

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gelombang Radio

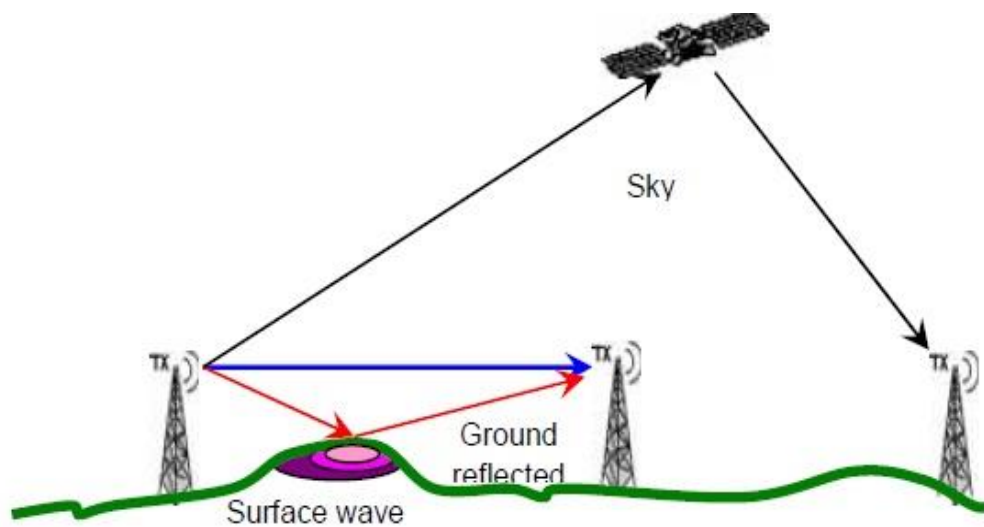
Gelombang radio merupakan gelombang yang memiliki frekuensi paling kecil dan panjang gelombang paling panjang, gelombang radio berada dalam rentang frekuensi yang luas meliputi beberapa Hz sampai GHz. Pada tabel 2.1 menunjukkan spektrum frekuensi gelombang radio yang dibagi menjadi beberapa pita frekuensi[2].

Tabel 2.1 Pembagian Pita Frekuensi

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

2.1.1 Jenis - Jenis Perambatan Gelombang Radio

Perambatan gelombang radio merupakan merupakan salah satu hal terpenting dalam sebuah sistem *wireless communication*, karena tanpa adanya perambatan gelombang radio ini maka sistem komunikasi tidak bisa berjalan. Gelombang radio dalam sebuah sistem komunikasi memiliki sifat merambat dan bergerak didalam ruang (*space*) dengan membawa sinyal informasi yang diperlukan, adapun sinyal informasi yang dibawa didalam gelombang radio itu berupa data dan suara. Data dan suara yang dibawa gelombang radio itu saling dipertukarkan antara pengirim atau *transmitter* (Tx) dengan penerima atau *receiver* (Rx) dan disitulah terjadinya proses komunikasi. Gelombang radio sendiri merupakan gelombang elektromagnetik yang didalamnya terdapat besaran kuat medan magnet dan kuat medan listrik[3].



Gambar 2.1 Perambatan Gelombang Radio

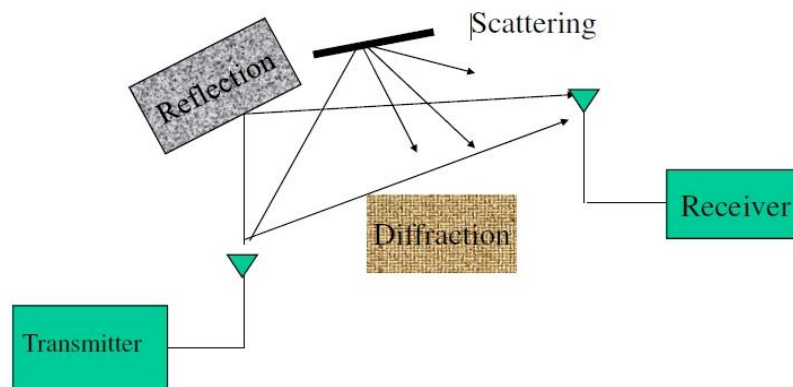
Gambar 2.1 menunjukkan bahwa berdasarkan perambatannya di luar ruang (*outdoor*), gelombang radio dibagi menjadi dua kelompok besar yaitu *ground wave* dan *sky wave*. *Ground wave* adalah gelombang yang dekat dengan permukaan tanah dan *sky wave* adalah gelombang yang merambat ke langit. *Ground wave* 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*)[4].

Transmisi gelombang radio pada saat ini menjadi salah satu pembahasan dalam pengembangan komunikasi *wireless*. Mekanisme perambatan gelombang elektromagnetik pada umumnya menjelaskan perkiraan rata-rata kuat sinyal yang diterima *receiver* pada jarak tertentu dari *transmitter*. Model propagasi dibedakan menjadi dua berdasarkan skalanya:

1. Propagasi skala besar yaitu model propagasi yang memperkirakan data tentang kuat sinyal untuk jarak *transmit* ke *receiver* yang bervariasi. Hal ini berguna untuk memperkirakan daerah cakupan antena.
2. Propagasi skala kecil yaitu model propagasi yang mengkarakteristikan fluktuasi yang cepat dari kuat sinyal yang di terima oleh *receiver* pada jarak dan waktu yang sangat kecil (hanya beberapa λ/s).

2.1.2 Mekanisme Dasar Perambatan Gelombang Radio



Gambar 2.2 Mekanisme Dasar Propagasi

Reflection, *diffraction* dan *scattering* merupakan tiga mekanisme dasar dari propagasi gelombang radio yang mempengaruhi propagasi di sepanjang lintasan antena[5].

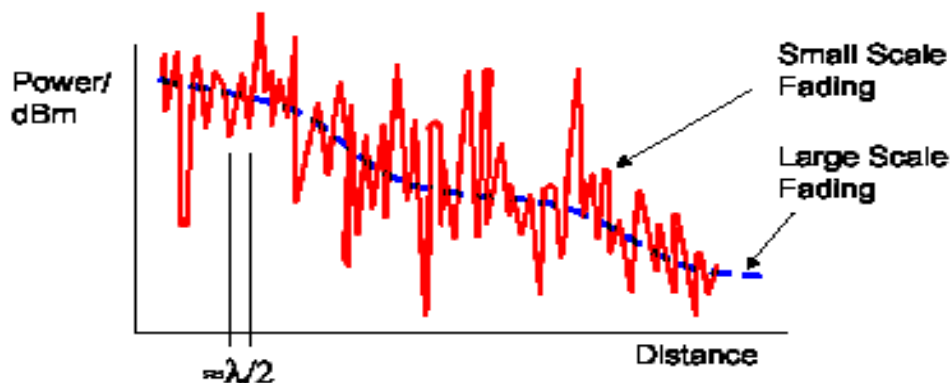
Reflection terjadi ketika gelombang elektromagnetik yang sedang berpropagasi mengenai/menabrak sebuah objek dengan dimensi yang sangat besar

bila dibandingkan dengan panjang gelombang elektromagnetik tersebut. Refleksi terjadi dari permukaan tanah dan dari gedung-gedung dan dinding-dinding.

Diffraction terjadi ketika jalur radio antara pemancar dan penerima dihalangi oleh sebuah permukaan yang memiliki tepi yang tajam. Gelombang-gelombang kedua yang dihasilkan dari permukaan tajam yang menghalanginya tersebut terurai di ruang bebas dan bahkan di belakang penghalang tersebut, yang menyebabkan adanya gelombang-gelombang yang melengkung di sekitar penghalang, bahkan ketika jalur LOS tidak ada di antara pemancar dan penerima.

Scattering terjadi ketika medium tempat gelombang berpropagasi terdiri dari objek dengan dimensi yang lebih kecil dibandingkan dengan panjang gelombangnya dengan jumlah penghalang yang relatif besar. Gelombang hamburan dihasilkan oleh kekasaran permukaan tanah, objek-objek yang kecil atau karena ketidakteraturan lainnya di kanal. Di dalam praktek, pepohonan, rambu-rambu jalan dan tiang-tiang listrik menimbulkan hamburan di dalam sistem komunikasi radio.

2.2 Kanal *Multipath Fading*



Gambar 2.3 Kanal *Multipath Fading*

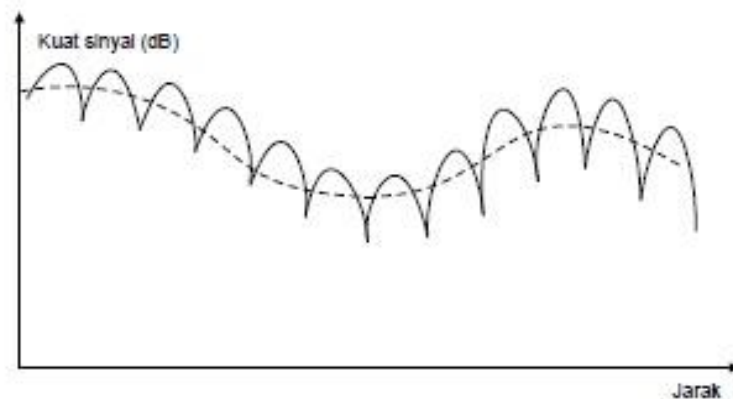
Fading didefinisikan sebagai fluktuasi daya di penerima. Karena perilaku sinyal pada kanal *multipath* adalah acak, maka analisis *fading* menggunakan analisis probabilitas stokastik. *Fading* terjadi karena interferensi atau superposisi gelombang *multipath* yang memiliki amplitudo dan fasa yang berbeda-beda[6].



Gambar 2.4 Jenis-Jenis *Fading*

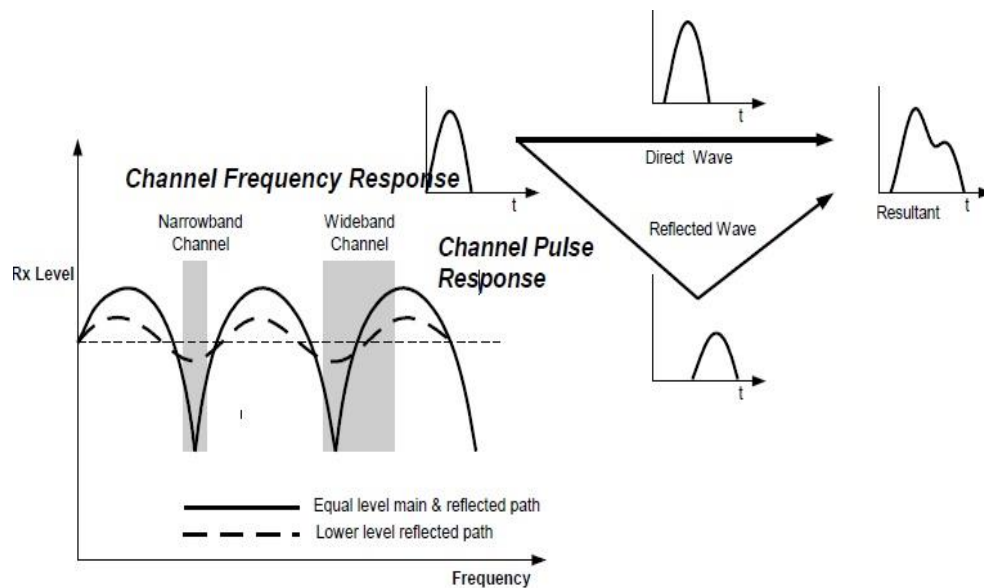
2.2.1 *Large Scale Fading*

Large-scale fading disebabkan karena akibat keberadaan obyek – obyek pemantul serta penghalang pada kanal propagasi serta pengaruh kontur bumi, menghasilkan perubahan sinyal dalam hal energi, fasa serta delay waktu yang bersifat random. Sesuai namanya, *large-scale fading* memberikan representasi rata-rata daya sinyal terima dalam suatu daerah yang luas. Statistik dari *large-scale fading* memberikan cara perhitungan untuk *estimasi pathloss* sebagai fungsi jarak. *Estimasi pathloss* sebagai fungsi dari jarak hanya menghasilkan nilai rata-rata dan hal tersebut tidak cukup untuk menggambarkan sinyal propagasi karena perbedaan kondisi lingkungan antara antena pengirim dan antena penerima. Untuk mendapatkan perhitungan yang akurat, perhitungan *pathloss* harus ditambahkan dengan konstanta variasi sinyal yang tersistribusi Lognormal.



Gambar 2.5 *Large Scale Fading*

Sinyal *multipath* juga akan menyebabkan distorsi sinyal atau cacat sinyal. Masalah ini secara khusus berkaitan dengan bandwidth sinyal yang digunakan untuk komunikasi, dan juga karena respon pulsa yang berbeda dari sinyal *multipath*.



Gambar 2. 6 Respon Pulsa Sinyal *Multipath*

2.2.2 *Small Scale Fading*

Small-scale fading atau disebut juga dengan *multipath fading*, dihasilkan oleh dua macam mekanisme, yaitu *time spreading* sinyal sebagai akibat dari *multipath* dan *time varying channel* yang disebabkan oleh pergerakan.

Faktor-faktor fisik yang mempengaruhi *small-scale fading* adalah :

- Propagasi Multipath

Adanya objek pemantul dan *scatterer* akan menyebabkan hilangnya energi sinyal pada amplitudo, fasa, dan waktu. Ini akan menyebabkan penerima menerima banyak versi dari sinyal yang dikirimkan.

- Kecepatan Pengguna

Pergerakan relatif *transmitter* akan menghasilkan frekuensi modulasi yang acak karena perbedaan *Doppler shifts* pada tiap komponen *multipath*.

Doppler shift akan bernilai positif atau negatif tergantung apakah pengguna bergerak mendekat atau menjauh dari *transmitter*.

- Kecepatan Objek di Sekitarnya

Jika objek pada kanal radio bergerak maka akan terjadi perubahan *Doppler shift* terhadap waktu pada setiap sinyal *multipath*. Efek pergerakan objek tersebut akan menjadi dominan ketika objek bergerak lebih cepat dibandingkan pengguna dan sebaliknya.

- *Bandwidth* Sinyal

Jika *Bandwidth* sinyal yang ditransmisikan lebih besar daripada *bandwidth* kanal *multipath*, sinyal yang diterima akan terdistorsi tetapi kekuatan sinyal tidak akan berkurang banyak.

2.3 Keterkaitan Propagasi Gelombang dan *Pathloss*

Propagasi gelombang diartikan sebagai proses perambatan gelombang dari pemancar ke penerima. Propagasi gelombang radio atau gelombang elektromagnetik dipengaruhi oleh banyak faktor dalam bentuk yang sangat kompleks. Transmisi sinyal dengan media non-kawat memerlukan antena untuk meradiasikan sinyal radio ke udara bebas dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Gelombang ini akan merambat melalui udara bebas menuju antena penerima dengan mengalami peredaman sepanjang lintasannya, sehingga ketika sampai di antena penerima, energi sinyal sudah sangat lemah[7].

Pathloss merupakan penurunan level daya yang terjadi akibat adanya refraksi, difraksi, refleksi, *scattering* dan *absorpsi*. *Pathloss* dipengaruhi pula oleh kontur medan, kondisi lingkungan udara sekitar, jarak antara antena *transmitter* dan *receiver*, serta tinggi dan lokasi antena[8]. *Pathloss* akan mempengaruhi kualitas sinyal yang dihasilkan oleh sebuah pemancar dan juga memperpendek jarak cakupan sinyal. Oleh sebab itu perhitungan *pathloss* sangat penting dilakukan dalam perencanaan sebuah antena.

Pemodelan propagasi gelombang radio sangat dibutuhkan bagi perencanaan pembangunan dan pengembangan sistem komunikasi bergerak. Model ini diperlukan untuk menganalisis kondisi karakteristik propagasi, dan memprediksi level daya terima antena *receiver*, sehingga dapat menunjang

pembuatan sistem komunikasi dengan kualitas pelayanan yang lebih baik. Dalam perencanaan dan pengembangan suatu jaringan komunikasi bergerak biasanya menggunakan model rugi-rugi propagasi (*pathloss*). Oleh karena itulah pemilihan model propagasi gelombang radio harus tepat agar didapatkan nilai rugi-rugi propagasi (*pathloss*) seminimal mungkin.

2.3.1 Pengaruh Atmosfer

Gelombang radio yang ditransmisikan dalam ruang hampa mempunyai lintasan gelombang berupa garis lurus. Karena pengaruh fenomena atmosfer, bentuk 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[9].

2.3.2 Klasifikasi Daerah Layanan

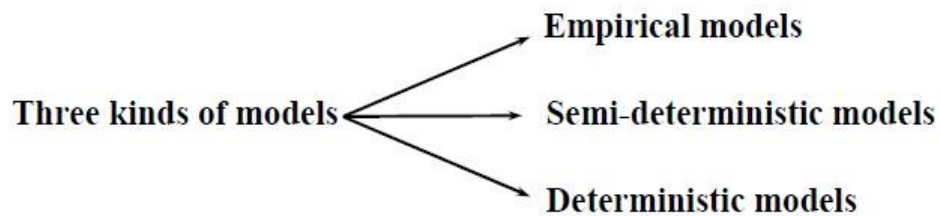
Karena bentuk daerah, baik alamiah maupun buatan manusia ikut menentukan propagasi gelombang radio. Maka bentuk atau tipe daerah dibedakan berdasarkan struktur yang dibuat manusia (*human-made structure*) dan keadaan alamiah daerah. Tipe daerah ini secara garis besar dibagi menjadi daerah *rural*, daerah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

Daerah ***Rural***, yaitu daerah 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***, yaitu daerah yang 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.

2.3.3 Model Perambatan Gelombang *Outdoor*



Gambar 2.7 Model Propagasi *Outdoor*

- *Empirical* models: sebuah model yang dibuat dengan membandingkan secara statistik sebuah persamaan dengan data hasil observasi atau eksperimen. Pemodelan ini mempunyai range frekuensi, dan rentang jarak sesuai ketetapan. Pemodelan ini cocok dilakukan di daerah-daerah geographical atau building.
Contoh: Okumura-Hatta, Walfisch-Ikegami, SUI-Model dan model propagasi standar.
- *Semi-Deterministic* models: model semi-deterministik adalah kombinasi dari model deterministik dengan model empiris. Model ini memiliki kelebihan berupa tidak dibutuhkannya terlalu banyak data untuk perhitungan seperti pada model deterministik, namun tetap memiliki akurasi yang lebih tinggi daripada model empiris.
Contoh: Dominan path, model Motif, dan model Geometry Based Stochastic Channel (GSCM).
- *Deterministic* models: model ini membutuhkan banyak data untuk informasi geografis suatu daerah (tempat). Biasanya model ini memiliki tingkat akurasi yang tinggi.
Contoh: *Ray-Optical* dan *Finite Difference Time Domain* (FDTD).

2.4 RADAR (*Radio Detection and Ranging*)

Radar adalah singkatan dari *Radio Detection and Ranging* yang artinya alat untuk mendeteksi adanya objek dengan menggunakan gelombang radio dimana gelombang radio yang dipancarkan ke angkasa akan diterima kembali

setelah suatu benda diangkasa menyebabkan pantulan atau refleksi ketika gelombang radio tersebut mengenainya.



Gambar 2.8 Ruang *Processing* Radar

Radar juga merupakan suatu piranti telekomunikasi yang menggunakan gelombang elektromagnetik untuk mendeteksi adanya suatu obyek dan menemukan posisinya, yang bisa berupa data jarak, azimuth, elevasi, identifikasi, ketinggian dan lain-lain. Pada proses pelacakan target dengan radar dapat dilakukan dengan dua cara yaitu metode pelacakan permukaan target (*Skin Tracking*) dan metode pelacakan beacon (*Beacon Tracking*). Pada metode pelacakan permukaan, target tidak dilengkapi dengan peralatan lain, kecuali hanya memanfaatkan penampang pantulan target (*Radar Cross section*) atau yang juga disebut pasif target. Sedangkan pada metode pelacakan beacon, target dilengkapi dengan peralatan tambahan yang disebut transponder (*Transmitter Responder*), dimana komponen perangkatnya sama seperti radar yaitu terdiri dari subsistem penerima dan subsistem pengirim atau yang juga disebut aktif target.

Dalam dunia penerbangan, radar yang digunakan terdiri dari dua jenis yaitu PSR (*Primary Surveillance Radar*) dan SSR (*Secondary Surveillance Radar*). Radar PSR sudah menggunakan teknik *Pulse Compression* dan menggunakan metode pelacakan permukaan target. Sedangkan radar SSR sudah menggunakan teknik *monopulse* sehingga bisa disebut dengan *Monopulse Secondary Surveillance Radar* (MSSR) dan menggunakan metode pelacakan *beacon*. Adapun target yang dimaksudkan disini adalah pesawat terbang yang sudah

dilengkapi dengan transponder. Terjadinya komunikasi antara stasiun radar dengan target itulah yang digunakan untuk mengetahui posisi dari target.

2.4.1 Jenis-Jenis Radar

Radar yang telah terpasang saat ini di Indonesia merupakan radar dari jenis *Primary Surveillance Radar* (PSR) dan *Secondary Surveillance Radar* (SSR), namun di beberapa lokasi telah pula digelar *Monopulse Secondary Surveillance Radar* (MSSR).

2.4.1.1 PSR (*Primary Surveillance Radar*)

Suatu radar yang mengolah signal pantulan (echo), yang berasal dari suatu objek yang bersifat pasif. Pada primary radar (PSR) antara RX dan TX mempunyai frekuensi yang sama karena bagian *receiver* menerima signal pantulan dari objek atau benda. PSR bekerja pada frekuensi 1,3 GHz s/d 1,5 GHz dan 2,7 GHz s/d 2,9 GHz dengan output power 650 KW s/d 1600 KW. Di bandara SMB II frekuensi PSR yang digunakan yaitu TX 1 2850 dengan RX 2880 dan TX 2 2750 dengan RX 2780.

2.4.1.2 SSR (*Secondary Surveillance Radar*)

Disebut juga radar aktif yaitu suatu peralatan radar yang bekerja dengan cara memancarkan pulsa-pulsa interrogate mode, yang menanyakan identifikasi dan ketinggian pesawat terbang, selanjutnya peralatan transponder yang terdapat di pesawat terbang memberikan jawaban sesuai dengan mode yang ditanyakan dan jawaban ini disebut “*code*”.

Cara kerja radar sekunder agak berbeda dengan Radar Primer hanya menggunakan prinsip pemantulan gelombang RF. Secondary radar yang bekerja dengan mengirimkan deretan pulsa yang strukturnya berhubungan dengan question kepada pesawat mengenai ketinggian dan identifikasi. Transponder dipesawat akan menerima signal tanya itu dan mengirim kembali kode-kode respon. Data yang dikirim oleh objek tersebut berisi informasi tentang ketinggiannya serta identifikasi pesawat tersebut.

SSR bekerja dengan frekuensi 1030 MHz untuk sinyal introgator dan 1090 MHz untuk sinyal reply. Dengan output 1,8 KW sampai dengan 3,5 KW. Untuk secondary radar ini daya yang dikeluarkan tidak terlalu besar karena data yang

diolah bukan berasal dari pantulan sinyal yang dikirim, melainkan signal yang yang berasal dari transmitter objek atau target. Sinyal yang dikirim berupa mode yang dimodulasi dengan gelombang carrier. Mode tersebut tersusun dari sinyal P1, P2 dan P3.



Gambar 2.9 Radar PSR, SSR, & MSSR di Bandara Sultan Mahmud
Badaruddin II Palembang

A. Jangkauan Pancaran *Secondary Surveillance Radar* Pada Pesawat Terbang

Dengan adanya target yang aktif dan dengan frekuensi carrier yang berbeda seperti interrogator 1030 MHz dan transponder 1090 MHz, maka pada SSR kita akan dapat mendeteksi pesawat yang cukup jauh yaitu sekitar 200 NM. Serta power yang diperlukan untuk pemancarnya adaah 2.5Kw.

$$1 \text{ NM} = 1.852 \text{ KM.}$$

Pesawat – pesawat terbang yang ada di udara dapat dideteksi dengan pancaran sejauh 200 NM. Jadi, pada jarak sejauh itu, para user atau pengguna ATC dapat mengetahui keberadaan atau posisi suatu pesawat.

Kalau keberadaan pesawat terbang yang ada di udara sudah mencapai batas maksimum yaitu lebih dari 200 NM, maka stasiun darat yang ada di bandara tidak akan bisa mendeteksi atau menampilkannya pada layar display, oleh karena itu sebelum hal-hal yang buruk terjadi petugas ATC harus selalu mengawasi setiap pesawat yang ada di udara, sehingga dapat berkomunikasi dengan baik. Jarak jangkau *Secondary Surveillance Radar* ke pesawat terbang adalah 200 NM.

$$1 \text{ NM} = 1.852 \text{ KM}$$

$$20 \text{ NM} = 370 \text{ KM}$$

Interval T pada *interrogasi* adalah pada umumnya kira-kira 2.5 ms, dimana untuk jarak maksimum secara teoritis :

$$r = C T / 2$$

dimana r = jarak maksimum

C = kecepatan cahaya ($3 \cdot 10^8$ m/s)

T = *pulse repetition time* (PRT)

PRT yaitu selang waktu antara satu pulsa dengan pulsa berikutnya yang disebut pula satu siklus kerja.

$$PRT = 1 / PRF$$

Atau :

$$T = 1 / PRF$$

Dan;

$$PRF = 1 / T$$

Jadi, untuk mencari T maka dapat diperoleh dengan menggunakan rumus :

$$T = 1 / PRF$$

Dimana nilai dari PRF adalah 400 jadi :

$$T = 1 / PRF$$

$$T = 1 / 400$$

$$= 2.5 \text{ ms.}$$

Maka dapat diperoleh perhitungan secara rumus untuk jarak maksimum dari *Secondary Surveillance Radar* untuk mendeteksi pesawat terbang adalah :

Untuk

$$T = 2.5 \text{ ms}$$

$$r = C T / 2$$

$$= (3 \cdot 10^8 \text{ m/s} * 2.5 \cdot 10^{-3} \text{ s}) / 2$$

$$= 375 \text{ km.}$$

2.4.1.3 MSSR (*Monopulse Secondary Surveillance Radar*)

Dinas Teknik Navigasi dan Radar MATSC menangani radar jenis MSSR (*Monopulse Secondary Surveillance Radar*) yang merupakan Radar teknologi terkini dengan kemampuan mendeteksi target dengan mode 1, 2, 3/A, C dan S. MSSR ini bermerek ELDIS type MSSR-1. MSSR (*Monopulse Secondary Surveillance Radar*) yaitu suatu *Secondary Surveillance Radar* yang dalam proses pengukuran range dan azimuth pesawat terbang menggunakan metode *monopulse*

dalam rangka peningkatan keakurasian. *Monopulse Secondary Radar Surveillance* (MSSR) adalah teknik yang dikembangkan untuk mengatasi dua masalah umum dengan sistem *radar surveillance*. Ketika beberapa pesawat berada di dekat, atau berada dalam arah yang sama, balasan SSR mereka dapat tumpang tindih karena ukuran terbatas antena beamwidth (biasanya 2-3 derajat). Ketika ini terjadi, decoder tanah menjadi bingung dan informasi yang hilang. Masalah ini dikenal sebagai '*garbling*'. Ketika banyak pesawat yang di sekitarnya, tanggapan ditularkan oleh beberapa mungkin ditafsirkan sebagai dari SSR diinterogasi.

2.4.2 Peralatan Radar

2.4.2.1 Pelayanan ATC (*Air Traffic Control*)

Pemandu Lalu Lintas Udara (*Air Traffic Controller*) adalah penyedia layanan yang mengatur lalu-lintas di udara terutama pesawat terbang untuk mencegah pesawat terlalu dekat satu sama lain dan tabrakan. ATC merupakan pengatur lalu lintas udara yang tugas utamanya mencegah pesawat terlalu dekat satu sama lain dan menghindarkan dari tabrakan. ATC juga bertugas mengatur kelancaran arus trafik, membantu pilot dalam mengatur emergency/darurat, dan memberikan informasi yang dibutuhkan pilot (informasi cuaca, trafik, navigasi, dll).



Gambar 2.10 *Air Traffic Control Tower*

Tujuan pelayanan lalu lintas udara yang diberikan oleh ATC berdasarkan Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil (PKPS) dengan istilah 5 objective of ATS tentang *Air Traffic Service*:

- Mencegah tabrakan antar pesawat di area pergerakan rintangan.
- Mempercepat dan mempertahankan pergerakan Lalu Lintas udara.
- Memberikan saran dan informasi yang berguna untuk keselamatan dan efisiensi pengaturan lalu lintas udara.

Memberitahukan kepada organisasi yang berwenang dalam pencarian pesawat dan pertolongan sesuai dengan organisasi yang di persyaratkan.

2.4.2.2 Transponder Pesawat

Transponder untuk penerbangan dibuat pertama kali pada masa perang dunia kedua oleh militer Inggris dan Amerika dengan sistem “*Identification friend or foe*” (IFF) untuk membedakan pesawat sekutu dan musuh pada tampilan radar. Pada tahun 1950-an Konsep ini yang diadaptasi oleh *Air Traffic Control* dengan menggunakan *Monopulse Secondary Surveillance Radar* (MSSR) atau *Beacon Radar* untuk kebutuhan penerbangan umum dan penerbangan komersial.



Gambar 2.11 Transponder

Transponder merupakan gabungan dua kata *transmitter-responder*. Transponder adalah sebuah perangkat yang menghasilkan sebuah balasan ketika menerima pemancaran gelombang radio dari perangkat lain. Transponder pada pesawat untuk mengidentifikasi posisi pada radar dan pesawat lain untuk mengantisipasi tabrakan “*Collision Avoidance Systems*”. Transponder di pesawat beroperasi pada *carrier frequency* 1030 MHz (*Reply / transmitter*) dan 1090 MHz (*Receiver*).

2.4.2.3 Antena

Antena merupakan bagian dari sistem radar yang berfungsi untuk mengirim sinyal ke udara dan menerima sinyal setelah dipantulkan oleh sasaran /

pesawat. Untuk mengetahui posisi sasaran / pesawat yang akan terlihat di layar monitor radar, maka antena tersebut melakukan pelacakan (*scanning*) pada segala arah yang diinginkan. Ada beberapa pelacakan antena yang digunakan radar dalam melakukan fungsinya, yaitu: *horizontal*, *nodding*, *helical*, dan *spiral*.



Gambar 2.12 Antena ASSR-35

2.4.2.4 *Transmitter dan Receiver*

Transmitter dan *Receiver* dari Radar MSSR telah menyatu dalam bagian yang disebut *interrogator*. *Interrogator* transmisi dibuat pada frekuensi 1030 MHz disebut *mode*, dan akan merespon jawaban pada frekuensi 1090 MHz ke *ground station* / darat yang disebut *code*.

Transmitter adalah alat yang menghasilkan energi untuk sinyal yang akan ditransmisikan. Fungsi dari *transmitter* sendiri ialah:

- Menghasilkan frekuensi pembawa / *carrier* 1030 MHz.
- Memodulasi secara pulsa dari P1-P2-P3.
- Memperkuat daya dari pulsa P1-P2-P3 yang telah termodulasi frekuensi 1030 MHz.



Gambar 2.13 *Transmitter* dan *Receiver* tergabung dalam *Interrogator*

2.5 Prinsip Kerja Radar

Radar bekerja dengan memanfaatkan sifat pantulan gelombang elektromagnetik. Ketika gelombang elektromagnetik dipancarkan oleh *transmitter* dan menumbuk suatu permukaan, maka gelombang tersebut akan dipantulkan dan ditangkap oleh *receiver*. Jika *receiver* menerima pantulan gelombang tersebut berarti terdapat suatu objek yang berada pada jangkauan radar yang menyebabkan gelombang elektromagnetik dipantulkan.

Jarak dari objek yang diketahui tersebut dapat diketahui dengan menghitung waktu dari gelombang elektromagnetik dipancarkan oleh *transmitter* sampai gelombang elektromagnetik diterima oleh *receiver*. Hasil dari pendeteksian tersebut kemudian ditampilkan pada layar *display* sehingga dapat diketahui oleh pengguna radar.

2.6 Model Empiris *Pathloss*

Secara umum pemodelan dasar pada propagasi radio menggunakan propagasi ruang bebas (*free space*) atau *ray-tracing*. Namun perhitungan *pathloss* menggunakan propagasi ini tidak mendapatkan hasil yang akurat.

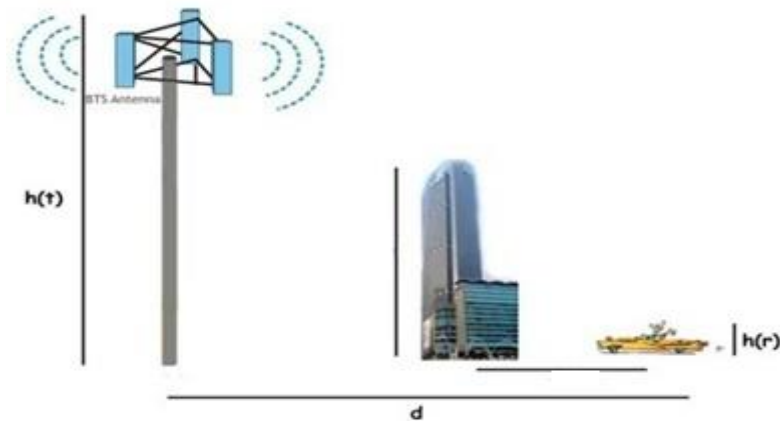
Sejumlah pemodelan untuk menghitung *pathloss* telah dikembangkan selama bertahun-tahun. Model ini terutama didasarkan pada pengukuran empiris dalam rentang frekuensi tertentu dan wilayah geografis tertentu atau bangunan dengan variasi jarak yang berbeda. Namun, aplikasi dari pemodelan ini tidak selalu terbatas pada lingkungan di mana pengukuran empiris dilakukan.

2.6.1 Model Empiris Okumura-Hatta

Model Okumura-Hatta adalah model propagasi yang paling banyak digunakan dan sesuai untuk memprediksi level daya sinyal yang diterima. Model Okumura-Hatta merupakan model empiris, yang mana ini berarti model yang didasarkan pada pengukuran dilapangan. Awalnya Okumura melakukan pengukuran lapangan untuk memprediksi rata-rata *pathloss* yang terjadi yang berdasarkan pada pengukuran-pengukuran yang dilakukan secara terus menerus di dalam dan di sekitar kota Tokyo dan mempublikasikan hasilnya dalam bentuk grafik, sedangkan Hatta mengubah bentuk grafik tersebut kedalam persamaan.

Model Okumura- Hatta ini menggunakan jenis antena omnidirectional. Antena ini adalah jenis antena yang memiliki pola pancaran sinyal ke segala arah dengan daya yang sama. Untuk menghasilkan cakupan area yang luas, gain dari antena omnidirectional harus memfokuskan dayanya secara horizontal (mendatar), dengan mengabaikan pola pancaran ke atas dan ke bawah, sehingga antena dapat diletakkan di tengah-tengah *transmitter*. Dengan demikian keuntungan dari antena jenis ini, adalah dapat melayani jumlah pengguna yang lebih banyak namun mempunyai kesulitan yaitu pada pengalokasian frekuensi agar tidak terjadi interferensi. Antena jenis ini biasanya digunakan pada lingkup yang mempunyai pemancar terbatas dan cenderung untuk posisi lintasan yang melebar.

Model Okumura-Hatta ini memprediksi nilai *pathloss* pada frekuensi 200 MHz sampai 2 GHz dengan tinggi antena *transmitter* 20m-200m dan *coverage area* >1 km serta tinggi antena *receiver* 1m-10m. Gambar 2.9 menunjukkan parameter-parameter yang digunakan pada Model Okumura-Hatta.



Gambar 2.14 Parameter Pada Model Okumura-Hatta

Formula empiris dari model Okumura-Hatta

$$PL_{dB} = 69,55 + 26,16 \log_{10}(f) - 13,82 \log_{10}(ht) - X + [44,9 - 6,55 \log_{10}(ht)] + C \quad (2.1)$$

Dengan X adalah faktor koreksi dari tinggi antenna *receiver* berdasarkan ukuran dari klasifikasi area (urban, suburban, atau rural). Dan C adalah faktor yang tergantung dari frekuensi dan tinggi antenna, yaitu :

Untuk daerah Urban :

- a. Perkotaan yang kecil dan sedang :

$$X = (1.1 \log_{10}(f) - 0.7)hr - (1.56 \log_{10}(f) - 0.8)dB \quad (2.2)$$

$$C = 0$$

- b. Perkotaan yang besar (metropolitan) :

$$X = 8,29 (\log_{10}(1,54hr))^2 - 1,1dB \quad \text{untuk } f \leq 200 \text{ MHz}$$

$$X = 3.2 (\log_{10}(11.75hr))^2 - 4.97dB \quad \text{untuk } f \geq 400 \text{ MHz}$$

$$C = 0$$

Untuk daerah Suburban :

$$C = -2 [\log_{10}(f/28)]^2 - 5,4 \quad (2.3)$$

Untuk daerah Rural :

$$C = -4.78 [\log_{10}(f)]^2 + 18.33 \log_{10}(f) - 35.94 \quad (2.4)$$

Dimana ,

f = frequency carrier (MHz)

d = jarak antenna *transmitter* dan *receiver* (m)

ht = tinggi antenna *transmitter* (m)

h_r = tinggi antena *receiver* (m)

Parameter yang digunakan pada model Okumura - Hata seperti yang diperlihatkan pada Tabel. 2.2

Tabel 2.2 Parameter Yang Digunakan Pada Model Okumura-Hatta

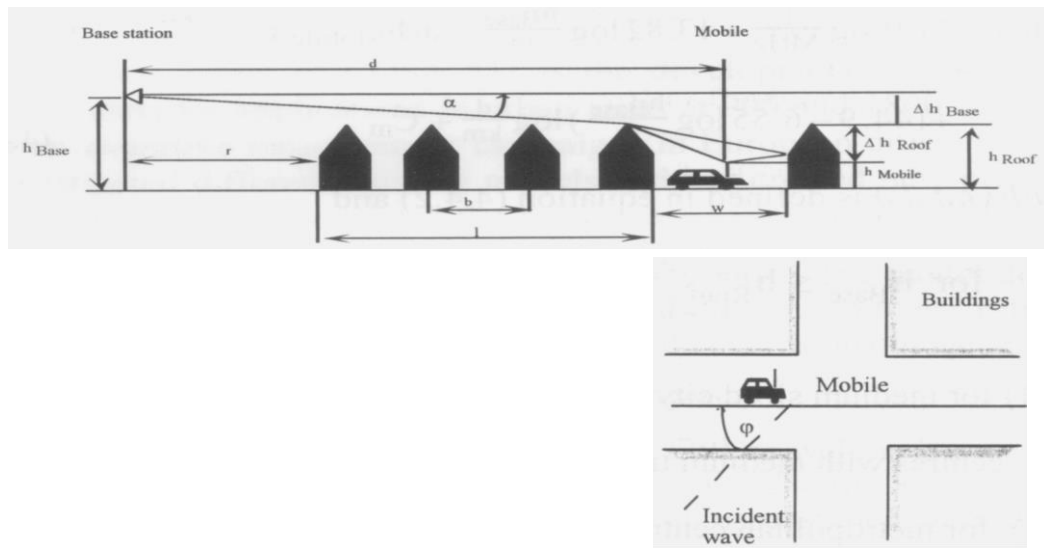
Parameter	Notasi	Spesifikasi
<i>Frequency Carrier</i>	f	150-1500 MHz
Tinggi antena <i>transmitter</i>	$h(t)$	20-200m
Tinggi antena <i>receiver</i>	$h(r)$	1-10m
Jarak antena <i>transmitter</i> dan <i>receiver</i>	d	1m-2km

Model Okumura merupakan model yang sederhana tetapi memberikan akurasi yang bagus untuk melakukan prediksi redaman di sepanjang lintasan antena. Kelemahan utama dari model ini adalah respon yang lambat terhadap perubahan permukaan tanah yang cepat.

2.6.2 Model Empiris COST 231-Walfisch Ikegami

Model propagasi COST231-Walfisch Ikegami merupakan model propagasi yang digunakan untuk memperkirakan besarnya nilai *pathloss* yang terjadi dan memiliki range frekuensi 800-2000 Mhz. Model propagasi ini digunakan untuk menyempurnakan perhitungan *pathloss* karena pada perhitungan dengan model ini lebih banyak memasukkan besarnya nilai-nilai parameter yang menjadi karakteristik dari daerah yang akan dievaluasi, yang meliputi ketinggian gedung, lebar jalan, dan jarak antar gedung[10].

Parameter-parameter yang digunakan pada model COST 231-Walfisch Ikegami dapat diilustrasikan seperti pada gambar di bawah.



Gambar 2.15 Parameter pada Model COST231-Walfisch Ikegami.

Model COST 231-Walfisch Ikegami digunakan jika jarak antara antena *transmitter* dengan *receiver* cukup dekat. Total *pathloss* untuk kondisi LOS (*Line Of Sight*) dengan model ini adalah,

$$Pathloss(dB) = 42,6 + 26 \log(d) + 20 \log(f) \quad (2.5)$$

dengan $d \geq 20$ m, d dalam m dan f dalam MHz.

Untuk kondisi non LOS atau ada hambatan (*obstacle*) maka *pathloss* adalah :

$$Pathloss(dB) = L_0 + L_{rts} + L_{msd}; \quad \text{untuk } L_{rts} + L_{msd} > 0 \quad (2.6)$$

$$Pathloss(dB) = L_0; \quad \text{untuk } L_{rts} + L_{msd} \leq 0 \quad (2.7)$$

dengan L_0 = *free space loss*

L_{rts} = difraksi atap gedung dengan jalan raya dan *scatter loss*

L_{msd} = *multiscreen loss*

$$L_0 = 32,4 + 20 \log d + 20 \log(f) \text{ dB} \quad (2.8)$$

$$L_{rts} = (-16,9 - 10 \log(w) + 10 \log(f) + 20 \log(\Delta h_m) + L_{ori}) \quad (2.9)$$

Dengan w = lebar jalan raya (meter)

$$\Delta h_m = h_{\text{Roof}} - h_r$$

dengan Δh_m adalah besarnya perbedaan antara tinggi gedung (h_{Roof}) dengan tinggi antena *receiver* (h_r). Orientasi dari jalan raya dimasukkan ke dalam rumus empiris sebagai faktor koreksi L_{ori} ,

$$\begin{aligned} \text{Lori} &= -10 + 0,354\varphi && \text{untuk } 0^0 \leq \varphi \leq 35^0 \\ \text{Lori} &= 2,5 + 0,075 (\varphi - 35^0) && \text{untuk } 35^0 \leq \varphi \leq 55^0 \\ \text{Lori} &= 4,0 - 0,114 (\varphi - 55^0) && \text{untuk } 55^0 \leq \varphi \leq 90^0 \end{aligned}$$

Dengan φ adalah sudut sesaat antara orientasi jalan raya dengan arah dari sinyal dalam satuan derajat. Sedangkan besarnya *multiscreen loss* adalah sebagai berikut:

$$\text{Lmsd} = \text{Lbsh} + \text{Ka} + \text{Kd} \log(d) + \text{K}_F \log(f) - 9 \log(b) \quad (2.10)$$

dengan b adalah jarak antara dua gedung dalam meter.

$$\begin{aligned} \text{Lbsh} &= -18 \log(1 + \Delta ht) && \text{untuk } ht > h_{\text{Roof}} \\ \text{Lbsh} &= 0 && \text{untuk } ht \leq h_{\text{Roof}} \\ \text{Ka} &= 54 && \text{untuk } ht > h_{\text{Roof}} \\ \text{Ka} &= 54 - 0,8 ht && \text{untuk } d \geq 0,5 \text{ km dan } ht \leq h_{\text{Roof}} \\ \text{Ka} &= 54 - 0,8 \Delta ht(d) / 0,5 && \text{untuk } d < 0,5 \text{ km dan } ht \leq h_{\text{Roof}} \\ &= 54 - 1,6 \Delta ht(d) && \text{untuk } d < 0,5 \text{ km dan } ht \leq h_{\text{Roof}} \end{aligned}$$

Dengan $\Delta ht = ht - h_{\text{Roof}}$

Ketergantungan *pathloss* terhadap frekuensi dan jarak diberikan melalui parameter Kd dan K_F pada persamaan *multiscreen loss* di atas.

$$\begin{aligned} \text{Kd} &= 18 && \text{untuk } ht < h_{\text{Roof}} \\ \text{Kd} &= 18 - 15 \Delta h_t / \Delta h_m && \text{untuk } ht \geq h_{\text{Roof}} \end{aligned}$$

dan,

$$\text{K}_F = 4 + 0,7(f/925 - 1) \quad \text{untuk kota sedang dan daerah suburban dengan kerapatan pepohonan} \quad (2.11)$$

$$\text{K}_F = 4 + 1,5(f/925 - 1) \quad \text{untuk kota metropolitan} \quad (2.12)$$

Tabel 2.3 Parameter Yang Digunakan Model COST231-Walfisch Ikegami

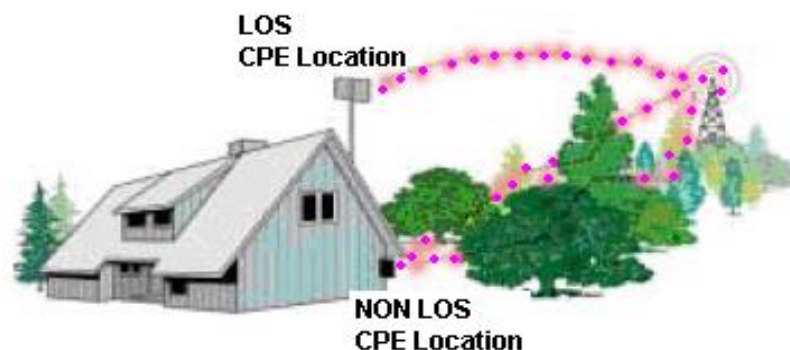
Parameter	Notasi	Spesifikasi
<i>Frequency Carrier</i>	f	800-2000 MHz
Tinggi antenna <i>transmitter</i>	$h(t)$	4-50m
Tinggi antenna <i>receiver</i>	$h(r)$	1-3m
Jarak antenna <i>transmitter</i> dan <i>receiver</i>	d	0,02-5km

2.6.3 Model Empiris SUI (*Stanford University Interim*)

Stanford University Interim (SUI) model adalah model propagasi yang direkomendasikan untuk standar IEEE 802.16a, model ini juga cocok diterapkan di Indonesia yang mempunyai tipe demografi *urban* dan *suburban*.

Model ini dikenalkan oleh AT&T *wireless service*. Model *pathloss* ini diperoleh dari data hasil percobaan di Amerika Serikat dengan mengambil sampling pada 95 makrosel. Model ini menyertakan perhitungan *pathloss* yang dipengaruhi oleh faktor jarak antara *transmitter* dan *receiver*, ketinggian antenna, frekuensi, dan *terrain type*.

Model ini menggunakan frekuensi kerja 100-1900 MHz. Model *pathloss* ini digunakan untuk daerah *urban* dan *suburban*, dengan tinggi antenna *transmitter* antara 10-80m dan jarak antenna *transmitter* dengan *receiver* 0,1-10km. Ilustrasi *Stanford University Interim* (SUI) model ini dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.16 Transmisi Pada Kondisi LOS dan NLOS SUI

Dalam aplikasinya model ini dibagi menjadi tiga kategori, yaitu:

1. Kategori A—*Hilly/moderate-to-heavy tree density (urban)*.

Tipe ini berasosiasi dengan *pathloss* terbesar yaitu perbukitan dengan densitas pepohonan tinggi.

2. Kategori B—*Hilly/light tree density or flat/moderate-to-heavy tree density/intermediate (suburban)*.

Tipe ini merupakan asosiasi *pathloss* pertengahan yaitu dengan *terrain* dan densitas pepohonan antara A dan C.

3. Kategori C-Flat/light tree density (rural).

Tipe ini berasosiasi dengan *pathloss* terkecil yaitu *terrain* rata dengan dengan pepohonan jarang.

Kategori *terrain* yang sederhana di atas dapat memperhitungkan *pathloss* di sepanjang lintasan antenna pada kondisi NLOS. Model ini diperuntukkan untuk mengestimasi nilai *pathloss* sebelum perencanaan sebenarnya dimulai.

Persamaan model SUI adalah :

$$Pathloss(dB) = A + 10\gamma \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_f + X_{hcpe} + s \quad (2.13)$$

dengan $A = Free\ space\ loss$ di d_0

$$A = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi \cdot d_0}{\lambda} \right) \quad (2.14)$$

λ = panjang gelombang

$d_0 = 100m$ (jarak referensi)

γ = *path loss exponent*

$$\gamma = a - b \cdot h_t + \left(\frac{c}{h_t} \right) \quad (2.15)$$

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

h_t = tinggi antenna *transmitter*

d = jarak antara antenna *transmitter* dan *receiver* (m)

X_f = Faktor koreksi frekuensi

$$X_f = 6 \log \left(\frac{f}{2000} \right) \quad (f \text{ dalam Hz}) \quad (2.16)$$

X_{hcpe} = faktor koreksi tinggi antenna *receiver*

$$X_{hcpe} = -10.8 \log \left(\frac{h_{cpe}}{2000} \right) \quad \text{untuk terrain A dan B} \quad (2.17)$$

$$X_{hcpe} = -20 \log \left(\frac{h_{cpe}}{2000} \right) \quad \text{untuk terrain C} \quad (2.18)$$

di mana h_{cpe} = tinggi antenna penerima

s adalah peubah acak yang terdistribusi secara lognormal sebagai representasi *shadowing* oleh pohon atau bangunan yang nilainya antara 8,2dB sampai dengan 10,6dB tergantung tipe *terrain*.

Nilai a, b, dan c adalah daerah yang akan dilayani berdasarkan tipe pepohonan/bangunan yang ada di daerah tersebut. Adapun nilai a, b, c dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 2.4 Parameter *Terrain* Model SUI

Model Parameter	Tipe A (Heavy Multipath)	Tipe B (Intermediate Multipath)	Tipe C (Few Multipath)	Shadowing Margin (dB)
a	4.6	4	3.6	10.6
b	0.0075	0.0065	0.005	9.4
c	12.6	17.1	20	8.2