

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Seiring dengan perkembangan teknologi telekomunikasi yang semakin cepat, khususnya pada teknologi CDMA (*Code Division Multiple Access*), terciptalah teknologi CDMA 2000 1X EV-DO *Revision A* atau EV-DO Rev. A yang telah banyak digunakan pada saat ini. EV-DO Rev. A merupakan evolusi dari CDMA 2000 1X Rev. 0 atau EV-DO Rev. 0, di mana keduanya dapat mendukung layanan *wireless* paket data dengan cepat. Namun pada EV-DO Rev. A dapat mendukung layanan data dan suara dengan baik, sedangkan EV-DO Rev. 0 hanya mendukung layanan data.

Pada teknologi EV-DO Rev. A, sinyal yang dipancarkan dipengaruhi oleh bermacam-macam bentuk hamburan (*scatter*) sinyal dan fenomena lintasan jamak (*multipath*) yang dapat menyebabkan terjadinya *fading*. Salah satu akibatnya yaitu *fading* lintasan jamak atau disebut juga dengan *multipath fading*. Fenomena *multipath fading* dapat mempengaruhi performansi jaringan EV-DO Rev. A, khususnya pada *downlink*.

Dalam bab ini dibahas teori mengenai CDMA 2000 1X EV-DO *Revision A*, *multipath fading*, model propagasi gelombang radio yang dapat menimbulkan efek *fading* serta parameter-parameter yang digunakan untuk mengetahui performansi CDMA 2000 1X EV-DO *Revision A*, khususnya pada *downlink*, baik yang terpengaruh efek *multipath fading* maupun yang tidak terpengaruh efek *multipath fading*. Secara lengkap uraian dari tinjauan pustaka ditunjukkan dalam sub bab berikut.

2.1 CDMA 2000 1X EV-DO *Revision A*

EV-DO Rev. A merupakan standar teknologi telekomunikasi untuk transmisi *wireless* melalui sinyal radio, secara khusus untuk akses internet *broadband*. EV-DO Rev. A menggunakan teknik *multiplexing Code Division Multiple Access* (CDMA) sebagaimana halnya *Time Division Multiple Access* (TDMA) untuk memaksimalkan penggunaan *user* individual dan sistem keseluruhan. EV-DO distandarisasi oleh *Third Generation Partnership Project 2*

(3GPP2) sebagai bagian dari standar CDMA 2000 dan telah digunakan oleh banyak *provider* telepon seluler di seluruh dunia.

EV-DO Rev. A telah dirancang untuk mendukung kebutuhan data tingkat tinggi. Sebuah saluran EV-DO Rev. A mempunyai *bandwidth* 1,25 MHz. EV-DO Rev. A memiliki kecepatan data sampai dengan 3,1 Mbit/s pada *downlink*, sementara kecepatan *uplink* dapat mencapai 1,8 Mbit/s.

EV-DO *Revision A* menghasilkan beberapa tambahan terhadap *protocol* yang tetap *compatible* dengan *release* yang sebelumnya yaitu *Release 0*. EV-DO *Revision A* adalah evolusi dari CDMA 2000 1X EV-DO *Release 0* yang meningkatkan kecepatan data pada *downlink* dan *uplink* untuk mendukung data *broadband* dan suara secara *realtime*. CDMA 2000 1X EV-DO *Revision A* merupakan salah satu teknologi *broadband* CDMA yang banyak digunakan untuk teknologi telekomunikasi. Berikut ini adalah *link budget* dari jaringan CDMA 2000 1X EV-DO Rev. A

Tabel 2.1 *Link Budget* jaringan CDMA 2000 1X EV-DO Rev. A

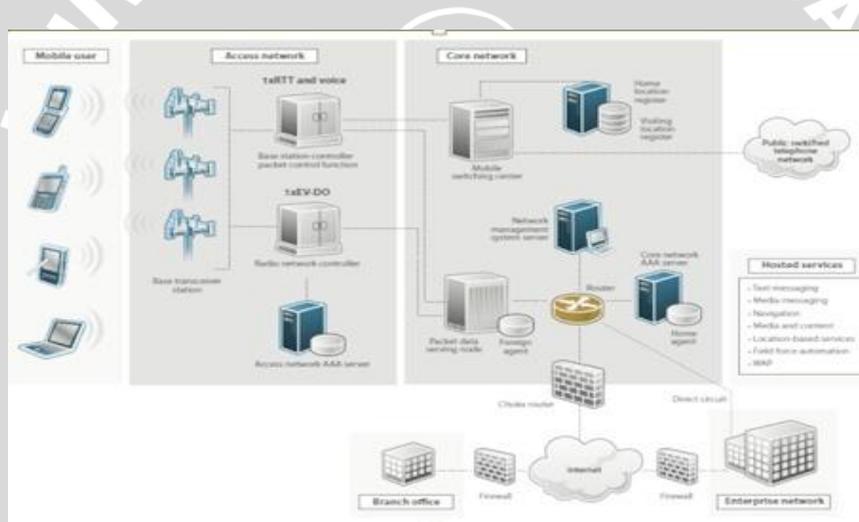
No	Parameter <i>Link Budget</i>	Nilai
1	BTS <i>Tx Power</i> (Pt)	41,8 dBm
2	<i>Tx Antenna Gain</i> (Gt)	17 dBi
3	<i>Cable Loss</i> (Lt)	3 dB
4	<i>Noise Figure</i> (NF)	9 dB
5	<i>Thermal Noise</i>	-165 dB
6	<i>Rx Antenna Gain</i> (Gr)	0 dBi
7	<i>Body Loss</i> (Lr)	3 dB
8	<i>Fading Margin</i> (FM)	10,3 dB
9	Sensitivitas <i>Receiver</i>	-104 dBm

(Sumber: Peter J. Black dan Qiang Wu, 2002)

2.1.1 Konfigurasi Jaringan CDMA 2000 1X EV-DO *Revision A*

Konfigurasi jaringan CDMA yang diterapkan, merupakan integrasi dari dua jaringan yaitu CDMA 2000-1X yang berdasarkan standar IS-2000 untuk layanan suara dan layanan data dengan kecepatan menengah dan jaringan CDMA

2000 1X EV-DO *Revision A* yang khusus hanya ditujukan untuk layanan data dengan kecepatan tinggi. Jadi dapat diketahui bahwa teknologi CDMA 2000 1X EV-DO *Revision A* diterapkan pada jaringan CDMA 2000-1X yang telah terpasang (*existing*) dengan penambahan perangkat lunak dan dan perangkat keras dimana untuk komponen-komponen jaringan CDMA 2000 1X tertentu dipakai bersama-sama (*share*) dengan CDMA 2000 1X EV-DO *Revision A*. Dengan demikian teknologi yang diterapkan ini dikenal dengan CDMA 2000 1X EV-DO *Revision A* yang memiliki kemampuan *dual mode* dengan penggunaan *carrier* sebagai frekuensi pembawa yang pemakaiannya terpisah. Konfigurasi jaringan teknologi CDMA 2000 1X EV-DO *Revision A* terdiri dari beberapa komponen yang dapat dilihat dalam gambar 2.1.



Gambar 2.1 Arsitektur Jaringan CDMA 2000 1X EV-DO *Revision A*

Sumber: http://b2b.vzw.com/assets/files/Rev_A_WP.pdf

Komponen-komponen yang mendukung arsitektur teknologi jaringan CDMA 2000 1X EV-DO *Revision A* terdiri dari:

1. *Access Terminal (AT)/Perangkat Wireless*

Merupakan perangkat input dan output suatu data yang digunakan untuk berkomunikasi dengan *Base Station Transceiver Subsystem (BTS)* di dekatnya. Perangkat EV-DO dapat berupa *handphone*, modem radio eksternal, dan *User Identity Module (UIM)*. *Access terminal* terintegrasi ke dalam *Mobile Station (MS)* yang mempunyai fungsi utama yaitu membentuk, memelihara, dan

memutuskan hubungan dengan jaringan. MS membentuk hubungan dengan meminta kanal radio dari *Radio Access Network* (RAN).

2. *Radio Access Network*

Pada *Radio Access Network* (RAN) jaringan CDMA 2000 1X EV-DO Revision A terdiri dari *Base Station Transceiver Subsystem* (BTS), *Packet Control Function* (PCF), dan *Base Station Controller* (BSC).

- *Base Station Transceiver Subsystem* (BTS)

BTS memiliki fungsi dalam pengalokasian sumber (*resources*), daya (*power*), dan mengatur distribusi data ke semua pelanggan. Mengontrol *interface* antara jaringan CDMA 2000 1X EVDO Revision A ke bagian pelanggan dan mengontrol berbagai layanan komunikasi yang diminta seperti layanan *voice* atau paket data.

- *Packet Control Function* (PCF)

Fungsi utama PCF adalah untuk membentuk, memelihara, dan memutuskan hubungan dengan *Packet Data Serving Node* (PDSN). PCF berkomunikasi dengan BSC untuk meminta dan mengatur kanal radio dalam menyampaikan paket dari dan ke MS.

- *Base Station Controller* (BSC)

BSC berfungsi mengontrol semua BTS yang berada dalam areanya. BSC melewatkan paket dari BTS menuju *Packet Data Serving Node* (PDSN) atau sebaliknya dari PDSN menuju BTS dengan menyediakan *interface* data yang terpisah berupa *Radio Packet Interface* (R-P *Interface*) pada penerapan CDMA 2000 1X EV-DO, sedangkan fungsi tambahan lain terdapat pada penerapan CDMA 2000 1X yaitu mengontrol BTS dan *interface* yang berhubungan dengan *Mobile Switching Center* (MSC) untuk proses pemanggilan.

3. *Service Network*

Service Network terdiri dari *Mobile Switching Center* (MSC) dan *Packet Data Serving Node* (PDSN).

a. *Mobile Switching Center (MSC)*

MSC merupakan *switching centre* yang mana MSC dihubungkan ke berbagai sistem BSC. MSC juga mengatur *Visitor Location Register (VLR)* serta menyimpan berbagai informasi pelanggan yang diperlukan untuk proses pemanggilan data *exchange* dengan *Home Location Register (HLR)*.

b. *Packet Data Serving Node (PDSN)*

PDSN digunakan untuk mengontrol dan melewatkan paket-paket data menuju dan dari fungsi PCF dalam hal ini dilakukan oleh BS *packet controller* yang berkomunikasi dengan *Access Terminal*. PDSN juga dapat digunakan bersama-sama (*share*) baik oleh jaringan CDMA 2000 1X maupun CDMA 2000 1X EV-DO.

4. *Public Switched Telephone Network (PSTN)*

PSTN merupakan sistem komunikasi yang tersedia bagi publik untuk memperbolehkan pelanggan saling berhubungan dengan perangkat komunikasi. Jaringan PSTN di dalam suatu negara dan daerah merupakan standar sistem yang terintegrasi dengan fasilitas *switching* dan transmisi, pemroses pensinyalan, dan pengoperasian yang terpadu.

5. *Signaling System 7 Network (SS7 Network)*

Jaringan SS7 merupakan sebuah jaringan data yang terpisah yang membawa semua pensinyalan pada masing-masing jaringan penyedia layanan. Jaringan SS7 memiliki kemampuan untuk menyediakan informasi *billing* dan fitur-fitur yang terdapat pada pelanggan.

6. *Network Database*

Network Database merupakan penyimpanan informasi yang dapat diakses oleh jaringan. Terdapat banyak *database* jaringan pada jaringan CDMA 2000 1X EV-DO, antara lain *Home Location Register (HLR)* berupa *database* master pelanggan, *Visitor Location Register (VLR)* berupa *database* pelanggan aktif yang bersifat sementara, *Equipment Identity Register (EIR)* yang mengandung identitas dari perangkat telekomunikasi seperti telepon seluler dan status

perangkat tersebut pada jaringan, *Billing Center* (BC) yang melakukan proses perekaman *billing*, dan *Authorization and Validation Center* yang menangani otentikasi pelanggan dan *interworking* dengan MSC melalui HLR. Berikut ini akan dijelaskan fungsi dari masing-masing komponen yang ada pada *Network Database* untuk VLR dan HLR.

a. *Visitor location Register* (VLR)

VLR berupa *database* pelanggan aktif yang bersifat sementara. VLR mengandung sekumpulan informasi HLR pelanggan yang digunakan ketika telepon seluler aktif pada MSC tertentu. VLR menangani informasi pelanggan yang memang berada dalam jaringannya (*home*) dan pelanggan yang datang (*visiting*).

b. *Home Location Register* (HLR)

HLR berupa *database* master pelanggan. HLR merupakan *database* pelanggan yang terdapat di setiap identitas pelanggan *mobile* internasional (*International Mobile Subscriber Identity/IMSI*) dan *International Mobile Equipment Identifier* (IMEI) yang mengidentifikasi setiap pelanggan. Biasanya hanya terdapat satu HLR untuk setiap *carrier* walaupun setiap *carrier* bisa memiliki banyak MSC. HLR menyimpan profil setiap pelanggan serta berfungsi dalam pemilihan *carrier*.

7. *Authentication, Authorization, and Accounting* (AAA)

AAA merupakan proses yang digunakan sebagai validasi identitas dari pelanggan yang dituju atau suatu perangkat seperti *host*, *server*, *switch*, atau *router* pada suatu jaringan komunikasi. Otorisasi memberikan perlakuan dengan akses yang benar terhadap suatu pelanggan, beberapa pelanggan, sistem, atau suatu proses. *Accounting* melakukan fungsi penelusuran koneksi pelanggan dan sistem pencatatan pelanggan.

8. *Home Agent* (HA)

Home agent merupakan program yang mengotentikasi registrasi, melewati paket menuju dan dari jaringan data paket contohnya internet, di samping itu juga membuat sesi komunikasi yang aman secara terenkripsi, dan

secara dinamis mengatur pengalamatan IP. HA menerima informasi pelengkap dari fungsi AAA.

9. *Interface*

Interface merupakan batasan bersama antara dua bagian yang dapat berupa perangkat sistem atau elemen dari informasi dimana interaksi terjadi di antara dua sistem. *Interface* yang digunakan untuk jaringan CDMA 2000 1X EV-DO dapat dijelaskan sebagai berikut [3gpp2 A.S0011-B version 1.0, 2004:13]:

a. *Interface Um*

Interface Um merupakan *interface* yang menghubungkan antara MS dengan BTS.

b. *Interface Abis*

Interface Abis merupakan *interface* yang menghubungkan antara BTS dengan BSC.

c. *Interface A1*

Interface A1 membawa informasi pensinyalan antara *call control* dan fungsi manajemen mobilitas dari MSC dan komponen *call control* dari BSC.

d. *Interface A2*

Interface A2 digunakan untuk menyediakan *path* untuk trafik pelanggan.

e. *Interface A3*

Interface A3 digunakan untuk mengangkut trafik pelanggan dan pensinyalan antar BSC.

f. *Interface A5*

Interface A5 digunakan untuk menyediakan *path* untuk trafik pelanggan berupa panggilan data antara *source* BSC dan MSC.

g. *Interface A7*

Interface A7 membawa informasi pensinyalan antara *source* BSC dengan target BSC pada kondisi inter-BSC *soft handoff*.

h. *Interface A8*

Interface A8 membawa trafik pelanggan antara BSC dan PCF.

i. *Interface A9*

Interface A9 membawa informasi pensinyalan antara BSC dan PCF.

j. *Interface A10*

Interface A10 membawa trafik pelanggan antara PCF dan PDSN.

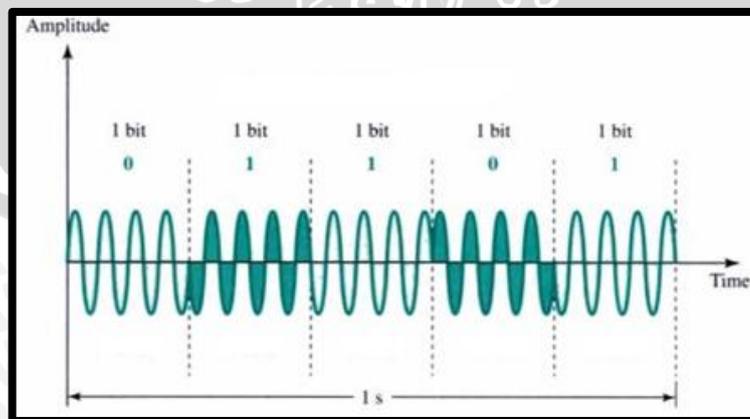
k. *Interface A11*

Interface A11 membawa informasi pensinyalan antara PCF dan PDSN.

2.2 Modulasi

Modulasi adalah suatu proses penumpangan sinyal informasi pada sinyal *carrier* dimana terjadi perubahan parameter sinyal *carrier* (amplitudo, frekuensi dan fasa) berdasarkan amplitudo sinyal informasi. Dalam CDMA 2000 1X EV-DO Revision A digunakan dua jenis modulasi, yaitu BPSK (*Binary Phase Shift Keying*) dan QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*). BPSK digunakan untuk arah *uplink*, sedangkan QPSK untuk arah *downlink*. Karena BPSK dan QPSK termasuk dalam modulasi digital maka sinyal informasinya berbentuk digital dan sinyal *carrier* nya berupa sinyal analog.

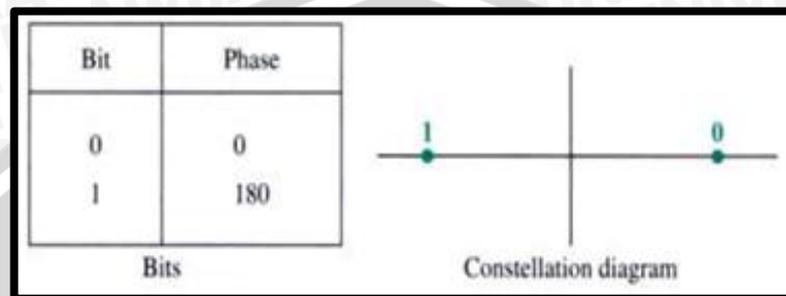
Modulasi BPSK dan QPSK merupakan jenis dari modulasi PSK (*Phase Shift Keying*). Prinsip utama dari modulasi PSK yaitu amplitudo dan frekuensi sinyal *carrier* konstan, sedangkan fasa sinyal *carrier* akan divariasikan untuk merepresentasikan biner 0 atau 1, sesuai dengan perubahan amplitudo sinyal informasi. Misalnya, jika dimulai dengan fasa 0° untuk merepresentasikan biner 0, kemudian berubah menjadi fasa 180° yang merepresentasikan biner 1. Gambar 2.2 menunjukkan konsep dari modulasi BPSK.



Gambar 2.2 Modulasi BPSK (*Binary Phase Shift Keying*)

(Sumber: Behrouz A. Forouzan, 2001:114)

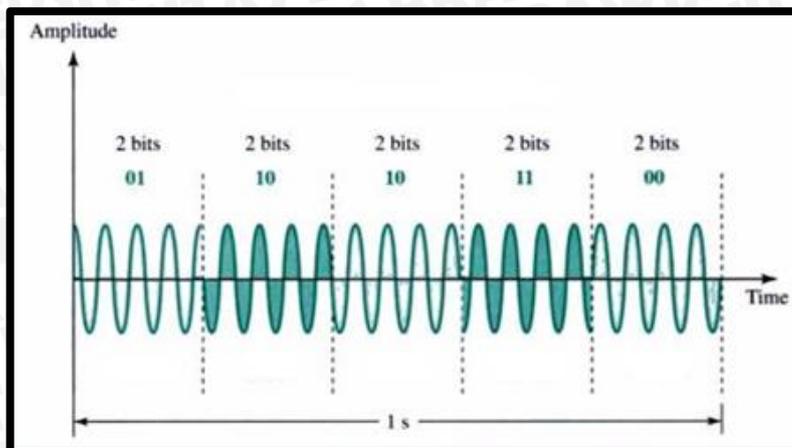
Metode di atas biasa disebut juga dengan 2-PSK, atau *Binary PSK* (BPSK) karena terdapat 2 perbedaan *phase* yang digunakan (0° dan 180°). Gambar 2.3 menjelaskan hubungan antara *phase* menjadi bit pada BPSK. Pada gambar kedua disebut juga dengan *constellation* atau *phase state diagram* yang menunjukkan hubungan yang sama dengan mengilustrasikan *phase*-nya.



Gambar 2.3 BPSK (*Binary Phase Shift Keying*) Constellation

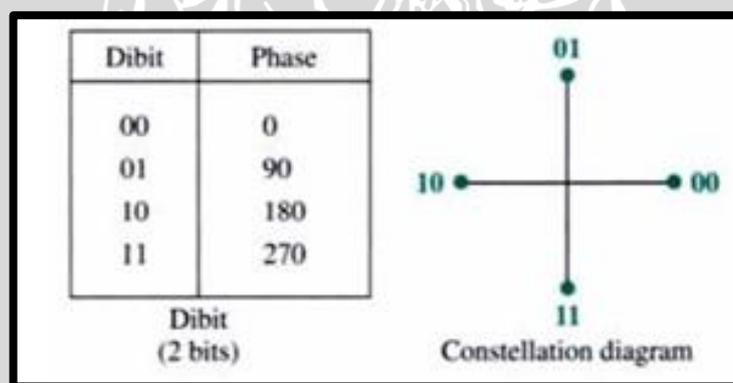
(Sumber: Behrouz A. Forouzan, 2001:114)

QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) merupakan bentuk lain dari modulasi PSK (*Phase Shift Keying*). QPSK dapat mentransmisikan data dua kali lebih cepat dibandingkan dengan BPSK karena terdapat 2 bit dalam tiap simbolnya. Misalnya, *phase* 0° merepresentasikan bit 00, *phase* 90° merepresentasikan bit 01, *phase* 180° merepresentasikan bit 10, dan *phase* 270° merepresentasikan bit 11. Pasangan bit – bit yang merepresentasikan masing-masing *phase* disebut juga dengan *dibit*. Gambar 2.4 menunjukkan konsep dari modulasi QPSK.



Gambar 2.4 Modulasi QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*)
 (Sumber: Behrouz A. Forouzan, 2001:115)

Gambar 2.5 menjelaskan hubungan antara *phase* menjadi bit pada QPSK. Pada gambar kedua disebut juga dengan *constellation* atau *phase state diagram* yang menunjukkan hubungan yang 88sama dengan mengilustrasikan *phase*-nya.



Gambar 2.5 QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) Constellation
 (Sumber: Behrouz A. Forouzan, 2001:115)

2.3 Propagasi Gelombang

Propagasi adalah proses perambatan gelombang dari suatu tempat ke tempat yang lain. Model propagasi gelombang radio dilatarbelakangi oleh konsep dari dua buah antena sumber (pemancar dan penerima) pada udara bebas yang dipisahkan oleh jarak d (km). Model propagasi umumnya menjelaskan perkiraan rata-rata kuat sinyal yang diterima *receiver* pada jarak tertentu dari *transmitter*.

Gelombang elektromagnetik yang mengalami refleksi, difraksi, atau *scattering*, atau disebut dengan gelombang pantul, akan mengalami perubahan nilai amplitudo dan fasanya, tergantung dari koefisien refleksi, lintasan, dan sudut datangnya gelombang. Kondisi terburuk akan terjadi saat gelombang langsung dan gelombang pantul memiliki beda fasa 180° . Pada kondisi yang demikian akan terjadi proses saling menghilangkan antara gelombang langsung dengan gelombang pantulnya. Perbedaan fasa sebesar 180° terjadi jika terdapat perbedaan jarak tempuh gelombang seperti pada persamaan (2-1).

$$\Delta d = \frac{n-1}{2} \lambda \quad (2-1)$$

Keterangan :

- d : jarak tempuh gelombang (m)
 n : jumlah pantulan (1,2,3,...dst)
 λ : panjang gelombang (m)

Sedangkan kondisi terbaik akan dicapai jika gelombang langsung dan gelombang pantul memiliki fasa yang sama atau kelipatan dari 360° . Perbedaan jarak tempuh gelombang langsung dan gelombang pantul pada kondisi ini dijelaskan dalam persamaan (2-2).

$$\Delta d = n\lambda \quad (2-2)$$

Keterangan :

- d : jarak tempuh gelombang (m)
 n : jumlah pantulan (1,2,3,...dst)
 λ : panjang gelombang (m)

2.3.1 Mekanisme Propagasi Gelombang

Dalam propagasi gelombang elektromagnetik pada sistem komunikasi wireless terdapat empat buah mekanisme, yaitu:

a. Propagasi *Free Space*

Propagasi *free space* merupakan propagasi gelombang radio dimana sinyal dari *transmitter* dapat langsung diterima oleh *receiver*.

b. *Reflection* (pantulan)

Pantulan terjadi ketika perambatan gelombang elektromagnetik mengenai objek yang ukurannya jauh lebih besar dari panjang gelombang yang dipancarkan. Pantulan dapat terjadi pada permukaan tanah, gedung, serta tembok.

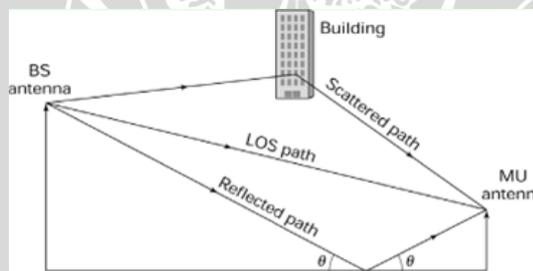
c. *Diffraction* (Difraksi)

Difraksi terjadi pada saat gelombang yang dipancarkan dibelokkan oleh benda dengan permukaan yang memiliki sisi yang tajam. Gelombang-gelombang yang dihasilkan dari difraksi ini juga akan mempengaruhi gelombang yang diterima, meskipun tidak terlihat halangan langsung.

d. *Scattering* (hamburan)

Hamburan terjadi jika medium yang dilewati gelombang terdiri dari benda-benda yang ukurannya lebih kecil daripada panjang gelombang yang dipancarkan. Hamburan dihasilkan oleh permukaan kasar, benda kecil, atau ketidakteraturan dalam saluran frekuensi.

Gambar 2.6 menunjukkan jalur propagasi gelombang elektromagnetik.



Gambar 2.6 Jalur Propagasi Gelombang Elektromagnetik

(Sumber: www.ittelkom.com)

2.3.2 *Fading*

Fading dapat didefinisikan sebagai perubahan fase, polarisasi dan atau level dari suatu sinyal terhadap waktu. Definisi dasar dari *fading* yang paling umum adalah yang berkaitan dengan mekanisme propagasi yang melibatkan refleksi, difraksi, hamburan dan redaman dari gelombang radio.

Fading pada sistem komunikasi seluler dapat menurunkan kualitas sinyal yang diterima. Beberapa efek *fading* terhadap sinyal diantaranya yaitu:

- Perubahan kuat sinyal secara cepat yang diterima pada jarak dan interval waktu yang singkat.
- Mengakibatkan modulasi frekuensi yang acak yang disebabkan oleh perbedaan sinyal *multipath* berdasar efek *Doppler*.
- *Time dispersion (echo)* yang disebabkan oleh waktu tunda (*delay*) propagasi dari gelombang *multipath*.

Fading juga dapat terjadi walaupun *receiver* dalam keadaan tetap/diam. Hal ini disebabkan oleh kemungkinan adanya pergerakan dari objek di sekitar *receiver*. Dalam sistem komunikasi, pengaruh *fading* harus diminimalkan. Sehingga dalam perancangan selalu disediakan suatu batasan sistem yang baik dengan masih adanya pengaruh *fading*. Proses terjadinya *fading* ditunjukkan dalam gambar 2.7.



Gambar 2.7 Proses terjadinya *fading*

(Sumber: Gunawan Wibisono, 2007 : 109)

2.3.2.1 Kanal Komunikasi

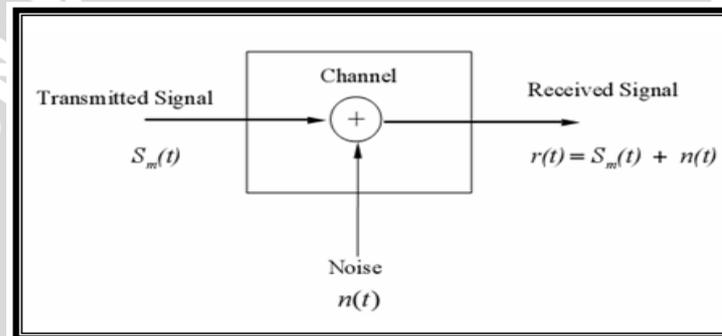
Kanal merupakan suatu media transmisi yang digunakan untuk mentransmisikan informasi dari pemancar ke penerima. Dalam sistem komunikasi, khususnya komunikasi *wireless*, terdapat dua buah kanal yang sering digunakan untuk mengetahui kualitas sistem tersebut. Dua kanal tersebut yaitu kanal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*) dan kanal *fading*.

a. Kanal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*)

Kanal AWGN adalah kanal ideal yang hanya memiliki noise AWGN. Pengertian dari kanal ideal yaitu kanal yang tidak menyebabkan distorsi (perubahan bentuk sinyal) pada sinyal yang dikirim. Kanal AWGN ditunjukkan

dalam gambar 2.8. Kanal ideal memiliki *bandwidth* yang tidak terbatas dan respon frekuensinya tetap untuk segala frekuensi. Sedangkan pengertian dari *noise* AWGN adalah *noise* yang pasti terjadi dalam jaringan *wireless* manapun, yang berupa *noise* panas (*thermal noise*) yang berasal dari kanal fisik itu sendiri dan juga dari komponen elektronika pada pemancar dan penerima. *Noise* AWGN memiliki beberapa sifat, di antaranya :

- *Additive*, artinya *noise* ini dijumlahkan dengan sinyal.
- *White*, artinya *noise* tidak tergantung dari frekuensi operasi sistem dan memiliki rapat daya yang konstan.
- *Gaussian*, artinya besarnya tegangan *noise* memiliki rapat peluang terdistribusi gaussian.



Gambar 2.8 Kanal AWGN

(Sumber : <http://www.assignmentpoint.com/science/eee/performance-analysis-of-ieee-802-16d-system-using-different-modulation-scheme-under-sui-channel-with-fec.html>)

Keberadaan *noise* AWGN akan selalu terjadi di dalam jaringan komunikasi manapun selama terdapat *bandwidth* dan temperatur perangkat telekomunikasi bekerja pada suhu di atas -273°C .

Fungsi rapat probabilitas (*probability density function*, PDF) *Gaussian* dapat dituliskan dalam persamaan (2-3).

$$PDF(R(r)) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\cdot\sigma_R} e^{-\left[\frac{(r-\mu_R)^2}{2\cdot\sigma_R^2}\right]} \quad (2-3)$$

Keterangan :

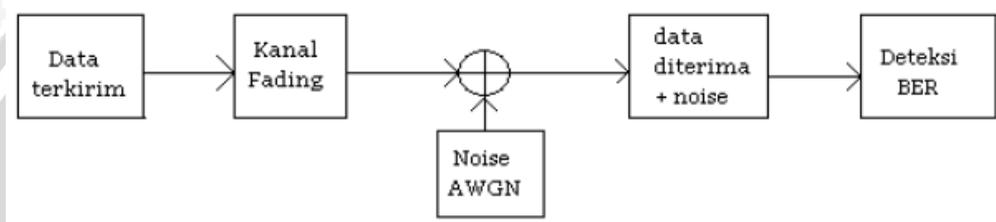
PDF (R(r)) : rapat probabilitas fungsi r

σ_R : variansi dari R

μ_R : nilai rata-rata dari distribusi normal

b. Kanal Fading

Pengertian dari kanal *fading* yaitu kanal tidak ideal yang terdapat pada sistem komunikasi *wireless*, yang memiliki keterbatasan *bandwidth* dan menyebabkan distorsi pada sinyal yang dikirim. Kanal ini dibuat untuk memperkirakan akibat yang ditimbulkan oleh *multipath fading*. Distribusi yang sering digunakan untuk menjelaskan bentuk selubung sinyal pada kanal *multipath* yaitu distribusi *Rayleigh*. Kanal *fading* ditunjukkan dalam gambar 2.9.



Gambar 2.9 Kanal Fading
(Sumber : Muh. Arif Nugroho.pdf)

2.3.2.2 Faktor yang Mempengaruhi Fading

Faktor-faktor yang mempengaruhi *fading* antara lain yaitu:

a. Propagasi Multipath

Adanya objek yang menyebabkan pantulan dan hamburan pada saluran mengakibatkan berkurangnya energi sinyal pada amplitudo dan fasa. Efek ini menjadikan sinyal yang diterima di *receiver* bervariasi, yang mengakibatkan fluktuasi sinyal, sehingga terjadi *fading*, yang disebut *multipath fading*, dan distorsi. Propagasi *multipath* juga mengakibatkan perbedaan waktu yang akan menyebabkan timbulnya *intersymbol interference*.

b. Kecepatan pergerakan receiver

Kecepatan pergerakan *receiver* terhadap BS menyebabkan modulasi frekuensi yang acak sesuai dengan efek *Doppler* pada setiap komponen *multipath*.

c. Kecepatan bergerak objek lain

Jika objek di sekitar *receiver* bergerak lebih cepat dari pergerakan *receiver* itu sendiri, maka pergerakan objek tersebut akan lebih besar pengaruhnya pada terjadi *fading*.

d. *Bandwidth* transmisi dari sinyal

Jika *bandwidth* sinyal yang ditransmisikan lebih besar dari *bandwidth* saluran *multipath*, maka sinyal yang diterima akan mengalami distorsi.

2.3.2.3 *Multipath Fading*

Yang dimaksud dengan propagasi *multipath* adalah perambatan sinyal antara pemancar dan penerima melalui berbagai lintasan yang berbeda. Lintasan yang berbeda-beda tersebut mengakibatkan kuat sinyal penerimaan menjadi bervariasi. Sedangkan pengertian dari *multipath fading* yaitu *fading* yang terjadi akibat propagasi *multipath*. Sinyal yang diterima oleh penerima merupakan jumlah superposisi dari keseluruhan sinyal (sinyal LOS dan sinyal hasil pemantulan) yang dipantulkan akibat banyak lintasan (*multipath*). Dalam propagasi *multipath* ini terdapat tiga mekanisme utama perambatan gelombang, yaitu refleksi (pemantulan), difraksi dan *scattering* (sebaran). Adanya *multipath* ini memungkinkan sinyal yang dikirim dapat diterima meskipun lintasan terhalang, namun hal ini sangat mempengaruhi pada penerimaan sinyal pada penerima.

Gelombang-gelombang yang dipantulkan dalam propagasi *multipath* dapat berinterferensi secara membangun atau merusak di penerima. Berikut ini adalah beberapa akibat yang dapat ditimbulkan oleh propagasi *multipath*:

- a. Sinyal RF hasil pemantulan menempuh jarak yang lebih jauh dan tiba lebih lama dibanding sinyal RF *Line of Sight* (LOS).
- b. Sinyal yang dipantulkan mengalami rugi-rugi energi yang lebih besar karena jarak transmisi yang lebih panjang.
- c. Sinyal mengalami rugi-rugi akibat pemantulan oleh banyak objek.

- d. Terdapat banyak salinan dari suatu sinyal yang tiba di *receiver* pada fase yang berbeda. Jika fase-fase ini menjumlah secara destruktif, tingkat sinyal relatif terhadap *noise* akan menurun. Hal ini akan menyebabkan deteksi sinyal pada penerima menjadi semakin sulit.
- e. Terjadinya *intersymbol interference* (ISI).

Persamaan umum untuk perhitungan *multipath fading* dijelaskan dalam persamaan (2-4)

$$y(t) = \sum_{l=1}^L a_l(t)x(t - d_l(t)) + z(t) \quad (2-4)$$

Keterangan:

$x(t)$: kanal input

$y(t)$: kanal output

$z(t)$: *white gaussian noise*

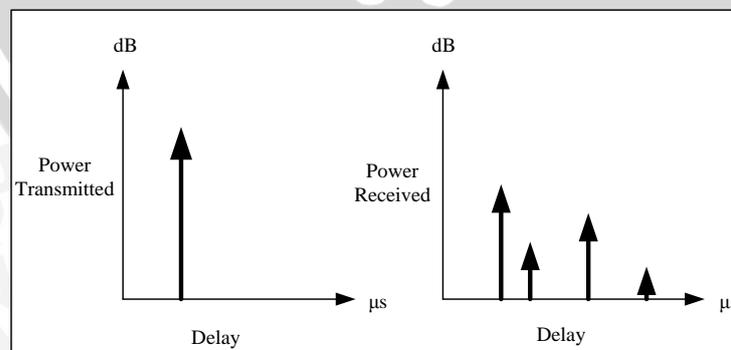
L : jumlah path

a_l : penguatan dari l pada waktu t

d_l : *delay* dari *path* pada waktu t

2.4 Parameter *Multipath Fading*

Sinyal yang mengalami *multipath fading* akan mengalami penundaan waktu terima. Hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan jalur (*path*) dengan panjang yang berbeda, seperti ditunjukkan oleh gambar 2.10, yang merupakan *multipath power delay profile* secara umum.



Gambar 2.10 *Multipath Power Delay Profile*

(Sumber : www.gaussianwaves.com)

Karena pengaruh yang ditimbulkan tersebut, maka parameter yang dapat diamati dari *multipath fading* adalah *delay spread* dan lebar pita koheren (*coherence bandwidth*).

2.4.1 Delay Spread

Pengertian *delay spread* adalah lebar pulsa dari impuls yang dikirim antara pemancar dan penerima, yang merupakan fenomena alami yang disebabkan oleh propagasi pantulan dan hamburan pada kanal komunikasi. Panjang lintasan dan perlakuan perambatan gelombang yang berbeda-beda mengakibatkan sinyal-sinyal *multipath* sampai pada penerima dengan variasi waktu tunda. Sebuah impuls yang dikirimkan oleh pemancar akan diterima oleh penerima bukan lagi sebuah impuls melainkan sebuah pulsa dengan lebar penyebaran yang disebut *delay spread*.

Delay spread dapat menimbulkan interferensi antar simbol (ISI), karena setiap simbol akan saling bertumbukan dengan simbol sebelum dan sesudahnya. Level interferensi antar simbol ini ditentukan oleh kecepatan transmisi bit. Jadi kecepatan transmisi bit atau simbol pada sistem komunikasi bergerak digital dibatasi oleh *delay spread*. Ada beberapa faktor pada *delay spread* yang dapat dianalisis untuk dapat menentukan kecepatan bit transmisi agar tidak terjadi ISI (*Intersymbol Interference*) yaitu *mean excess delay* (rata-rata kelebihan waktu tunda), *maximum excess delay* (kelebihan waktu tunda maksimum), dan *RMS delay spread* (*root mean square delay spread*).

a. Mean Excess Delay

Mean excess delay merupakan momen pertama dari *power delay profile*, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-5).

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k}{\sum_k P(\tau_k)} \quad (2-5)$$

Keterangan :

$\bar{\tau}$: *mean excess delay* (μs)

- P (τ_k) : daya normalisasi pada waktu τ_k (dB)
- τ_k : waktu *delay* ke- k (μ s)

b. *Maximum Excess Delay*

Maximum Excess Delay adalah rentang *delay* antara munculnya impulse pertama sampai impulse terakhir pada *power delay profile*. Perhitungan maximum excess *delay* ditunjukkan dalam persamaan (2-6).

$$\tau_d = \max_{i,j} |\tau_i(t) - \tau_j(t)| \tag{2-6}$$

Keterangan ;

- τ_d : *maximum excess delay* (μ s)

Maximum Excess Delay dapat mempengaruhi besarnya nilai *bandwidth* sinyal (B_s), yang memiliki persamaan sebagai berikut :

$$B_s = \frac{1}{2\Delta\tau} \tag{2-7}$$

dengan,

$$\Delta\tau = \frac{\tau_d}{N_{path}} \tag{2-8}$$

Keterangan :

- B_s : *bandwidth* sinyal (MHz)
- $\Delta\tau$: selang waktu tiap path (μ s)
- τ_d : *maximum excess delay* (μ s)
- N_{path} : jumlah lintasan / path

c. *RMS Delay Spread*

RMS delay spread merupakan parameter penting yang dapat menentukan performansi sistem digital, yang dapat membantu mengidentifikasi dan menanggulangi *multipath fading*. Dengan memperkecil nilai *RMS delay spread* maka intersymbol interference (ISI) dapat menjadi lebih kecil, sehingga *error rate* akan menjadi lebih kecil dan *data rate* meningkat. Nilai *RMS delay spread* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-9).

$$\sigma_\tau = \sqrt{\tau^2 - (\bar{\tau})^2} \tag{2-9}$$



dengan

$$\overline{\tau^2} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k^2}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k^2}{\sum_k P(\tau_k)} \quad (2-10)$$

Keterangan :

σ_τ : RMS *delay spread* (μs)

$\bar{\tau}$: *mean excess delay* (μs)

$\overline{\tau^2}$: momen kedua dari *power delay profile* (μs)

Delay spread multipath dapat mengakibatkan *flat fading* dan *frequency selective fading*.

➤ *Flat fading*

Flat fading akan terjadi pada sinyal yang diterima di *receiver* apabila kanal memiliki *gain* konstan dan respon fasa linier dengan *bandwidth* kanal lebih besar dari *bandwidth* sinyal transmisi dan periode simbol lebih. Apabila dituliskan dalam persamaan matematis (2-11) dan (2-12), maka *flat fading* akan terjadi bila :

$$B_s \ll B_c \quad (2-11)$$

dan $T_s \gg \sigma_\tau \quad (2-12)$

dimana,

$$T_s = \frac{1}{B_s} \quad (2-13)$$

Keterangan :

B_s : *bandwidth* sinyal (MHz)

B_c : *bandwidth* koheren (MHz)

T_s : periode simbol (μs)

σ_τ : RMS *delay spread* (μs)

➤ *Frequency selective fading*

Frequency selective fading akan terjadi pada sinyal yang diterima di *receiver* apabila kanal memiliki *gain* konstan dan respon fasa linier dengan *bandwidth* sinyal transmisi lebih besar dari *bandwidth* kanal. Apabila



dituliskan dalam persamaan matematis (2-14) dan (2-15), maka *flat fading* akan terjadi bila :

$$B_s \gg B_c \quad (2-14)$$

$$\text{dan} \quad T_s \ll \sigma_\tau \quad (2-15)$$

Keterangan :

B_s : *bandwidth* sinyal (MHz)

B_c : *bandwidth* koheren (MHz)

σ_τ : RMS *delay spread* (μs)

2.4.2 Bandwidth Coherence

Bandwidth koheren adalah *range* frekuensi sepanjang komponen dua frekuensi yang memiliki korelasi amplitudo yang sangat kuat, sering juga didefinisikan sebagai *bandwidth* yang akan dipakai untuk mentransmisikan data informasi. Nilai dari *bandwidth* koheren yaitu penurunan dari RMS *delay spread*, yang dapat dihitung dengan persamaan (2-16).

$$B_c = \frac{1}{\sigma_\tau} \quad (2-16)$$

Keterangan :

B_c : *bandwidth* koherensi (MHz)

σ_τ : RMS *delay spread* (μs)

2.5 Parameter Performansi Downlink CDMA 2000 1X EV-DO Revision A

Untuk mengetahui performansi dari sistem CDMA 2000 1X EV-DO Revision A, khususnya pada *downlink*, mulai dari saat pengiriman di *transmitter* sampai dengan penerimaan di *receiver*, dibutuhkan beberapa parameter yang akan digunakan dalam analisis. Beberapa parameter performansi yang akan dibahas dalam skripsi ini antara lain yaitu:

a. Redaman Propagasi (*pathloss*) dan Daya Terima

Pathloss adalah suatu parameter yang digunakan untuk mengetahui besarnya *loss* (rugi-rugi) yang terjadi selama proses pengiriman data di dalam

media transmisi. Ada dua kondisi yang dapat menentukan besarnya rugi-rugi propagasi, yaitu :

➤ **Kondisi Line of Sight (LOS)**

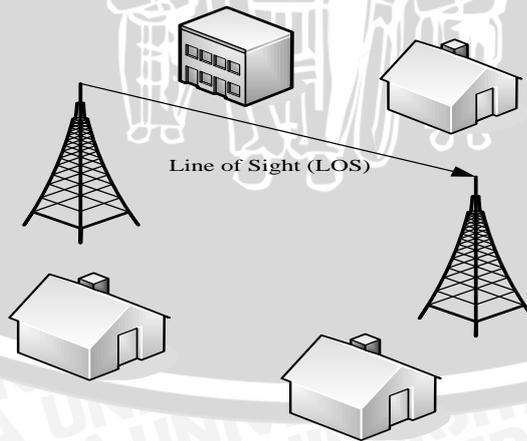
Kondisi LOS adalah kondisi dimana antara *transmitter* (BS) dan *receiver* (UE) tidak terdapat halangan sama sekali. Gambar 2.11 menjelaskan tentang kondisi LOS. Kondisi LOS sering dianggap sebagai kondisi ruang bebas (*free space*) dan besarnya rugi-rugi ruang bebas (*free space loss*) bergantung pada nilai frekuensi dan jarak. Besarnya rugi-rugi ruang bebas (*free space loss*) dijelaskan dalam persamaan (2-17) [Roger L. Freeman, 2007 : 3]

$$FSL = -20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right) \quad (2-17)$$

dengan, $\lambda = \frac{c}{f}$

Keterangan :

- FSL : *free space loss* (dB)
- λ : Panjang gelombang (m)
- f : Frekuensi kerja sistem (Hz)
- d : jarak antara pemancar dan penerima (m)
- c : kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)



Gambar 2.11 Kondisi *Line of Sight* (LOS)

(Sumber: Perancangan)

Setelah diperoleh nilai FSL, maka dapat dihitung besarnya daya terima pada *receiver* dengan menggunakan persamaan (2-18).

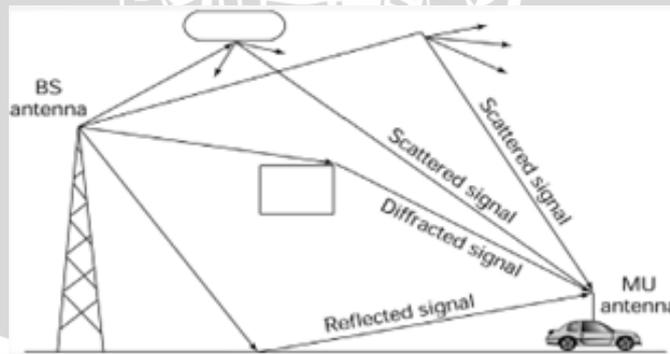
$$P_r \text{ (dBm)} = P_t + G_t - L_t + G_r - L_r - FSL - FM \quad (2-18)$$

Keterangan :

- P_r : daya terima *receiver* (dBm)
- P_t : daya pancar *transmitter* (dBm)
- G_t : *gain transmitter* (dBi)
- L_t : *transmitter losses (cable loss)* (dB)
- G_r : *gain receiver* (dBi)
- L_r : *receiver losses (body loss)* (dB)
- FSL : *free space loss* (dB)
- FM : *fading margin* (dB)

➤ **Kondisi Non Line of Sight (NLOS)**

Kondisi NLOS adalah kondisi dimana antara *transmitter* (BS) dan *receiver* (UE) terdapat penghalang sinyal seperti rumah, pohon dan gedung. Kondisi ini menyebabkan sinyal yang dikirim oleh *transmitter* (BS) mengalami pantulan, difraksi atau *scattering*, sehingga sinyal tersebut memiliki lebih dari satu jalur dari *transmitter* (BS) ke *receiver* (UE). Propagasi gelombang NLOS sering disebut sebagai propagasi *multipath*. Kondisi NLOS diilustrasikan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Kondisi Non Line of Sight (NLOS)

(Sumber: www.itelkom.com)

Besarnya rugi-rugi propagasi (*path loss*) untuk kondisi NLOS dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-19). [Roger L. Freeman, 2007: 19]

$$PL = A + 10\gamma \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + \Delta PL_f + \Delta PL_h + s \quad (2-19)$$

Keterangan :

PL : *Path Loss* (dB)

s : *shadow fading variation (data sheet)*

d_0 : jarak referensi (100 m)

d : jarak BS dan SS (m)

A : *path loss* referensi (dB), dimana $A = 20 \log\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda}\right)$

γ : eksponen *path loss*, dimana $\gamma = a - b \cdot h_t + \frac{c}{h_t}$

a,b,c : konstanta berdasarkan kategori daerah (*data sheet*)

h_t : tinggi BS (m)

ΔPL_f : faktor koreksi frekuensi

ΔPL_h : faktor koreksi tinggi antena user

dimana,

$$\Delta PL_f = 6 \log \frac{f}{2000}, \text{ dengan satuan } f \text{ dalam MHz} \quad (2-20)$$

$$\Delta PL_h = -10.8 \log\left(\frac{h_r}{2}\right) \quad (2-21)$$

Nilai a, b, c dan s adalah konstanta berdasarkan daerah yang akan dilayani, yaitu berdasarkan tipe daerah/ bangunan yang ada di daerah tersebut. Adapun nilai a, b, c dan s dapat dilihat dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Parameter Erceg Model

Model Parameter	<i>Terrain Type A</i> (<i>Hilly, heavy trees</i>)	<i>Terrain Type B</i> (<i>Intermediate</i>)	<i>Terrain Type C</i> (<i>Flat, few trees</i>)
a	4,6	4	3,6
b	0,0075	0,0065	0,0065
c	12,6	17,1	20
s	10,6 dB	9,6 dB	8,2 dB

(Sumber : J. Roberto B de Marca and Kwang Chen Ceng, 2007: 360)

Keterangan :

Terrain Type A :

- Daerah banyak gedung bertingkat/pepohonan maupun berbukit.
- Banyak penghalang sinyal.

Terrain Type B

- Daerah dengan gedung bertingkat/pepohonan cukup banyak, umumnya kota berkembang.
- Sedikit penghalang sinyal.

Terrain Type C :

- Daerah dengan gedung bertingkat/pepohonan sedikit.
- Jarang atau tidak ada penghalang sinyal.

Setelah diperoleh nilai *path loss* (PL) untuk kondisi *non line of sight* (NLOS), maka dapat dihitung besarnya daya terima pada *receiver* dengan menggunakan persamaan (2-22).

$$P_r \text{ (dBm)} = P_t + G_t - L_t + G_r - L_r - PL - FM \quad (2-22)$$

Keterangan :

- P_r : daya terima *receiver* (dBm)
 P_t : daya pancar *transmitter* (dBm)
 G_t : *gain transmitter* (dBi)
 L_t : *transmitter losses (cable loss)* (dB)
 G_r : *gain receiver* (dBi)
 L_r : *receiver losses (body loss)* (dB)
 PL : *path loss* (dB)
 FM : *fading margin* (dB)

b. *Signal to Noise Ratio* (SNR)

SNR adalah perbandingan antara sinyal yang dikirim terhadap *noise*. SNR digunakan untuk mengetahui besarnya pengaruh redaman sinyal terhadap sinyal yang ditransmisikan. SNR dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-23).

$$SNR \text{ (dB)} = P_r \text{ (dBm)} - N_{total} \text{ (dBm)} \quad (2-23)$$

Keterangan :

SNR : *signal to noise ratio* (dB)

P_r : daya yang diterima oleh *receiver* (dBm)

N_{total} : daya *noise* saluran transmisi (dBm)

Besarnya daya yang diterima oleh *receiver* (P_r) dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain yaitu kondisi daerah yang memiliki penghalang sinyal (gedung, pohon, dsb), jarak antara *transmitter* dan *receiver* serta besarnya rugi-rugi propagasi LOS (*path loss*). Dalam kasus ini, besarnya daya yang diterima oleh *receiver* (P_r) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-10).

Sedangkan untuk menghitung daya noise (N), maka digunakan persamaan (2-24).

$$N_{total} = P_t \cdot (N - 1)$$

$$N - 1 = \frac{B / R}{E_b / N_o}, \text{ di mana } E_b = P_t / R \text{ dan } N_o = kTB$$

$$N_{total} = P_t \cdot \frac{B / R}{\frac{P_t / R}{kTB}} \quad (2-24)$$

Keterangan :

N_{total} : daya *noise* dan interferensi saluran transmisi (dBm)

k : konstanta Boltzman ($1,381 \times 10^{-23}$ J/°K)

T : suhu ruang (300° K)

B : *bandwidth* (Hz)

N : jumlah pengguna total dalam satu frekuensi

R : *bit rate*

P_t : daya pancar *transmitter*

c. *Energy bit to Noise (Eb/No)*

E_b/N_o adalah suatu parameter yang berhubungan dengan SNR yang biasanya digunakan untuk menentukan laju data digital dan sebagai ukuran mutu standar untuk kinerja sistem komunikasi digital. Dilihat dari namanya, E_b/N_o dapat didefinisikan sebagai perbandingan energi sinyal per bit terhadap noise. Energi

per bit dalam sebuah sinyal dijelaskan dalam persamaan (2-25) [William Stalings, 2007 : 117]

$$E_b = S.T_b \quad (2-25)$$

Keterangan :

E_b : energi bit sinyal (joule)

S : daya sinyal (watt)

T_b : waktu yang diperlukan untuk mengirimkan satu bit (detik)

Daya sinyal noise (N_o) yang dipengaruhi oleh suhu lingkungan dijelaskan dalam persamaan (2-26).

$$N_o = k.T.B \quad (2-26)$$

Keterangan:

N_o : daya sinyal noise

k : konstanta Boltzman, $1,381 \times 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$

T : suhu ruang, 290° K

Jika suatu sinyal, digital atau analog, yang berisi data digital biner yang dipancarkan pada suatu laju data tertentu, R , dimana R dapat dihitung menggunakan persamaan (2-27).

$$R = \frac{1}{T_b} \quad (2-27)$$

Keterangan :

R : laju data (bps)

T_b : waktu yang diperlukan untuk mengirimkan satu bit (detik)

Maka dengan mensubstitusikan nilai R ke dalam persamaan (2-28), persamaan untuk E_b akan menjadi:

$$E_b = \frac{S}{R} \quad (2-28)$$

Sehingga E_b/N_o dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-29).

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{S/R}{N_o} = \frac{S/R}{k.T.B} = \frac{S}{k.T.B.R} \quad (2-29)$$

Jika dituliskan ke dalam notasi decibel maka akan menjadi :

$$\frac{Eb}{No} = \frac{S}{N} - 10 \log \frac{B}{R} \quad (2-30)$$

Keterangan :

$\frac{Eb}{No}$: rasio *energy bit* terhadap *noise*

S : level sinyal (watt)

N : daya *noise* saluran transmisi (watt)

k : konstanta Boltzman, $1,381 \times 10^{-23}$ J/°K

T : suhu ruang, 290° K

B : *bandwidth* (bps)

R : laju data (bps)

d. **Bit Error Rate (BER)**

BER adalah banyaknya *bit* yang salah ketika sejumlah *bit* ditransmisikan dari titik asal ke titik tujuan. Teknologi CDMA 2000 1X EV-DO Rev. A yang menggunakan jenis modulasi QPSK diharapkan mempunyai nilai batas BER maksimum sebesar 10^{-6} , artinya dari 1 juta bit ada 1 bit yang mengalami kerusakan.

Dalam penelitian ini, nilai BER yang dihitung merupakan BER pada *User Equipment* (UE) saja. Penghitungan BER (P_b) dengan menggunakan teknik modulasi QPSK dijelaskan dalam persamaan (2-31).

$$P_{b,QPSK} = Q\left(\sqrt{2 \frac{Eb}{No}}\right) \quad (2-31)$$

Keterangan :

P_b : BER pada saat transmisi (tanpa satuan)

Q : simbol modulasi quadrature (QPSK)

$\frac{Eb}{No}$: rasio *energy bit* terhadap *noise* pada saat transmisi (dB)

dimana,

$$Q(x) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right) \quad (2-32)$$

$$\operatorname{erfc}(x) \approx \frac{1}{\sqrt{\pi x}} \cdot e^{-x^2} \quad (2-33)$$

Keterangan :

erfc : error function complementary

