



PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji Syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena hanya berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh *Fading* Lintasan Jamak Terhadap Performansi *High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)*” dengan baik. Skripsi tersebut disusun untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik, di Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Banyak kendala yang dihadapi penulis dalam penyelesaian skripsi ini, baik kendala yang berasal dari diri penulis maupun dari lingkungan sekitar. Permasalahan tersebut dapat diatasi berkat bantuan dari pihak-pihak yang telah meluangkan waktu untuk membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu dalam proses pengerjaan skripsi ini.

1. Ibu dan Bapak tercinta yang senantiasa memberikan kasih sayang, doa, semangat, dukungan, serta kesabaran yang begitu luar biasa. Juga adik-adikku atas segala kasih sayang dan dukungannya kepada penulis dalam pengerjaan skripsi ini.
2. Bapak M. Aziz Muslim, ST., M.Sc, Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D. selaku Sekertaris Jurusan Teknik Elektro.
4. Bapak Ali Mustofa, ST., MT. selaku dosen penasehat akademik yang senantiasa memberikan nasihat dalam hal akademik kepada penulis.
5. Bapak Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS dan Ir. Sigit Kusmaryanto, M.Eng. selaku dosen pembimbing skripsi yang senantiasa membimbing dengan penuh kesabaran hingga penulisan skripsi ini dapat selesai dengan baik.
6. Mas Galih Chandra Mahargi, terimakasih untuk segala kasih sayang, doa, dukungan, dan kesabaran yang luar biasa kepada penulis. Meskipun jauh tapi selalu berusaha untuk bisa terasa dekat.
7. Seluruh teman-teman Elektro Angkatan 2009 yang tidak bisa disebutkan satu persatu. Suatu kebanggaan dan kebahagiaan bisa menjadi salah satu bagian dari keluarga yang luar biasa seperti kalian, AMPERE'09 !!
8. Seluruh teman-teman Paket C, terimakasih telah menemani saat perkuliahaan dan bantuannya dalam pengerjaan skripsi ini.

- repository.ub.ac.id
9. “Geng makan siang” Prilla, Akhyar, Ardent, terimakasih untuk dukungan dan doanya.
 10. Bayu dan Temmy, terimakasih untuk bantuannya dalam pengerjaan skripsi ini.
 11. Semua pihak yang telah membantu penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penelitian ini dirasa masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan kritik mengenai penelitian ini diharapkan oleh penulis. Saran dan kritik ditujukan agar penelitian ini dapat menjadi karya tulis yang lebih baik dan lebih berguna. Akhir kata, semoga laporan penelitian ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, 25 Desember 2013

Penulis



DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
ABSTRAK	xi
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Sistematika Penulisan Skripsi.....	3
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)</i>	5
2.1.1 Arsitektur Jaringan HSDPA.....	6
2.1.2 Spesifikasi Teknis HSDPA.....	8
2.1.3 Model Kanal pada HSDPA.....	9
2.2 <i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)</i>	10
2.3 Kanal Propagasi	17
2.4 Propagasi Gelombang	19
2.4.1 Mekanisme Propagasi Gelombang	20
2.4.2 Propagasi <i>Outdoor</i> dan <i>Indoor</i>	21
2.4.3 <i>Fading</i>	23



2.5 <i>Multipath Fading</i>	24
2.5.1 <i>Parameter Multipath Fading</i>	24
2.6 Parameter Performansi HSDPA.....	29
2.6.1 Radaman Propagasi (<i>pathloss</i>).....	29
2.6.2 <i>Signal to Noise Ratio</i> (SNR).....	32
2.6.3 <i>Energy Bit to Noise Ratio</i> (Eb/No)	33
2.6.4 <i>Bit Error Rate</i> (BER).....	33
BAB III	35
METODE PENELITIAN	35
3.1 Studi Literatur	35
3.2 Pengambilan Data	35
3.3 Pengolahan Data	36
3.3.1 Perhitungan Parameter Performansi HSDPA Tanpa Pengaruh <i>Fading</i> Lintasan Jamak.....	36
3.3.2 Perhitungan Parameter Performansi HSDPA Dengan Pengaruh <i>Fading</i> Lintasan Jamak.....	41
3.4 Hasil dan Pembahasan	46
3.5 Pengambilan Kesimpulan dan Saran	49
BAB IV	50
HASIL DAN PEMBAHASAN	50
4.1 Analisis Paramater Performansi HSDPA.....	51
4.1.1 Analisis Parameter Performansi HSDPA Tanpa Pengaruh <i>Fading</i> Lintasan Jamak	53
4.1.2 Analisis Parameter Performansi HSDPA Dengan Pengaruh <i>Fading</i> Lintasan Jamak	62
4.1.3 Analisis Parameter Performansi HSDPA Tanpa Pengaruh dan Dengan Pengaruh <i>Fading</i> Lintasan Jamak.....	80
BAB V	84



KESIMPULAN DAN SARAN	84
5.1 Kesimpulan	84
5.2 Saran	85
DAFTAR PUSTAKA	86
LAMPIRAN	87



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kategori UE pada HSDPA	8
Tabel 2.2	Spesifikasi Teknis HSDPA.....	9
Tabel 4.1	Parameter <i>Link Budget</i> HSDPA	51
Tabel 4.2	Parameter R_{sub} , T_s dan <i>Bandwidth</i> sistem Pada Tiap Modulasi.....	53
Tabel 4.3	Hasil analisis <i>path loss</i> dan daya terima dengan jarak antara UE dan NodeB.....	54
Tabel 4.4	Hasil Analisis SNR sistem dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah	57
Tabel 4.5	Hasil analisis Eb/No dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah	58
Tabel 4.6	Hasil analisis BER dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah	61
Tabel 4.7	Hasil analisis <i>path loss</i> dan daya terima dengan jarak antara UE dan NodeB.....	63
Tabel 4.8	Hasil analisis Eb/No dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah	67
Tabel 4.9	Hasil analisis BER dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah	70
Tabel 4.10	Nilai <i>pathloss</i> dan daya terima berdasarkan pengukuran <i>drive test</i>	73
Tabel 4.11	Hasil Analisis SNR sistem dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah	75
Tabel 4.12	Hasil analisis Eb/No dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah	77
Tabel 4.13	Hasil analisis BER dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah	79
Tabel 4.14	Nilai Daya Terima Sinyal pada Kondisi LOS dan NLOS	81
Tabel 4.15	Nilai SNR sistem Pada Kondisi LOS dan NLOS	81
Tabel 4.16	Nilai Eb/No hasil perhitungan dan pengukuran	82
Tabel 4.17	Nilai BER hasil perhitungan dan pengukuran	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Arsitektur Jaringan HSDPA.....	6
Gambar 2.2	Model Kanal pada HSDPA.....	9
Gambar 2.3	Blok diagram OFDM.....	11
Gambar 2.4	Sinyal pada <i>Quadrature Phase Shift Keying</i> (QPSK).	13
Gambar 2.5	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i> (QPSK) <i>constellation</i>	13
Gambar 2.6	16-QAM <i>constellation</i>	14
Gambar 2.7	Dasar implementasi FFT dan IFFT pada <i>transceiver</i> OFDM.....	15
Gambar 2.8	<i>Cyclic Prefix</i> pada OFDM	15
Gambar 2.9	Proses terjadinya <i>multipath fading</i>	17
Gambar 2.10	<i>Additive White Gaussian Noise</i> (AWGN)	18
Gambar 2.11	Kanal <i>fading</i>	19
Gambar 2.12	Jalur Propagasi Gelombang Elektromagnetik.....	21
Gambar 2.13	<i>Multipath Power Delay Profile</i>	25
Gambar 2.14	Kondisi <i>Line of Sight</i> (LOS).....	30
Gambar 2.15	Kondisi <i>Non-Line of Sight</i> (NLOS)	31
Gambar 3.1	Diagram Alir Perhitungan Performansi HSDPA Tanpa Pengaru <i>Fading</i> lintasan jamak	37
Gambar 3.2	Diagram Alir Perhitungan <i>Path loss</i> Tanpa Pengaruh <i>Fading</i> Lintasan Jamak	38
Gambar 3.3	Diagram Alir Perhitungan SNR Sistem Tanpa Pengaruh <i>Fading</i> lintasan jamak.....	39
Gambar 3.4	Diagram Alir Perhitungan Eb/No Tanpa Pengaruh <i>Fading</i> lintasan jamak.....	40
Gambar 3.5	Diagram Alir Perhitungan BER Tanpa Pengaruh <i>Fading</i> lintasan jamak.....	41
Gambar 3.6	Diagram Alir Perhitungan Performansi HSDPA dengan Pengaruh <i>Fading</i> lintasan jamak.....	42
Gambar 3.7	Diagram Alir Perhitungan <i>Path loss</i> dengan Pengaruh <i>Fading</i> lintasan jamak.....	43
Gambar 3.8	Diagram Alir Perhitungan SNR Sistem dengan Pengaruh <i>Fading</i> lintasan jamak	44

Gambar 3.9	Diagram Alir Perhitungan Eb/No dengan Pengaruh <i>Fading</i> lintasan jamak.....	45
Gambar 3.10	Diagram Alir Perhitungan BER dengan Pengaruh <i>Fading</i> lintasan jamak.....	46
Gambar 3.11	Diagram Alir Proses Analisis Redaman Propagasi (<i>Path Loss</i>).....	47
Gambar 3.12	Diagram Alir Proses Analisis SNR.....	47
Gambar 3.13	Diagram Alir Proses Analisis Eb/No.....	48
Gambar 3.14	Diagram Alir Proses Analisis BER.....	49
Gambar 4.1	Hubungan redaman propagasi dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah	55
Gambar 4.2	Hubungan daya terima dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah	55
Gambar 4.3	Hubungan SNR sistem dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah	57
Gambar 4.4	Hubungan Eb/No dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah.....	59
Gambar 4.5	Hubungan BER dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah.....	61
Gambar 4.6	Sinyal yang mengalami gangguan <i>fading</i> lintasan jamak.....	62
Gambar 4.7	Hubungan rugi-rugi redaman dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah	64
Gambar 4.8	Hubungan daya terima dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah	64
Gambar 4.9	Hubungan SNR sistem dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah	66
Gambar 4.10	Hubungan Eb/No dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah.....	68
Gambar 4.11	Hubungan BER dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah.....	70
Gambar 4.12	Hubungan rugi-rugi redaman dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah	73
Gambar 4.13	Hubungan daya terima dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah	74



Gambar 4. 14 Hubungan SNR dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah..... 76

Gambar 4. 15 Hubungan Eb/No dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah..... 77

Gambar 4. 16 Hubungan BER dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah..... 80



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 <i>Listing Program</i> Matlab Menghitung <i>Path Loss</i> dan Daya Terima.....	87
Lampiran 2 <i>Listing Program</i> Matlab Menghitung SNR sistem	89
Lampiran 3 <i>Listing Program</i> Matlab Menghitung Eb/No	91
Lampiran 4 <i>Listing Program</i> Matlab Menghitung BER.....	93



ABSTRAK

Aindyta Ayu Pradani, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Desember 2013, *Pengaruh Fading Lintasan Jamak Terhadap Performansi High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)*, Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS dan Ir. Sigit Kusmaryanto, M.Eng.

HSDPA adalah sebuah teknologi komunikasi bergerak yang berteknologi 3,5G (*third and half generation*) yang termasuk dalam keluarga teknologi *High-Speed Packet Acces* (HSPA) yang mampu meningkatkan kecepatan transfer data mencapai 14,4 Mbps untuk *download* data dan 2 Mbps untuk *upload* data. Frekuensi yang dipakai oleh teknologi ini sudah dapat dimaksimalisasikan secara efisien dengan pemakaian *bandwidth* (lebar pita) yang tepat. HSDPA merupakan sistem komunikasi nirkabel, yaitu menggunakan media udara untuk pentransmisian sinyal.

Pada kenyataannya antara pemancar (Node-B) dan pengguna (UE) seringkali terjadi kondisi NLOS (*Non Line of Sight*), yaitu kondisi dimana terdapat penghalang sinyal seperti pohon, rumah dan gedung yang mengakibatkan sinyal mengalami pemantulan. Adanya objek yang menyebabkan pantulan dan hamburan mengakibatkan sinyal yang sampai di penerima tidak hanya melewati satu jalur (*multipath*). Sinyal-sinyal *multipath* tersebut akan mengalami pergeseran fasa dan *delay* yang akan selalu berubah. Pengaruh dari perbedaan panjang lintasan sinyal akan mengakibatkan pergeseran relatif fasa antara komponen fasa utama yang bersuperposisi dengan komponen fasa lintasan lain.

Fading yang terjadi akibat adanya propagasi gelombang *multipath* dinamakan *multipath fading* atau *fading* lintasan jamak. Oleh karena itu, keberadaan *fading* lintasan jamak akan mempengaruhi performansi dari HSDPA. Dari hasil analisis didapatkan bahwa sinyal yang terkena pengaruh *fading* lintasan jamak akan mengalami penurunan kualitas, dilihat dari nilai-nilai parameter performansi yang meliputi *path loss*, *signal to noise ratio* (SNR), *energy bit to noise ratio* (Eb/No) dan bit error rate (BER).

Kata Kunci: *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA), *fading* lintasan jamak, *path loss*, *signal to noise ratio* (SNR), *energy bit to noise ratio* (Eb/No), *bit error rate* (BER), *line of sight* (LOS), *non-line of sight* (NLOS).

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi komunikasi nirkabel mengalami perubahan yang sangat cepat khususnya pada teknologi komunikasi seluler. Inti dari perkembangan teknologi komunikasi seluler berdasar pada dua hal, yaitu perkembangan teknologi perangkat teknologi seluler itu sendiri atau dari segi teknologi telekomunikasi seluler. Dari sisi teknologi, telekomunikasi seluler telah mengalami evolusi mulai dari 1G (*first generation*) berkembang dengan munculnya teknologi berikutnya yaitu 2G, 3G dan 3,5G.

Pada tahun 1978 awal munculnya teknologi generasi pertama (1G), teknologi pertama yang diluncurkan adalah *Global System for Mobile* (GSM) dan *Code Division Multiple* (CDMA). Metode akses yang digunakan oleh CDMA dan GSM berbeda, yaitu 1G hanya dapat digunakan untuk melakukan panggilan dan masih menggunakan nada dering monofonik, yang tentunya belum memiliki akses ke internet. Kemudian pada tahun 1990an diluncurkan teknologi generasi kedua (2G) yang sudah menggunakan teknologi digital. Generasi ini menggunakan mekanisme *Time Division Multiple Access* (TDMA) dan *Code Division Multiple Access* (CDMA) dalam teknik komunikasinya. Karena perkembangan teknologi terus berkembang, maka dimunculkan telepon seluler dengan teknologi generasi ketiga (3G). Teknologi ini cukup diminati masyarakat, dengan salah satu keunggulan baru dari telpon seluler yang memiliki fitur *video call* yang membuat kita dapat melihat lawan bicara kita pada saat melakukan panggilan. Sampai saat ini telah dikeluarkan teknologi yang disebut 3,5G yang merupakan teknologi transmisi data pita lebar.

HSDPA adalah sebuah teknologi komunikasi bergerak yang berteknologi 3,5G (*third and half generation*) yang termasuk dalam keluarga teknologi *High-Speed Packet Acces* (HSPA) yang mampu meningkatkan kecepatan transfer data mencapai 14,4 Mbps untuk *download* data dan 2 Mbps untuk *upload* data. Fasilitas teknologi 3,5G tidak jauh berbeda dengan content 3G yang sudah ditawarkan oleh beberapa operator selular di Indonesia yaitu *video call*, *mobile video*, *mobile TV*. Frekuensi yang dipakai oleh teknologi ini sudah dapat dimaksimalisasikan secara efisien dengan pemakaian *bandwith* (lebar pita) yang tepat.

HSDPA merupakan sistem komunikasi nirkabel, yaitu menggunakan media udara untuk pentransmisi sinyal. Pada kenyataannya antara pemancar (NodeB) dan pengguna (UE) seringkali terjadi kondisi NLOS (*Non Line of Sight*), yaitu kondisi dimana terdapat penghalang sinyal seperti pohon, rumah dan gedung yang mengakibatkan sinyal mengalami pemantulan. Adanya objek yang menyebabkan pantulan dan hamburan mengakibatkan sinyal yang sampai di penerima tidak hanya melewati satu jalur (*multipath*). Sinyal-sinyal *multipath* tersebut akan mengalami pergeseran fasa dan *delay* yang akan selalu berubah. Pengaruh dari perbedaan panjang lintasan sinyal akan mengakibatkan pergeseran relatif fasa antara komponen fasa utama yang bersuperposisi dengan komponen fasa lintasan lain. *Fading* yang terjadi akibat adanya propagasi gelombang *multipath* dinamakan *multipath fading* atau *fading* lintasan jamak. Oleh karena itu, keberadaan *fading* lintasan jamak akan mempengaruhi performansi dari HSDPA.

Pada skripsi ini akan dibahas mengenai seberapa besar pengaruh *fading* lintasan jamak terhadap performansi HSDPA. Pembahasan yang dilakukan meliputi analisis terhadap beberapa parameter performansi HSDPA yang meliputi *path loss*, *signal to noise ratio* (SNR), *energy bit to noise ratio* (Eb/No) dan *bit error rate* (BER).

1.2 Rumusan Masalah

Adanya objek yang menyebabkan pantulan dan hamburan pada saluran mengakibatkan berkurangnya energi sinyal pada amplitudo dan fasa. Efek ini menjadikan sinyal yang diterima di penerima bervariasi, yang mengakibatkan fluktuasi sinyal, sehingga terjadi *fading*, yang disebut *multipath fading* atau *fading* lintasan jamak.

Solusi permasalahan *fading* lintasan jamak pada performansi HSDPA dianalisis melalui perumusan masalah berikut ini:

1. Bagaimana parameter performansi HSDPA yang meliputi *path loss*, *signal to noise ratio* (SNR), *energy bit to noise ratio* (Eb/No) dan *bit error rate* (BER) tanpa pengaruh *fading* lintasan jamak?
2. Bagaimana parameter performansi HSDPA yang meliputi *path loss*, *signal to noise ratio* (SNR), *energy bit to noise ratio* (Eb/No) dan *bit error rate* (BER) dengan pengaruh *fading* lintasan jamak?

1.3 Batasan Masalah

Lingkup aspek kajian yang digunakan untuk menyelesaikan masalah yang telah disebutkan pada rumusan masalah ditekankan pada:

1. Standar HSDPA yang digunakan adalah 3GPP *release 5*,
2. Menggunakan teknologi *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) sebagai teknik pentransmisian,
3. Hanya membahas performansi HSDPA pada sisi penerima (*User Equipment*),
4. Analisis hanya dilakukan pada sisi *downlink*,
5. Tipe modulasi yang digunakan adalah QPSK dan 16-QAM,
6. Pengukuran *drive test* hanya pada kondisi NLOS,
7. Tidak membahas mengenai tinggi gedung.

1.4 Tujuan

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh *fading* lintasan jamak terhadap performansi HSDPA ditinjau dari parameter sistem yang meliputi *path loss*, *signal to noise ratio* (SNR), *energy bit to noise ratio* (Eb/No) dan *bit error rate* (BER).

1.5 Sistematika Penulisan Skripsi

Sistematika penulisan dalam skripsi ini tersusun atas 5 bab. Ulasan tentang latar belakang penulisan skripsi, identifikasi dan rumusan masalah, ruang lingkup permasalahan, dan sistematika dari penulisan skripsi diuraikan dalam bab I.

Tinjauan teori yang membahas dasar teori HSDPA yang meliputi tentang pengertian, konsep dasar HSDPA, alokasi frekuensi HSDPA, arsitektur jaringan HSDPA dan spesifikasi teknis HSDPA. Memuat juga dasar teori OFDM, model propagasi gelombang yang meliputi model propagasi udara bebas (*free space*), mekanisme propagasi gelombang, pengertian *fading*, faktor yang mempengaruhi *fading*, jenis-jenis *fading*, masalah *fading* lintasan jamak serta parameter-parameter yang digunakan untuk menghitung performansi HSDPA diuraikan dalam bab II.

Padabab III akan membahas metode-metode dalam mengkaji pengaruh *fading* lintasan jamak terhadap performansi HSDPA yang berupa studi literatur, pengambilan data primer, pemodelan sistem, analisis data serta pengambilan kesimpulan.

Analisis perhitungan dan hasil pengukuran *Drive Test* terhadap parameter performansi HSDPA yang meliputi *path loss*, *signal to noise ratio* (SNR), *energy bit to noise ratio* (Eb/No) dan *bit error rate* (BER) diuraikan pada bab IV. Kesimpulan dan

4

saran yang diperoleh dari analisis perhitungan yang telah dilakukan serta pemberian saran-saran diuraikan dalam bab V.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)

High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) adalah sebuah teknologi komunikasi bergerak yang berteknologi 3,5G (*third and half generation*) yang termasuk dalam keluarga teknologi *High-Speed Packet Access* (HSPA) yang mampu meningkatkan kecepatan transfer data dan kapasitas data lebih besar dibanding dengan jaringan yang berbasis *Universal Mobile Telecommunications System* (UMTS) yang hanya mampu menyalurkan data dengan kecepatan hingga 2 Mbps. Teknologi ini menyediakan kemampuan mengunduh yang cepat dan merupakan sambungan dari *Asynchronous Digital Subscriber Line* (ADSL) yang digunakan pada sambungan layanan internet untuk daerah perumahan dan mencegah melambatnya koneksi pada telepon seluler.

HSDPA merupakan salah satu protokol yang memperbaiki proses *downlink* atau penurunan data dari server ke perangkat, dengan kecepatan mencapai 14,4 Mbit/s. Sedangkan proses *uplink* dalam teknologi HSDPA mencapai 384 kbit/s. Dengan kecepatan tersebut, pengguna perangkat bergerak dapat menerima data yang berukuran besar seperti lampiran pada e-mail, presentasi dalam bentuk *Power Point*, atupun dapat membuka halaman Web. HSDPA diperkenalkan pada *Third Generation Partnership Project* (3GPP) *release 5 standard*. Dengan asumsi ukuran sel sebanding, diantisipasi bahwa dengan menggunakan *multi-code transmission* akan mungkin untuk mencapai kecepatan data puncak mencapai 10 Mbit/s (tingkat teoritis maksimum 14,4 Mbit/s). Hal ini akan mengakibatkan throughput meningkat hingga enam sampai tujuh kali lipat selama proses *downlink* paket rata-rata dibandingkan dengan *Downlink Shared Channel* (DSCH) standar 3GPP release 99.

HSDPA memiliki dua fase, fase pertama berkapasitas 4,1 Mbps dan kemudian menyusul fase 2 berkapasitas 11 Mbps dan memiliki kapasitas maksimal *downlink peak data rate* yang besar hingga mencapai 14 Mbps. Teknologi ini dikembangkan dari WCDMA (*Wide Code Division Multiple Access*) samaseperti EV-DO dikembangkan dari CDMA2000. HSDPA memberikan jalur evolusi untuk jaringan *Universal Mobile Telecommunications System* (UMTS) yang memungkinkan untuk penggunaan kapasitas data yang lebih besar yaitu mencapai 14,4 Mbps untuk *download* data dan 2Mbps untuk *upload* data. Kecepatan terakhir yang dirilis oleh teknologi ini adalah HSPDA+, dengan

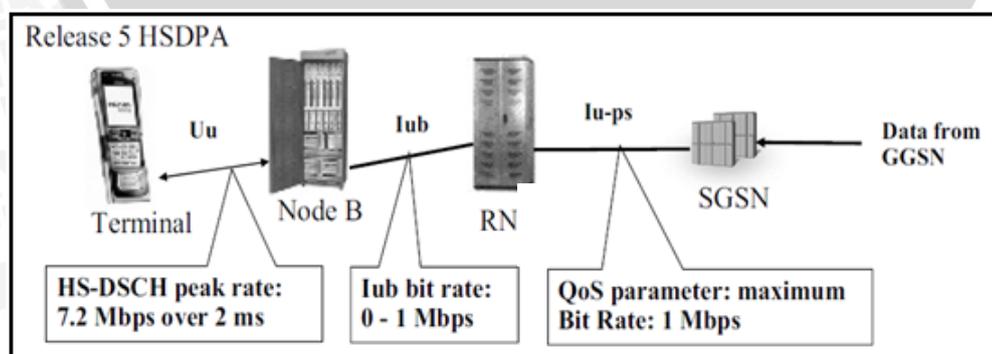
kecepatan *download* mencapai 42 Mbps dan 84 Mbps dalam Rilis ke 9 dari standar 3GPP.

Pada bagian selanjutnya akan dijelaskan teori penunjang mengenai teknologi HSDPA, teknologi *multiple access* OFDM dan model propagasi gelombang radio yang dapat menimbulkan efek *fading* serta parameter-parameter yang digunakan untuk mengetahui performansi HSDPA.

2.1.1 Arsitektur Jaringan HSDPA

HSDPA dapat diterapkan pada jaringan WCDMA *release* 1999. Penerapan HSDPA pada jaringan WCDMA *release* 1999, mengakibatkan perubahan pada UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio AccesNetwork*) yang meliputi RAC (*Radio Access Controller*), *Node B*, *Iub interface* dan UE.

Secara konseptual arsitektur jaringan HSDPA ditunjukkan oleh gambar 2.1. Implementasi HSDPA tidak mengubah elemen-elemen seluruh jaringan UMTS yang telah ada. Yang diperlukan hanya dengan meningkatkan kemampuan software, penambahan modul hardware dan penyesuaian elemen-elemen core network. Evolusi WCDMA menuju HSDPA sebagian besar adalah berupa proses upgrade software pada sisi *Node B*. Implementasi ini mengakibatkan arsitektur protocol dari WCDMA ke UMTS mengalami perubahan juga. Pada WCDMA, *Node B* merupakan entity yang langsung berhubungan dengan UE (*User Equipment*) dan hanya terdiri atas layer fisik. Sementara fungsi MAC (*MediumAccess Control*) layer hanya dilakukan pada sisi UE dan RNC. Pada HSDPA *Node B* tidak hanya terdiri atas layer fisik, perubahan pada *node B* terjadi pada MAC layer. Dimana ditambahkan MAC-hs yang merupakan entity MAC yang menangani transport channel baru yang diperkenalkan HSDPA, yakni HS-DSCH.



Gambar 2.1 Arsitektur Jaringan HSDPA

(Sumber :Hari Holma, 2006:26)

a. UE (User Equipment)

UE merupakan perangkat atau terminal pada sisi pelanggan yang berupa *handset* untuk mengirim dan menerima informasi. HSDPA memiliki 12 tipe UE. Karakteristik dari 12 tipe UE berdasarkan maksimal kode HS-DSCH yang diterima, bit per TTI, interval inter-TTI maksimal, *peak data rates*, dan metode modulasi yang didukung, ditampilkan dalam Tabel 2.1.

b. Node B

Node B digunakan untuk mentransmisikan data dari *lub-interface* dan *U-interface* atau sebaliknya, serta ikut mengontrol sumber radio. Fitur-fitur HSDPA seperti penerapan *shared channel transmission*, H-ARQ, *Fast link Adaptation* AMC, dan *Fast Scheduling* diterminasi langsung di *Node B*.

c. CN (Core Network)

Core network terdiri dari beberapa bagian yaitu:

- SGSN(*Serving GPRS Support Node*)

SGSN mempunyai fungsi seperti MSC/VLR tetapi secara khusus digunakan untuk layanan *Packet Switched* (PS).

- GGSN(*Gateway GPRS Support Node*)

GGSN berfungsi sebagai *interface* antara jaringan *backbone Packet Switching* dengan jaringan eksternal PDN (*Packet Data Network*), seperti jaringan internet. GGSN akan mengkonversikan paket data dari PDN menjadi PDP (*Packet Data Protocol*) seperti IP atau X.25, kemudian mengirimnya ke jaringan paket data yang dituju, demikian pula sebaliknya.

d. Iub Interface

Iub-interface berfungsi menghubungkan RNC (*Radio Network Controller*) dengan *Node B* menggunakan NBAP (*Node B Application Part*) *signalling*. *Signalling* dari *Node B* ke RNC dan sebaliknya menggunakan protokol NBAP yang dilewatkan melalui *Iub-interface*. Sumber daya yang dialokasikan untuk *Node B* dikirim dari *controlling RNC* melalui NBAP: *Physical Shared Channel Reconfiguration Request*. Kode kanalisasi yang dialokasikan untuk transmisi HSDPA juga memerlukan *signalling* antara RNC ke *Node B*.

Tabel 2.1 Kategori UE pada HSDPA

HS-DSCH category	HS-PDSCH CODES	Modulation Suported	Min. Inter-TTI	Max. TBS [bits]	UE IR Buffer size [SML]	Peak data rate [Mbps]
1	5	QPSK, 16-QAM	3	7298	19200	1.2
2	5	QPSK, 16-QAM	3	7298	28800	1.2
3	5	QPSK, 16-QAM	2	7298	28800	1.8
4	5	QPSK, 16-QAM	2	7298	38400	1.8
5	5	QPSK, 16-QAM	1	7298	57600	3.6
6	5	QPSK, 16-QAM	1	7298	67200	3.6
7	10	QPSK, 16-QAM	1	14411	115200	7.2
8	10	QPSK, 16-QAM	1	14411	134400	7.2
9	15	QPSK, 16-QAM	1	20251	172800	10.1
10	15	QPSK, 16-QAM	1	27952	172800	14.0
11	5	QPSK	2	3630	14400	0.9
12	5	QPSK	1	3630	14400	1.8

(Sumber: Christophe Chevallier, 2006:282)

e. RNC (*Radio Network Controller*)

RNC digunakan untuk mengontrol sumber radio dimana *Node B* terhubung dengannya. RNC adalah layanan *access point* untuk semua layanan yang disediakan oleh NSS (*Network and Switching Sub-System*). Perbedaan utama fungsi RNC pada jaringan WCDMA dengan jaringan WCDMA-HSDPA adalah penanganan retransmisi. Semua kanal transport WCDMA diterminasi pada RNC. Oleh karena itu mekanisme retransmisi data paket berada pada layanan RNC. Dengan menerapkan HSDPA, yaitu dengan memperkenalkan HS-DSCH yang langsung diterminasi pada *Node B* yang mengakibatkan retransmisi lebih cepat dan *delay* yang lebih pendek.

2.1.2 Spesifikasi Teknis HSDPA

Teknologi radio akses HSDPA harus dioptimalkan untuk trafik *packet-switched* dengan kecepatan data yang tinggi dan *latency* yang rendah. Tabel 2.2 menunjukkan spesifikasi teknis untuk teknologi HSDPA.

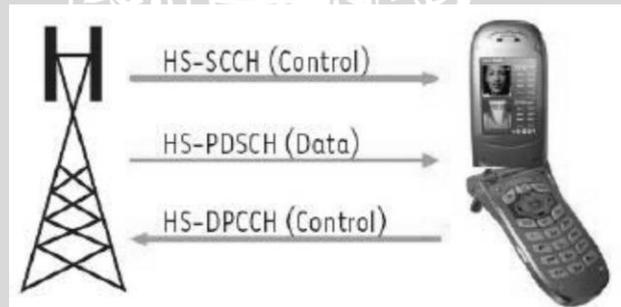
Tabel 2.2 Spesifikasi Teknis HSDPA

Parameter Spesifikasi Teknis	Jenis/Nilai
<i>Peak data rates</i>	14 Mbit/s for downlink; 4 Mbit/s for uplink
<i>Mobility</i>	0-15 km/h (optimum); 15-120 km/h (high performance guaranteed); 120-350 km/h (connection maintained)
<i>Bandwidth</i>	3.84 MHz
<i>Spectrum allocation</i>	Operation in paired spectrum (FDD) and unpaired spectrum (TDD) should be supported
<i>Multiple access</i>	OFDM (downlink); SC-FDMA (uplink)
<i>Modulation</i>	QPSK, 16-QAM

(Sumber: Hari Holma, 2006)

2.1.3 Model Kanal pada HSDPA

Untuk mengimplementasikan HSDPA, tiga kanal baru ditambahkan pada platform WCDMA. Terdiri atas *High Speed Downlink Shared Channel (HS-DSCH)*, *High Speed Shared Control Channel (HS-SCCH)*, dan *Uplink High Speed Dedicated Physical Control Channel (HS-DPCCH)*.



Gambar 2.2 Model Kanal pada HSDPA

(Sumber: Hari Holma, 2006)

1. *High Speed Downlink Shared Channel (HS-DSCH)*

HS-DSCH disediakan sebagai kanal *sharing* baru untuk membawa beberapa DCH (*Dedicated Transport Channel*) dalam satu frekuensi. Kanal transport dituntut mampu membawa data yang besar secara efisien untuk

memberikan *data rate* yang tinggi. Data dimultipleks dalam domain waktu dan dikirim dalam beberapa TTI (*Transmission Time Interval*). Setiap TTI terdiri atas 3 slot waktu yang masing-masing 2 ms. Digunakan konstan SF (*spreading factor*) 16 untuk proses *code multiplexing* sehingga tersedia 15 kanal paralel. Kanal tersebut dapat diberikan untuk satu pengguna sepanjang TTI atau dibagi dengan beberapa pengguna tergantung beban sel, kebutuhan QoS (*Quality of Services*), dan kemampuan UE (*User Equipment*).

2. *High Speed Shared Control Channel* (HS-SCCH)

HS-SCCH digunakan untuk menandai jenis informasi sebelum penjadwalan TTI seperti *channelization code set*, skema modulasi, ukuran *transport block*, dan informasi protokol HARQ. *Channelization code set* dan skema modulasi merupakan parameter kritis karena menunjukkan kode-kode paralel HS-DSCH yang diminta UE dan jenis modulasi yang dipakai pada pengiriman berikutnya (QPSK atau 16 QAM). Jika informasi tersebut tidak diterima sebelum pengiriman TTI, data akan ditahan hingga UE mengenali parameter tersebut. Oleh karena itu parameter kritis dikirim di awal.

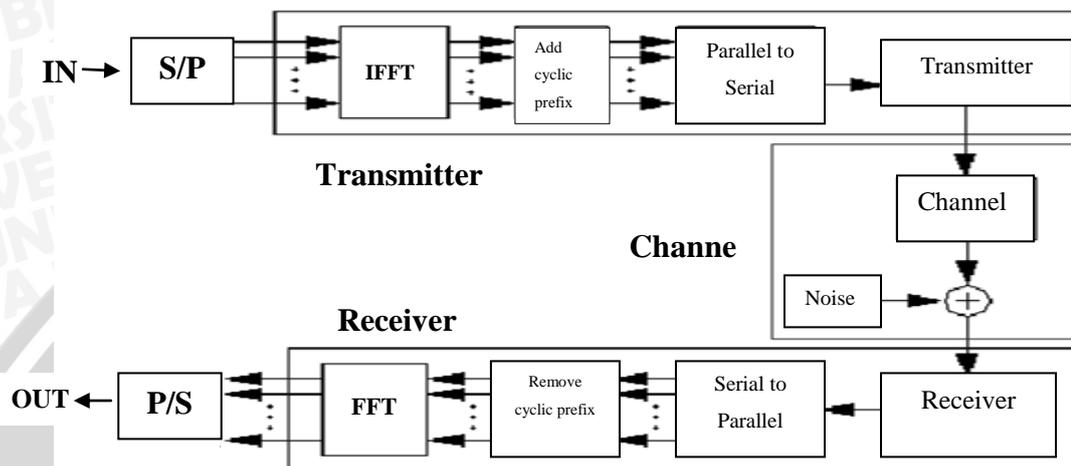
3. *High Speed Uplink Dedicated Physical Control Channel* (HS-DPCCH)

HS-DPCCH bertanggung jawab dalam proses *uplink* yaitu pengiriman ACK (*acknowledgement*) dan NACK (*negative acknowledgement*) untuk memberitahu status suatu paket data yang dikirim serta CQI (*Channel Quality Indicator*). Nilai bit digunakan untuk memilih skema modulasi dan coding yang sesuai untuk pengiriman selanjutnya, dari QPSK dengan *turbo code* $R=1/4$ hingga 16-QAM dengan *turbo code* $R=3/4$.

2.2 *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM)

OFDM merupakan teknik transmisi yang diterapkan pada sistem komunikasi digital. Data yang ditransmisikan berupa data serial biner berkecepatan tinggi yang telah di petakan dalam bentuk simbol, simbol tersebut yang mulanya serial kemudian dipecah atau dipisahkan menjadi bentuk parallel sehingga dihasilkan kecepatan data yang lebih rendah dibanding dengan data sebelumnya. Kemudian simbol tersebut dimodulasi oleh sejumlah sinyal *carrier* dalam beberapa subkanal. Dengan kata lain prinsip dasar dari OFDM menggunakan teknik transmisi multicarrier.

Prinsip utama dari OFDM adalah pembagian kecepatan tinggi aliran data ke dalam sejumlah aliran data kecepatan rendah kemudian dikirimkan secara serentak melalui suatu *subcarrier*. Sistem OFDM sederhana ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Blok diagram OFDM.

(Sumber :Ramjee Prasad, 2004)

Prinsip kerja dari OFDM dapat dijelaskan sebagai berikut. Deretan data informasi yang akan dikirim dikonversikan kedalam bentuk parallel, sehingga jika bit rate semula adalah R , maka bit rate pada tiap-tiap jalur parallel adalah R/N dimana N adalah jumlah jalur parallel (sama dengan jumlah *sub-carrier*). Setelah itu modulasi dilakukan pada tiap-tiap sub-carrier. Modulasi ini bisa berupa BPSK, QPSK, QAM atau yang lain, tapi ketiga teknik tersebut sering digunakan pada OFDM. Kemudian sinyal yang telah termodulasi tersebut diaplikasikan ke dalam IFFT untuk pembuatan simbol OFDM. Penggunaan IFFT ini memungkinkan pengalokasian frekuensi yang saling tegak lurus (orthogonal). Setelah itu simbol OFDM ditambahkan *cyclic prefix* kemudian simbol-simbol OFDM dikonversikan lagi kedalam bentuk serial, dan kemudian sinyal dikirim. Sinyal keluaran dari transmitter berupa sinyal yang saling overlapping, hal seperti ini dapat menghemat *bandwidth* kanal sampai 50%. Kondisi *overlapping* ini tidak akan menimbulkan interferensi di karenakan telah memenuhi kondisi orthogonal. Pada penerima, dilakukan operasi yang berkebalikan dengan apa yang dilakukan di stasiun pengirim. Mulai dari konversi dari serial ke parallel, pelepasan *cyclic prefix*

kemudian konversi sinyal parallel dengan FFT setelah itu demodulasi, dan terakhir konversi parallel ke serial, dan akhirnya kembali menjadi bentuk data informasi.

➤ **Proses multicarrier pada OFDM**

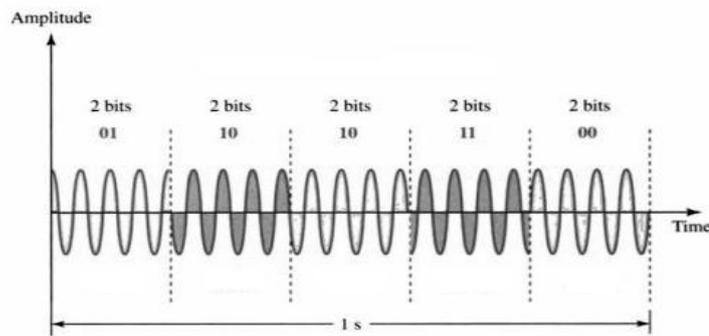
Data biner yang telah dipetakan dalam simbol QAM atau PSK dipecah dalam bentuk serial parallel dan dimodulasi oleh sinyal sub-carrier dengan frekuensi tertentu sehingga dihasilkan sinyal saling orthogonal. Kemudian semua sinyal tersebut ditambahkan sehingga dihasilkan simbol OFDM. OFDM konvensional membutuhkan lebih banyak modulator jika menggunakan lebih banyak sub-carrier. Untuk mengatasi hal seperti itu dapat menggunakan prinsip dasar dari Inverse Fast Fourier Transform (IFFT). Untuk demodulatornya dapat menggunakan Fast Fourier Transform (FFT).

➤ **Modulator dan Demodulator *Baseband***

Modulator bertugas mengkodekan informasi dari sebuah pesan menjadi simbol yang cocok untuk pengiriman. Karena pada sistem ini sumber informasinya berupa data digital, maka digunakan modulator *baseband* digital yang memodulasikan *M-bit* menjadi satu simbol yang disebut juga dengan modulasi *M-ary*. Contoh dari modulasi ini adalah *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK) dan *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM).

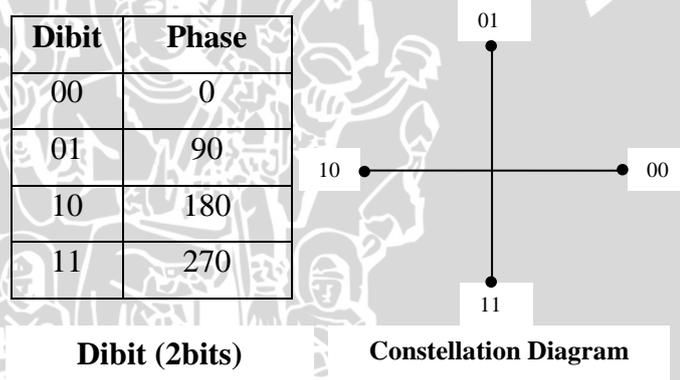
a) **QPSK**

QPSK merupakan bentuk lain dari modulasi PSK (*Phase Shift Keying*). QPSK dapat mentransmisikan data dua kali lebih cepat jika dibandingkan dengan BPSK (*Binary Phase Shift Keying*) karena terdapat 2 bit dalam tiap simbolnya. Misalnya, fasa $\pi/4$ merepresentasikan bit 11, fasa $3\pi/4$ merepresentasikan bit 01, fasa $5\pi/4$ merepresentasikan bit 00, dan fasa $7\pi/4$ merepresentasikan bit 10. Pasangan bit – bit yang merepresentasikan masing-masing fasa disebut juga dengan *dibit*. Gambar 2.4 memperlihatkan konsep dari modulasi QPSK.



Gambar 2.4 Sinyal pada *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK).
(Sumber :Behrouz A. Forouzan, 2000)

Sedangkan pada Gambar 2.5 menjelaskan hubungan antara *phase* dengan *bit* pada QPSK. Gambar 5 juga disebut dengan *constellation* atau *phase state diagram* yang menunjukkan hubungan yang sama dengan mengilustrasikan *phase*-nya. (Behrouz A. Forouzan, 2000)



Gambar 2.5 *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK) *constellation*

b) QAM

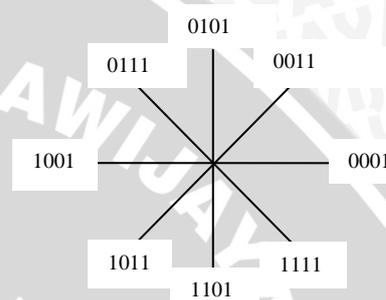
QAM merupakan teknik yang mengkombinasikan antara teknik *Amplitude Shift Keying* (ASK) dan teknik *Phase Shift Keying* (PSK). Berarti pada QAM, amplitudo dan *phase* sinyal *carrier* berubah terhadap perubahan amplitudo sinyal informasi. Sehingga, sinyal direpresentasikan dalam besaran amplitudo dan pergeseran *phase*. Dikatakan *quadrature* karena jumlah minimum *bit* pada tiap simbolnya adalah 2 *bit*. Sehingga pada QAM dikenal teknik 4-QAM, 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM, 128-QAM, dan 256-QAM tergantung banyaknya jumlah *bit* dalam satu simbol. Sesuai standar yang telah ditetapkan oleh 3GPP

HSDPA, teknik QAM yang digunakan pada teknologi HSDPA adalah 16-QAM dan 64-QAM. (K. Fazel and S. Kaiser, 2008 : 222)

Untuk 16-QAM terdapat 4 *bit* setiap simbolnya, sehingga disebut juga dengan *quadbit*. Sedangkan untuk 64-QAM terdapat 6 *bit* pada tiap simbolnya, sehingga disebut juga dengan *hexabit*.

Bit Value	Amplitude	Phase Shift
0000	1	0°
0001	2	0°
0010	1	45°
0011	2	45°
0100	1	90°
0101	2	90°
0110	1	135°
0111	2	135°
1000	1	180°
1001	2	180°
1010	1	225°
1011	2	225°
1100	1	270°
1101	2	270°
1110	1	315°
1111	2	315°

Quadbit



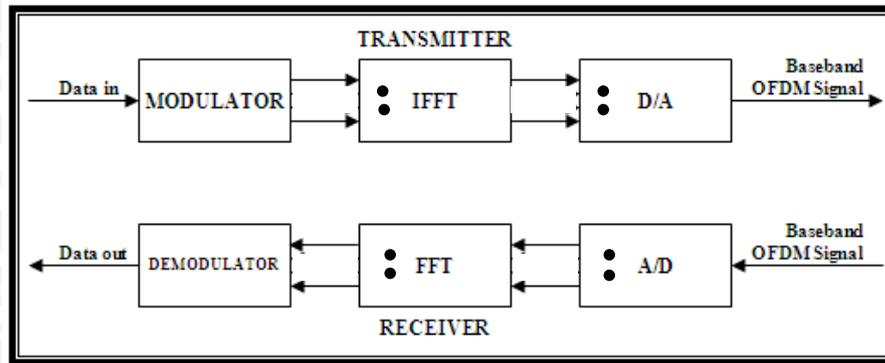
Constellation Diagram

Gambar 2.6 16-QAM constellation

Gambar 2.6 menjelaskan hubungan antara amplitudo dan *phase* dengan *bit* pada 16-QAM. Gambar 2.6 juga disebut dengan *constellation* yang menunjukkan hubungan yang sama dengan mengilustrasikan amplitudo dan *phase*-nya. (Behrouz A. Forouzan, 2000)

➤ **Fast Fourier Transform (FFT) dan Inverse Fast Fourier Transform (IFFT)**

Fast Fourier Transform (FFT) mentransformasikan peredaran sinyal dalam *domain* waktu ke dalam *domain* frekuensi. Sedangkan *Invers Fast Fourier Transform* (IFFT) melakukan proses berkebalikan dengan proses FFT, yaitu mentransformasikan sinyal dalam *domain* frekuensi menjadi sinyal dalam *domain* waktu. Gambar 2.7 menunjukkan suatu konfigurasi dari implementasi FFT dan IFFT pada sistem OFDM.



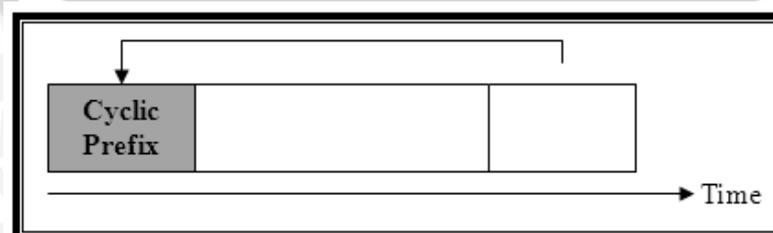
Gambar 2.7 Dasar implementasi FFT dan IFFT pada *transceiver* OFDM.

(Sumber :Eric Lawrey, 1997)

Pada pemancar, konverter *digital-to-analog* (D/A) mengkonversikan sinyal digital OFDM ke dalam format analog. Sedangkan pada sisi penerima, konverter *analog-to-digital* (A/D) mengkonversikan sinyal analog OFDM ke dalam format digital.

➤ *Cyclic Prefix*

Cyclic prefix adalah salinan dari bagian akhir simbol OFDM yang ditambahkan pada awal simbol OFDM. Masalah utama dalam sistem komunikasi *wireless* adalah adanya suatu kanal *multipath*. Dalam kanal *multipath*, suatu sinyal dapat mengalami tundaan sehingga dapat menyebabkan *Intersymbol Interference* (ISI). Untuk mengatasi hal itu, dapat menggunakan suatu *guard interval* yang telah diketahui dengan nama *cyclic prefix*. Syarat agar tidak terjadi ISI yaitu durasi dari *cyclic prefix* harus lebih panjang dari durasi dari *delay multipath*. Alasan *guard interval* terdiri dari salinan dari akhir simbol OFDM adalah agar *receiver* nantinya mengintegrasikan masing-masing *multipath* melalui angka integer dari siklus sinusoid ketika proses demodulasi OFDM dengan FFT.



Gambar 2.8 *Cyclic Prefix* pada OFDM

(Sumber :Ove Edfors, et.al, 1996)

Proses penambahan *cyclic prefix* (T_{cp}) dilakukan pada pemancar terhadap simbol OFDM. Pada penerima, *cyclic prefix* (T_{cp}) akan dipisahkan dari simbol OFDM. Akibat penambahan *cyclic prefix* ini maka total dari durasi simbol OFDM untuk masing-masing *subcarrier* adalah durasi simbol OFDM tanpa *cyclic prefix* ditambah durasi *cyclic prefix*, sehingga total durasi simbol OFDM adalah $T_s = t_s + T_{cp}$.

Jarak antar *subcarrier* setelah penambahan *cyclic prefix* sama dengan *invers* dari durasi simbol tanpa *cyclic prefix*. Secara matematis jarak antar *subcarrier* dapat dituliskan dengan (Hara, 2003) :

$$\Delta f = \frac{1}{t_s} = \frac{1}{T_s - T_{cp}} \quad (2-1)$$

Dan *bandwidth* sistem dari sejumlah *subcarrier* yang digunakan adalah :

$$\begin{aligned} B_{sistem} &= \frac{2}{T_s} + \frac{N-1}{(1-\alpha_{cp}) \cdot T_s} \\ B_{sistem} &= \frac{2(1-\alpha_{cp}) + N-1}{(1-\alpha_{cp}) \cdot T_s} \\ B_{sistem} &= \frac{2(1-\alpha_{cp}) + N-1}{(1-\alpha_{cp}) \cdot \frac{N \cdot \log_2 M}{R_{tot}}} \\ B_{sistem} &= \frac{R_{tot} [2(1-\alpha_{cp}) + N-1]}{(1-\alpha_{cp}) \cdot N \cdot \log_2 M} \end{aligned} \quad (2-2)$$

keterangan :

- B : *bandwidth* sistem (Hz)
- t_s : durasi simbol OFDM yang digunakan (s)
- T_s : total durasi simbol OFDM(s)
- T_{cp} : durasi *cyclic prefix* (s)
- R_{tot} : laju *bit* total yang tersedia (bps)
- M : jumlah kemungkinan sinyal
- N : jumlah *subcarrier*
- α_{cp} : faktor *cyclic prefix*

$$\text{dengan } \alpha_{cp} = \frac{T_{cp}}{T_s} \quad (2-3)$$

2.3 Kanal Propagasi

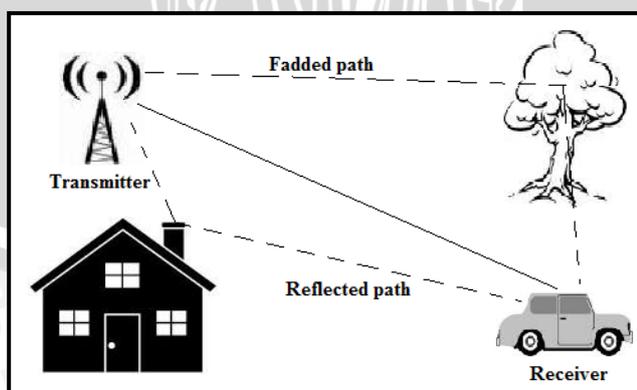
Kanal propagasi merupakan suatu media transmisi yang digunakan untuk mentransmisikan informasi dari pemancar ke penerima. Dalam sistem nirkabel, yang tentunya menggunakan medium *wireless*, terdapat dua macam gangguan yang dinilai memiliki efek signifikan terhadap system, yaitu *noise* atau derau dan *fading*.

➤ *Noise* atau derau

Noise merupakan gelombang elektromagnetik yang terdapat di alam, dapat bersumber dari matahari, bumi, atmosfer, galaksi, busi kendaraan bermotor, dan lain-lain. Dalam sistem nirkabel, sinyal asli dapat bercampur dengan sinyal *noise*. Sehingga *magnitude* sinyal total per satuan waktu merupakan penjumlahan kedua sinyal ini.

➤ *Fading*

Fading merupakan fluktuasi amplitudo sinyal secara cepat dalam periode waktu tertentu yang disebabkan oleh diterimanya dua atau lebih sinyal oleh penerima akibat banyaknya lintasan sinyal. Pada proses transmisi, sinyal yang sampai di penerima tidak hanya melewati satu jalur tetapi datang dari berbagai jalur (*multipath*). Sinyal-sinyal *multipath* tersebut akan mengalami pergeseran fasa dan *delay* yang selalu berubah. Pengaruh dari perbedaan panjang lintasan sinyal akan mengakibatkan pergeseran relatif fasa antara komponen fasa utama yang bersuperposisi dengan komponen fasa lintasan lain. Hal ini akan mengakibatkan penguatan atau pelemahan sinyal yang diterima. Akibat dari perlakuan demikian maka level sinyal terima di penerima akan mengalami fluktuasi. *Fading* yang terjadi akibat adanya *multipath* dinamakan *multipath fading*. Proses terjadinya *multipath fading* dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Proses terjadinya *multipath fading*

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

Kanal AWGN adalah kanal ideal yang hanya memiliki *noise* AWGN. Kanal ideal berarti kanal ini tidak menyebabkan distorsi (perubahan bentuk sinyal) pada sinyal yang dikirim. Artinya kanal ideal memiliki *bandwidth* tidak terbatas dan respon frekuensinya tetap untuk segala frekuensi.

Noise AWGN merupakan *noise* yang pasti terjadi dalam jaringan nirkabel manapun, memiliki sifat-sifat *additive*, *white*, dan *gaussian*. Sifat *additive* artinya *noise* ini dijumlahkan dengan sinyal, sifat *white* artinya *noise* tidak bergantung pada frekuensi operasi sistem dan memiliki rapat daya yang konstan, serta sifat *gaussian* artinya besarnya tegangan *noise* memiliki rapat peluang terdistribusi *Gaussian*.

Besarnya daya AWGN dapat dinyatakan dalam persamaan berikut (John G. Proakis, 2000):

$$N_o = k \cdot T \cdot B \quad (2-4)$$

keterangan :

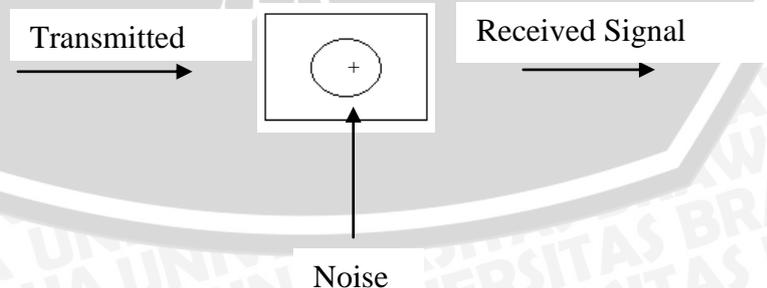
N_o : daya *noise* saluran transmisi (dBm)

k : konstanta Boltzman (1.38×10^{-23} J/K)

T : temperatur operasi sistem ($^{\circ}$ K)

B : *bandwidth* (Hz)

Dari persamaan (2-4) dapat dipahami bahwa keberadaan *noise* AWGN dalam jaringan telekomunikasi manapun akan selalu ada, selama terdapat *bandwidth* dan temperatur perangkat telekomunikasi yang bekerja pada suhu di atas -273° K.

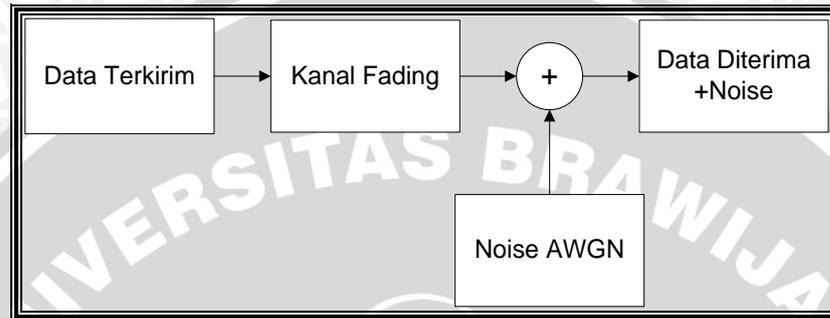


Gambar 2.10 *Additive White Gaussian Noise* (AWGN)

(Sumber :John G. Proakis, 2000)

B. Kanal *Fading*

Pengertian dari kanal *fading* yaitu kanal tidak ideal yang terdapat pada sistem komunikasi nirkabel, 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 pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Kanal *fading*

Dalam skripsi ini, kanal *fading* diwakili oleh kanal yang terdistribusi *rayleigh*. Distribusi *rayleigh* yang juga diturunkan dari distribusi *gaussian*, digunakan untuk mewakili komunikasi yang sifatnya *non-line of sight* (NLOS). Distribusi tersebut diturunkan sebagai berikut (John G. Proakis, 2000):

$$f_R(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) & , r \geq 0 \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases} \quad (2-5)$$

keterangan :

σ^2 : variasi dari sinyal
 r : *magnitude* dari sinyal

2.4 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 penerima pada jarak tertentu dari pemancar.

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 (2-6) (John G. Proakis, 2000):

$$\Delta d = \frac{(2n-1)}{2} \lambda \quad (2-6)$$

Keterangan :

- d : jarak tempuh gelombang (m)
 n : jumlah pantulan (1,2,3,... dan seterusnya)
 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 (2-7) (John G. Proakis, 2000):

$$\Delta d = n\lambda \quad (2-7)$$

Keterangan :

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

2.4.1 Mekanisme Propagasi Gelombang

Dalam propagasi gelombang elektromagnetik pada sistem komunikasi nirkabel terdapat empat buah mekanisme, yaitu (T.S. Rappaport, 1996) :

a. Propagasi *Free Space*

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

b. *Reflection* (pantulan)

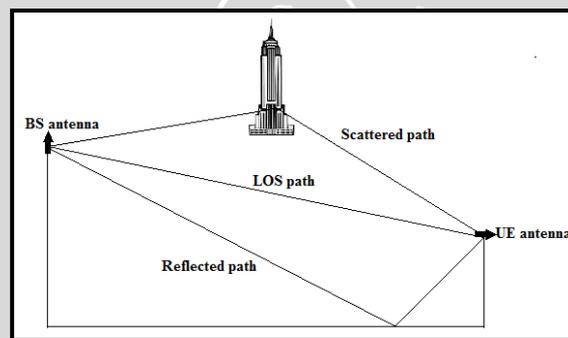
Pantulan terjadi ketika perambatan gelombang elektromagnetik mengenai objek yang ukurannya jauh lebih besar dari panjang gelombang yang dipancarkan. Pantulan dapat terjadi pada permukaan tanah, gedung dan dinding bangunan.

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 2.12 Jalur Propagasi Gelombang Elektromagnetik

2.4.2 Propagasi *Outdoor* dan *Indoor*

Pada saat pentransmisian, gelombang radio merambat melalui media udara dan mengalami berbagai proses pemantulan, difraksi, refraksi dan *scattering*. Hal ini disebabkan karena gelombang radio melewati daerah yang memiliki kontur permukaan tidak rata. Kontur daerah yang akan dilewati gelombang radio akan sangat mempengaruhi perhitungan rugi-rugi propagasi. Area untuk propagasi gelombang radio dibagi menjadi dua jenis, yaitu propagasi *outdoor* dan propagasi *indoor*.

➤ **Propagasi *Outdoor***

Cakupan area untuk propagasi *outdoor* sangat luas dan memiliki tingkat interferensi yang sangat tinggi. Hal ini disebabkan karena propagasi gelombang pada ruang terbuka akan melewati penghalang yang lebih banyak, seperti gedung, rumah, pepohonan, gunung, bukit dan sebagainya, serta terpengaruh oleh cuaca. Klasifikasi

lingkungan suatu lintasan gelombang radio berdasarkan halangan dan tingkat kepadatan halangan dibagi menjadi tiga jenis, yaitu (G. Wibisono dan U. Kurniawan, 2007) :

a. Daerah *urban*

Ciri-ciri daerah *urban* diantaranya yaitu :

- Gedung-gedung yang terdapat di daerah tersebut berkerangka logam dan memiliki beton yang tebal, sehingga membatasi propagasi radio melalui gedung.
- Memiliki gedung-gedung tinggi, sehingga kemungkinan terjadinya difraksi pada propagasi sinyal sangat kecil.
- Sinyal radio dalam perambatannya mengalami pantulan dengan redaman tertentu.
- Memiliki sangat sedikit pepohonan, sehingga redaman akibat pepohonan (*foliage loss*) dapat diabaikan.
- Banyak terdapat kendaraan yang bergerak, sehingga menyebabkan perubahan karakteristik kanal secara kontinyu.

b. Daerah *sub – urban*

Ciri-ciri daerah *sub – urban* antara lain yaitu :

- Memiliki tingkat halangan yang lebih rendah dibandingkan dengan daerah *urban*, sehingga propagasi sinyal radio relatif lebih baik dan rata-rata kuat sinyal tinggi.
- Kecepatan pergerakan kendaraan lebih tinggi dibanding daerah *urban*.
- Memiliki gedung-gedung yang relatif rendah, sehingga sinyal radio mengalami difraksi oleh puncak gedung.

c. Daerah *rural*

Ciri-ciri daerah *rural* antara lain yaitu :

- Jarang terdapat halangan, sehingga kuat sinyal yang diterima akan lebih besar dibanding daerah *urban* atau *sub – urban*.
- Memiliki ruas jalan yang lebar.
- Kecepatan pergerakan kendaraan sangat tinggi.

➤ **Propagasi Indoor**

Propagasi dalam ruangan (*indoor*) memiliki mekanisme yang sama seperti pada propagasi *outdoor*, yaitu pantulan, difraksi, dan hamburan, tetapi kondisinya bervariasi.

Yang membedakan model propagasi *indoor* dengan model propagasi komunikasi bergerak biasa yaitu cakupan daerahnya dan variasi lingkungan yang lebih besar seiring dengan makin kecilnya jarak antara pemancar dan penerima. Propagasi *indoor* sangat dipengaruhi oleh hal-hal spesifik pada bangunan, seperti konstruksi material dan tipe bangunan.

2.4.3 Fading

Fading dapat didefinisikan sebagai perubahan fasa, polarisasi dan atau level dari suatu sinyal terhadap waktu. *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* berdasarkan efek *Doppler*.
- *Time dispersion (echo)* yang disebabkan oleh waktu tunda (*delay*) propagasi dari gelombang *multipath*.

Faktor-faktor yang mempengaruhi *fading* antara lain yaitu (G. Wibisono dan U. Kurniawan, 2007) :

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 penerima 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 penerima

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

c. Kecepatan bergerak objek lain

Jika objek di sekitar penerima bergerak lebih cepat dari pergerakan penerima itu 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.

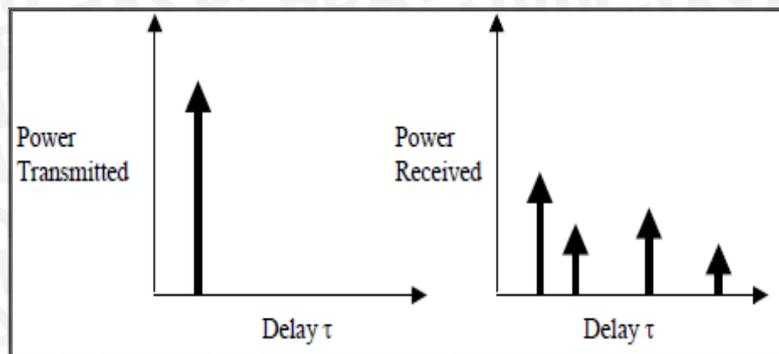
2.5 Multipath Fading

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* atau *fading* lintasan jamak 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. Berikut ini 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 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 penerima 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).

2.5.1 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, sehingga impuls tunggal yang dikirim dari pemancar ke penerima akan menghasilkan *multiple copy* pada waktu yang berbeda, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.13, yang merupakan *multipath power delay profile* secara umum.



Gambar 2.13 *Multipath Power Delay Profile*
(Sumber :A. Mehmood dan W.A. Cheema, 2009)

Karena pengaruh yang ditimbulkan tersebut, maka parameter yang dapat diamati dari *multipath fading* adalah *delay spread*, *coherence bandwidth*, *doppler spread* dan *coherence time*. (T.S. Rappaport, 1996)

➤ *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 yaitu *mean excess delay* (rata-rata kelebihan waktu tunda), *maximum excess delay* (kelebihan waktu tunda maksimum) dan *RMS (root mean square) delay spread*. (T.S. Rappaport, 1996)

a. *Mean Excess Delay*

Mean excess delay merupakan momen pertama dari *power delay profile*, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-8). (T.S. Rappaport, 1996)

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k}{\sum_k P(\tau_k)} \quad (2-8)$$

Keterangan :

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

$P(\tau_k)$: daya normalisasi pada waktu τ_k (dB)

τ_k : waktu *delay* ke-k (μs)

b. *Maximum Excess Delay*

Maximum excess delay adalah rentang *delay* antara munculnya impuls pertama sampai impuls terakhir pada *power delay profile*. Perhitungan *maximum excess delay* ditunjukkan dalam persamaan (2-9). (T.S. Rappaport, 1996)

$$\tau_d = |\tau_i(t) - \tau_j(t)| \quad (2-9)$$

Keterangan ;

τ_d : *maximum excess delay* (μs)

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

$$B_s = \frac{1}{2\Delta\tau} \quad (2-10)$$

dengan,

$$\Delta\tau = \frac{\tau_d}{N_{\text{path}}} \quad (2-11)$$

keterangan :

B_s : *bandwidth* sinyal (MHz)

$\Delta\tau$: selang waktu tiap *path* (μs)

τ_d : *maximum excess delay* (μs)

N_{path} : jumlah lintasan/*path*

c. RMS (*Root Mean Square*) *Delay Spread*

RMS *delay spread* adalah nilai standar deviasi dari *delay* pantulan, yang nilainya berbanding lurus dengan energi gelombang pantulan. 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 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 (2-12). (T.S. Rappaport, 1996)

$$\sigma_{\tau} = \sqrt{\overline{\tau^2} - (\overline{\tau})^2} \quad (2-12)$$

dengan

$$\overline{\tau^2} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k^2}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k^2}{\sum_k P(\tau_k)} \quad (2-13)$$

keterangan :

σ_{τ} : RMS *delay spread* (μs)

$\overline{\tau}$: *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 penerima apabila kanal memiliki *gain* konstan dan respon fasa linier dengan *bandwidth* kanal lebih besar dari *bandwidth* sinyal transmisi dan periode simbol lebih besar daripada maksimum *delay spread*. Apabila dituliskan dalam persamaan matematis (2-14) dan (2-15), maka *flat fading* akan terjadi bila (T.S. Rappaport, 1996) :

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

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

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 penerima apabila kanal memiliki *gain* konstan dan respon fasa linier dengan *bandwidth* sinyal transmisi lebih besar dari *bandwidth* kanal. Apabila dituliskan dalam persamaan

matematis (2-16) dan (2-17), maka *frequency selective fading* akan terjadi jika (T.S. Rappaport, 1996) :

$$B_s \gg B_c \quad (2-16)$$

$$\text{dan } T_s \ll \sigma_\tau \quad (2-17)$$

keterangan :

B_s : *bandwidth* sinyal (MHz)

B_c : *bandwidth* koheren (MHz)

σ_τ : RMS *delay spread* (μs)

d. *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 (2-18). (T.S. Rappaport, 1996)

$$B_c = \frac{1}{\sigma_\tau} \quad (2-18)$$

keterangan :

B_c : *bandwidth coherence* (MHz)

σ_τ : RMS *delay spread* (μs)

e. *Doppler Spread dan Coherence Time*

Doppler spread dan *coherence time* merupakan parameter yang menjelaskan informasi tentang keadaan kanal yang berubah terhadap waktu baik yang disebabkan oleh pergerakan penerima maupun pergerakan benda-benda yang berada di sekitar kanal tersebut.

Ketika penerima atau pemancar dalam kondisi bergerak, maka frekuensi yang diterima oleh penerima tidak akan sama dengan yang dikirimkan oleh pemancar. Peristiwa ini terjadi akibat pemancar dan penerima saling mendekat maka frekuensi yang diterima semakin besar disbanding dengan frekuensi dari pemancar. Kondisi sebaliknya, apabila keduanya bergerak saling berjauhan, maka frekuensi yang diterima oleh penerima akan semakin kecil. Peristiwa ini dikenal dengan efek Doppler. Untuk menghitung frekuensi doppler digunakan persamaan berikut :

$$f_d = v \frac{f_c}{\lambda} \quad (2-19)$$

keterangan :

- v : kecepatan (km/jam)
 f_c : frekuensi *carrierr* (Hz)
 λ : panjang gelombang (m)

Coherence time merupakan representasi waktu dari pergeseran Doppler dan digunakan untuk menjelaskan karakteristik kanal yang berubah pada domain waktu. *Coherence time* dan Doppler *spread* memiliki nilai yang saling berkebalikan satu sama lain.

$$T_c \approx \frac{1}{f_m} \quad (2-20)$$

keterangan :

- T_c : *coherence time* (s)
 f_m : frekuensi Doppler (Hz)

Jika *coherence time* lebih besar daripada periode sinyal, maka akan terjadi *fading* lambat (*slow fading*). Sebaliknya, jika *coherence time* lebih kecil daripada periode sinyal, maka akan terjadi *fading* cepat (*fast fading*).

2.6 Parameter Performansi HSDPA

Untuk mengetahui performansi dari sistem HSDPA, mulai dari saat pengiriman di pemancar sampai dengan di penerima, dibutuhkan beberapa parameter yang akan digunakan dalam analisis. Beberapa parameter performansi yang akan dibahas dalam skripsi ini antara lain yaitu :

2.6.1 Radaman Propagasi (*pathloss*)

Path loss 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 pemancar (NodeB) dan penerima (UE) tidak terdapat halangan sama sekali. Gambar 2.14 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

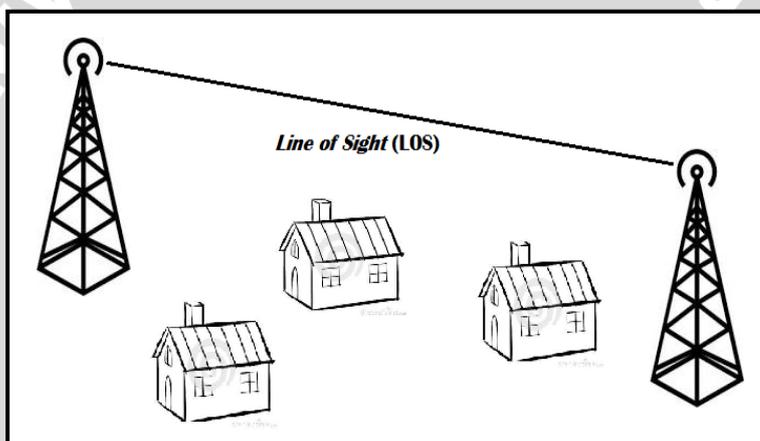
jarak. Besarnya rugi-rugi propagasi ruang bebas dijelaskan dalam persamaan berikut (Rec. ITU-R M.1225, 1997) :

$$PL = -10 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (2-21)$$

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

keterangan :

- PL : *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 2.14 Kondisi *Line of Sight* (LOS)

Setelah diperoleh nilai *path loss*, maka dapat dihitung nilai daya yang diterima pada UE. Pada sistem komunikasi yang menggunakan *air interface* OFDM, daya yang diterima juga dipengaruhi oleh jumlah *subcarrier* yang digunakan. Sehingga daya yang diterima pada sistem *multicarrier* dinyatakan dalam persamaan berikut:

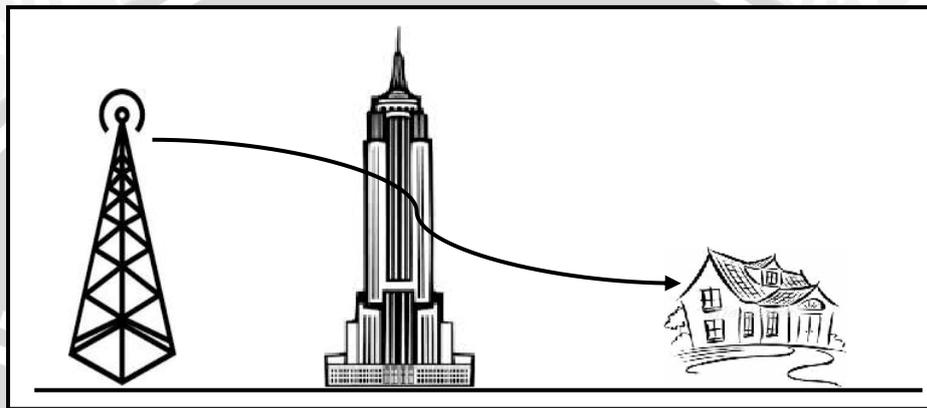
$$P_r = P_t + G_t + G_r - PL - 10 \cdot \log_{10}(N) \quad (2-22)$$

keterangan :

- P_r : daya terima (dBm)
 P_t : daya pancar (dBm)
 G_t : *gain* antena pemancar (dBi)
 G_r : *gain* antena penerima (dBi)
 PL : rugi-rugi propagasi (dB)
 N : jumlah *subcarrier*

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

Kondisi NLOS adalah kondisi dimana antara pemancar (NodeB) dan pengguna (UE) terdapat penghalang sinyal seperti rumah, pohon dan gedung. Kondisi ini menyebabkan sinyal yang dikirim oleh pemancar mengalami pantulan, difraksi atau *scattering*, sehingga sinyal tersebut memiliki lebih dari satu jalur dari pemancar ke penerima. Propagasi gelombang NLOS sering disebut sebagai propagasi *multipath*. Kondisi NLOS diilustrasikan pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Kondisi *Non-Line of Sight* (NLOS)

Besarnya rugi-rugi propagasi untuk kondisi NLOS dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Rec. ITU-R M.1225, 1997) :

$$PL = 40(1 - 4 \times 10^{-3} \Delta h_b) \log_{10} R - 18 \log_{10} \Delta h_b + 21 \log_{10} f + 80$$

keterangan :

PL : *Path Loss* (dB)

R : jarak NodeB dan UE (km)

Δh_b : tinggi antena NodeB (m)

f : frekuensi kerja sistem (MHz)

(2-24)

Setelah diperoleh nilai *path loss* (PL) untuk kondisi NLOS, maka dapat dihitung besarnya daya terima pada penerima dengan menggunakan persamaan berikut berikut (Wang, 2004):

$$P_r = P_t + G_t + G_r - PL - 10 \cdot \log_{10}(N) \quad (2-25)$$

keterangan :

P_r : daya terima (dBm)

- P_t : daya pancar (dBm)
 G_t : gain antenna pemancar (dBi)
 G_r : gain antenna penerima (dBi)
 PL : rugi-rugi propagasi (dB)
 N : jumlah *subcarrier* (1024)

2.6.2 Signal to Noise Ratio (SNR)

Besarnya pengaruh redaman sinyal terhadap sinyal yang ditransmisikan dapat dinyatakan dengan perbandingan antara sinyal dengan *noise* (SNR) yang dinyatakan dalam persamaan berikut (E. Glatz, 1999):

$$SNR_{(dB)} = P_r(dBm) - N_o(dBm) \quad (2-26)$$

keterangan :

- SNR : signal to noise ratio (dB)
 P_r : daya yang diterima (dBm)
 N_o : daya *noise* saluran transmisi (dBm)

Sedangkan untuk perhitungan daya *noise* dinyatakan dalam persamaan berikut (E. Glatz, 1999):

$$N_{o(dBm)} = 10 \log k \cdot T + 10 \log B_{sistem} + NF \quad (2-27)$$

keterangan :

- N_o : daya *noise* saluran transmisi (dBm)
 k : konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)
 T : suhu *absolute* (300° K)
 NF : *noise figure* (7 dB)
 B : *bandwidth* sistem (Hz)

Besarnya nilai SNR sistem yang menggunakan *air interface* OFDM diperoleh dari persamaan berikut (Hara, 2003) :

$$SNR_{sistem} = (1 - \alpha_{CP}) SNR \quad (2-28)$$

keterangan :

- SNR_{sistem} : signal to noise ratio sistem (dB)
 SNR : signal to noise ratio (dB)
 α_{cp} : faktor *cylic prefix* (0,066)

2.6.3 Energy Bit to Noise Ratio (E_b/N_o)

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 berikut (William Stallings, 2007) :

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{S}{N} - 10 \log \frac{B}{R} \quad (2-29)$$

Keterangan :

$\frac{E_b}{N_o}$: rasio energi *bit* terhadap *noise* (dB)

S/N : *signal to noise ratio* sistem (dB)

B : *bandwidth* (Hz)

R : laju data (bps)

2.6.4 Bit Error Rate (BER)

BER atau probabilitas *error bit* merupakan nilai ukur kualitas sinyal yang diterima untuk sistem transmisi data digital. BER juga dapat didefinisikan sebagai perbandingan jumlah *bit* yang salah terhadap total *bit* yang diterima. Pada sistem HSDPA, terdapat dua macam teknik modulasi yang digunakan di antaranya QPSK dan 16-QAM. Besarnya nilai BER (P_b) untuk masing-masing teknik modulasi dijelaskan dalam persamaan berikut (A.Goldsmith, 2005) :

- QPSK

$$\begin{aligned} P_{b,QPSK} &= Q\left(\sqrt{2\frac{E_b}{N_o}}\right) \\ &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{E_b}{N_o}} \end{aligned} \quad (2-30)$$

Keterangan :

P_b : BER pada saat transmisi (tanpa satuan)

$\frac{E_b}{N_o}$: rasio energi *bit* terhadap *noise* pada saat transmisi dengan modulasi QPSK

- M-ary QAM

$$\begin{aligned}
 P_{b \cdot M\text{-QAM}} &= \frac{4(\sqrt{M}-1)}{\sqrt{M} \log_2 M} Q\left(\sqrt{\frac{3 \log_2 M E_b}{(M-1) N_o}}\right) \\
 &= \frac{2(\sqrt{M}-1)}{\sqrt{M} \log_2 M} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{3 \log_2 M E_b}{4(M-1) N_o}}\right)
 \end{aligned}
 \quad (2-31)$$

Keterangan :

$P_{b \cdot M\text{-ary QAM}}$: BER pada saat transmisi (tanpa satuan)

M : jumlah kemungkinan sinyal, M = 16 untuk 16-QAM

$\frac{E_b}{N_o}$: rasio energi *bit* terhadap *noise* pada saat transmisi dengan modulasi

M-ary QAM

dimana,

$$\operatorname{erfc}(x) \approx \frac{1}{\sqrt{\pi x}} \cdot e^{-x^2} \quad (2-32)$$

Keterangan :

erfc : *error function complementary*



BAB III

METODE PENELITIAN

Kajian yang digunakan dalam skripsi ini adalah kajian yang bersifat analisis, yaitu analisis pengaruh *fading* lintasan jamak terhadap performansi *High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)* yang mengacu pada studi literatur. Tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan skripsi ini, yaitu untuk mengetahui pengaruh *fading* lintasan jamak terhadap performansi HSDPA. Parameter performansi yang dikaji meliputi *path loss*, SNR, Eb/No dan BER. Metodologi yang digunakan pada skripsi ini meliputi :

1. Studi Literatur
2. Pengambilan Data
3. Pemodelan Sistem
4. Pengolahan Data
5. Pembahasan dan Hasil
6. Pengambilan Kesimpulan dan Saran

3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari dan memahami konsep yang terkait dengan pengaruh *fading* lintasan jamak terhadap performansi HSDPA. Studi literatur yang dilakukan adalah mengenai karakteristik, parameter, serta teori pengantar lain yang menunjang dalam penulisan skripsi ini.

3.2 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan untuk memperoleh data-data yang diperlukan dalam menyelesaikan skripsi ini. Data-data yang diperlukan pada skripsi ini berupa data sekunder yang bersumber dari buku referensi, jurnal, skripsi, internet, dan forum-forum resmi mengenai HSDPA. Adapun data sekunder yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini antara lain sebagai berikut :

1. Spesifikasi HSDPA berdasarkan rekomendasi yang dikeluarkan secara internasional melalui 3GPP dengan spesifikasi *Release5*, meliputi parameter-parameter sebagai berikut :

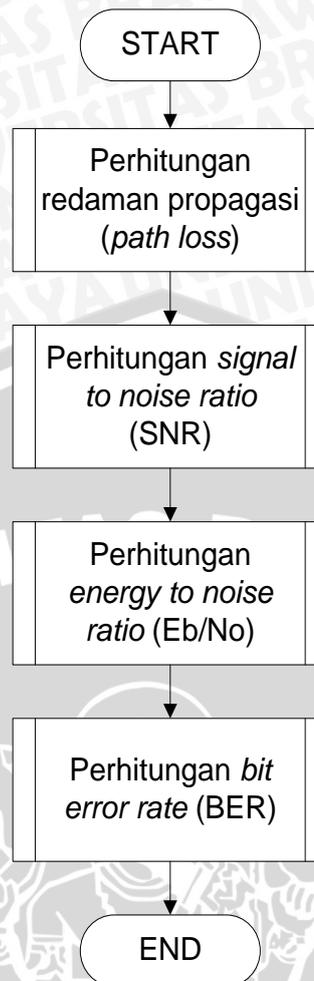
- a) Total laju data pada HSDPA disesuaikan dengan jenis modulasi dan *bandwidth* yang digunakan yaitu 8,4Mbps untuk modulasi QPSK, 16,8Mbps untuk 16-QAM
- b) *Bandwidth* kanal adalah 5 MHz,
- c) Teknik modulasi yang digunakan pada HSDPA adalah QPSK dan 16-QAM
- d) Frekuensi kerja adalah 1900 MHz,
- e) Spasi antar *subcarrier* adalah 15 kHz,
- f) Durasi *cyclic prefix* yang digunakan adalah 6.6%,
- g) BER pada HSDPA kurang dari 10^{-3} ,
- h) Nilai parameter yang akan dianalisis meliputi *path loss*, SNR, Eb/No dan BER,
- i) Kanal *noise* yang digunakan untuk menganalisis sistem HSDPA, yaitu kanal *Additive White Gaussian Noise* (AWGN) dan kanal *fading*.

3.3 Pengolahan Data

Metode pengolahan data yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini meliputi perhitungan performansi HSDPA yang tidak dipengaruhi dan dipengaruhi oleh *fading* lintasan jamak, yang meliputi *path loss*, SNR, Eb/No dan BER. Pengolahan data dilakukan dengan mengumpulkan beberapa nilai parameter dari data sekunder sesuai dengan standar kemudian digunakan untuk analisis berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan sebelumnya. Pengolahan data dalam skripsi ini menggunakan *software* matlab R2010a. Perhitungan performansi HSDPA yang dilakukan dalam skripsi ini meliputi:

3.3.1 Perhitungan Parameter Performansi HSDPA Tanpa Pengaruh *Fading* Lintasan Jamak

Performansi HSDPA yang tidak dipengaruhi oleh *fading* lintasan jamak dapat diketahui dengan cara menghitung dan menganalisis beberapa parameter yang diperlukan. Gambar 3.1 merupakan diagram alir perhitungan parameter performansi pada teknologi HSDPA yang tidak dipengaruhi *fading* lintasan jamak.

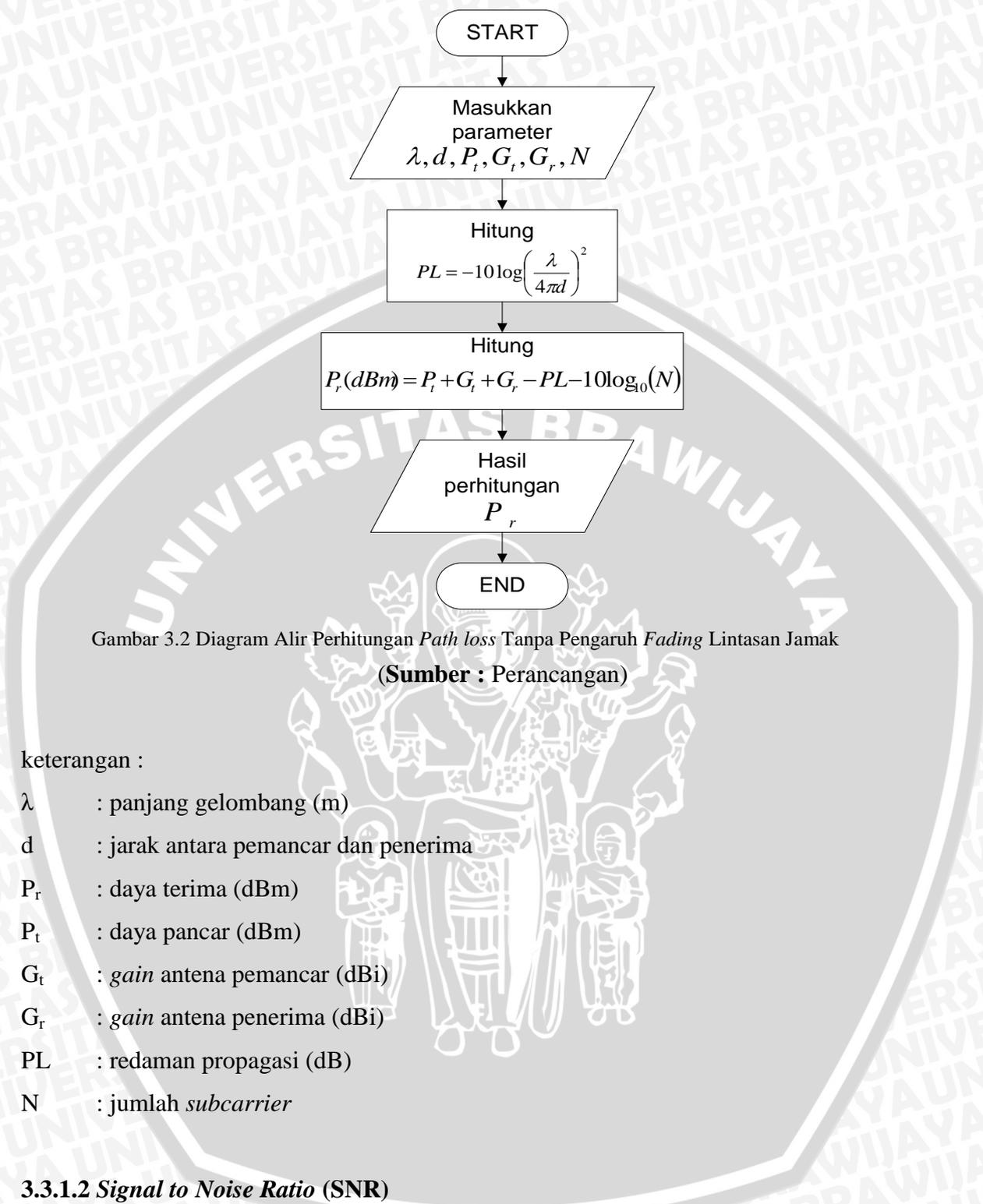


Gambar 3.1 Diagram Alir Perhitungan Performansi HSDPA Tanpa Pengaruh *Fading* lintasan jamak
(Sumber : Perancangan)

3.3.1.1 Redaman Propagasi (*Path Loss*)

Rugi-rugi propagasi sistem tanpa pengaruh *fading* lintasan jamak dapat diketahui berdasarkan kondisi *line of sight* (LOS). Kondisi LOS digunakan untuk menentukan kondisi dimana tidak ada penghalang antara pemancar dan penerima. Proses perhitungan *path loss* pada kondisi LOS (*free space loss*) ditunjukkan pada Gambar 3.2. Hasil perhitungan ini kemudian digunakan untuk menghitung daya terima pada penerima. Langkah-langkah perhitungan redaman propagasi tanpa pengaruh *fading* lintasan jamak pada sistem HSDPA adalah sebagai berikut :

- Menentukan nilai panjang gelombang (λ), jarak antara UE dan NodeB (d), daya pancar *transmitter* (P_t), gain *transmitter* (G_t), gain *receiver* (G_r) dan jumlah *subcarrier* (N).
- Menghitung nilai redaman propagasi (PL).
- Menghitung nilai daya terima (P_r).



Gambar 3.2 Diagram Alir Perhitungan *Path loss* Tanpa Pengaruh *Fading* Lintasan Jamak
(Sumber : Perancangan)

keterangan :

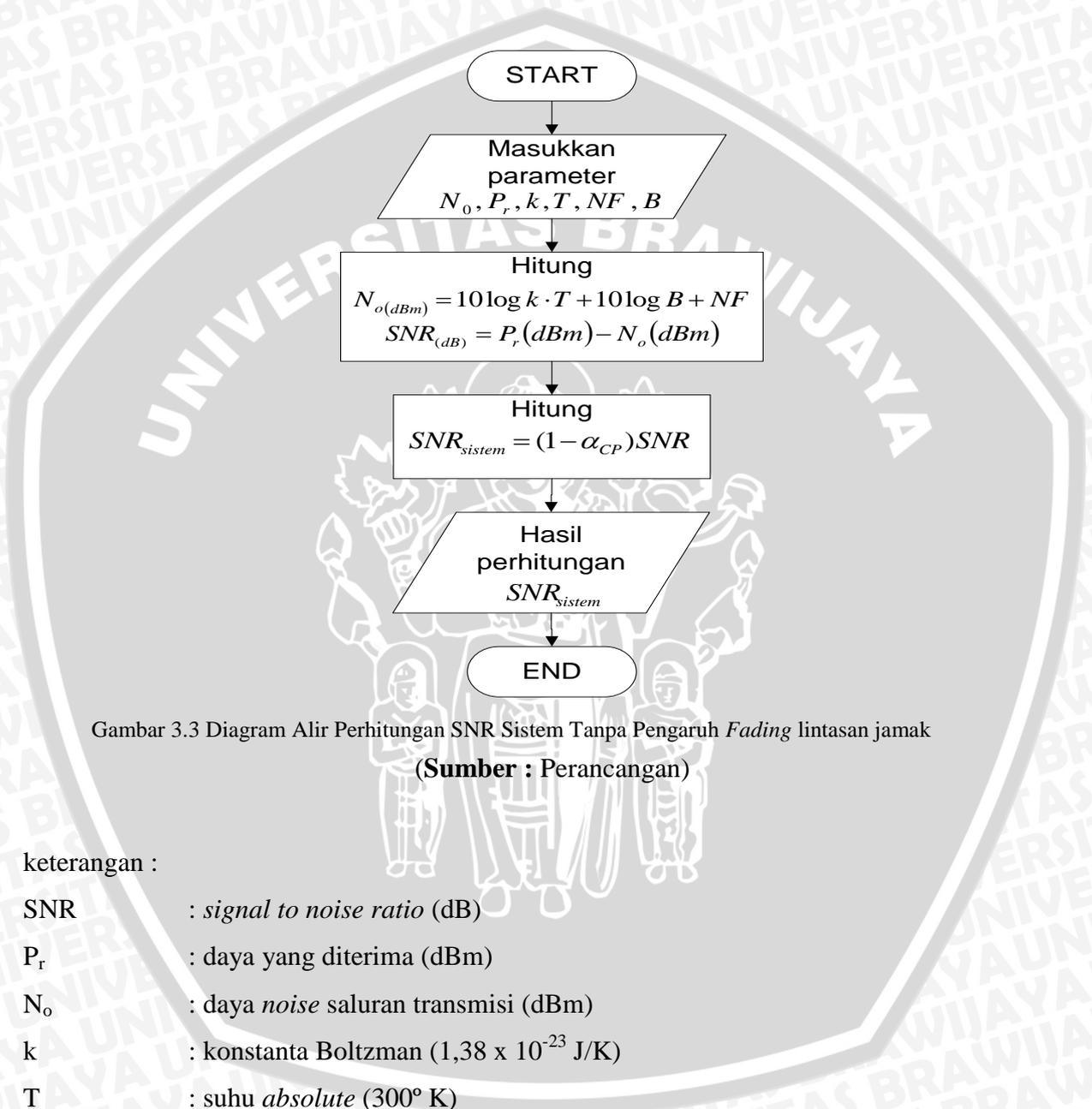
- λ : panjang gelombang (m)
- d : jarak antara pemancar dan penerima
- P_r : daya terima (dBm)
- P_t : daya pancar (dBm)
- G_t : *gain* antena pemancar (dBi)
- G_r : *gain* antena penerima (dBi)
- PL : redaman propagasi (dB)
- N : jumlah *subcarrier*

3.3.1.2 Signal to Noise Ratio (SNR)

Proses perhitungan SNR sistem tanpa pengaruh *fading* lintasan jamak ditunjukkan pada Gambar 3.3. Hasil perhitungan SNR ini kemudian digunakan untuk mengetahui kualitas sinyal yang melewati kanal nirkabel pada kondisi LOS, yang menunjukkan hubungan antara daya terima dengan SNR terhadap jarak jangkauan sistem HSDPA.

Langkah-langkah perhitungan SNR sistem tanpa pengaruh *fading* lintasan jamak pada sistem HSDPA adalah sebagai berikut :

- Menentukan nilai daya *noise* saluran transmisi (N_o), daya terima (P_r), konstanta Boltzman (k), suhu *absolute* (T), *noise figure* (NF) dan *bandwidth* (B).
- Menghitung nilai SNR sistem.



Gambar 3.3 Diagram Alir Perhitungan SNR Sistem Tanpa Pengaruh *Fading* lintasan jamak
(Sumber : Perancangan)

keterangan :

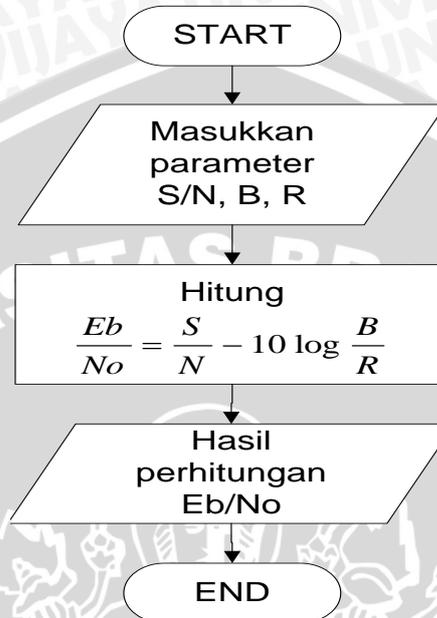
- SNR : *signal to noise ratio* (dB)
 P_r : daya yang diterima (dBm)
 N_o : daya *noise* saluran transmisi (dBm)
 k : konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)
 T : suhu *absolute* (300° K)

3.3.1.3 Energy Bit to Noise Ratio (SNR)

E_b/N_o tanpa pengaruh *fading* lintasan jamak diperoleh dengan cara menghitung *noise* total yang terjadi, yang terdiri dari *noise figure* perangkat dan *noise* pada saluran transmisi. Proses perhitungan *energy bit to noise* (E_b/N_o) ini ditunjukkan pada Gambar

3.4. Hasil perhitungan E_b/N_0 nantinya akan digunakan dalam perhitungan parameter BER. Langkah-langkah perhitungan E_b/N_0 tanpa pengaruh *fading* lintasan jamak pada sistem HSDPA adalah sebagai berikut :

- Menentukan nilai *signal to noise ratio* (SNR), *bandwidth* (B) dan laju data (R).
- Menghitung nilai *energy bit to noise ratio* (E_b/N_0).



Gambar 3.4 Diagram Alir Perhitungan E_b/N_0 Tanpa Pengaruh *Fading* lintasan jamak
(Sumber : Perancangan)

keterangan :

$\frac{E_b}{N_0}$: rasio *energy bit* terhadap *noise* sistem tanpa pengaruh *fading* lintasan

jamak(dB)

S/N : *signal to noise ratio* sistem (dB)

B : *bandwidth* sistem (Hz)

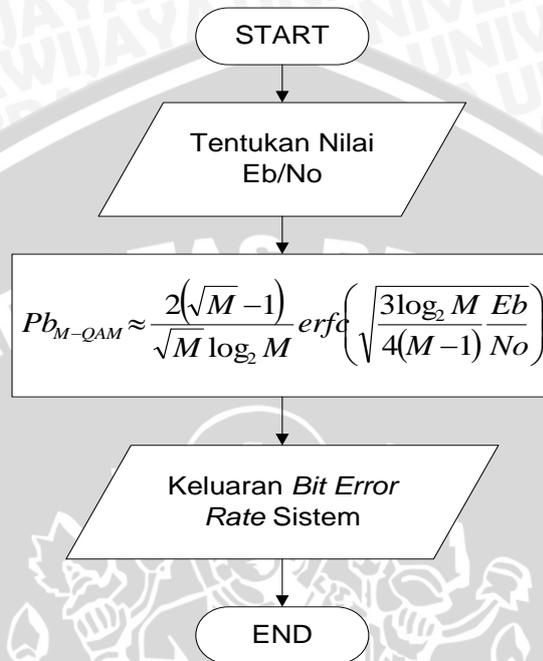
R : laju data (bps)

3.3.1.4 Bit Error Rate (BER)

Proses perhitungan *bit error rate* (BER) tanpa pengaruh *fading* lintasan jamak ini dihitung dengan menggunakan teknik modulasi QPSK dan 16-QAM yang ditunjukkan pada Gambar 3.5. Hasil perhitungan BER ini akan menunjukkan hubungan antara nilai probabilitas *bit error* dengan perubahan jarak dari NodeB ke UE. Langkah-langkah

perhitungan BER tanpa pengaruh *fading* lintasan jamak pada sistem HSDPA adalah sebagai berikut :

- Menentukan nilai *energy bit to noise ratio* (E_b/N_o).
- Menghitung nilai probabilitas *bit error* tiap modulasi (P_b).



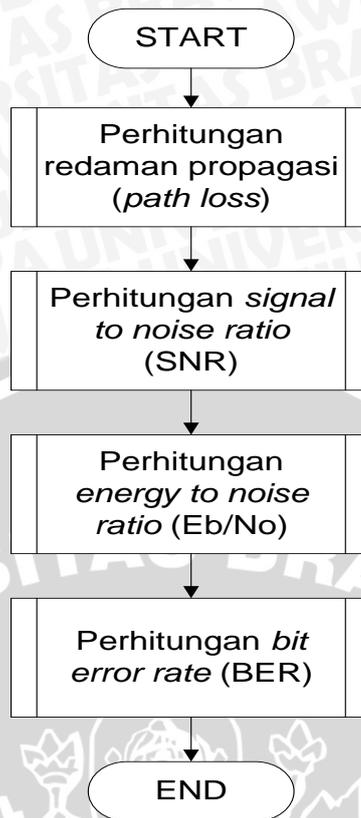
Gambar 3.5 Diagram Alir Perhitungan BER Tanpa Pengaruh *Fading* lintasan jamak
(Sumber : Perancangan)

keterangan :

- E_b/N_o : rasio *energy bit* terhadap *noise*
 $P_{b,QPSK}$: probabilitas *error bit* pada saat transmisi (tanpa satuan)
 $P_{b,M-ary QAM}$: probabilitas *error bit* pada saat transmisi (tanpa satuan)
 M : jumlah kemungkinan sinyal, $M = 16$ untuk 16-QAM
 $\operatorname{erfc}(x)$: fungsi kesalahan dari variabel (x)

3.3.2 Perhitungan Parameter Performansi HSDPA Dengan Pengaruh *Fading* Lintasan Jamak

Performansi HSDPA yang dipengaruhi oleh *fading* lintasan jamak dapat diketahui dengan cara menghitung dan menganalisis beberapa parameter yang diperlukan pada kondisi NLOS. Gambar 3.6 merupakan diagram alir perhitungan parameter performansi pada teknologi HSDPA yang dipengaruhi oleh *fading* lintasan jamak.

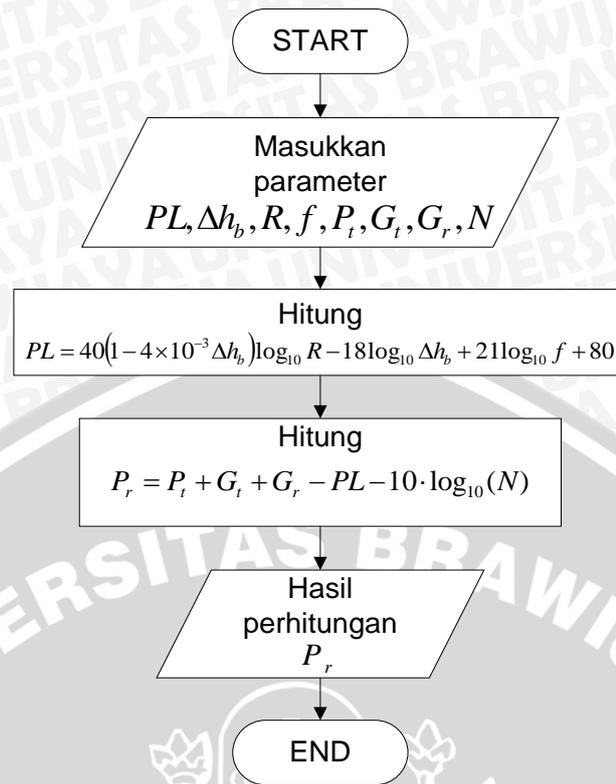


Gambar 3.6 Diagram Alir Perhitungan Performansi HSDPA dengan Pengaruh *Fading* lintasan jamak
(Sumber : Perancangan)

3.3.2.1 Redaman Propagasi (*Path Loss*)

Rugi-rugi propagasi yang dipengaruhi *fading* lintasan jamak dapat diketahui berdasarkan kondisi *non-line of sight* (NLOS). Kondisi NLOS digunakan untuk menentukan kondisi dimana terdapat penghalang di antara pemancar dan penerima, seperti rumah, pepohonan dan gedung. Proses perhitungan *path loss* pada kondisi NLOS ditunjukkan pada Gambar 3.7. Hasil perhitungan ini kemudian digunakan untuk menghitung daya terima pada penerima. Langkah-langkah perhitungan redaman propagasi yang dipengaruhi *fading* lintasan jamak pada sistem HSDPA adalah sebagai berikut :

- Menentukan nilai tinggi antenna NodeB (Δh_b), jarak antara UE dan NodeB (R), frekuensi kerja sistem (f), daya pancar *transmitter* (P_t), gain *transmitter* (G_t), gain *receiver* (G_r) dan jumlah *subcarrier* (N).
- Menghitung nilai redaman propagasi (PL).
- Menghitung nilai daya terima (P_r).



Gambar 3.7 Diagram Alir Perhitungan *Path loss* dengan Pengaruh *Fading* lintasan jamak
(Sumber : Perancangan)

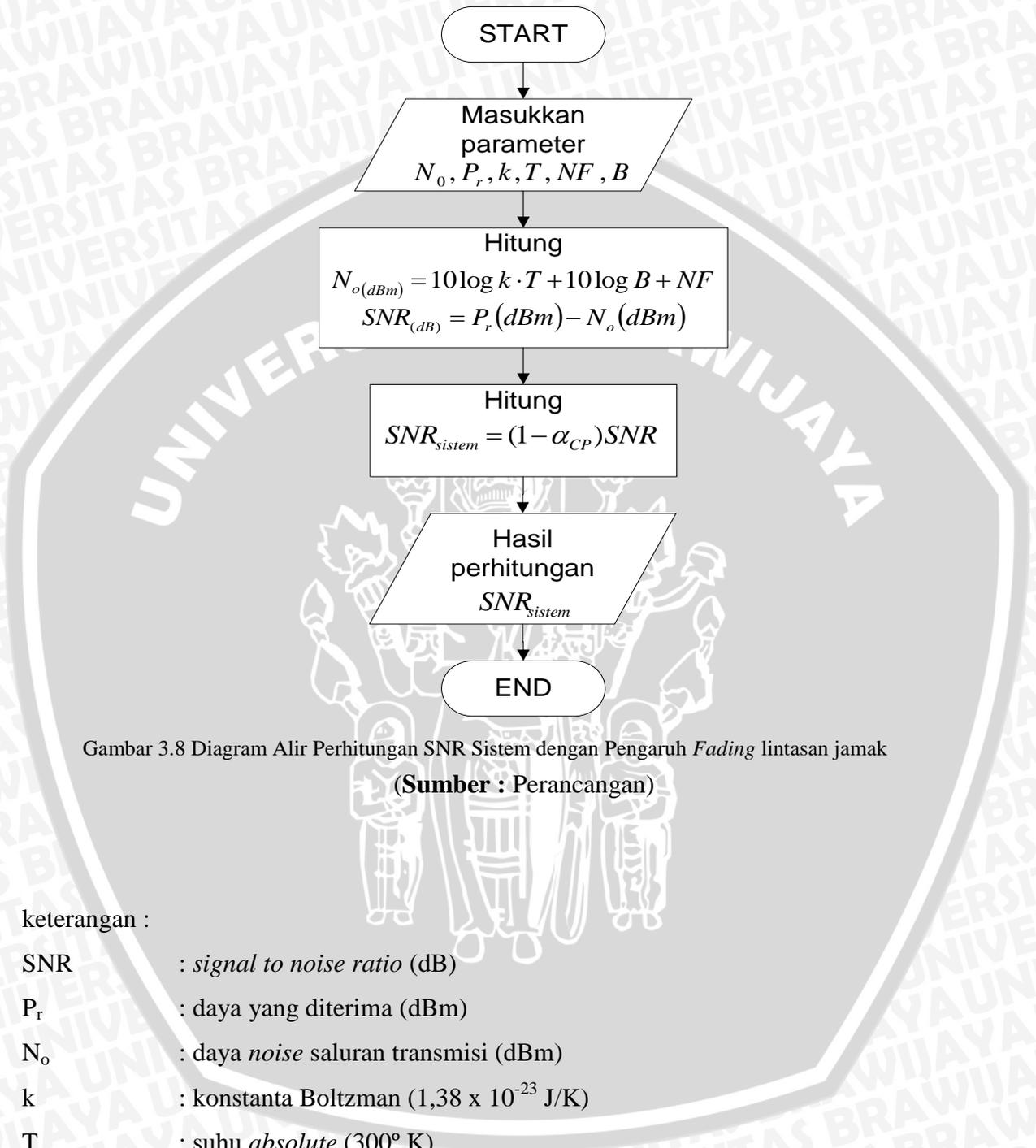
keterangan :

- PL : *Path Loss* (dB)
- R : jarak NodeB dan UE (km)
- Δh_b : tinggi antena NodeB (m)
- f : frekuensi kerja (MHz)
- P_r : daya terima (dBm)
- P_t : daya pancar (dBm)
- G_t : *gain* antena pemancar (dBi)

3.3.2.2 Signal to Noise Ratio (SNR)

Proses perhitungan SNR sistem dengan pengaruh *fading* lintasan jamak ditunjukkan pada Gambar 3.8. Hasil perhitungan SNR ini kemudian digunakan untuk mengetahui kualitas sinyal yang melewati kanal nirkabel pada kondisi NLOS, yang menunjukkan hubungan antara daya terima dengan SNR terhadap jarak jangkauan sistem HSDPA. Langkah-langkah perhitungan SNR sistem yang dipengaruhi *fading* lintasan jamak pada sistem HSDPA adalah sebagai berikut :

- Menentukan nilai daya *noise* saluran transmisi (N_o), daya terima (P_r), konstanta Boltzman (k), suhu *absolute* (T), *noise figure* (NF) dan *bandwidth* (B).
- Menghitung nilai SNR sistem.



Gambar 3.8 Diagram Alir Perhitungan SNR Sistem dengan Pengaruh *Fading* lintasan jamak
(Sumber : Perancangan)

keterangan :

SNR : *signal to noise ratio* (dB)

P_r : daya yang diterima (dBm)

N_o : daya *noise* saluran transmisi (dBm)

k : konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)

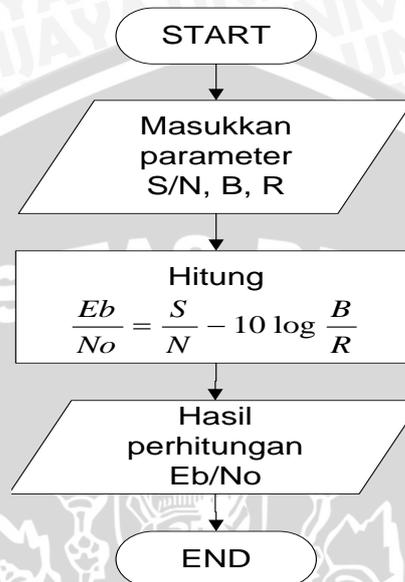
T : suhu *absolute* (300° K)

3.3.2.3 Energy Bit to Noise Ratio (Eb/No)

E_b/N_o dengan pengaruh *fading* lintasan jamak diperoleh dengan cara menghitung *noise* total yang terjadi, yang terdiri dari *noise figure* perangkat dan *noise* pada saluran transmisi. Proses perhitungan *energy bit to noise* (E_b/N_o) ditunjukkan

pada Gambar 3.9. Hasil perhitungan E_b/N_0 nantinya akan digunakan dalam perhitungan parameter BER. Langkah-langkah perhitungan E_b/N_0 yang dipengaruhi *fading* lintasan jamak pada sistem HSDPA adalah sebagai berikut :

- Menentukan nilai *signal to noise ratio* (SNR), *bandwidth* (B) dan laju data (R).
- Menghitung nilai *energy bit to noise ratio* (E_b/N_0).



Gambar 3.9 Diagram Alir Perhitungan E_b/N_0 dengan Pengaruh *Fading* lintasan jamak
(Sumber : Perancangan)

keterangan :

$\frac{E_b}{N_0}$: rasio *energy bit* terhadap *noise* (dB)

S/N : *signal to noise ratio* sistem (dB)

B : *bandwidth* sistem (Hz)

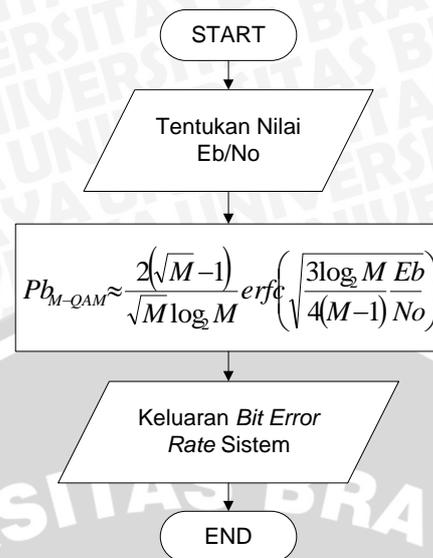
R : laju data (bps)

3.3.2.4 Bit Error Rate (BER)

Proses perhitungan *bit error rate* (BER) dengan pengaruh *fading* lintasan jamak dilakukan dengan menggunakan teknik modulasi QPSK dan 16-QAM yang ditunjukkan pada Gambar 3.11. Hasil perhitungan BER ini akan menunjukkan hubungan antara nilai probabilitas *bit error* dengan perubahan jarak dari NodeB ke UE. Langkah-langkah perhitungan BER yang dipengaruhi *fading* lintasan jamak pada sistem HSDPA adalah sebagai berikut :

- Menentukan nilai *energy bit to noise ratio* (E_b/N_0).

- b. Menghitung nilai probabilitas *bit error* tiap modulasi (P_b).



Gambar 3.10 Diagram Alir Perhitungan BER dengan Pengaruh *Fading* lintasan jamak
(Sumber : Perancangan)

keterangan :

- E_b/N_o : rasio *energy bit* terhadap *noise*
 $P_{b,QPSK}$: probabilitas *error bit* pada saat transmisi (tanpa satuan)
 $P_{b,M-ary QAM}$: probabilitas *error bit* pada saat transmisi (tanpa satuan)
 M : jumlah kemungkinan sinyal, $M = 16$ untuk 16-QAM
 $\operatorname{erfc}(x)$: fungsi kesalahan dari variabel (x)

3.4 Hasil dan Pembahasan

Pembahasan dan hasil pada skripsi ini merupakan metode analisis data dari proses perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya. Analisis data yang dilakukan dalam skripsi ini untuk mengetahui bagaimana pengaruh *fading* lintasan jamak terhadap performansi HSDPA dengan jarak antara penerima dan pemancar yang berubah-ubah.

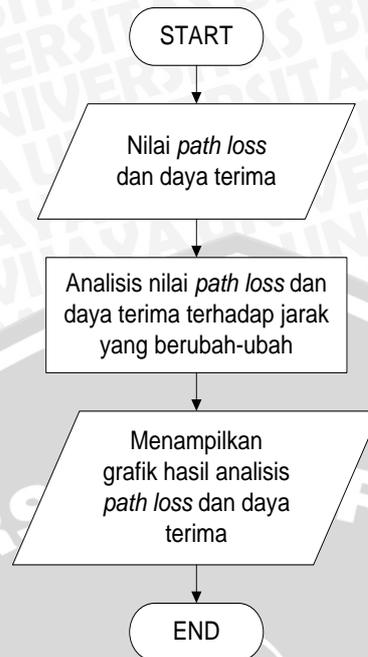
Analisis performansi HSDPA yang dibahas meliputi:

1. Analisis Redaman Propagasi (*Path Loss*)

Langkah-langkah analisis redaman propagasi (*path loss*) adalah sebagai berikut:

- a. Mendapatkan nilai *path loss* dan daya terima.
- b. Menganalisis besarnya nilai *path loss* dan daya terima HSDPA terhadap jarak antara penerima dan pemancar yang berubah-ubah baik pada kondisi LOS maupun NLOS.

- c. Menampilkan grafik hasil analisis *path loss* dan daya terima.



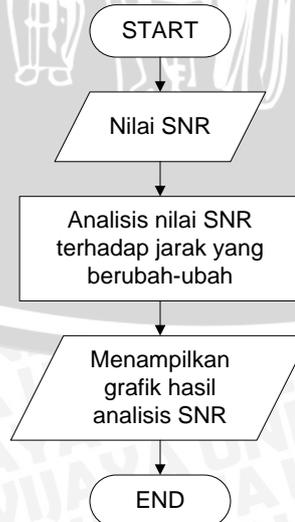
Gambar 3.11 Diagram Alir Proses Analisis Redaman Propagasi (*Path Loss*)

(Sumber: Perancangan)

2. Analisis *Signal to Noise Ratio* (SNR)

Langkah-langkah analisis SNR adalah sebagai berikut:

- Mendapatkan nilai SNR.
- Menganalisis besarnya nilai SNR HSDPA terhadap jarak antara penerima dan pemancar yang berubah-ubah baik pada kondisi LOS maupun NLOS.
- Menampilkan grafik hasil analisis SNR.



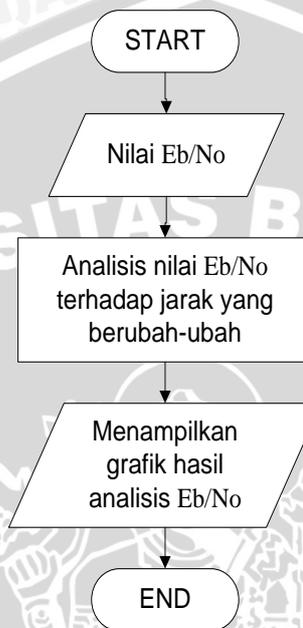
Gambar 3.12 Diagram Alir Proses Analisis SNR

(Sumber: Perancangan)

3. Analisis *Energy bit to Noise Ratio* (E_b/N_o)

Langkah-langkah analisis E_b/N_o adalah sebagai berikut:

- Mendapatkan nilai E_b/N_o .
- Menganalisis besarnya nilai E_b/N_o terhadap jarak antara penerima dan pemancar yang berubah-ubah baik pada kondisi LOS maupun NLOS.
- Menampilkan grafik hasil analisis E_b/N_o .

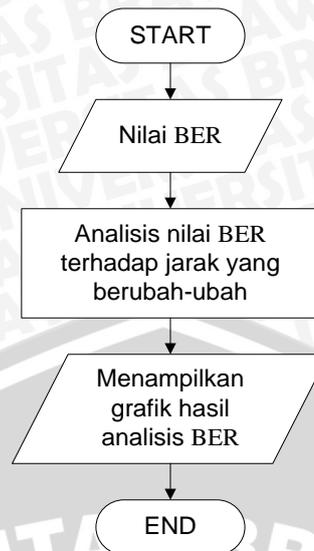


Gambar 3.13 Diagram Alir Proses Analisis E_b/N_o
(Sumber: Perancangan)

4. Analisis *Bit Error Rate* (BER)

Langkah-langkah analisis BER adalah sebagai berikut:

- Mendapatkan nilai BER.
- Menganalisis besarnya nilai BER terhadap jarak antara penerima dan pemancar yang berubah-ubah baik pada kondisi LOS maupun NLOS.
- Menampilkan grafik hasil analisis BER.



Gambar 3.14 Diagram Alir Proses Analisis BER
(Sumber: Perancangan)

3.5 Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Pada tahapan ini dilakukan pengambilan kesimpulan berdasarkan dari hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan. Tahap selanjutnya dilakukan pemberian saran yang dimaksudkan kepada pembaca yang akan melakukan studi tentang skripsi ini ataupun sebagai bahan pendukung dari penelitian-penelitian selanjutnya.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan dilakukan analisis dan pembahasan tentang pengaruh *fading* lintasan jamak terhadap performansi *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA). Metode analisis yang digunakan dalam skripsi ini adalah analisis matematis, yaitu dilakukan dengan mengumpulkan nilai-nilai parameter yang berupa data primer dan data sekunder serta melakukan perhitungan menggunakan persamaan-persamaan yang telah dijelaskan dalam Bab II. Analisis yang dilakukan meliputi analisis pengaruh *fading* lintasan jamak terhadap *delay spread*, yang kemudian hasil dari analisis tersebut akan digunakan untuk perhitungan parameter performansi HSDPA, yang meliputi *path loss*, *signal to noise ratio* (SNR), *energy bit to noise ratio* (Eb/No) dan *bit error rate* (BER). Data sekunder yang digunakan antara lain berupa *link budget* dan spesifikasi teknis untuk HSDPA yang diperoleh dari buku, thesis, skripsi dan jurnal.

Analisis dilakukan dengan cara menghitung nilai parameter performansi sistem HSDPA pada kondisi *Line of Sight* (LOS) dan *Non-Line of Sight* (NLOS) pada daerah urban dengan jarak antara NodeB dan UE yang berubah-ubah. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh jarak dan keadaan lingkungan terhadap sinyal yang diterima oleh *receiver* (UE).

Untuk melakukan proses analisis ini digunakan beberapa asumsi, yaitu:

1. *User Equipment* (UE) dan NodeB yang akan diamati berada di luar ruangan (*outdoor*) pada daerah *urban*. Hal ini dimaksudkan agar sinyal yang diterima pada *receiver* merupakan gabungan dari sinyal LOS (*Line of Sight*) dan sinyal hasil pantulan.
2. UE dalam keadaan bergerak dengan kecepatan ($10 \text{ km/jam} \leq v \leq 100 \text{ km/jam}$).
3. Tinggi antena *transmitter*/NodeB (h_b) = 50 m.
4. Tinggi antena *receiver*/UE (h_r) = 1m.
5. *Bandwidth* kanal = 5 MHz.
6. Jarak antara UE dan NodeB divariasikan mulai dari 100 m – 500 m, dengan spasi jarak sebesar 100 m.
7. Sinyal yang diterima pada kondisi *Line Of Sight* (LOS) diasumsikan hanya melewati kanal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*), sedangkan pada kondisi *Non-Line Of Sight* (NLOS) melalui kanal *multipath fading*.

4.1 Analisis Paramater Performansi HSDPA

Pada sub-bab ini akan dibahas mengenai pengaruh *fading* lintasan jamak terhadap performansi HSDPA. *Fading* lintasan jamak tersebut terjadi pada saat sinyal ditransmisikan dari pemancar menuju penerima, atau dengan kata lain *fading* lintasan jamak terjadi di *air interface* sistem HSDPA, yaitu pada OFDM. Oleh karena itu, dilakukan perhitungan parameter performansi HSDPA yang meliputi nilai rugi - rugi propagasi (*pathloss*), *signal to noise ratio* (SNR), *energy bit to noise ratio* (Eb/No) dan *bit error rate* (BER) dengan menggunakan software *MATLAB* serta pengukuran *DRIVE TEST*. Semua parameter performansi tersebut dihitung pada kondisi LOS dan NLOS dengan jarak antara UE dan Node-B yang berubah-ubah untuk mengetahui perbedaan kualitas sinyal yang diterima pada *receiver*.

Untuk mempermudah proses analisis dan perhitungan, maka digunakan beberapa data sekunder seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 4.1 mengenai parameter perhitungan *link budget* untuk sistem HSDPA.

Tabel 4.1 Parameter *Link Budget* HSDPA

No	Parameter <i>Link Budget</i>	Nilai
Transmitter (Node B)		
1	HS-DSCH Tx Power	37.4 dBm
2	CPICH Tx Power	33 dBm
3	Total Tx Power	43 dBm
4	Tx Antenna Gain	18 dBi
5	Cable Loss	2 dB
6	HS-DSCH EIRP	53.4 dBm
Receiver (User Equipment)		
1	UE Noise Figure (NF)	8.0 dB
2	Thermal Noise	-108 dB
3	Rx Antenna Gain (Gr)	2 dBi
4	Body Loss (Lr)	0 dB
5	Processing Gain	12 dB
6	Orthogonality Factor (α)	0.6

(Sumber :PT. Indosat, Tbk KPI Surabaya, 2006: 1-23 dalam Linda Ekowati, 2008:68)

Sesuai dengan yang telah dijelaskan di Bab II, bahwa HSDPA dengan spesifikasi 3GPP *release 5* pada sisi *downlink* menggunakan *air interface* OFDM dan dapat menggunakan teknik modulasi QPSK dan 16-QAM. Untuk teknik modulasi QPSK, jumlah *bit* dalam 1 simbol adalah 2 *bit*. Sedangkan untuk teknik modulasi 16-QAM,

jumlah *bit* dalam 1 simbol adalah 4 *bit*. Jumlah *subcarrier* yang digunakan sesuai *bandwidth* kanal yang digunakan yaitu sebesar 1024.

Pada sistem komunikasi yang menggunakan teknik OFDM, laju data yang tinggi akan dibagi ke dalam beberapa *subcarrier* untuk kemudian dialirkan secara paralel dengan nilai laju data yang lebih rendah.

Dengan menggunakan teknik modulasi QPSK, laju data pada *bandwidth* kanal 5 MHz yang digunakan adalah 8.4 Mbps dan jumlah *subcarrier* 1024 maka diperoleh laju data untuk masing-masing *subcarrier* yang dihitung dengan menggunakan persamaan (2-1), sebesar :

$$R_{sub} = \frac{R_{tot}}{N}$$

$$R_{sub} = \frac{8.4 \text{ Mbps}}{1024} = 0.0082 \text{ Mbps}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai laju data dengan jumlah *subcarrier* 1024 untuk total laju data 16.8 Mbps. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Dan dari persamaan (2-2), durasi *subcarrier* dengan nilai M pada QPSK adalah $2^2 = 4$, adalah :

$$T_s = \frac{2}{R_{sub}}$$

$$T_s = \frac{2}{0,0082 \times 10^6} = 243.902 \mu s$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai durasi *subcarrier* untuk total laju data 16.8 Mbps untuk jumlah *subcarrier* 1024. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Dengan durasi CP sebesar 6.6% maka diperoleh faktor CP sebesar 0,066. Sehingga dengan menggunakan persamaan (2-4) diperoleh *bandwidth* sistem untuk jumlah *subcarrier* 1024 dan durasi *subcarrier* $T_s = 243.902 \mu s$ sebesar :

$$B_{sistem} = \frac{2}{T_s} + \frac{N-1}{(1-\alpha_{cp})T_s}$$

$$B_{sistem} = \frac{2}{243.902 \times 10^{-6}} + \frac{1024-1}{(1-0.066)243.902 \times 10^{-6}} = 4.498 \text{ MHz}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai *bandwidth* sistem untuk total laju data 16.8 Mbps untuk jumlah *subcarrier* 1024. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Parameter R_{sub} , T_s dan *Bandwidth* sistem Pada Tiap Modulasi

Parameter	Modulasi	
	QPSK	16-QAM
R_{sub} (Mbps)	0.0082	0.0164
T_s (μs)	243.902	125.00
<i>Bandwidth</i> (Mhz)	4.498	8.778

(Sumber :Perhitungan)

4.1.1 Analisis Parameter Performansi HSDPA Tanpa Pengaruh *Fading* Lintasan Jamak

Performansi HSDPA yang tidak dipengaruhi oleh *multipath fading* dapat diketahui dengan cara menghitung dan menganalisis beberapa parameter yang diperlukan pada kondisi LOS. Parameter tersebut meliputi *path loss*, SNR, E_b/N_0 dan BER.

a. Analisis Redaman Propagasi (*Path Loss*)

Path loss adalah suatu parameter yang digunakan untuk mengetahui besarnya *loss* (rugi-rugi) yang terjadi selama proses pengiriman data dari pemancar ke penerima di dalam media transmisi. *Path loss* tanpa pengaruh *multipath fading* dapat diketahui berdasarkan kondisi *line of sight* (LOS). Kondisi LOS digunakan untuk menentukan kondisi dimana tidak ada penghalang antara pemancar dan penerima. Perhitungan rugi - rugi propagasi LOS sering disebut dengan *Free Space Loss* (FSL). Perhitungan redaman ini nantinya akan digunakan untuk menghitung besarnya daya yang diterima oleh UE (Pr).

Pada kondisi ini akan dihitung besarnya nilai rugi - rugi propagasi LOS (*free space loss*) jika jarak antara UE dan NodeB berubah-ubah mulai dari jarak 100 m – 500 m dan jika sistem bekerja pada frekuensi 1.9 GHz. Dengan menggunakan persamaan (2-24), yang merupakan persamaan *path loss* pada kondisi LOS, maka rugi - rugi propagasi untuk jarak 100 m dapat dihitung sebagai berikut :

$$PL = -10 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

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

$$\begin{aligned} \text{dengan } &= \frac{3 \times 10^8}{1.9 \times 10^9} \\ &= 0.157 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka akan diperoleh nilai rugi-rugi propagasi sebagai berikut :

$$PL = -10 \log \left(\frac{0.157}{4 \times 3.14 \times 1000} \right)^2$$

$$= 78.061 \text{ dB}$$

Dengan menggunakan persamaan (2-25), maka perhitungan level sinyal pada penerimadapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$P_r = P_t + G_t + G_r - PL - 10 \cdot \log_{10}(N)$$

Berdasarkan Tabel 4.1 diketahui bahwa :

$$P_t = 43 \text{ dBm} ; G_t = 18 \text{ dBi} ; G_r = 2 \text{ dBi} ;$$

maka,

$$P_r = 43 + 18 + 2 - 78.06 - 10 \log_{10}(1024)$$

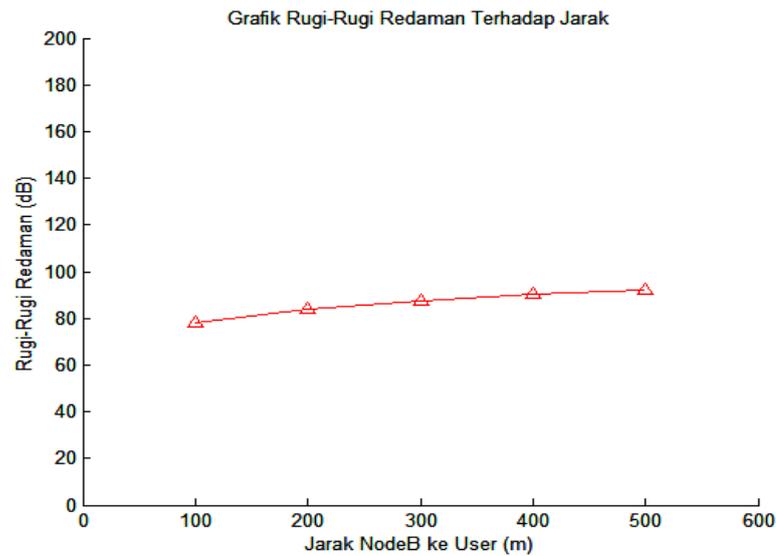
$$= -45.164 \text{ dBm}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan NodeB antara 200 m – 500 m, maka akan diperoleh nilai *path loss* dan daya terima pada kondisi LOS seperti pada Tabel 4.3. Hubungan antara *path loss* dan daya terima terhadap perubahan jarak ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.

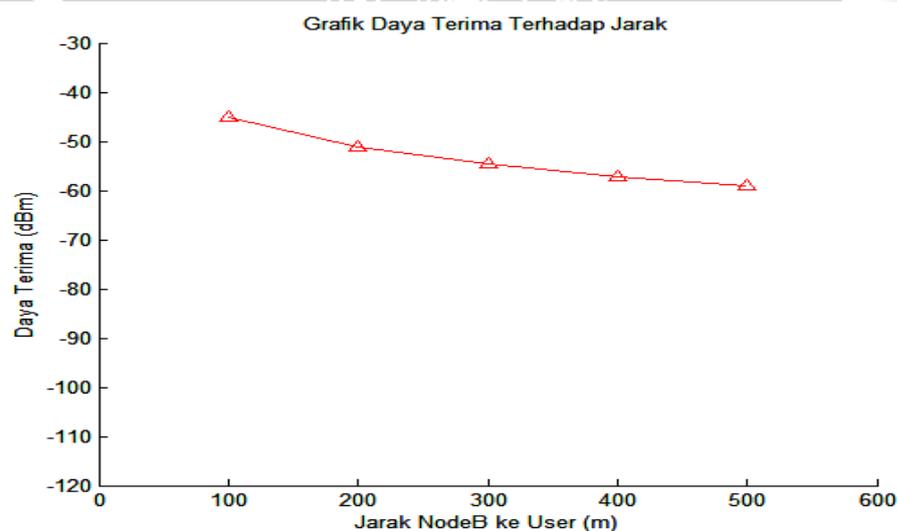
Tabel 4.3 Hasil analisis *path loss* dan daya terima dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah

No.	Jarak (m)	<i>Path Loss</i> (dB)	Daya Terima (dBm)
1.	100	78.061	-45.164
2.	200	84.082	-51.185
3.	300	87.604	-54.707
4.	400	90.103	-57.206
5.	500	92.041	-59.144

(Sumber :Perhitungan)



Gambar 4.1 Hubungan redaman propagasi dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah
(Sumber :Perhitungan)



Gambar 4. 2 Hubungan daya terima dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah
(Sumber :Perhitungan)

Berdasarkan analisis perhitungan redaman propagasi (*path loss*) dan daya terima di atas dapat diketahui bahwa :

1. Besarnya *path loss* dipengaruhi oleh jarak antara UE dan NodeB. Jarak yang lebih jauh, akan menyebabkan redaman propagasi lebih besar dibandingkan dengan jarak antara UE dan NodeB yang lebih dekat. Sedangkan besarnya daya terima pada *receiver* (UE) dipengaruhi oleh nilai *path loss*, daya pancar pada *transmitter* (NodeB) dan *gain* antena pada sisi NodeB dan UE.
2. Frekuensi kerja yang digunakan juga mempengaruhi besarnya nilai redaman propagasi.

3. Redaman propagasi yang paling besar adalah 92.041 dB dengan jarak antara UE dan NodeB sebesar 500 m dan yang paling kecil adalah 78.061 dB dengan jarak antara UE dan NodeB sebesar 100 m. Sedangkan daya terima pada *receiver* (UE) yang paling besar adalah -45.164 dBm dengan jarak antara UE dan NodeB sebesar 100 m dan yang paling kecil adalah -59.144 dB dengan jarak antara UE dan NodeB sebesar 500 m.

b. Analisis 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. Perhitungan SNR dilakukan pada kanal nirkabel yang hanya terdiri dari kanal AWGN saja. Kanal AWGN digunakan untuk kondisi LOS.

Daya *noise* dengan *bandwidth* sistem sebesar 4.498 MHz, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-29).

$$\begin{aligned} N_{o(dBm)} &= 10 \log k \cdot T + 10 \log B + NF \\ &= 10 \log(1.38 \times 10^{-23} \times 300) + 10 \log(4.498 \times 10^6) + 7 \\ &= -203.83 + 66.530 + 7 \\ &= -130.300 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Sesuai dengan Tabel 4.3, didapatkan $P_r = -45.164$ dan $N_o = -130.300$ dBm. Sehingga diperoleh nilai SNR sistem dengan jarak 100 m dengan menggunakan persamaan (2-28) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} SNR_{(dB)} &= P_r(dBm) - N_o(dBm) \\ &= -45.164 - (-130.300) \\ &= 82.996 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai SNR untuk jarak UE dan NodeB antara 200 m – 500 m.

Untuk nilai SNR = 82.996 dB = 1.993×10^8 , diperoleh SNR sistem dengan persamaan (2-30) berikut :

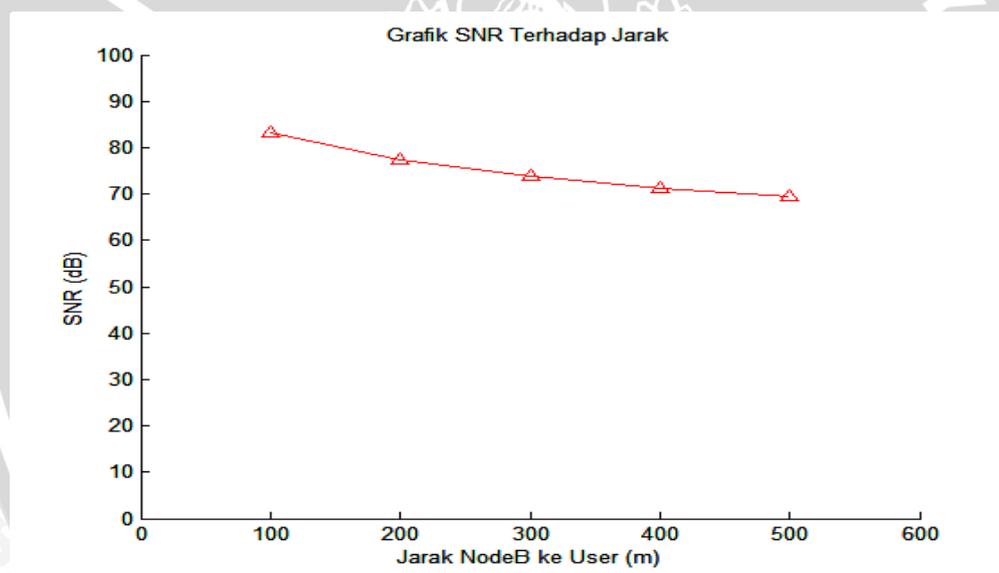
$$\begin{aligned} SNR_{sistem} &= (1 - \alpha_{cp}) SNR \\ SNR_{sistem} &= (1 - 0.066) 1.993 \times 10^8 \\ SNR_{sistem} &= 1.861 \times 10^8 \\ SNR_{sistem} &= 82.697 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai SNR sistem untuk jarak UE dan NodeB antara 200 m – 500 nm. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.4. Hubungan antara SNR sistem terhadap perubahan jarak ditunjukkan pada Gambar 4.3.

Tabel 4.4 Hasil Analisis SNR sistem dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah

No.	Jarak (m)	Daya Terima (dBm)	Noise (dBm)	SNR sistem (dB)
1.	100	-45.164	-130.300	82.697
2.	200	-51.185	-130.300	76.976
3.	300	-54.707	-130.300	73.454
4.	400	-57.206	-130.300	70.955
5.	500	-59.144	-130.300	69.017

(Sumber : Perhitungan)



Gambar 4.3 Hubungan SNR sistem dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah

(Sumber :Perhitungan)

Berdasarkan analisis perhitungan *signal to noise ratio* (SNR) sistem di atas dapat diketahui bahwa :

1. Besarnya nilai SNR sistem dipengaruhi oleh jarak antara UE dan NodeB. Jarak yang lebih jauh, akan menyebabkan nilai SNR sistem lebih kecil dibandingkan dengan jarak antara UE dan NodeB yang lebih dekat.
2. Panjang *cyclic prefix* yang digunakan juga mempengaruhi besarnya nilai SNR sistem.

3. Nilai SNR sistem yang paling besar adalah 82.996 dB dengan jarak antara UE dan NodeB sebesar 100 m dan yang paling kecil adalah 69.017 dB dengan jarak antara UE dan NodeB sebesar 500 m.

c. Analisis Energy bit to Noise Ratio (Eb/No)

Eb/No dapat didefinisikan sebagai perbandingan energi sinyal per *bit* terhadap *noise* dan digunakan sebagai ukuran mutu standar untuk kinerja sistem komunikasi digital. Perhitungan nilai Eb/No akan digunakan untuk pengukuran nilai *bit error rate* (BER).

Perhitungan nilai Eb/No yang tidak dipengaruhi *fading* lintasan jamak pada jarak 100 m dengan nilai SNR sistem = 82.996 dB dan menggunakan modulasi QPSK yang mempunyai data *rate* sebesar 8.4 Mbps dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2-31).

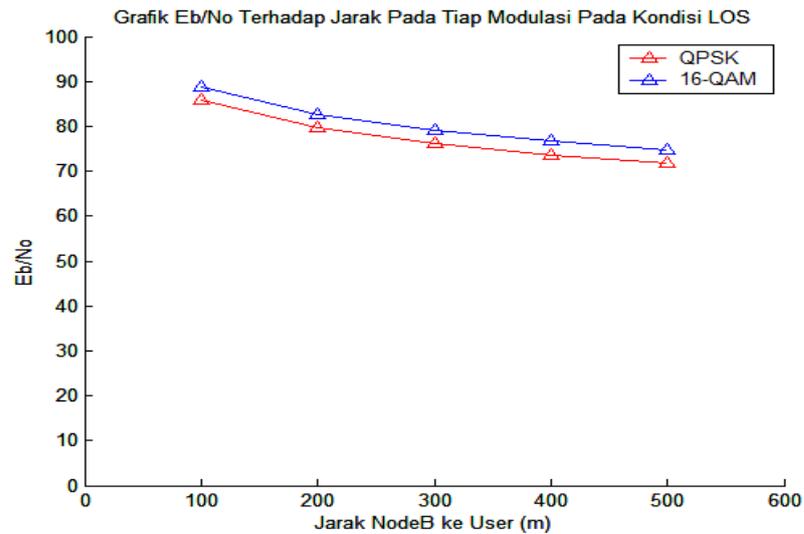
$$\begin{aligned} \frac{Eb}{No} &= \frac{S}{N} - 10 \log \frac{B}{R} \\ &= 82.996 - 10 \log \left(\frac{4.498 * 10^6}{8.4 * 10^6} \right) \\ &= 82.996 - (-2.713) \\ &= 85.709 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk modulasi 16-QAM yang mempunyai data *rate* 16.8 Mbps serta jarak antara UE dan NodeB 200 m – 500 m, maka akan diperoleh nilai Eb/No seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.5. Hubungan antara Eb/No terhadap perubahan jarak ditunjukkan pada Gambar 4.4.

Tabel 4.5 Hasil analisis Eb/No dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah

No	Jarak (m)	SNR (dB)	Eb/No (dB)	
			QPSK	16-QAM
1.	100	82.697	85.709	88.718
2.	200	76.976	79.689	82.698
3.	300	73.454	76.167	79.176
4.	400	70.955	73.668	76.677
5.	500	69.017	71.730	74.739

(Sumber : Perhitungan)



Gambar 4.4 Hubungan Eb/No dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah
(Sumber :Perhitungan)

Berdasarkan analisis perhitungan Eb/No di atas dapat diketahui bahwa :

1. Besarnya nilai Eb/No dipengaruhi oleh jarak antara UE dan NodeB. Jarak yang lebih jauh, akan menyebabkan nilai Eb/No lebih kecil dibandingkan dengan jarak antara UE dan NodeB yang lebih dekat.
2. Kecepatan transmisi data untuk tiap modulasi juga mempengaruhi besarnya nilai Eb/No.
3. Nilai Eb/No yang paling besar adalah 88.718 dB dengan jarak antara UE dan NodeB sebesar 100 m untuk modulasi 16-QAM dan yang paling kecil adalah 71.730 dB dengan jarak antara UE dan NodeB sebesar 500 m untuk modulasi QPSK.

d. Analisis *Bit Error Rate* (BER)

BER adalah banyaknya *bit* yang salah ketika sejumlah *bit* ditransmisikan dari titik asal ke titik tujuan. Pada analisis ini hanya akan dihitung nilai BER pada perangkat *user equipment* (UE) saja dengan menggunakan teknik modulasi QPSK dan 16-QAM.

- QPSK

Besarnya nilai BER atau probabilitas *bit error* (P_b), dengan menggunakan teknik modulasi QPSK pada jarak 100 m dengan $E_b/N_0 = 85.709$ dB dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-32) :

$$\begin{aligned}
 P_{b,QPSK} &= Q\left(\sqrt{2\frac{Eb}{No}}\right) \\
 &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\sqrt{\frac{Eb}{No}} \\
 &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\sqrt{85.709} \\
 &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(9.257)
 \end{aligned}$$

dimana,

$$\begin{aligned}
 \operatorname{erfc}(x) &\approx \frac{1}{\sqrt{\pi x}} e^{-x^2} \\
 &\approx \frac{1}{\sqrt{\pi(9.257)}} e^{-(9.257^2)} \\
 &\approx \frac{1}{5.391} e^{-85.692} \\
 &\approx 1.129 \times 10^{-30}
 \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 P_{b \cdot QPSK} &= \frac{1}{2} \times 1.129 \times 10^{-30} \\
 &= 0.064 \times 10^{-38}
 \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan NodeB antara 200 m – 500 m, maka akan diperoleh nilai P_b modulasi QPSK seperti pada Tabel 4.6.

- 16-QAM

Besarnya nilai BER atau probabilitas *bit error* (P_b), dengan menggunakan teknik modulasi 16-QAM pada jarak 100 m dengan $E_b/No = 88.718$ dB dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-33) :

$$\begin{aligned}
 P_{b \cdot 16-QAM} &= \frac{2(\sqrt{M}-1)}{\sqrt{M} \log_2 M} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{3 \log_2 M Eb}{4(M-1) No}}\right) \\
 &= \frac{2(\sqrt{16}-1)}{\sqrt{16} \log_2 16} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{3 \log_2 16}{4(16-1)} \times 88.718}\right) \\
 &= \frac{6}{16} \operatorname{erfc}(\sqrt{0.2 \times 88.718}) \\
 &= 0.375 \operatorname{erfc}(4.212)
 \end{aligned}$$

dimana,

$$\begin{aligned}
 \operatorname{erfc}(x) &\approx \frac{1}{\sqrt{\pi x}} \cdot e^{-x^2} \\
 &\approx \frac{1}{\sqrt{\pi(4.212)}} e^{-(4.212^2)} \\
 &\approx \frac{1}{3.636} e^{-17.74} \\
 &\approx 5.432 \times 10^{-9}
 \end{aligned}$$

Sehingga,

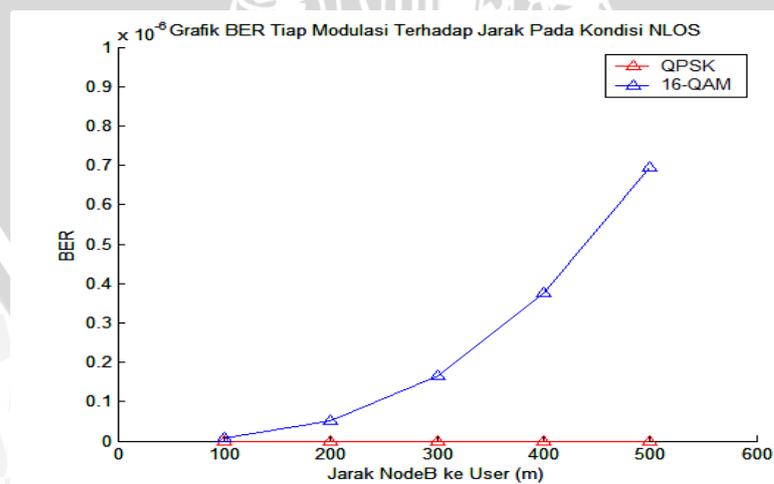
$$\begin{aligned}
 P_{b \cdot 16\text{-QAM}} &= 0.375 \times 5.432 \times 10^{-9} \\
 &= 2.037 \times 10^{-9}
 \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan NodeB antara 200 m – 500 m, maka akan diperoleh nilai P_b modulasi 16-QAM seperti pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil analisis BER dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah

No.	Jarak (m)	Bit Error Rate (BER)	
		QPSK	16-QAM
1.	100	0.064×10^{-38}	2.037×10^{-9}
2.	200	1.402×10^{-36}	6.093×10^{-9}
3.	300	4.811×10^{-35}	1.254×10^{-8}
4.	400	5.51×10^{-34}	2.092×10^{-8}
5.	500	4.19×10^{-33}	3.135×10^{-8}

(Sumber :Perhitungan)



Gambar 4.5 Hubungan BER dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah

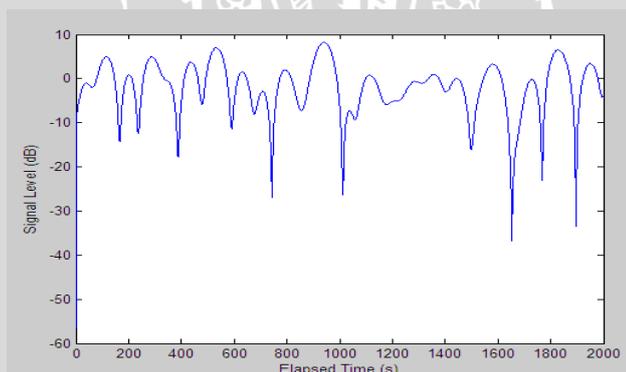
(Sumber :Perhitungan)

Berdasarkan analisis perhitungan BER di atas dapat diketahui bahwa :

1. Besarnya nilai BER dipengaruhi oleh jarak antara UE dan NodeB. Jarak yang lebih jauh, akan menyebabkan nilai BER lebih besar dibandingkan dengan jarak antara UE dan NodeB yang lebih dekat.
2. Besarnya nilai Eb/No untuk tiap modulasi juga mempengaruhi besarnya nilai BER.
3. Nilai BER yang paling besar adalah 3.135×10^{-8} dengan jarak antara UE dan NodeB sejauh 500 m untuk modulasi 16-QAM dan yang paling kecil adalah 0.064×10^{-38} dengan jarak antara UE dan NodeB sejauh 100 m untuk modulasi QPSK.

4.1.2 Analisis Parameter Performansi HSDPA Dengan Pengaruh *Fading* Lintasan Jamak

Pada HSDPA, *fading* lintasan jamak terjadi ketika sinyal ditransmisikan dari pemancar menuju penerima. *Fading* lintasan jamak tersebut menyebabkan sinyal yang ditransmisikan akan mengalami gangguan sehingga performansi sistem menjadi menurun. Sinyal yang mengalami gangguan *fading* lintasan jamak ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Sinyal yang mengalami gangguan *fading* lintasan jamak

Performansi HSDPA yang dipengaruhi oleh *fading* lintasan jamak dapat diketahui dengan cara menghitung dan menganalisis beberapa parameter yang diperlukan pada kondisi NLOS. Kondisi NLOS adalah kondisi dimana antara *transmitter* (NodeB) dan *receiver* (UE) terdapat penghalang sinyal seperti rumah, pohon dan gedung. Kondisi ini menyebabkan sinyal yang dikirim oleh pemancar mengalami pantulan, difraksi atau *scattering*, sehingga sinyal tersebut memiliki lebih dari satu jalur dari pemancar ke penerima.

Semua parameter performansi HSDPA dihitung dengan menggunakan data primer dan data sekunder yang diperoleh dari pengukuran *drive test*. Parameter tersebut meliputi *path loss*, SNR, Eb/No dan BER.

➤ **Parameter Performansi HSDPA Dengan Menggunakan Perhitungan Secara Teori**

a. **Analisis Redaman Propagasi (*Path Loss*)**

Path loss dengan pengaruh *fading* lintasan jamak dapat diketahui berdasarkan kondisi *non-line of sight* (NLOS). Perhitungan rugi - rugi propagasi untuk kondisi NLOS (*path loss*) ini nantinya akan digunakan untuk menghitung besarnya daya yang diterima oleh UE (P_r). Parameter yang dibutuhkan dalam perhitungan nilai *path loss* antara lain yaitu jarak antara UE dan NodeB dan frekuensi yang digunakan.

Pada kondisi ini akan dihitung besarnya nilai rugi - rugi propagasi NLOS (*path loss*) jika jarak antara UE dan NodeB berubah-ubah mulai dari jarak 100 m – 500 m. Dengan menggunakan persamaan (2-26), yang merupakan persamaan *path loss* untuk kondisi *fading* lintasan jamak, maka nilai *path loss* dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} PL &= 40(1 - 4 \times 10^{-3} \Delta h_b) \log_{10} R - 18 \log_{10} \Delta h_b + 21 \log_{10} f + 80 \\ &= 40(1 - 4 \times 10^{-3} \times 50) \log_{10} (0.2) - 18 \log_{10} (50) + 21 \log_{10} (1.9 \times 10^3) + 80 \\ &= 86.272 \text{ dB} \end{aligned}$$

Untuk menghitung level sinyal terima pada penerima, maka digunakan persamaan (2-27).

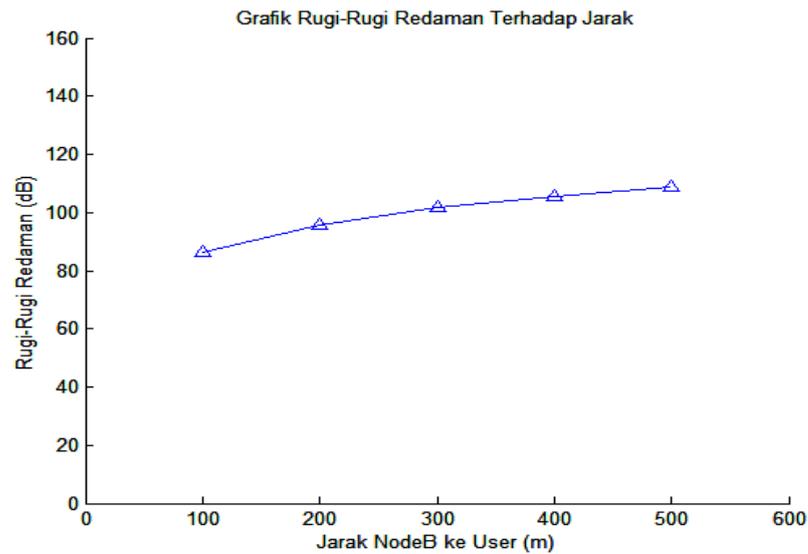
$$\begin{aligned} P_r &= P_t + G_t + G_r - PL - 10 \cdot \log_{10}(N) \\ &= 43 + 18 + 2 - 86.272 - 10 \log_{10}(1024) \\ &= -53.375 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan NodeB antara 200 m – 500 m, maka akan diperoleh nilai *path loss* dan daya terima pada kondisi NLOS seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.7. Hubungan antara *path loss* dan daya terima terhadap perubahan jarak ditunjukkan pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8.

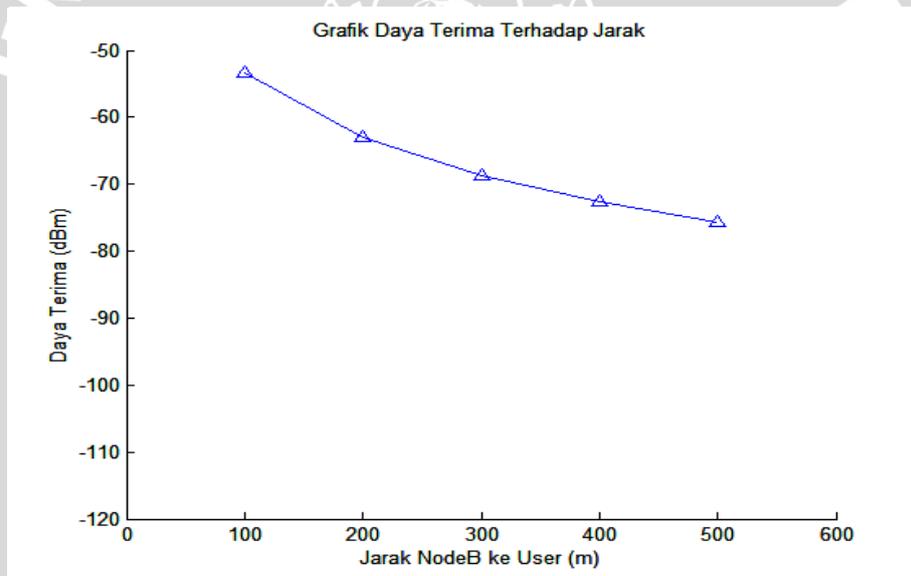
Tabel 4.7 Hasil analisis *path loss* dan daya terima dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah

No.	Jarak (m)	<i>Path Loss</i> (dB)	Daya Terima (dBm)
1.	100	86.272	-53.375
2.	200	95.905	-63.008
3.	300	101.540	-68.643
4.	400	105.538	-72.641
5.	500	108.639	-75.742

(Sumber :Perhitungan)



Gambar 4.7 Hubungan rugi-rugi redaman dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah
(Sumber :Perhitungan)



Gambar 4.8 Hubungan daya terima dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah
(Sumber :Perhitungan)

Berdasarkan analisis perhitungan redaman propagasi (*path loss*) dan daya terima di atas dapat diketahui bahwa :

1. Besarnya *path loss* dipengaruhi oleh jarak antara UE dan NodeB. Jarak yang lebih jauh, akan menyebabkan redaman propagasi lebih besar dibandingkan dengan jarak antara UE dan NodeB yang lebih dekat. Sedangkan besarnya daya terima pada *receiver* (UE) dipengaruhi oleh nilai *path loss*, daya pancar pada *transmitter* (NodeB) dan *gain* antena pada sisi NodeB dan UE.

2. Frekuensi kerja dan tinggi antena yang digunakan juga mempengaruhi besarnya nilai redaman propagasi.
3. Redaman propagasi yang paling besar adalah 108.639 dB dengan jarak antara UE dan NodeB sebesar 500 m dan yang paling kecil adalah 86.272 dB dengan jarak antara UE dan NodeB sebesar 100m. Sedangkan daya terima pada *receiver* (UE) yang paling besar adalah -53.375 dBm dengan jarak antara UE dan NodeB sebesar 100 m dan yang paling kecil adalah -75.742 dB dengan jarak antara UE dan NodeB sebesar 500 m.

b. Analisis Signal to Noise Ratio (SNR)

Untuk menghitung nilai SNR yang dipengaruhi *fading* lintasan jamak, perhitungan menggunakan persamaan yang sama seperti persamaan dalam menghitung SNR pada kondisi LOS. Namun, data daya diterima menggunakan data yang terdapat pada Tabel 4.7.

Daya *noise* dengan *bandwidth* sistem sebesar 4.498 MHz, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-27).

$$\begin{aligned}
 N_{o(dBm)} &= 10 \log k \cdot T + 10 \log B + NF \\
 &= 10 \log(1.38 \times 10^{-23} \times 300) + 10 \log(4.498 \times 10^6) + 7 \\
 &= -203.83 + 66.530 + 7 \\
 &= -130.300 \text{ dBm}
 \end{aligned}$$

Sesuai dengan Tabel 4.7, didapatkan $P_r = -53.375$ dan $N_o = -130.300 \text{ dBm}$. Sehingga diperoleh nilai SNR sistem dengan jarak 100 m dengan menggunakan persamaan (2-28) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 SNR_{(dB)} &= P_r(dBm) - N_o(dBm) \\
 &= -53.375 - (-130.300) \\
 &= 76.925 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai SNR untuk jarak UE dan NodeB antara 200 m – 500 m.

Untuk nilai $SNR = 76.925 \text{ dB} = 0.492 \times 10^8$, diperoleh SNR sistem dengan persamaan (2-30) berikut :

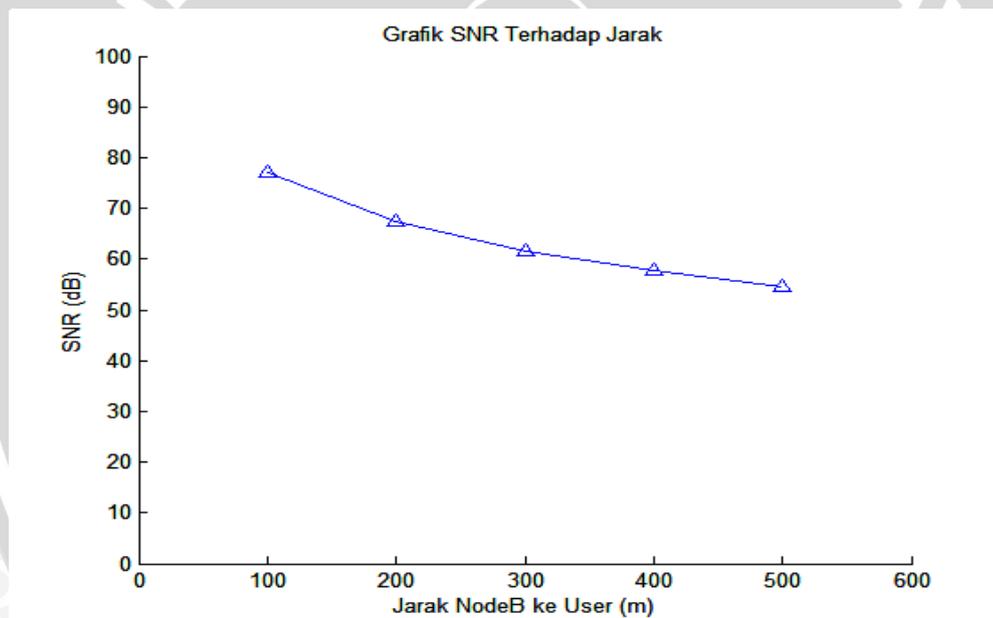
$$\begin{aligned}
 SNR_{sistem} &= (1 - \alpha_{cp}) SNR \\
 SNR_{sistem} &= (1 - 0.066) 0.492 \times 10^8 \\
 SNR_{sistem} &= 0.459 \times 10^8 \\
 SNR_{sistem} &= 76.627 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai SNR sistem untuk jarak UE dan NodeB antara 200m – 500m. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.8. Hubungan antara SNR sistem terhadap perubahan jarak ditunjukkan pada Gambar 4.9.

Tabel 4. 8 Hasil Analisis SNR sistem dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah

No.	Jarak (m)	Daya Terima (dBm)	Noise (dBm)	SNR sistem (dB)
1.	100	-53.375	-130.300	76.627
2.	200	-63.008	-130.300	66.994
3.	300	-68.643	-130.300	61.360
4.	400	-72.641	-130.300	57.362
5.	500	-75.742	-130.300	54.260

(Sumber : Perhitungan)



Gambar 4. 9 Hubungan SNR sistem dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah
(Sumber :Perhitungan)

Berdasarkan analisis perhitungan *signal to noise ratio* (SNR) sistem di atas dapat diketahui bahwa :

1. Besarnya nilai SNR sistem dipengaruhi oleh jarak antara UE dan NodeB. Jarak yang lebih jauh, akan menyebabkan nilai SNR sistem lebih kecil dibandingkan dengan jarak antara UE dan NodeB yang lebih dekat.
2. Panjang *cyclic prefix* yang digunakan juga mempengaruhi besarnya nilai SNR sistem.

3. Nilai SNR sistem yang paling besar adalah 76.627dB dengan jarak antara UE dan NodeB sebesar 100 m dan yang paling kecil adalah 54.260dB dengan jarak antara UE dan NodeB sebesar 500 m.

c. Analisis *Energy bit to Noise Ratio* (E_b/N_o)

Perhitungan nilai E_b/N_o yang dipengaruhi *fading* lintasan jamak pada jarak 100 m dengan nilai SNR sistem = 76.627 dB dan menggunakan modulasi QPSK yang mempunyai data *rate* 8.4 Mbps, dapat diperoleh dengan cara:

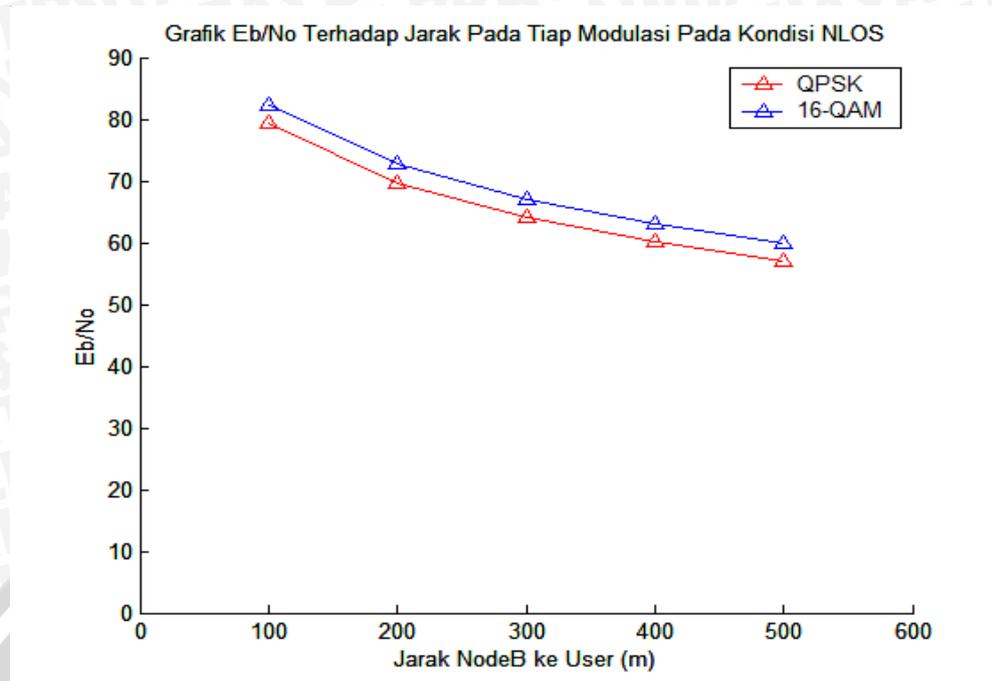
$$\begin{aligned} \frac{E_b}{N_o} &= \frac{S}{N} - 10 \log \frac{B}{R} \\ &= 76.627 - 10 \log \left(\frac{4.498 * 10^6}{8.4 * 10^6} \right) \\ &= 76.627 - (-2.713) \\ &= 79.340 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk modulasi 16-QAM yang mempunyai data *rate* 16.8 Mbps serta jarak antara UE dan NodeB 100 m – 500m, maka akan diperoleh nilai E_b/N_o seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.9. Hubungan antara E_b/N_o terhadap perubahan jarak ditunjukkan pada Gambar 4.10.

Tabel 4.9 Hasil analisis E_b/N_o dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah

No	Jarak (m)	SNR (dB)	Eb/No (dB)	
			QPSK	16-QAM
1.	100	76.627	79.340	82.349
2.	200	66.994	69.707	72.716
3.	300	61.360	64.073	67.082
4.	400	57.362	60.075	63.084
5.	500	54.260	56.973	59.982

(Sumber : Perhitungan)



Gambar 4. 10 Hubungan Eb/No dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah
(Sumber :Perhitungan)

Berdasarkan analisis perhitungan Eb/No di atas dapat diketahui bahwa :

1. Besarnya nilai Eb/No dipengaruhi oleh jarak antara UE dan NodeB. Jarak yang lebih jauh, akan menyebabkan nilai Eb/No lebih kecil dibandingkan dengan jarak antara UE dan NodeB yang lebih dekat.
2. Kecepatan transmisi data untuk tiap modulasi juga mempengaruhi besarnya nilai Eb/No.
3. Nilai Eb/No yang paling besar adalah 79.340dB dengan jarak antara UE dan NodeB sebesar 100 m untuk modulasi QPSK dan yang paling kecil adalah 56.973dB dengan jarak antara UE dan NodeB sebesar 500 m untuk modulasi QPSK.

d. Analisis Bit Error Rate (BER)

- QPSK

Nilai BER dengan jarak antara NodeB dan UE sejauh 100 m dan $E_b/N_0=62.698$ dB dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 P_{b,QPSK} &= Q\left(\sqrt{2\frac{Eb}{No}}\right) \\
 &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\sqrt{\frac{Eb}{No}} \\
 &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\sqrt{79.340} \\
 &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(8.907)
 \end{aligned}$$

dimana,

$$\begin{aligned}
 \operatorname{erfc}(x) &\approx \frac{1}{\sqrt{\pi x}} e^{-x^2} \\
 &\approx \frac{1}{\sqrt{\pi}(8.907)} e^{-(8.907^2)} \\
 &\approx 6.642 \times 10^{-34}
 \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 P_{b \cdot QPSK} &= \frac{1}{2} \times 6.642 \times 10^{-34} \\
 &= 3.321 \times 10^{-34}
 \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan NodeB antara 200 m – 500 m, maka akan diperoleh nilai probabilitas *bit error* (P_b) modulasi QPSK seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.10.

- 16-QAM

Besarnya nilai BER atau probabilitas *bit error* (P_b), dengan menggunakan teknik modulasi 16-QAM pada jarak 1 km dengan $E_b/No = 49.411\text{dB}$ dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 P_{b \cdot 16-QAM} &= \frac{2(\sqrt{M}-1)}{\sqrt{M} \log_2 M} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{3 \log_2 M Eb}{4(M-1) No}}\right) \\
 &= \frac{2(\sqrt{16}-1)}{\sqrt{16} \log_2 16} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{3 \log_2 16}{4(16-1)} \times 82.349}\right) \\
 &= \frac{6}{16} \operatorname{erfc}(\sqrt{0.2 \times 82.349}) \\
 &= 0.375 \operatorname{erfc}(4.058)
 \end{aligned}$$

dimana,

$$\begin{aligned}
 \operatorname{erfc}(x) &\approx \frac{1}{\sqrt{\pi x}} \cdot e^{-x^2} \\
 &\approx \frac{1}{\sqrt{\pi(4.058)}} e^{-(4.058^2)} \\
 &\approx \frac{1}{3.569} e^{-16.467} \\
 &\approx 1.976 \times 10^{-8}
 \end{aligned}$$

Sehingga,

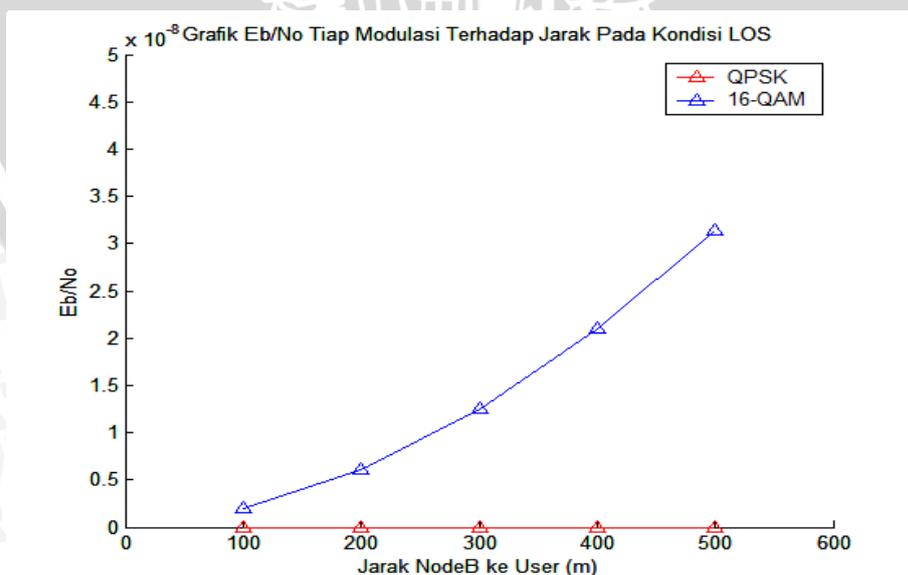
$$\begin{aligned}
 P_{b,16-QAM} &= 0.375 \times 1.976 \times 10^{-8} \\
 &= 7.410 \times 10^{-9}
 \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan NodeB antara 200 m – 500 m, maka akan diperoleh nilai P_b modulasi 16-QAM seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil analisis BER dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah

Jarak (m)	Bit Error Rate (BER)	
	QPSK	16-QAM
100	3.321×10^{-34}	7.410×10^{-9}
200	0.532×10^{-31}	5.253×10^{-8}
300	1.524×10^{-28}	1.657×10^{-7}
400	8.230×10^{-27}	3.749×10^{-7}
500	1.808×10^{-25}	6.945×10^{-7}

(Sumber :Perhitungan)



Gambar 4. 11 Hubungan BER dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah

(Sumber :Perhitungan)

Berdasarkan analisis perhitungan BER di atas dapat diketahui bahwa :

1. Besarnya nilai BER dipengaruhi oleh jarak antara UE dan NodeB. Jarak yang lebih jauh, akan menyebabkan nilai BER lebih besar dibandingkan dengan jarak antara UE dan NodeB yang lebih dekat.
2. Besarnya nilai E_b/N_0 untuk tiap modulasi juga mempengaruhi besarnya nilai BER.
3. Nilai BER yang paling besar adalah 6.945×10^{-7} dengan jarak antara UE dan NodeB sejauh 500 m untuk modulasi 16-QAM dan yang paling kecil adalah 3.321×10^{-34} dengan jarak antara UE dan NodeB sejauh 100 m untuk modulasi QPSK.

➤ **Parameter Performansi HSDPA Dengan Menggunakan Hasil Pengukuran *Drive Test***

Lokasi pengukuran *drive test* dilakukan di dalam area kampus Universitas Brawijaya. Dimulai dari asrama Brawijaya sampai dengan gazebo Fakultas Kedokteran. Berikut denah lokasi pengukuran *drive test* :



1. Lokasi 100 m (depan KOPMA Brawijaya)



2. Lokasi 200 m (parkiran POLINEMA)



3. Lokasi 300 m (Fakultas Kedokteran)



4. Lokasi 400 m (pertigaan gerbang veteran)



5. Lokasi 500 m (gazebo kedokteran)



BRAWIJAYA

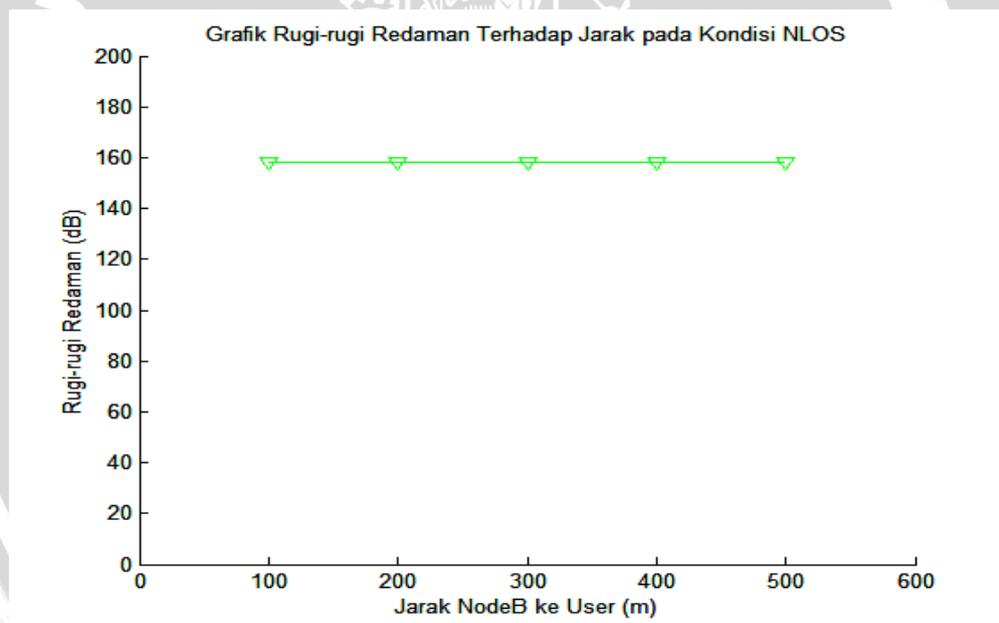


Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan, diperoleh nilai *path loss* dan daya terima (RSCP) yang kemudian akan digunakan untuk menghitung beberapa parameter sistem HSDPA yang lain. Nilai *path loss* dan daya terima yang diperoleh dari pengukuran *drive test* adalah sebagai berikut :

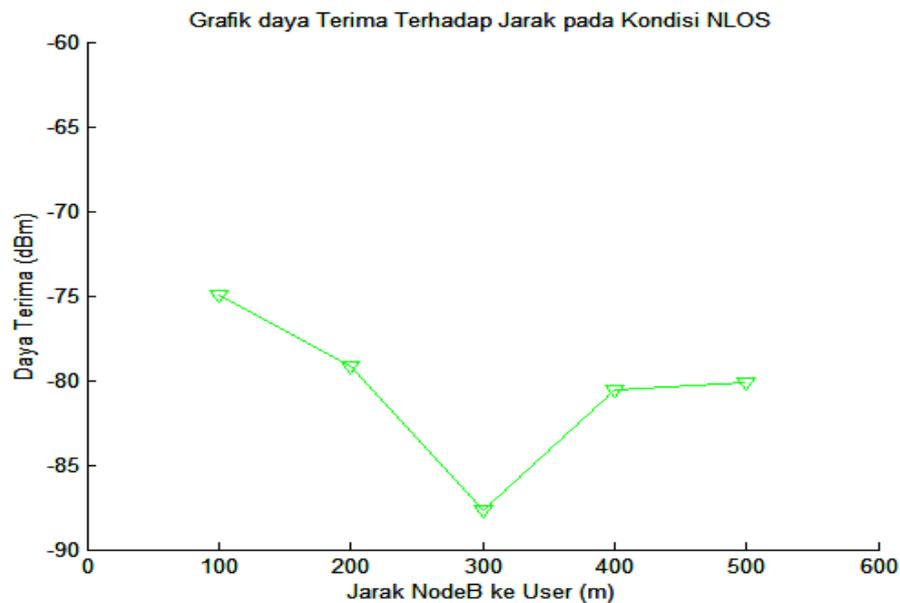
Tabel 4.11 Nilai *path loss* dan daya terima berdasarkan pengukuran *drive test*

No.	Jarak (m)	<i>Path Loss</i> (dB)	Daya Terima (dBm)
1.	100	158.00	-74.917
2.	200	158.00	-79.200
3.	300	158.00	-87.693
4.	400	158.00	-80.564
5.	500	158.00	-80.100

(Sumber: Pengukuran *drive test*)



Gambar 4. 12 Hubungan rugi-rugi redaman dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah
(Sumber : Pengukuran *drive test*)



Gambar 4. 13 Hubungan daya terima dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah
(Sumber : Pengukuran *drive test*)

Berdasarkan analisis perhitungan redaman propagasi (*path loss*) dan daya terima di atas dapat diketahui bahwa :

1. Besarnya *path loss* dipengaruhi oleh jarak antara UE dan NodeB. Jarak yang lebih jauh, akan menyebabkan redaman propagasi lebih besar dibandingkan dengan jarak antara UE dan NodeB yang lebih dekat. Sedangkan besarnya daya terima pada *receiver* (UE) dipengaruhi oleh nilai *path loss*, daya pancar pada *transmitter* (NodeB) dan *gain* antenna pada sisi NodeB dan UE.
2. Frekuensi kerja dan tinggi antenna yang digunakan juga mempengaruhi besarnya nilai redaman propagasi.
3. Redaman propagasi yang paling besar adalah 108.639 dB dengan jarak antara UE dan NodeB sebesar 500 m dan yang paling kecil adalah 86.272 dB dengan jarak antara UE dan NodeB sebesar 100 m. Sedangkan daya terima pada *receiver* (UE) yang paling besar adalah -53.375 dBm dengan jarak antara UE dan NodeB sebesar 100 m dan yang paling kecil adalah -75.742 dBm dengan jarak antara UE dan NodeB sebesar 500 m.

a. **Signal to Noise Ratio (SNR)**

Untuk menghitung nilai SNR dari hasil pengukuran *drive test*, perhitungan menggunakan persamaan yang sama seperti persamaan dalam menghitung SNR dengan

pengaruh *fading* lintasan jamak. Namun, data daya diterima menggunakan data yang terdapat pada Tabel 4.11 yang merupakan hasil pengukuran *drive test*. Dengan menggunakan daya *noise* (N) yang sama seperti perhitungan sebelumnya, yaitu sebesar -130.300dBm, maka nilai SNR pada jarak 100 m dapat dihitung seperti berikut di bawah ini :

$$\begin{aligned} SNR_{(dB)} &= P_r(dBm) - N_o(dBm) \\ &= -74.917 - (-130.300) \\ &= 55.383dB \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai SNR untuk jarak UE dan NodeB antara 200 m – 500 m.

Untuk nilai SNR = 55.383 dB = 0.345×10^6 , diperoleh SNR sistem dengan persamaan (2-30) berikut :

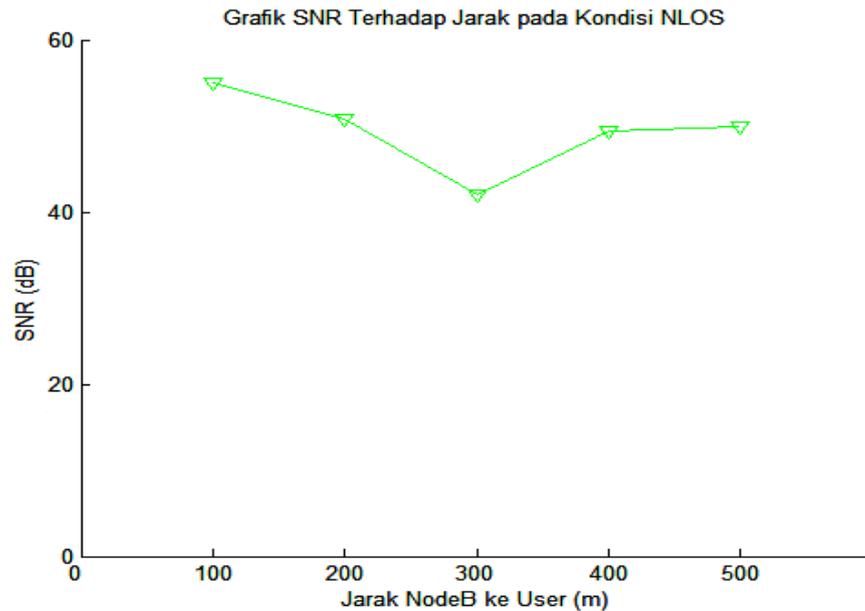
$$\begin{aligned} SNR_{sistem} &= (1 - \alpha_{cp}) SNR \\ SNR_{sistem} &= (1 - 0.066) 0.345 \times 10^6 \\ SNR_{sistem} &= 0.322 \times 10^6 \\ SNR_{sistem} &= 55.078 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai SNR sistem untuk jarak UE dan NodeB antara 200 m – 500 m. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.12. Hubungan antara SNR sistem terhadap perubahan jarak ditunjukkan pada Gambar 4.14.

Tabel 4.12 Hasil Analisis SNR sistem dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah

No.	Jarak (m)	Daya Terima (dBm)	Noise (dBm)	SNR sistem (dB)
1.	100	-74.917	-130.300	55.078
2.	200	-79.200	-130.300	50.755
3.	300	-87.693	-130.300	42.041
4.	400	-80.564	-130.300	49.395
5.	500	-80.100	-130.300	49.867

(Sumber:Perhitungan)



Gambar 4. 14 Hubungan SNR dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah
(Sumber :Perhitungan)

Berdasarkan analisis perhitungan *signal to noise ratio* (SNR) sistem di atas dapat diketahui bahwa :

1. Besarnya nilai SNR sistem tidak dipengaruhi oleh jarak antara UE dan NodeB
2. Panjang *cyclic prefix* yang digunakan juga mempengaruhi besarnya nilai SNR sistem.
3. Nilai SNR sistem yang paling besar adalah 55.078dB dengan jarak antara UE dan NodeB sebesar 100 m dan yang paling kecil adalah 49.867 dB dengan jarak antara UE dan NodeB sebesar 500 m.

b. Analisis Energy bit to Noise Ratio (Eb/No)

Perhitungan nilai Eb/No jamak pada jarak 100 m dengan nilai SNR sistem = 55.078dB dan menggunakan modulasi QPSK yang mempunyai data rate 8.4 Mbps, dapat diperoleh dengan cara:

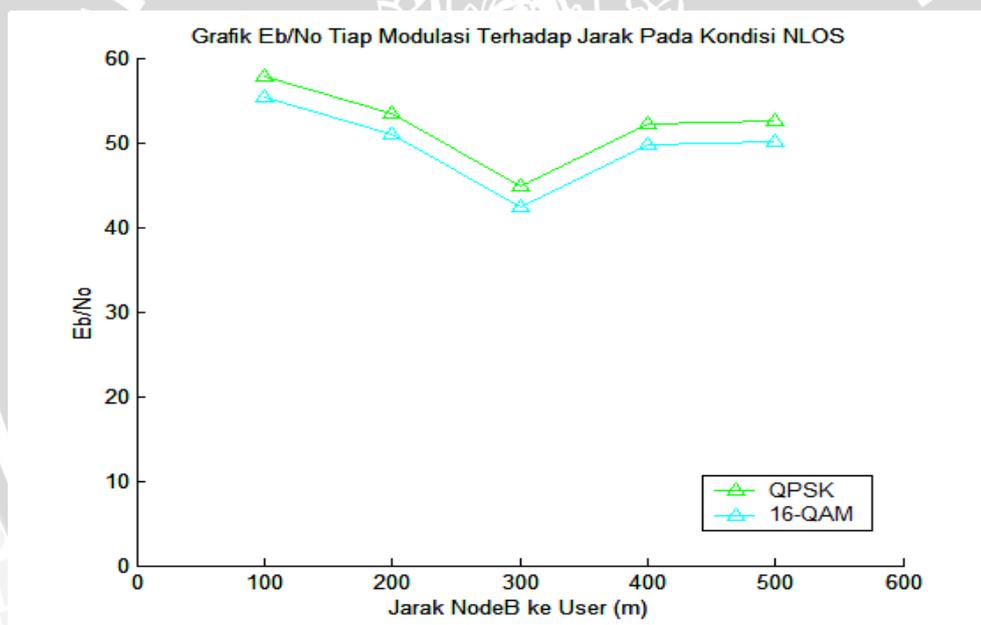
$$\begin{aligned}
 \frac{E_b}{N_o} &= \frac{S}{N} - 10 \log \frac{B}{R} \\
 &= 55.078 - 10 \log \left(\frac{4.498 * 10^6}{8.4 * 10^6} \right) \\
 &= 55.078 - (-2.713) \\
 &= 57.791 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk modulasi 16-QAM yang mempunyai data rate 16.8 Mbps serta jarak antara UE dan NodeB 100 m – 500m, maka akan diperoleh nilai Eb/No seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.13. Hubungan antara Eb/No terhadap perubahan jarak ditunjukkan pada Gambar 4.15.

Tabel 4.13 Hasil analisis Eb/No dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah

No	Jarak (m)	SNR (dB)	Eb/No (dB)	
			QPSK	16-QAM
1.	100	55.078	57.791	55.345
2.	200	50.755	53.468	51.022
3.	300	42.041	44.754	42.308
4.	400	49.395	52.108	49.662
5.	500	49.867	52.580	50.134

(Sumber : Perhitungan)



Gambar 4. 15 Hubungan Eb/No dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah

(Sumber :Perhitungan)

Berdasarkan analisis perhitungan Eb/No di atas dapat diketahui bahwa :

1. Besarnya nilai Eb/No tidak dipengaruhi oleh jarak antara UE dan NodeB. Kecepatan transmisi data untuk tiap modulasi juga mempengaruhi besarnya nilai Eb/No.
2. Nilai Eb/No yang paling besar adalah 57.791 dB dengan jarak antara UE dan NodeB sebesar 100 m untuk modulasi QPSK dan yang paling kecil adalah

42.308 dB dengan jarak antara UE dan NodeB sebesar 500 m untuk modulasi 16-QAM.

c. Analisis *Bit Error Rate* (BER)

- QPSK

Nilai BER dengan jarak antara NodeB dan UE sejauh 100 m dan $E_b/N_0 = 57.791$ dB dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} P_{b,QPSK} &= Q\left(\sqrt{2\frac{E_b}{N_0}}\right) \\ &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \\ &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\sqrt{57.791} \\ &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(7.602) \end{aligned}$$

dimana,

$$\begin{aligned} \operatorname{erfc}(x) &\approx \frac{1}{\sqrt{\pi x}} e^{-x^2} \\ &\approx \frac{1}{\sqrt{\pi(7.602)}} e^{-(7.602)^2} \\ &\approx 1.634 \times 10^{-26} \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} P_{b,QPSK} &= \frac{1}{2} \times 1.634 \times 10^{-26} \\ &= 0.817 \times 10^{-26} \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan NodeB antara 200 m – 500 m, maka akan diperoleh nilai probabilitas *bit error* (P_b) modulasi QPSK seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.14.

- 16-QAM

Besarnya nilai BER atau probabilitas *bit error* (P_b), dengan menggunakan teknik modulasi 16-QAM pada jarak 100 m dengan $E_b/N_0 = 55.345$ dB dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 P_{b,16-QAM} &= \frac{2(\sqrt{M}-1)}{\sqrt{M} \log_2 M} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{3 \log_2 M Eb}{4(M-1) N_0}} \right) \\
 &= \frac{2(\sqrt{16}-1)}{\sqrt{16} \log_2 16} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{3 \log_2 16}{4(16-1)} \times 55.345} \right) \\
 &= \frac{6}{16} \operatorname{erfc}(\sqrt{0.2 \times 55.345}) \\
 &= 0.375 \operatorname{erfc}(3.327)
 \end{aligned}$$

dimana,

$$\begin{aligned}
 \operatorname{erfc}(x) &\approx \frac{1}{\sqrt{\pi x}} e^{-x^2} \\
 &\approx \frac{1}{\sqrt{\pi(3.327)}} e^{-(3.327^2)} \\
 &\approx \frac{1}{3.232} e^{-11.068} \\
 &\approx 4.823 \times 10^{-6}
 \end{aligned}$$

Sehingga,

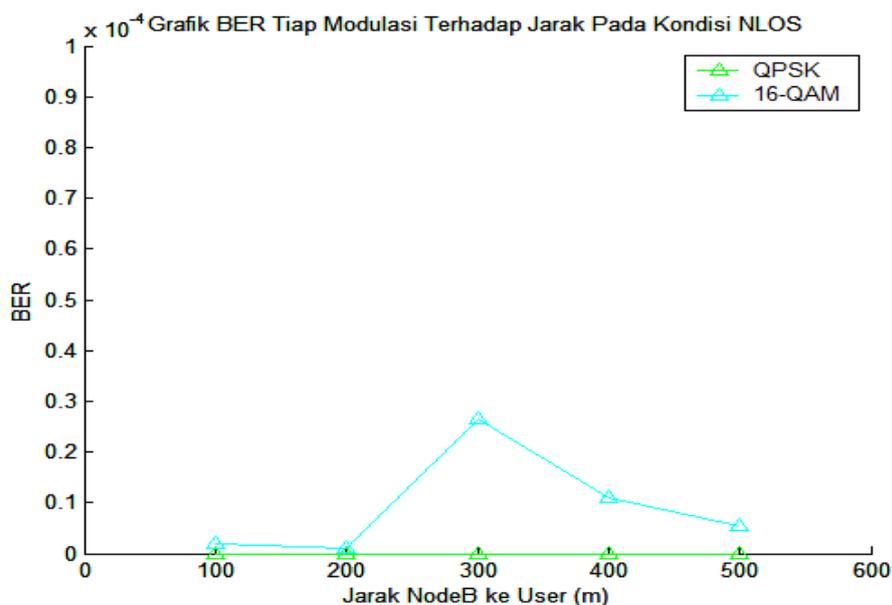
$$\begin{aligned}
 P_{b,16-QAM} &= 0.375 \times 4.823 \times 10^{-6} \\
 &= 1.808 \times 10^{-6}
 \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan NodeB antara 200 m – 500 m, maka akan diperoleh nilai P_b modulasi 16-QAM seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.14.

Tabel 4. 14 Hasil analisis BER dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah

Jarak (m)	Bit Error Rate (BER)	
	QPSK	16-QAM
100	0.817×10^{-26}	1.808×10^{-6}
200	6.29×10^{-25}	1.099×10^{-6}
300	4.043×10^{-21}	2.639×10^{-5}
400	2.483×10^{-24}	1.111×10^{-5}
500	1.536×10^{-24}	0.527×10^{-5}

(Sumber :Perhitungan)



Gambar 4. 16 Hubungan BER dengan jarak antara UE dan NodeB yang berubah-ubah
(Sumber :Hasil Perhitungan)

Berdasarkan analisis perhitungan BER di atas dapat diketahui bahwa :

1. Besarnya nilai BER dipengaruhi oleh jarak antara UE dan NodeB. Jarak yang lebih jauh, akan menyebabkan nilai BER lebih besar dibandingkan dengan jarak antara UE dan NodeB yang lebih dekat.
2. Besarnya nilai E_b/N_0 untuk tiap modulasi juga mempengaruhi besarnya nilai BER.
3. Nilai BER yang paling besar adalah 6.945×10^{-7} dengan jarak antara UE dan NodeB sejauh 500 m untuk modulasi 16-QAM dan yang paling kecil adalah 3.321×10^{-34} dengan jarak antara UE dan NodeB sejauh 100 m untuk modulasi QPSK.

4.1.3 Analisis Parameter Performansi HSDPA Tanpa Pengaruh dan Dengan Pengaruh *Fading* Lintasan Jamak

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh nilai beberapa parameter sistem HSDPA baik yang tidak dipengaruhi maupun dipengaruhi oleh *multipath fading*. Nilai-nilai dari parameter performansi sistem HSDPA antara lain sebagai berikut :

a. Daya terima (Pr)

Tabel 4.15 Nilai Daya Terima Sinyal pada Kondisi LOS dan NLOS

No.	Jarak (m)	<i>Line of Sight</i> (LOS)	<i>Non-Line of Sight</i> (NLOS)	
		Daya Terima (dBm)	Daya Terima Perhitungan Teori (dBm)	Daya Terima Pengukuran <i>drive test</i> (dBm)
1.	100	-45.164	-86.314	-74.917
2.	200	-51.185	-53.375	-79.200
3.	300	-54.707	-63.008	-87.693
4.	400	-57.206	-68.643	-80.564
5.	500	-59.144	-72.641	-80.100

(Sumber : Hasil Perhitungan)

- Kondisi *Line Of Sight* (LOS) : sinyal masih dapat diterima dan diproses dengan baik sampai dengan jarak 500 m, karena daya terima (Pr = -59.144 dBm) tidak melebihi sensitivitas penerima (-106.5 dBm)
- Kondisi *Non-Line Of Sight* (NLOS) : sinyal masih dapat diterima dan diproses dengan baik sampai jarak 500 m karena tidak melebihi sensitivitas penerima.
- Hasil pengukuran *drive test* menunjukkan bahwa jarak tidak mempengaruhi nilai dari daya terima.

b. Signal to noise ratio (SNR)

Tabel 4.16 Nilai SNR sistem Pada Kondisi LOS dan NLOS

No.	Jarak (m)	<i>Line of Sight</i> (LOS)	<i>Non-Line of Sight</i> (NLOS)	
		SNR (dBm)	SNR Perhitungan Teori (dB)	SNR Pengukuran <i>drive test</i> (dB)
1.	100	82.697	76.627	50.755
2.	200	76.976	66.994	42.041
3.	300	73.454	61.360	49.395
4.	400	70.955	57.362	49.867
5.	500	69.017	54.260	50.755

(Sumber : Hasil Perhitungan)

- Semakin besar nilai SNR maka kualitas sinyal terima akan semakin baik. Nilai SNR akan menurun sesuai dengan penambahan jarak (d) dan penurunan daya terima (P_r). Artinya, kualitas sinyal akan semakin buruk apabila jarak antara *transmitter* dan *receiver* semakin jauh. *Bandwidth* yang lebar akan menyebabkan nilai *noise* (N) menjadi semakin kecil, sehingga nilai SNR akan semakin besar.
- Hasil pengukuran *drive test* menunjukkan bahwa jarak tidak mempengaruhi nilai SNR. Semakin besar nilai SNR maka kualitas sinyal yang diterima akan semakin baik. Nilai SNR dari hasil pengukuran lebih bagus dibandingkan dengan nilai SNR berdasarkan perhitungan teori.

c. *Energy bit to noise ratio (Eb/No)*

Tabel 4.17 Nilai Eb/No hasil perhitungan dan pengukuran

No.	Jarak (m)	<i>Line of Sight</i> (LOS)		<i>Non-Line of Sight</i> (NLOS)			
		Eb/no		Eb/No Perhitungan Teori		Eb/No Pengukuran <i>drive test</i>	
		QPSK	16-QAM	QPSK	16-QAM	QPSK	16-QAM
1.	100	85.709	88.718	79.340	82.349	57.791	55.345
2.	200	79.689	82.698	69.707	72.716	53.468	51.022
3.	300	76.167	79.176	64.073	67.082	44.754	42.308
4.	400	73.668	76.677	60.075	63.084	52.108	49.662
5.	500	71.730	74.739	56.973	59.982	52.580	50.134

(Sumber :HasilPerhitungan)

- Semakin besar nilai Eb/No maka kualitas sinyal terima akan semakin baik.
- Semakin besar nilai *bit rate* (R) maka nilai Eb/No akan semakin besar, dan semakin besar nilai *bandwidth* (B) maka nilai Eb/No akan semakin kecil.
- Pada perhitungan teori kondisi NLOS, semakin jauh jarak antara *transmitter* (NodeB) dan *receiver* (UE), maka nilai Eb/No akan semakin kecil.
- Hasil pengukuran *drive test* memperlihatkan bahwa jarak tidak mempengaruhi nilai Eb/No. Nilai Eb/No yang diperoleh lebih rendah dibandingkan dengan nilai dari hasil perhitungan.

d. Bit error rate (BER)

Tabel 4.18 Nilai BER hasil perhitungan dan pengukuran

No.	Jarak (m)	Line of Sight (LOS)		Non-Line of Sight (NLOS)			
		BER		BER Perhitungan Teori		BER Pengukuran <i>drive test</i>	
		QPSK	16-QAM	QPSK	16-QAM	QPSK	16-QAM
1.	100	0.064×10^{-38}	2.037×10^{-9}	3.321×10^{-34}	7.410×10^{-9}	0.817×10^{-26}	1.808×10^{-6}
2.	200	1.402×10^{-36}	6.093×10^{-9}	0.532×10^{-31}	5.253×10^{-8}	6.29×10^{-25}	1.099×10^{-6}
3.	300	4.811×10^{-35}	1.254×10^{-8}	1.524×10^{-28}	1.657×10^{-7}	4.043×10^{-21}	2.639×10^{-5}
4.	400	5.51×10^{-34}	2.092×10^{-8}	8.230×10^{-27}	3.749×10^{-7}	2.483×10^{-24}	1.111×10^{-5}
5.	500	4.19×10^{-33}	3.135×10^{-8}	1.808×10^{-25}	6.945×10^{-7}	1.536×10^{-24}	0.527×10^{-5}

(Sumber : Hasil Perhitungan)

- Kualitas sinyal terima akan semakin baik bila nilai BER semakin kecil.
- Pada perhitungan teori, nilai BER akan meningkat sesuai dengan pertambahan jarak antara *transmitter* dan *receiver*. Sedangkan pada hasil pengukuran, jarak tidak mempengaruhi nilai BER.
- Semakin kecil nilai E_b/N_0 maka nilai BER akan semakin besar.
- Nilai BER dari hasil perhitungan lebih baik dibandingkan dengan nilai BER dari hasil pengukuran *drive test*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan dalam bab sebelumnya, maka dari perhitungan dan analisis pengaruh *fading* lintasan jamak terhadap performansi HSDPA dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. *Fading* lintasan jamak berpengaruh pada performansi HSDPA, yaitu pada *path loss* dan daya terima, sehingga mengakibatkan nilai SNR, Eb/No dan BER selalu berubah mengikuti perubahan *path loss* dan daya terima.
2. Untuk jarak antara Node-B dan UE yang divariasikan mulai dari 100 m – 500 m pada kondisi *Line of Sight* (LOS) dan *Non-Line of Sight* (NLOS), maka dapat disimpulkan :
 - a. Nilai rugi-rugi propagasi pada kondisi LOS lebih kecil daripada kondisi NLOS pada jarak yang sama. Pada jarak 500 m pada kondisi LOS, nilai *path loss* yaitu sebesar 92.041 dB. Sedangkan pada kondisi NLOS sebesar 108.639 dB.
 - b. Sinyal pada kondisi LOS dan NLOS masih dapat diterima dan diproses dengan baik sampai jarak 500 m dengan daya terima -59.144 dBm pada kondisi LOS dan 72.641dBm pada kondisi NLOS. Hal ini dikarenakan daya terima sinyal tidak melebihi sensitivitas penerima yang besarnya -106.5 dBm.
 - c. Nilai SNR_{sistem} pada kondisi LOS dengan jarak 500 m yaitu sebesar 69.017dB. Sedangkan pada kondisi NLOS dengan jarak 500 m, nilai SNR_{sistem} yaitu sebesar 54.260 dB.
 - d. Teknik modulasi 16-QAM memiliki nilai Eb/No yang paling besar dan QPSK memiliki nilai Eb/No yang paling kecil baik pada kondisi LOS dan NLOS dengan jarak yang sama.
 - e. Semakin besar nilai Eb/No, maka semakin tinggi nilai BER. Dalam hal ini pada kondisi LOS maupun NLOS, modulasi 16-QAM menghasilkan nilai BER yang paling besar pada jarak yang sama apabila dibandingkan dengan modulasi yang lainnya. Untuk modulasi 16-QAM, nilai BER pada kondisi LOS dan NLOS masih memenuhi batas nilai maksimum BER pada HSDPA yaitu sebesar 10^{-3} .

5.2 Saran

Saran yang diberikan untuk penelitian lebih lanjut tentang analisis pengaruh *fading* lintasan jamak terhadap performansi HSDPA antara lain yaitu :

1. Skripsi ini dapat dikembangkan dengan mempertimbangkan tinggi gedung agar terlihat apakah tinggi gedung juga berpengaruh terhadap *fading* lintasan jamak.
2. Membandingkan hasil pengukuran drive test pada waktu yang berbeda-beda agar mendapatkan nilai perbandingan yang lebih banyak.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR PUSTAKA

Chen, Kwang-Cheng, J. Roberto B. De Marca. 2008. *MOBILE WiMAX*. New York : John Wiley & Sons, Inc.

Citra, Astika. 2010. *Pengaruh Multipath Fading Terhadap Performansi WCDMA*. Skripsi tidak dipublikasikan. Malang : Universitas Brawijaya.

Ergen, Mustafa. 2009. *Mobile Broadband (WiMAX and HSDPA)*. USA : Berkeley, CA.

Forouzan, Behrouz A. 2000. *Data Communications and Networking 2nd edition*. Mc Graw-Hill International Edition.

Goldsmith, Andrea. 2005. *Wireless Communications*. Cambridge University Press : Stanford University.

ITU-R Recommendation M.1225. 1997. *Guidelines for evaluation of radio transmission technologies for IMT-2000*.

Prasad, Ramjee. 2004. *OFDM for wireless communications systems*. London : Artech House.

Xiong, Fuqin. 2006. *Digital Modulation Technique*. London : Artech House, Inc.

<http://www.itttelkom.ac.id>

<http://www.3gpp.org>



LAMPIRAN

Lampiran 1 Listing Program Matlab Menghitung Path Loss dan Daya Terima

```

clear;
clc;
d0=100;%jarak awal dalam meter
d1=500;%jarak akhir dalam meter
d=(d0:100:d1);
R0=0.1;%jarak awal dalam kilometer
R1=0.5;%jarak akhir dalam kilometer
R=(R0:1:R1);
L=0.127;%lamdha
t=50;%tinggi antena
f=1.9*10^3;%frekuensi kerja
pi=3.14;
Pt=43;%daya transmitter
Gt=18;%gain transmitter
Gr=2;%gain receiver
PL1=(-20)*log10 (L./(4*pi*d))%path loss LOS
PL2=(40*(1-((4*10^-3)*t))*log10(R))-18*log10(t)+21*log10(f)+80%path loss NLOS
Pr1=Pt+Gt+Gr-PL1-10*log10(1024)%daya terima LOS
Pr2=Pt+Gt+Gr-PL2-10*log10(1024)%daya terima NLOS
% Plot grafik
% Grafik Path Loss terhadap Jarak
figure (1)
plot (d,PL1,'-^r',d,PL2,'-^b');
axis([0 600 0 160])
hold on
grid on
title('Grafik Rugi-Rugi Redaman Terhadap Jarak');
xlabel('Jarak NodeB ke User (m)');
ylabel('Rugi-Rugi Redaman (dB)');
figure (2)
plot (d,Pr1,'-^r',d,Pr2,'-^b');

```

```
axis([0 600 -120 -50])  
hold on  
grid on  
title('Grafik Daya Terima Terhadap Jarak');  
xlabel('Jarak NodeB ke User (m)');  
ylabel('Daya Terima (dBm)');
```



Lampiran 2 Listing Program Matlab Menghitung SNR sistem

```

k=1.38*10^-23;% konstanta Boltzman
T=300;% Suhu (K)
B=4.498*10^6;% bandwidth sistem
NF=7;% Noise Figure
d0=100;
d1=500;
d=(d0:1000:d1);
e=(d0:1000:4000);
R0=1;
R1=4;
R=(R0:0.1:R1);% Jarak (km) maks antara UE dan NodeB
L=0.127;
t=50;% tinggi NodeB
f=1.9*10^3;% frekuensi carrier
pi=3.14;
Pt=43;% Daya transmitter
Gt=18;% Gain transmitter
Gr=2;% Gain receiver
cp=0.066;% cyclic prefix
PL1=(-20)*log10(L./(4*pi*d));% Path loss LOS
PL2=(40*(1-((4*10^-3)*t))*log10(R))-18*log10(t)+21*log10(f)+80;% Path loss NLOS
Pr1=Pt+Gt+Gr-PL1-10*log10(1024);% Daya Terima LOS
Pr2=Pt+Gt+Gr-PL2-10*log10(1024);% Daya Terima NLOS
No=10*log10(k*T)+10*log10(B)+NF;% Daya Noise QPSK,16-QAM
SNR1=Pr1-No;% kondisi LOS
SNR2=Pr2-No;% kondisi NLOS
snr1=10.^(SNR1/10);% kondisi LOS
snr2=10.^(SNR2/10);% kondisi NLOS
snrsistem1=(1-cp).*snr1;% kondisi LOS
snrsistem2=(1-cp).*snr2;% kondisi NLOS
SNRsistem1=10.*log10(snrsistem1)% kondisi LOS
SNRsistem2=10.*log10(snrsistem2)% kondisi NLOS

```

figure (1)

```
plot(d,SNR1,'-^r',e,SNR2,'-^b');
```

```
axis([0 600 0 80])
```

```
hold on
```

```
grid on
```

```
title('Grafik SNR Terhadap Jarak');
```

```
xlabel('Jarak NodeB ke User (m)');
```

```
ylabel('SNR (dB)');
```

figure (2)

```
plot(d,SNRsistem1,'-^r',e,SNRsistem2,'-^b');
```

```
axis([0 600 0 80])
```

```
hold on
```

```
grid on
```

```
title('Grafik SNRsistem Terhadap Jarak');
```

```
xlabel('Jarak NodeB ke User (m)');
```

```
ylabel('SNRsistem (dB)');
```



Lampiran 3 Listing Program Matlab Menghitung Eb/No

```

k=1.38*10^-23;%konstanta Boltzman
T=300;%Suhu (K)
B=4.498*10^6;% QPSK,16-QAM
NF=7;%Noise Figure
d0=100;
d1=500;
d=(d0:1000:d1);
e=(d0:1000:4000);
R0=1;
R1=4;
R=(R0:0.1:R1);
L=0.127;% lamdha
t=50;%tinggi NodeB
f=1.9*10^3;%frekuensi kerja
pi=3.14;
Pt=43;% Daya transmitter
Gt=18;% Gain transmitter
Gr=2;% Gain receiver
cp=0.066;% cyclic prefix
PL1=(-20)*log10(L./(4*pi*d));%Path loss LOS
PL2=(40*(1-((4*10^-3)*t))*log10(R))-18*log10(t)+21*log10(f)+80;%Path loss NLOS
Pr1=Pt+Gt+Gr-PL1-10*log10(1024);%Daya Terima LOS
Pr2=Pt+Gt+Gr-PL2-10*log10(1024);%Daya Terima NLOS
No=10*log10(k*T)+10*log10(B)+NF;%Daya Noise QPSK,16-QAM
SNR1=Pr1-No;%kondisi LOS
SNR2=Pr2-No;%kondisi NLOS
snr1=10.^(SNR1/10);%kondisi LOS
snr2=10.^(SNR2/10);%kondisi NLOS
snrsistem1=(1-cp).*snr1;%kondisi LOS
snrsistem2=(1-cp).*snr2;%kondisi NLOS
SNRsistem1=10.*log10(snrsistem1)%kondisi LOS
SNRsistem2=10.*log10(snrsistem2)%kondisi NLOS

```

$E_b/N_01 = SNR_{sistem1} - (-2.713) \% \text{kondisi LOS dengan data rate 4.2 Mbps}$
 $E_b/N_02 = SNR_{sistem2} - (-2.713) \% \text{kondisi NLOS dengan data rate 4.2 Mbps}$
 $E_b/N_03 = SNR_{sistem1} - (-5.722) \% \text{kondisi LOS dengan data rate 8.4 Mbps}$
 $E_b/N_04 = SNR_{sistem2} - (-5.722) \% \text{kondisi NLOS dengan data rate 8.4 Mbps}$

figure (1)

```
plot(d,EbNo1,'-^r',d,EbNo3,'-^blue',d,EbNo5,'-^black');
```

```
axis([0 600 0 85])
```

```
hold on
```

```
grid on
```

```
title('Grafik Eb/No Terhadap Jarak Pada Tiap Modulasi');
```

```
xlabel('Jarak NodeB ke User (m)');
```

```
ylabel('Eb/No (dB)');
```

figure (2)

```
plot(e,EbNo2,'-^r',e,EbNo4,'-^blue',e,EbNo6,'-^black');
```

```
axis([0 500 0 60])
```

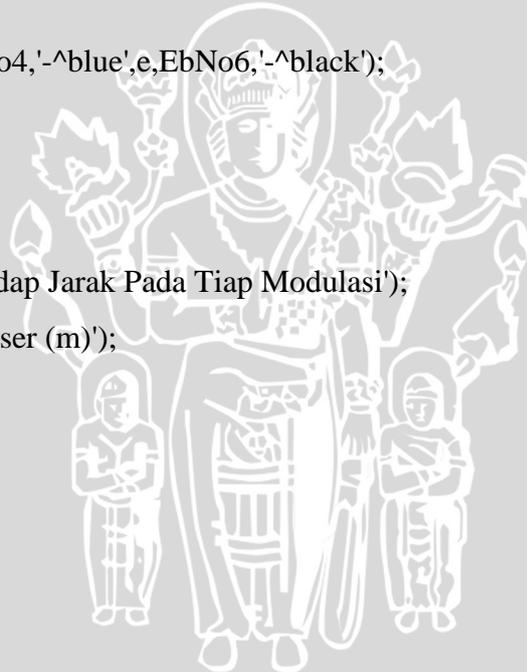
```
hold on
```

```
grid on
```

```
title('Grafik Eb/No Terhadap Jarak Pada Tiap Modulasi');
```

```
xlabel('Jarak NodeB ke User (m)');
```

```
ylabel('Eb/No (dB)');
```



Lampiran 4 Listing Program Matlab Menghitung BER

```

d = [100:100:500];%jarak LOS
e = [100:100:400];%jarak NLOS
a1 = [0.064*10^-38; 1.402*10^-36; 4.811*10^-35; 5.51*10^-34; 4.19*10^-33];%BER
QPSK LOS
a2 = [3.321*10^-34; 0.532*10^-31; 1.524*10^-28; 8.230*10^-27; 1.808*10^-25];%BER
QPSK NLOS
b1 = [2.307*10^-9; 6.093*10^-9; 1.254*10^-8; 2.092*10^-8; 3.135*10^-8];%BER 16-
QAM LOS
b2 = [7.410*10^-9; 5.253*10^-8; 1.657*10^-7; 3.749*10^-7; 6.945*10^-24];%BER 16-
QAM NLOS
figure (1)
plot (d,a1,'-^r',d,b1,'-^blue',d,c1,'-^black');
axis([0 600 0 0.0025])
hold on
grid on
title('Grafik BER Tiap Modulasi Terhadap Jarak Pada Kondisi LOS');
xlabel('Jarak NodeB ke User (m)');
ylabel('BER');
figure (2)
plot (e,a2,'-^r',e,b2,'-^blue',e,c2,'-^black');
axis([0 500 0 0.016])
hold on
grid on
title('Grafik BER Tiap Modulasi Terhadap Jarak Pada Kondisi NLOS');
xlabel('Jarak NodeB ke User (m)');
ylabel('BER');

```