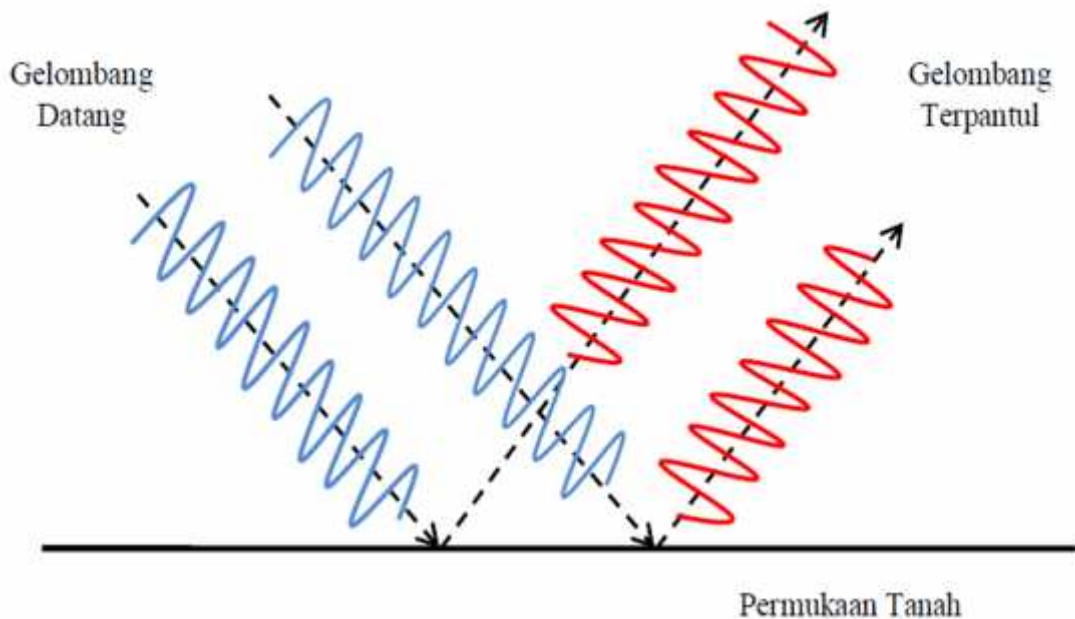
## 2.4. Mekanisme Dasar Perambatan Gelombang Elektromagnetik

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

### 2.4.1 Refleksi (Pemantulan)

Refleksi 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, seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.3.

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 2.3 Refleksi (pantulan) Gelombang Elektromagnetik  
(Sumber : Sofyan P.A. Harefa, 2011)

#### 2.4.2 *Scattering* (Hamburan/Penyebaran)

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

#### 2.4.3 *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  $c$ .

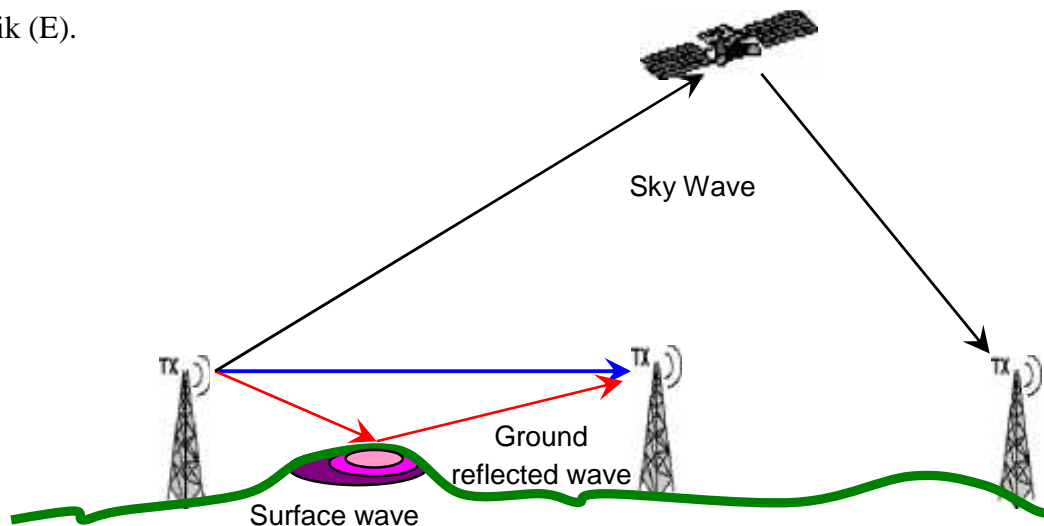
#### 2.4.4 Difraksi (Lenturan)

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

### 2.5. Perambatan Gelombang Radio

#### 2.5.1 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. 4 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* (Gambar 2.4). *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*).

### 2.5.2 Model Perambatan Gelombang Radio

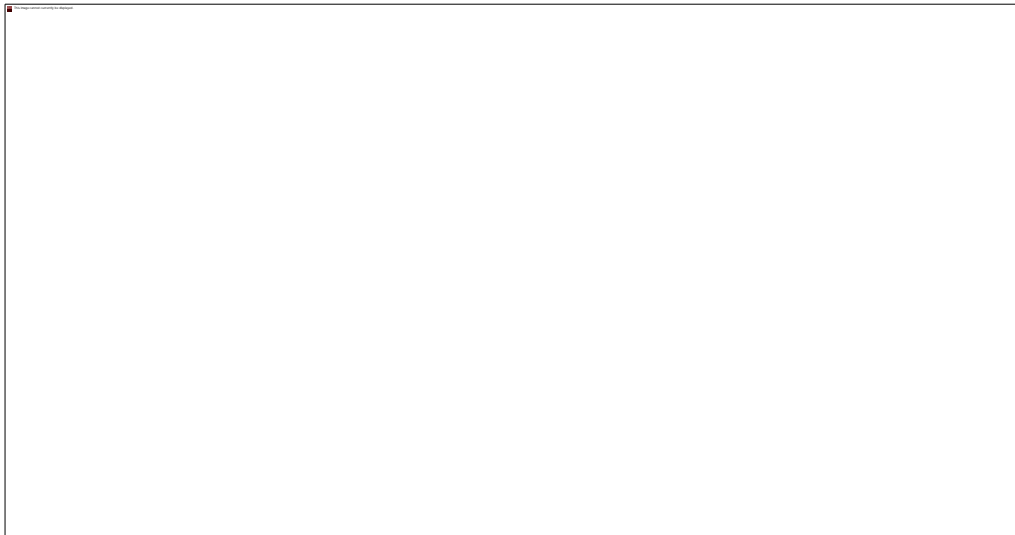
Jalur transmisi gelombang radio antara pengirim (TX) dan penerima (RX) bervariasi, dari model transmisi *LoS* yang mudah dimodelkan sampai jalur transmisi yang kompleks karena adanya penghalang, seperti gedung-gedung, pegunungan, perbukitan dan vegetasi. Cuaca seperti hujan dan petir turut juga mempengaruhi perambatan gelombang. Dan masih banyak lagi faktor-faktor yang mempengaruhi perambatan gelombang radio karena media yang digunakan adalah udara yang sangat mudah berubah kondisinya.

Tidak seperti pada sistem komunikasi kabel yang statis dan mudah diprediksi, kanal frekuensi gelombang radio sangatlah acak dan memerlukan cara yang sangat kompleks dalam analisisnya. Bahkan kecepatan gerak dari sebuah *mobile station*/terminal sangat mempengaruhi tingkat perolehan sinyal radio yang diterima antena terminal tersebut.

Model yang menggambarkan karakter kuat sinyal pada rentang jarak pemancar-penerima yang besar (beberapa ratus atau beberapa ribu kali panjang gelombang) disebut *large-scale models* (Gambar 2.5) sedangkan *small-scale models* menggambarkan variasi kuat sinyal yang diterima pada jarak dekat (beberapa kali panjang gelombang) serta perubahan kuat sinyal terhadap waktu dalam periode yang singkat (dalam orde detik).

Mekanisme perambatan gelombang elektromagnetik sangatlah bermacam-macam, tapi secara umum dapat digambarkan oleh tiga hal utama yaitu refleksi (pantulan), refraksi (pembelokan), dan hamburan. Kebanyakan sistem komunikasi seluler beroperasi di daerah perkotaan dimana sama sekali tidak dimungkinkan adanya jalur transmisi *LoS* antara pemancar dan penerima serta adanya gedung-gedung tinggi yang menyebabkan rugi-rugi akibat refraksi.





Gambar: 2.5 *Large-Scale Path Loss* pada Beberapa Area yang Berbeda Topografinya.

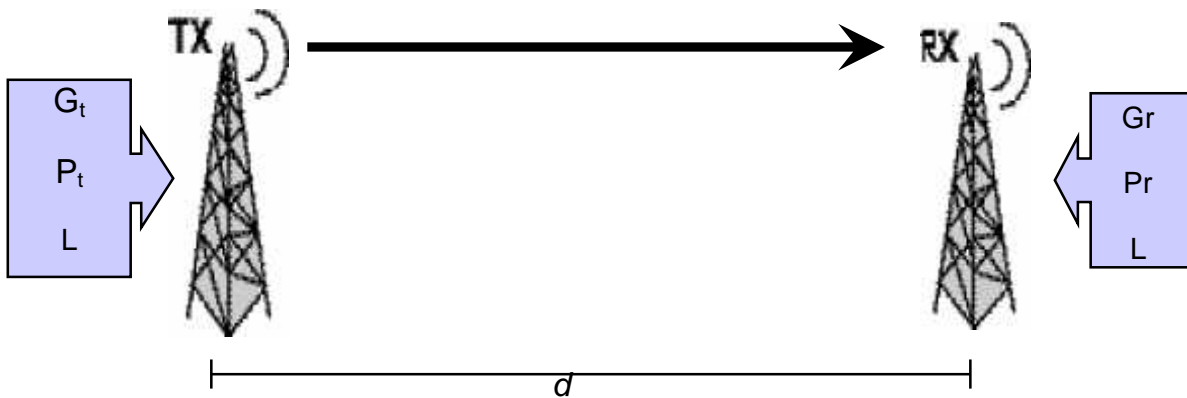
(Sumber : <http://www.te.ugm.ac.id>)

Secara umum, *large-scale models* akan mendasarkan perhitungannya pada mekanisme perambatan gelombang secara umum. *Large-scale models* menghitung rugi-rugi atenuasi total jalur transmisi yang dilalui gelombang secara global dari satu titik ke titik lain untuk menentukan kuat sinyal pada titik tersebut. Hal tersebut menyebabkan *large-scale models* sering disebut dengan *large-scale path loss*. *Large scale path loss* akan menganalisis kuat sinyal yang ada pada masing-masing titik 1, 2, 3, 4, dan 5 berdasarkan mekanisme dasar perambatan gelombang radio pada jalur transmisi yang dilalui untuk mencapai titik-titik tersebut.

Perhitungan *small-scale models* didasarkan pada pengaruh perubahan kecepatan gerak penerima, perubahan keadaan sekitar, *multipath*, dan lebar bidang jalur transmisi terhadap kuat sinyal yang diterima. Seberapa besar variasi dari sinyal yang diterima terhadap perubahan skala kecil ( perubahan tidak signifikan tapi tetap berpengaruh ) merupakan titik berat deskripsi yang dilakukan pemodelan ini. Oleh karena perubahan skala kecil itu sering menyebabkan pudarnya intensitas sinyal maka pemodelan ini sering disebut *small-scale fading* dan *multipath propagation*.

### 2.5.3 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  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinyal dalam satuan meter.



Gambar: 2.6 Model Perambatan Gelombang Pada Ruang Bebas  
(Sumber: <http://dosen.narotama.ac.id/wp-content/uploads/2012>)

Gambar di atas dapat dituliskan menggunakan persamaan sebagai berikut:  
(Reza Savana, 2009)

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

Untuk menghitung nilai *loss* propagasi, yang mana didalamnya terdapat *loss-loss* yang lain maka kita gunakan rumus dengan persamaan di bawah ini:

$$L = P_t + G_t + G_r - (P_r) \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

L = Rugi-rugi propagasi gelombang radio (dBm)

Pt = Daya pancar (dBm)

Gt = Penguatan pada antena BTS (dBi)

Gr = Penguat pada antena penerima (dBi)

Pr = Daya pancar (dBm)

Pada perambatan ruang bebas, kondisi lintasan gelombang elektromagnetik diasumsikan ruang hampa dan antena yang dipergunakan adalah antena isotropis tanpa penghalang *Path loss* atau rugi-rugi jalur transmisi didefinisikan sebagai perbandingan antara daya efektif yang dipancarkan dan daya yang diterima, termasuk didalamnya pengaruh dari gain antena. Besarnya *Path Loss* (PL) didefinisikan dalam persamaan 2.3. dalam satuan desibel.

$$L_{fs} = \frac{P_t}{P_r}$$

$$L_{fs} = \frac{(4\pi d)^2}{G_t G_r \lambda^2} \dots\dots\dots(2.3)$$

apabila ditulis dalam dB maka persamaannya menjadi,

$$L_{fs} = 20 \log_{10} \frac{\lambda}{2\pi d} - 10 \log_{10} G_t - 10 \log_{10} G_r$$

Atau

$$L_{fs} = 10 \log_{10} \frac{(4\pi d)^2}{G_t G_r \lambda^2} \dots\dots\dots(2.4)$$

Tanpa adanya penghalang antara pengirim dan penerima, maka kita juga bisa menggunakan persamaan *free space loss*:

$$Fsl = 32,45 + 20 \log f \text{ (Mhz)} + 20 \log d \text{ (Km)} \dots\dots\dots(2.5)$$

#### 2.5.4 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.

### 2.5.5 Perambatan Gelombang di Permukaan Bumi

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

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

$$P_r = 20 \log_{10}(P_t G_t G_r) - 10 \log_{10} d + 20 \log_{10} h_t + 20 \log_{10} h_r \dots \dots \dots (2.6)$$

dengan

- $P_r$  = daya yang diterima (dBm).
- $h_t$  = tinggi antenna pemancar (m).
- $h_r$  = tinggi antenna penerima (m).
- $d$  = jarak antara antenna pemancar dan penerima (m).

### 2.5.6 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.

Ketika gelombang radio mengenai bahan dielektrik sempurna, sebagian dari energinya ditransmisikan ke medium kedua, dan sebagian lagi dipantulkan kembali ke medium pertama sehingga tidak akan kehilangan energi karena penyerapan. Jika medium kedua adalah konduktor sempurna, maka semua energinya terpantulkan kembali ke medium pertama tanpa kehilangan energi (Sofyan p.a harefa,2011).

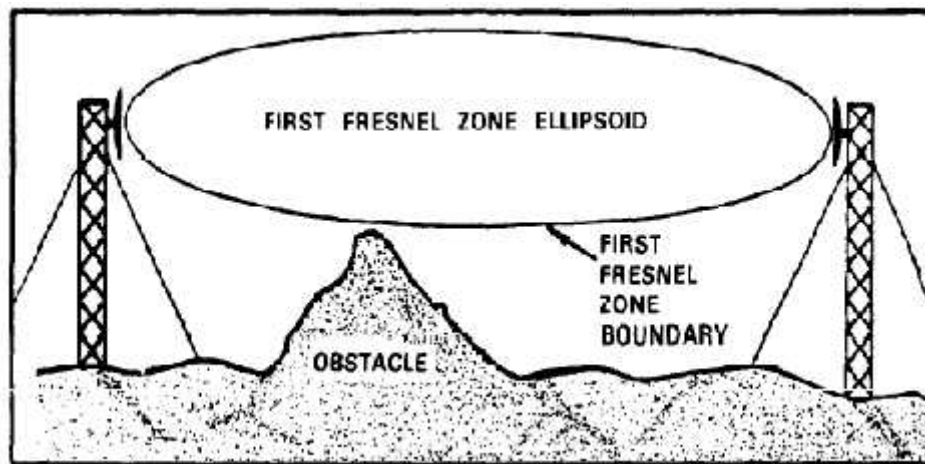
### 2.5.7 Fresnel Zone (Daerah Fresnel)

Gelombang mengalami difraksi ketika melewati penghalang yang lebih besar dari pada 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.

Gambar 2.7 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.



Gambar: 2.7 Daerah Fresnel

(Sumber: <http://dosen.narotama.ac.id/wp-content/uploads/2012>)

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 dibawah nilai minimum sehingga koefisien *clearance* ( $=hc/r_1$ ) terletak pada daerah  $0 < < 1$ , maka redaman halangan merupakan fungsi linear atas dan mencapai nilai maksimal 6 dB pada saat menyentuh titik tertinggi penghalang. Di daerah yang jauh terlindungi, yakni rintangan menutup seluruh daerah Fresnel I ( $< 0$ ), kuat medan akan menurun berbanding terbalik terhadap . Dalam keadaan demikian, redaman halangan dapat dihitung pendekatannya dari persamaan.

## 2.6. 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.

## 2.7. Model Perambatan Gelombang Luar Ruangan

Berdasarkan cara pembuatannya, model perambatan gelombang radio untuk 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.

2. *Empirical Model*: sebuah model yang dibuat dengan membandingkan secara statistic sebuah persamaan dengan data hasil observasi, eksperimen, atau pengalaman. Yaitu seperti Hatta-Okumura, Walfisch Ikegami.
3. *Ray Optical Model*: Model yang dibuat berdasarkan gerakan berkas sinar yang dipancarkan sebagai pengganti sinyal radio. Sinyal elektro magnetik juga merupakan cahaya (energi gelombang elektromagnetik merupakan energi dari foton berdasarkan persamaan  $E$  adalah energi,  $h$  = tetapan planck, dan  $f$  = banyaknya foton).

### 2.7.1 Model Okumura

Model Okumura merupakan salah satu model yang terkenal dan paling banyak digunakan untuk melakukan prediksi sinyal di daerah urban (kota). Model ini cocok untuk *range* frekuensi antara 150-1920 MHz dan pada jarak antara 1-100 km dengan ketinggian antenna *base station* (BS) berkisar 30 sampai 1000 m. Okumura membuat kurva-kurva redaman rata-rata relatif terhadap redaman ruang bebas (Amu) pada daerah urban melalui daerah *quasi-smooth terrain* dengan tinggi efektif antenna *base station* (hte) 200 m dan tinggi antenna *mobile station* (hre) 3 m. Kurva-kurva ini dibentuk dari pengukuran pada daerah yang luas dengan menggunakan antenna *omnidirectional* baik pada BS maupun MS, dan digambarkan sebagai fungsi frekuensi (*range* 100-1920 MHz) dan fungsi jarak dari BS (*range* 1-100 km). Untuk menentukan redaman lintasan dengan model Okumura, pertama kita harus menghitung dahulu redaman ruang bebas (*free spacepath loss*), kemudian nilai Amu(f,d) dari kurva Okumura ditambahkan ke dalam factor koreksi untuk menentukan tipe daerah. Model Okumura dapat ditulis dengan persamaan berikut:

$$L(\text{dB}) = LF + \text{Amu}(f,d) - G(\text{hte}) - G(\text{hre}) - G_{\text{AREA}} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana L adalah nilai rata-rata redaman lintasan propagasi, LF adalah redaman lintasan ruang bebas, Amu adalah rata-rata redaman relatif terhadap redaman ruang bebas, G(hte) adalah gain antenna BS, G(hre) adalah *gain* antenna MS, dan  $G_{\text{AREA}}$  adalah gain tipe daerah. *Gain* antenna disini adalah karena berkaitan dengan tinggi antenna dan tidak ada hubungannya dengan pola antenna.

Lebih jauh, Okumura juga menemukan bahwa G(hte) mempunyai nilai yang bervariasi dengan perubahan 20 dB/*decade* dan G(hre) bervariasi dengan perubahan 10 dB/*decade* pada ketinggian antenna kurang dari 3 m.

$$G(\text{hre}) = 20\log(\text{hre}/200) \quad 100 \text{ m} > \text{hre} > 10 \text{ m} \dots\dots\dots(2.7a)$$

$$G(\text{hre}) = 20\log(\text{hre}/3) \quad 10 \text{ m} > \text{hre} > 3 \text{ m} \dots\dots\dots(2.7b)$$

$$G(\text{hre}) = 10 \log(\text{hre}/3) \quad \text{hre} \leq 3 \text{ m} \dots\dots\dots(2.7c)$$

Model Okumura merupakan model yang sederhana tetapi memberikan akurasi yang bagus untuk melakukan prediksi redaman lintasan pada sistem komunikasi radio bergerak dan seluler untuk daerah yang tidak teratur. Kelemahan utama dari model ini adalah respon yang lambat terhadap perubahan permukaan tanah yang cepat. Karena itu model ini sangat cocok diterapkan pada daerah urban dan suburban, tetapi kurang bagus untuk daerah rural.

### 2.7.2 Model Hatta dan COST-231

Model Hatta merupakan bentuk persamaan empirik dari kurva redaman lintasan yang dibuat oleh Okumura, karena itu model ini lebih sering disebut sebagai model Okumura-Hatta. Model ini *valid* untuk daerah *range* frekuensi antara 150-1500 MHz. Hatta membuat persamaan standar untuk menghitung redaman lintasan di daerah urban, sedangkan untuk menghitung redaman lintasan di *tipe* daerah lain (suburban, open area, dll), Hatta memberikan persamaan koreksinya. Persamaan prediksi Hatta untuk daerah urban adalah:

$$L(\text{urban})(\text{dB}) = 69,55 + 26,16\log f_c - 13,82\log h_{te} - a(\text{hre}) + (44,9 - 6,55 \log h_{re}) \log d \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana  $f_c$  adalah frekuensi kerja antara 150-1500 MHz,  $h_{te}$  adalah tinggi efektif antena *transmitter* (BS) sekitar 30-200 m,  $h_{re}$  adalah tinggi efektif antena *receiver* (MS) sekitar 1-10 m,  $d$  adalah jarak antara Tx-Rx (km), dan  $a(\text{hre})$  adalah faktor koreksi untuk tinggi efektif antena MS sebagai fungsi dari luas daerah yang dilayani.

Untuk kota kecil sampai sedang, faktor koreksi  $a(\text{hre})$  diberikan oleh persamaan:

$$a(\text{hre}) = (1,1\log f_c - 0,7) h_{re} - (1,56\log f_c - 0,8) \text{ dB} \dots\dots\dots(2.9)$$

sedangkan untuk kota besar:

$$a(\text{hre}) = 8,29 (\log 1,54 h_{re})^2 - 1,1 \text{ db untuk } f_c < 300 \text{ MHz} \dots\dots\dots(2.9a)$$

$$a(\text{hre}) = 3,2 (\log 11,75 h_{re})^2 - 4,97 \text{ dB untuk } f_c > 300 \text{ MHz} \dots\dots\dots(2.9b)$$



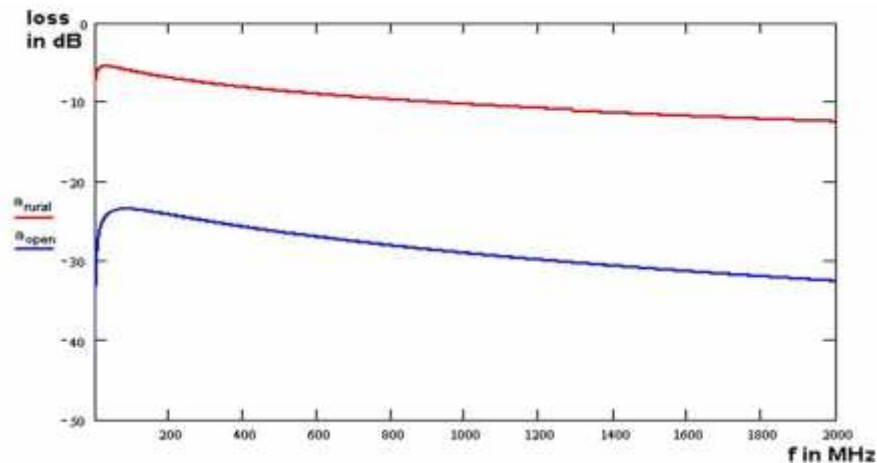
Untuk memperoleh redaman lintasan di daerah sub-urban dapat diturunkan dari persamaan standar Hata untuk daerah urban dengan menambahkan faktor koreksi, sehingga diperoleh persamaan berikut:

$$L(\text{suburban})(\text{dB}) = L(\text{urban}) - 2[\log(f_c / 28)]^2 - 5,4 \dots\dots\dots(2.10)$$

dan untuk daerah rural terbuka, persamaannya adalah:

$$L(\text{open rural})(\text{dB}) = L(\text{urban}) - 4,78 (\log f_c)^2 + 18,33 \log f_c - 40,98 \dots\dots\dots(2.11)$$

Walaupun model Hata tidak memiliki koreksi lintasan spesifik seperti yang disediakan model Okumura, tetapi persamaan-persamaan di atas 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.



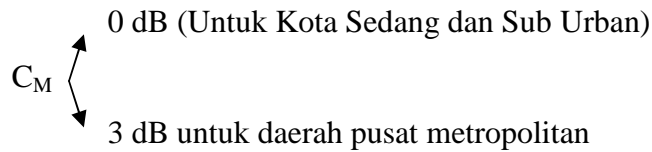
Gambar: 2.8 Grafik Prediksi *Path Loss* Di Daerah *Rural* Dan *Open*

. (Sumber: <http://dosen.narotama.ac.id/wp-content/uploads/2012>)

*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:

$$L(\text{urban}) = 46,3 + 33,9 \log f_c - 13,82 \log h_{te} - a(h_{re}) + (44,9 - 6,55 \log h_{te}) \log d + C_M \dots\dots\dots (2.12)$$

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



Model Hatta COST-231 cocok untuk parameter-parameter berikut:

$f$  : 1500 – 2000 MHz

$h_{te}$  : 30-200 m

$h_{re}$  : 1-10 m

$d$  : 1-20 km

### 2.7.3 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.

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)

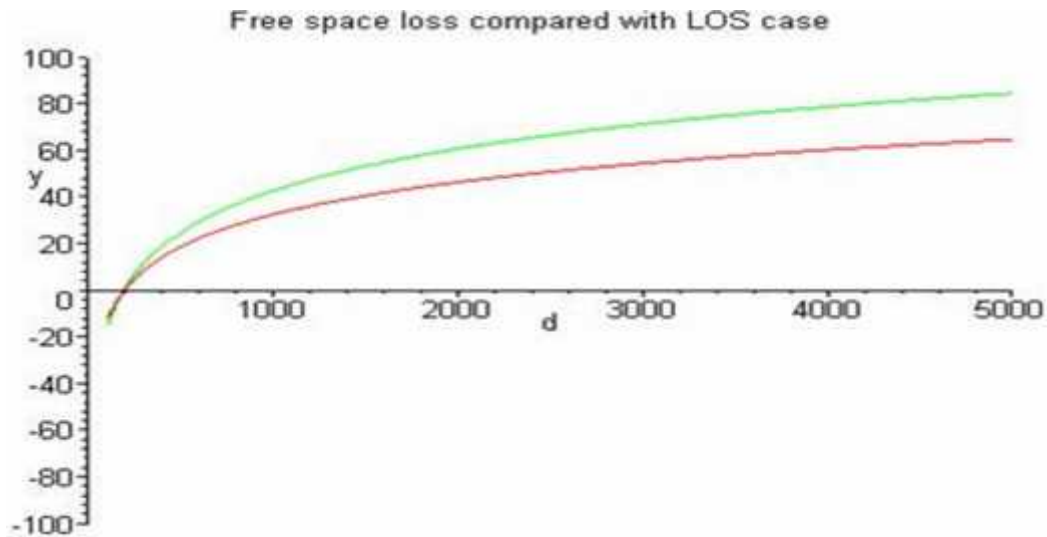
Jarak antara BTS dan MS =  $d$  (20-5000 m)

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. Hanya dibutuhkan sebuah persamaan dengan dua parameter saja. Persamaan 2.13 menunjukkan hal tersebut:

$$Lp = 42.6 + 20 \log \left( \frac{d}{Km} \right) + 20 \log \left( \frac{f}{Mhz} \right) \dots \dots \dots (2.13)$$

Persamaan *LoS* ini hampir sama dengan persamaan *loss* 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, *loss* yang terjadi hampir sama dengan *loss* pada ruang bebas dengan jarak yang sama. Grafik pada gambar 2.9 di bawah menunjukkan perbandingan antara *free space loss* dan *transmission loss* dengan persamaan *LoS* di atas pada jarak  $d$ .



Gambar: 2.9 Perbandingan *Free Space Loss* dan *Transmission Loss* Pada Model Walfisch-Ikegami

(Sumber: <http://dosen.narotama.ac.id/wp-content/uploads/2012>)

#### 2.7.4 Model Lee

Jenis Model Lee diturunkan dari data eksperimen yang dilakukan di beberapa kota besar di dunia. Pertama kali Model Lee dirumuskan sebagai prediksi level sinyal yang diterima (*Received Signal Level*) yang didasarkan pada daya pancar dan *gain* antenna untuk digunakan pada frekuensi 900 MHz. Formulasi yang disajikan di sini 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 mencakup faktor penyesuaian terhadap frekuensi yang dapat digunakan untuk meningkatkan rentang frekuensi secara analitis. 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. Berikut ada dua macam Model Lee, diantaranya adalah sebagai berikut:

### 1. Mode *Area to Area*

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

$$PL = L_0 + \gamma \log(d) - 10 \log(F_0) \dots \dots \dots (2.14)$$

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

### 2. 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 :

$$PL = L_0 + \gamma \log(d) - 10 \log(F_0) - 20 \log(h_{eff}) \dots \dots \dots (2.15)$$

dimana  $h_{eff}$  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.

Dimana:

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

$F_1$  = faktor koreksi ketinggian antenna BS

F2 = faktor koreksi daya pancar BS

F3 = faktor koreksi *gain* antena BS

F4 = faktor koreksi ketinggian antena MS

F5 = faktor koreksi frekuensi kerja