

PENERAPAN SISTEM ANTRIAN *MULTIPLE-INPUT MULTIPLE-OUTPUT* PADA JARINGAN WCDMA

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

ANDRI FAHLEVI
NIM. 0610632004-63

KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2010

PENERAPAN SISTEM ANTRIAN *MULTIPLE-INPUT MULTIPLE-OUTPUT* PADA JARINGAN WCDMA

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

ANDRI FAHLEVI
NIM. 0610632004-63

Dosen Pembimbing :

Dosen Pembimbing I

Ir. Wahyu Adi Priyono, MSc.
NIP.19600518 198802 1 001

Dosen Pembimbing II

Dwi Fadila K., ST., MT.
NIP.19720630 200003 1 002

PENERAPAN SISTEM ANTRIAN *MULTIPLE-INPUT MULTIPLE-OUTPUT* PADA JARINGAN WCDMA

Disusun oleh :

ANDRI FAHLEVI
NIM. 0610632004-63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 30 Juli 2010

Majelis Pengaji :

Rusmi Ambarwati, ST, MT
NIP.19720204 200003 2 002

Ir. Endah Budi P., MT
NIP.19621116 198903 2 002

Ali Mustafa, ST., MT.
NIP.19710601 200003 1 001

Mengetahui :
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Rudy Yuwono, ST., M.Sc
NIP.19710615 199802 1 003

PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah SWT. atas rahmat, hidayah, ridho, nikmat, dan Karunia-Nya serta kekuatan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul "**Penerapan Sistem Antrian Multiple-Input Multiple-Output pada jaringan WCDMA**" dengan lancar dan baik.

Penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah membantu dan mendukung dalam penyelesaian skripsi ini, yaitu dosen dan karyawan Universitas Brawijaya khususnya Teknik Elektro atas bimbingan dan bantuannya, serta seluruh rekan-rekan Teknik atas segala dukungannya.

Penyusun menyadari bahwa yang tersusun dalam skripsi ini masih banyak kekurangan-kekurangan dan jauh dari sempurna. Karena itu kritik dan saran sangat kami harapkan demi kesempurnaan maupun pengembangan penyusunan skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa khususnya dan bagi seluruh pembaca pada umumnya.

Malang, Juli 2010

Penyusun



DAFTAR ISI

<i>PENGANTAR</i>	i
<i>DAFTAR ISI</i>	ii
<i>DAFTAR TABEL</i>	vi
<i>DAFTAR GAMBAR</i>	vii
<i>ABSTRAK</i>ix

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup.....	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum.....	4
2.2 <i>Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA)</i>	5
2.2.1 Teknologi WCDMA	5
2.2.2 Teknologi DS-CDMA	5
2.3 Arsitektur WCDMA	6
2.3.1 <i>UE (User Equipment)</i>	7
2.3.2 <i>UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network)</i>	7
2.3.2.1 <i>RNC (Radio Network Controller)</i>	8
2.3.2.2 Node B	8
2.3.3 <i>CN (Core Network)</i>	8
2.3.3.1 <i>MSC (Mobile Switching Center)</i>	8
2.3.3.2 <i>VLR (Visitor Location Register)</i>	8
2.3.3.3 <i>HLR (Home Location Register)</i>	8
2.3.3.4 <i>SGSN (Serving GPRS Support Node)</i>	8
2.3.3.5 <i>GGSN (Gateway GPRS Support Node)</i>	9
2.3.4 Interface Jaringan	9
2.3.5 Spesifikasi Teknis WCDMA	9
2.4 <i>Air Interface</i> WCDMA.....	11



2.4.1	<i>Convolutional Code</i>	11
2.4.2	<i>Convolutional Encoder</i>	11
2.4.3	<i>Convolutional Decoder</i>	12
2.4.4	<i>Interleaving</i>	13
2.4.5	<i>Modulasi</i>	14
2.5	Jenis Layanan UMTS	15
2.5.1	<i>Circuit Switched</i>	15
2.5.2	<i>Packet Switched</i>	15
2.6	<i>Spreading</i>	15
2.6.1	Kode Pseudo Noise M-Sequence	15
2.7	Teknologi Komunikasi Spread Spectrum	17
2.8	<i>Proses Spreading dan Despreadng</i>	19
2.9	<i>Redaman Propagasi (pathloss)</i>	19
2.10	<i>Transmit Diversity</i>	20
2.11	<i>Multiple Input Multiple Output (MIMO)</i>	21
2.12	Sistem Antrian	23
2.12.1	Proses Kedatangan	24
2.12.2	Proses Pelayanan	25
2.12.3	Kapasitas Sistem	25
2.12.4	Disiplin Antrian	25
2.13	Model Antrian	25
2.14	<i>Signal to Noise Ratio (SNR)</i>	26
2.15	<i>Energi bit to Noise (Eb/No)</i>	27
2.16	Perhitungan <i>Bit Error Rate (BER)</i>	29
2.17	Perhitungan <i>Delay</i>	30
2.18	<i>Delay Transmisi</i>	30
2.19	<i>Delay Propagasi</i>	31
2.20	Model Antrian dan <i>Delay Antrian</i>	31
2.20.1	Model sistem antrian WCDMA (M/M/1)	32
2.20.2	Model sistem antrian MIMO-WCDMA (M/M/4)	33
2.20.3	Delay antrian total	35
2.21	<i>Delay Total</i>	35
2.22	Perhitungan <i>Throughput</i>	36

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Pengambilan Data	37
3.1.1 Pengambilan Data Primer	37
3.2.2 Pengambilan Data Sekunder.....	37
3.2 Pemodelan Sistem	38
3.3 Analisis Sistem.....	40
3.3.1 <i>Bit Error Rate (BER)</i>	40
3.3.2 Perhitungan <i>Delay</i>	41
3.3.2.1 <i>Delay Transmisi</i>	41
3.3.2.2 <i>Delay Propagasi</i>	42
3.3.2.3 Model Antrian dan <i>Delay</i> Antrian.....	43
3.3.2.4 <i>Delay Total</i>	43
3.3.3 Proses Sistem Antrian.....	44
3.3.4 Perhitungan <i>Throughput</i>	44
3.4 Kesimpulan dan Saran.....	45

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum.....	46
4.2 Konfigurasi Jaringan WCDMA	48
4.3 Perhitungan Redaman Propagasi (<i>Path Loss</i>)	49
4.4 Perhitungan <i>Signal to Noise Ratio (SNR)</i>	51
4.5 Perhitungan <i>Energy bit to Noise Ratio (Eb/No)</i>	52
4.6 <i>Bit Error Rate (BER)</i>	54
4.7 <i>Delay Transmisi</i>	56
4.8 <i>Delay Propagasi</i>	57
4.9 Model Antrian dan <i>Delay</i> Antrian.....	58
4.9.1 Model sistem antrian WCDMA (M/M/1).....	58
4.9.2 Model sistem antrian MIMO-WCDMA (M/M/4).....	63
4.10 <i>Delay Total</i>	69
4.11 Perhitungan <i>Throughput</i>	72

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	77
5.2 Saran.....	77

DAFTAR PUSTAKA



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Spesifikasi Teknis WCDMA	10
Tabel 2.2	Skema Matriks Transmisi <i>Orthogonal Space Time Block Code</i>	21
Tabel 4.1	Parameter Perhitungan.....	46
Tabel 4.2	<i>Path Loss (PL)</i>	49
Tabel 4.3	Daya terima <i>receiver (Pr)</i>	50
Tabel 4.4	<i>Signal to Noise Ratio (SNR)</i>	52
Tabel 4.5	<i>Energy bit to Noise Ratio (Eb/No)</i>	53
Tabel 4.6	<i>Bit Error Rate (BER)</i> dan probabilitas paket <i>error</i>	56
Tabel 4.7	<i>Delay</i> propagasi total	58
Tabel 4.8	Kapasitas kanal SISO	59
Tabel 4.9	Kecepatan pelayanan paket (μ).....	60
Tabel 4.10	Kecepatan kedatangan paket (λ).....	60
Tabel 4.11	<i>Delay</i> rata-rata pelayanan antrian data	61
Tabel 4.12	<i>Delay</i> Antrian total	62
Tabel 4.13	Kapasitas kanal MIMO	64
Tabel 4.14	Kecepatan pelayanan paket (μ).....	64
Tabel 4.15	Kecepatan kedatangan paket (λ)	66
Tabel 4.16	<i>Delay</i> rata-rata pelayanan antrian data	67
Tabel 4.17	Probabilitas kedatangan paket	67
Tabel 4.18	<i>Delay</i> Antrian total	68
Tabel 4.19	<i>Delay</i> Total WCDMA (M/M/1).....	69
Tabel 4.20	<i>Delay</i> Total MIMO-WCDMA (M/M/4).....	71
Tabel 4.21	<i>Throughput</i> WCDMA (M/M/1).....	73
Tabel 4.22	<i>Throughput</i> MIMO-WCDMA (M/M/4).....	75



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sistem <i>Direct spread Spectrum</i>	6
Gambar 2.2	Arsitektur Jaringan WCDMA.....	7
Gambar 2.3	<i>Convolutional encoder</i> dengan nilai $R_c = 1/2$ and $L_c = 3$	11
Gambar 2.4	Skema <i>encoder</i> kode konvolusi	12
Gambar 2.5	Diagram <i>trellis</i> kode konvolusi	13
Gambar 2.6	Contoh skema <i>Blok interleaver</i>	13
Gambar 2.7	Konstelasi QPSK <i>gray mapping</i>	15
Gambar 2.8	<i>Simple Shift Register Generator</i>	16
Gambar 2.9	<i>Linear shift register sequence generator</i>	17
Gambar 2.10	Model Umum Sistem Komunikasi <i>Digital Spread Spectrum</i>	18
Gambar 2.11	Skema <i>Alamouti</i>	22
Gambar 2.12	Skema Transmisi Dengan 2 Antena Tx & 2 Antena Rx	22
Gambar 2.13	Model Antrian	24
Gambar 2.14	Model analisis node ke node	30
Gambar 2.15	Model Antrian WCDMA (M/M/1)	32
Gambar 2.16	<i>Model Antrian MIMO-WCDMA (M/M/4/∞/∞/FIFO)</i>	34
Gambar 3.1	Diagram Alir Proses Pemodelan Sistem	39
Gambar 3.2	Diagram Alir Proses Pemodelan Sistem Antrian	40
Gambar 3.3	Diagram Alir Perhitungan BER	41
Gambar 3.4	Diagram Alir Perhitungan <i>Delay</i> Transmisi	42
Gambar 3.5	Diagram Alir Perhitungan <i>Delay</i> Propagasi	42
Gambar 3.6	Diagram Alir Perhitungan <i>Delay</i> Antrian	43
Gambar 3.7	Diagram Alir Perhitungan <i>Delay</i>	43
Gambar 3.8	Diagram Alir Proses Sistem Antrian	44
Gambar 3.9	Diagram Alir Perhitungan <i>Throughput</i>	44
Gambar 4.1	Konfigurasi Jaringan WCDMA	48
Gambar 4.2	Grafik nilai <i>path loss</i>	50
Gambar 4.3	Grafik nilai level daya terima <i>receiver</i>	51
Gambar 4.4	Grafik nilai SNR	52
Gambar 4.5	Grafik nilai Eb/N0	54
Gambar 4.6	Model Antrian WCDMA (M/M/1)	59

Gambar 4.7	Grafik <i>Delay</i> antrian total	63
Gambar 4.8	Model Antrian M/M/4/ ∞/∞ /FIFO.....	65
Gambar 4.9	Grafik <i>Delay</i> antrian total	69
Gambar 4.10	Grafik nilai <i>Delay Total</i> WCDMA (M/M/1)	70
Gambar 4.11	Grafik nilai <i>Delay Total</i> MIMO-WCDMA (M/M/4)	72
Gambar 4.12	Grafik nilai <i>Throughput</i> WCDMA (M/M/1)	74
Gambar 4.13	Grafik nilai <i>Throughput</i> MIMO-WCDMA (M/M/4)	76

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



ABSTRAK

Andri Fahlevi, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2010, Penerapan Sistem Antrian *Multiple-Input Multiple-Output* pada Jaringan WCDMA, Dosen Pembimbing : Ir. Wahyu Adi P., MSc, Dwi Fadila K., ST., MT.

Perkembangan layanan komunikasi bergerak saat ini membutuhkan jaringan telekomunikasi yang memiliki *throughput* yang besar dan *delay* yang kecil. Untuk dapat memenuhi kebutuhan tersebut diperlukan perubahan pada sistem antrian pada jaringan WCDMA, sehingga perlu diketahui keandalan dari jaringan ini dengan mengetahui model sistem *delay* antrian.

Model sistem antrian MIMO pada jaringan WCDMA menerapkan sistem antrian distribusi kedatangan/keberangkatan *Poisson (Markovian)*, agar delay paket yang terjadi pada jaringan semakin kecil dan menghasilkan *throughput* yang besar. Sehingga analisis terhadap sistem antrian pada jaringan diperlukan analisis perhitungan BER, probabilitas paket error, *delay* transmisi, dan *delay* propagasi pada jaringan. Selanjutnya dilakukan analisis penerapan sistem antrian pada jaringan yang meliputi metode sistem antrian, *delay* antrian, dan *throughput*.

Berdasarkan analisis perhitungan yang dilakukan untuk jarak UE – Node B 12 km, nilai *Bit Error Rate* (BER) dengan data rate 144 kbps $2,1439 \times 10^{-12}$ *Delay Total* (t_v) jaringan WCDMA dari GGSN – SGSN – RNC – Node B – UE untuk faktor utilisasi 0,2, WCDMA (M/M/1) = $1,019 \times 10^{-3}$ s, MIMO-WCDMA (M/M/4) = $9,088 \times 10^{-4}$ s dan *Throughput* yang dihasilkan WCDMA (M/M/1) = 4,01 Mbps, dan MIMO-WCDMA (M/M/4) = 4,507 Mbps

Kata kunci: *WCDMA, MIMO-WCDMA*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Akses data kecepatan tinggi melalui jaringan kabel mulai tumbuh penggunaanya dirumah dan industri. Kemajuan ini didorong kebutuhan aplikasi multimedia yang semakin meluas dan harapan konsumen memperoleh akses data berkecapatan tinggi dengan biaya yang terjangkau. Untuk mengimbanginya, operator telekomunikasi *nirkabel* harus menyediakan layanan paket setara kinerja yang diberikan jaringan telekomunikasi kabel.

Perkembangan layanan komunikasi bergerak ini akan membutuhkan *throughput* yang lebih besar dibandingkan hanya layanan komunikasi suara. *User* dapat menikmati layanan data pada sistem komunikasi bergerak 3G (WCDMA/UMTS), yang diperkenalkan oleh 3GPP (*the 3rd Generation Partnership Project*) pada *Release* 99. WCDMA menggunakan teknik modulasi QPSK (*Quadrature Phasa Shift Keying*), beroperasi pada frekuensi 2 GHz, dengan *bandwidth* per-channel 5 Mhz, *chip rate* 3,84 Mbps dan *throughput* maksimum per-user 2 Mbps (Clint Smith dan Daniel Collins, 2002: 4-9).

Salah satu layanan andalan pada 3G yaitu *video telephony* (*video call*) yang mengubah cara *user* melakukan panggilan, pada layanan ini *user* dapat menatap langsung lawan bicaranya dan Akses data kecepatan tinggi melalui jaringan *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA). Layanan data yang dapat disuguhkan pada 3G secara signifikan meningkatkan jumlah *user* dari tahun ke tahun di seluruh dunia. Bahkan WCIS (*World Cellular Information Service*) sejak Juli 2007 telah memperhitungkan jumlah *user* 3G dilihat dari perspektif *device* (*handset*) yang terus meningkat dari 173 juta di tahun 2007 menjadi 392 juta di tahun 2009 dan bahkan di tahun 2010 mencapai 499 juta (Rysavy Research, 2007: 12). Dengan meningkatnya jumlah *user* ini, diperkirakan jumlah *user* yang dapat dilayani akan turut diiringi dengan peningkatan *delay end-to-end* yang akan menurunkan performansi sistem komunikasi bergerak 3G.

Akses data kecepatan tinggi melalui jaringan *nirkabel* memungkinkan dilayani oleh teknologi *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA). HSDPA mampu menghasilkan delay yang rendah dan kapasitas besar untuk memberikan data rate yang tinggi hingga 10 Mbps pada *platform* WCDMA. HSDPA diperkenalkan pada arsitektur UMTS *release* 5. Bertujuan untuk meningkatkan kapasitas *data rate* dengan penambahan kanal baru pada layer fisik, implementasi *Adaptive Modulation and Coding* (AMC), *Hybrid CDMA* (Code Division Multiple Access) *Automatic Repeat Request* (HARQ), *Fast Scheduling*, dan *Fast*

Cell Selection (FCS) , secara teori dapat diperoleh 28 Mbps pada sisi *downlink* dengan HSDPA dengan kombinasi struktur antena MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*).

Pada sistem *wireless*, kondisi kanal yang kaya akan *scattering* akan menurunkan performansi sistem. Penggunaan MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) dapat digunakan sebagai alternatif untuk menghindari penurunan performansi karena kondisi *scattering* pada kanal.

Masalah utama pada jaringan ini terjadinya *delay* antrian, sehingga perlu diketahui keandalan dari jaringan ini dengan mengetahui model sistem *delay* antrian. Untuk mengetahui model sistem *delay* antrian yang terjadi maka dilakukan dengan analisis teori antrian. Teori antrian merupakan pengembangan dari teori probabilitas yang banyak bermanfaat untuk menganalisis berbagai macam sistem pelayanan termasuk dalam sistem telekomunikasi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pemasalahan yang tedapat latar belakang, dibuat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana konfigurasi jaringan WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*)?
2. Bagaimana model sistem antrian WCDMA?
3. Bagaimana model sistem antrian MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*)?
4. Bagaimana pengaruh penerapan model sistem antrian MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) pada jaringan WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) terhadap *Bit Error Rate* (BER), *delay* dan *throughput* ?

1.3 Ruang Lingkup

Berdasarkan rumusan masalah, agar pembahasan terfokus pada pokok pembahasan maka batasan masalah pada skripsi antara lain :

1. Membahas model sistem antrian MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) pada jaringan WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*).
2. Jaringan yang dianalisa menggunakan modulasi QPSK dengan menggunakan sistem antrian distribusi kedatangan/keberangkatan *Poisson* (*Markovian*).



1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari penyusunan skripsi ini adalah menerapkan sistem antrian MIMO pada jaringan WCDMA.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Membahas latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, dan sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI

Membahas teori dasar jaringan WCDMA, MIMO, Teori Antrian, serta teori-teori lain yang behubungan dengan penyusunan skripsi ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Membahas langkah-langkah yang dilakukan dalam penyusunan tugas akhir. Yang meliputi studi literatur, perancangan sistem, pengujian, pengambilan data, dan analisa serta pengambilan kesimpulan.

BAB IV PEMBAHASAN DAN HASIL

Membahas analisa tentang penerapan sistem antrian MIMO pada jaringan WCDMA dan yang terkait dengan penerapan metode tersebut dan hasil perancangan.

BAB V PENUTUP

Membahas kesimpulan dan saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut atas penerapan sistem antrian MIMO pada jaringan WCDMA yang telah dibuat.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

UMTS merupakan suatu revolusi dari GSM yang mendukung kemampuan generasi ketiga (3G). UMTS menggunakan teknologi akses WCDMA dengan system DS-WCDMA (*Direct Seqence Wideband CDMA*). Terdapat dua mode yang digunakan dalam WCDMA dimana yang pertama menggunakan FDD (*Frequency Division Duplex*) dan kedua dengan menggunakan TDD (*Time Division Duplex*). FDD dikembangkan di Eropa dan Amerika sedangkan TDD dikembangkan di Asia. Pada WCDMA FDD, digunakan sepasang frekuensi pembawa 5 MHz pada uplink dan *downlink* dengan alokasi frekuensi untuk *uplink* yaitu 1945 MHz – 1950 MHz dan untuk downlink yaitu 2135 MHz – 2140 MHz. Perbandingan antara *spreading rate* (kecepatan chip tiap detik) terhadap *user data rate* (kecepatan simbol data user tiap detik) dikenal sebagai *spreading factor*. Hal ini menandakan bahwa semakin tinggi *chip rate*, maka semakin banyak user yang dapat ditampung. Pengertian lainnya adalah dalam menentukan jumlah user, semakin besar jumlah *chip rate*, maka semakin tinggi kecepatan data yang diperoleh masing-masing user. Dalam WCDMA, *chip rate* yang digunakan sebesar 3,84 Mbps.

Pada sistem generasi ketiga ini didesain untuk komunikasi multimedia untuk komunikasi *person-to-person* dapat disajikan dengan tingkat kualitas gambar dan video yang baik, dan akses terhadap informasi serta layanan-layanan pada *public* dan *private network* akan akan disajikan dengan *data rate* dan kemampuan sistem komunikasi pada generasi ketiga ini lebih fleksibel. Seiring dengan kemajuan evolusi dari sistem generasi kedua, akan menciptakan suatu kesempatan bisnis baru yang tidak hanya untuk kalangan para manufakturer dan operator-operator, tetapi juga untuk beberapa *content provider* dan pengembang aplikasi yang menggunakan jaringan ini. Sistem ini merupakan evolusi dari sistem CDMA pada IMT-2000. Infrastrukturnya mampu mendukung user dengan *data rate* tinggi, mendukung operasi yang bersifat asinkron, bandwidthnya secara keseluruhan 5 MHz dan didesain untuk dapat berdampingan dengan sistem GSM.

2.2 Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA)

2.2.1 Teknologi WCDMA

Sistem komunikasi saat ini diharuskan untuk dapat menyediakan layanan dengan kecepatan data yang tinggi, video dan multimedia. *Wideband Code Division Multiple Access* (WCDMA) merupakan salah satu teknologi yang digunakan untuk mendukung sistem komunikasi tersebut yang sering dinamakan sistem komunikasi *wireless* generasi ketiga 3G. WCDMA menggunakan teknologi *direct spread* dimana pada teknologi ini akan menyebarkan sinyal transmisinya melalui *bandwidth* yang lebar. *Bandwidth* yang ditawarkan bersifat variatif dari mulai 1,26 MHz, 5 MHz, 10 MHz bahkan sampai 15 MHz. *Bandwidth* yang lebar memungkinkan WCDMA untuk mengirimkan data dengan kecepatan mencapai 2 MBps. Teknologi ini digunakan sebagai sebuah standar dengan nama “IMT-2000 *direct spread*”.

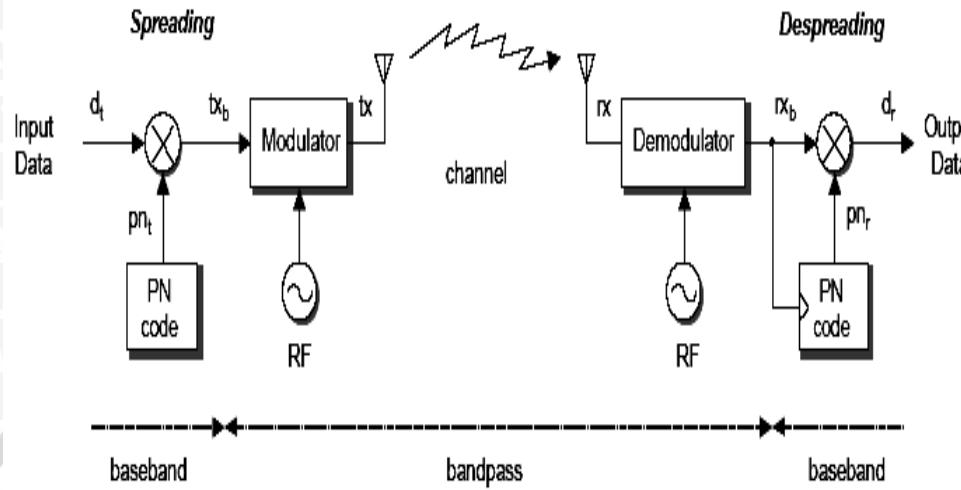
Sistem WCDMA menebar sinyal pada *bandwidth* lebar sehingga dapat mereduksi *fading* yang merupakan salah satu masalah dalam sistem komunikasi bergerak. Dalam sistem WCDMA ini terdapat sinyal yang terdegradasi akibat *multipath fading* sehingga diperlukan teknik pemrosesan sinyal untuk mengantisipasi degradasi sinyal yang dapat menurunkan kualitas sinyal informasi.

2.2.2 Teknologi DS-CDMA

Teknologi DS-CDMA merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk melayani *user* dengan jumlah banyak dengan menggunakan konsep spectrum tersebar. Setiap *user* akan mendapatkan kode penebar yang bersifat acak. Untuk mendapatkan kembali sinyal informasi pada penerima maka dikalikan dengan kode penebar yang sama. Jadi masing-masing pengirim dan penerima harus memiliki urutan kode penebar yang sama.

Teknologi DS-CDMA menggunakan teknik modulasi dan demodulasi berupa *Spread Spectrum*. Pada teknologi *Spread Spectrum* sinyal informasi yang akan dikirimkan disebar terlebih dahulu dengan menggunakan sinyal penebar yang memiliki bidang frekuensi lebih besar dibanding lebar bidang frekuensi sinyal informasi. Karena itu sinyal yang dikirimkan akan memiliki pita frekuensi yang lebih besar dari pita frekuensi yang dibutuhkan pada transmisi biasa.

Berikut model transmisi sistem DS-CDMA:

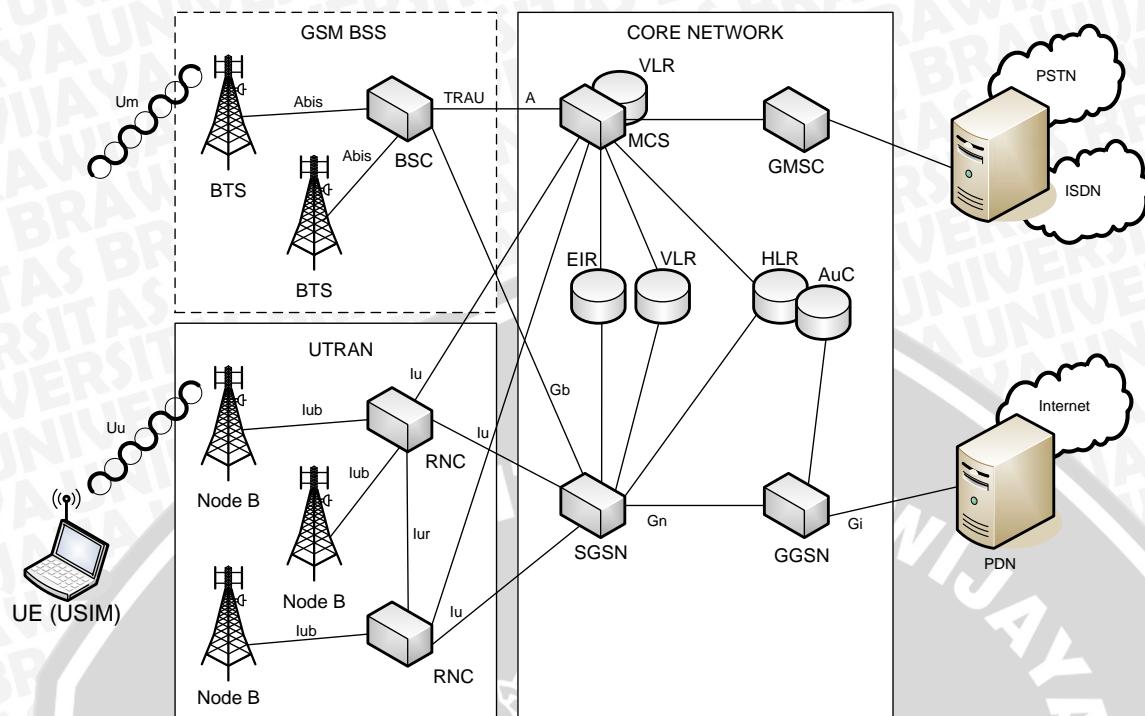


Gambar 2.1 Sistem Direct spread Spectrum

Sumber : Leo Fajri, 2009:5

2.3 Arsitektur WCDMA

Teknologi telekomunikasi wireless generasi ketiga (3G) yaitu *Universal Mobile Telecommunication System* (UMTS). *Universal Mobile Telecommunication System* merupakan suatu perkembangan dari GSM, dimana interface radionya adalah WCDMA, mampu melayani transmisi data dengan kecepatan yang lebih tinggi, kecepatan data yang berbeda untuk aplikasi-aplikasi dengan QoS yang berbeda. Berikut ini adalah gambar arsitektur jaringan UMTS, yaitu terlihat pada gambar 2.2 :



Gambar 2.2 Arsitektur Jaringan WCDMA

Sumber : shanmg.wordpress.com/3g-4g/

Dari gambar diatas terlihat bahwa arsitektur jaringan UMTS terdiri dari perangkat-perangkat yang saling mendukung, yaitu sebagai berikut :

2.3.1 UE (*User Equipment*)

User Equipment merupakan perangkat yang digunakan oleh pelanggan untuk dapat memperoleh layanan komunikasi bergerak. UE dilengkapi dengan *smart card* yang dikenal dengan nama USIM (*UMTS Subscriber Identity Module*) yang berisi nomor identitas pelanggan dan juga algoritma *security* untuk keamanan seperti *authentication algorithm* dan algoritma enkripsi. Selain terdapat USIM, UE juga dilengkapi dengan ME (*Mobile Equipment*) yang berfungsi sebagai terminal radio yang digunakan untuk komunikasi lewat radio.

2.3.2 UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*)

Di dalam UTRAN terdapat beberapa perangkat baru di antaranya adalah node B dan RNC (*Radio Network Controller*).

2.3.2.1 RNC (*Radio Network Controller*)

RNC mengontrol *radio resources* pada UTRAN yang mencakup beberapa Node B, menghubungkan CN (*Core Network*) dengan *user*, dan tempat berakhirnya protokol RRC (*Radio Resource Control*) yang mendefinisikan pesan dan prosedur antara *mobile user* dengan UTRAN.

2.3.2.2 Node B

Node B merupakan perangkat pemancar dan penerima yang memberikan pelayanan radio kepada UE. Fungsi utama node B adalah melakukan proses pada *layer 1* antara lain : *channel coding, interleaving, spreading, de-spreading*, modulasi, demodulasi dan lain-lain. Node B juga melakukan beberapa operasi RRM (*Radio Resource Management*), seperti *handover* dan *power control*.

2.3.3 CN (*Core Network*)

Core Network berfungsi sebagai *switching* pada jaringan UMTS, mengontrol jaringan serta sebagai *interface* antara jaringan UMTS dengan jaringan yang lainnya. Komponen *Core Network* UMTS terdiri dari :

2.3.3.1 MSC (*Mobile Switching Center*)

MSC didesain sebagai *switching* untuk layanan berbasis *circuit switch* seperti *video call*.

2.3.3.2 VLR (*Visitor Location Register*)

VLR merupakan database yang berisi informasi sementara mengenai pelanggan terutama mengenai lokasi dari pelanggan pada cakupan area jaringan.

2.3.3.3 HLR (*Home Location Register*)

HLR merupakan database yang berisi data pelanggan yang tetap. Data tersebut antara lain berisi layanan pelanggan, *service* tambahan serta informasi mengenai lokasi pelanggan yang paling akhir (*Update Location*)

2.3.3.4 SGSN (*Serving GPRS Support Node*)

SGSN merupakan penghubung jaringan BSS/BTS ke jaringan GPRS. Fungsi SGSN adalah sebagai berikut :

- Mengantarkan packet data ke MS
- Update pelanggan ke HLR
- Registrasi pelanggan baru

2.3.3.5 GGSN (*Gateway GPRS Support Node*)

GGSN berfungsi sebagai *gerbang penghubung* dari jaringan GPRS ke jaringan paket data standard (PDN), menyediakan fasilitas *internetworking* dengan *eksternal packet-switch network* dan dihubungkan dengan SGSN via *Internet Protokol* (IP). GGSN akan berperan antarmuka logik bagi PDN, dimana GGSN akan memancarkan dan menerima paket data dari SGSN atau PDN. Terdapat beberapa *interface*, seperti : Uu, Iu, Iub, Iur. Antara UE dan UTRAN terdapat *interface* Uu. Di dalam UTRAN terdapat *interface* Iub yang menghubungkan Node B dan RNC, *Interface* Iur yang menghubungkan antar RNC, sedangkan UTRAN dan CN dihubungkan oleh *interface* Iu. Protokol pada *interface* Uu dan Iu dibagi menjadi dua sesuai fungsinya, yaitu bagian *control plane* dan *user plane*. Bagian *user plane* merupakan protokol yang menerapkan layanan *Radio Access Bearer* (RAB), misalnya membawa data *user* melalui *Access Stratum* (AS). *Control plane* berfungsi mengontrol RAB dan koneksi antara *mobile user* dengan jaringan yaitu : jenis layanan yang diminta, pengontrolan sumber daya transmisi , *handover* , mekanisme transfer *Non Access Stratum* (NAS) seperti *Mobility Management* (MM), *Connection Management* (CM), *Session Management* (SM) ,dan lain-lain.

2.3.4 *Interface Jaringan*

1. cu – interface, yaitu interface elektronik antara smart card USIM dan ME (Mobile Equipment).
2. WCDMA, yaitu air interface yang menghubungkan UE ke jaringan UTRAN.
3. Iub – interface, yaitu interface yang menghubungkan Node B dan RNC.
4. Iur – interface, yaitu interface yang digunakan untuk proses soft handover antar RNC.

2.3.5 Spesifikasi Teknis WCDMA

Spesifikasi teknis untuk WCDMA diberlakukan berdasarkan rekomendasi yang dikeluarkan secara internasional melalui 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Tabel 2.2 menunjukkan spesifikasi teknis untuk teknologi WCDMA.

Tabel 2.1. Spesifikasi Teknis WCDMA

TIPE SPESIFIKASI	JENIS / NILAI
<i>Radio Access</i>	<i>DS-CDMA / FDD</i>
<i>Carrier spacing</i>	<i>1,26 / 5 / 10 / 20 MHz</i>
<i>Chip rate</i>	<i>4,096 Mcps (1,024 / 8,192 / 16,384 Mcps)</i>
<i>Modulation</i>	<i>Uplink : BPSK Downlink : QPSK</i>
<i>Detection (Reverse & Forward link)</i>	<i>Pilot Symbol Aided Coherent RAKE</i>
<i>TCH rate</i>	384 kbps – 2 Mbps
<i>Variable rate TCH</i>	<i>Variable Spreading Factor Multi code Transmission for High rate TCH</i>
<i>Frame length</i>	<i>10 ms</i>
<i>Voice codec</i>	<i>G.729 CS-ACELP</i>
<i>Inter BS Synchronous</i>	<i>Asynchronous</i>
<i>Signaling Protocol</i>	<i>Layered Protocol Multiple Protocol Control Entities B-ISDN based Call Control</i>
<i>Services</i>	<i>Voice, Packet data Unrestricted information transmission</i>
<i>Receiver Sensitivity</i>	-121 dBm untuk <i>Base Station</i> dan -117 dBm untuk <i>UE</i> pada $BER 10^{-3}$
Daya keluaran <i>UE</i>	21, 24, 27 atau 33 dBm
Kecepatan data	<i>Rural outdoor:</i> 144 kbps, <i>Urban / Suburban outdoor:</i> 384 kbps, <i>Indoor / low-range outdoor:</i> 2 Mbps

Sumber : Gunadi Dwi Hantoro, 1999, www.elektroindonesia.com

2.4 Air Interface WCDMA

2.4.1 Convolutional Code

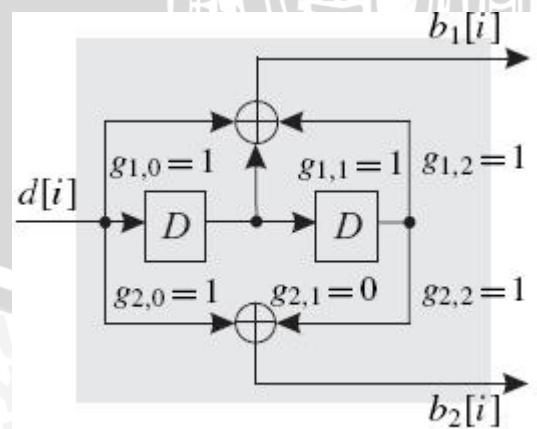
Sinyal informasi yang dikirimkan dari pengirim ke penerima sangat rentan dengan gangguan pada saat melewati kanal. Kondisi kanal yang buruk dapat merusak sinyal informasi yang dikirimkan. Untuk melindungi data informasi dari gangguan kanal maka digunakan teknik pengkodean. Salah satu teknik pengkodean yang sering dipakai pada sistem WCDMA adalah kode konvolusi.

2.4.2 Convolutional Encoder

Pada kode konvolusi terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi. Beberapa parameter penting yaitu $C(n,k,m)$. Nilai k merupakan jumlah bit yang masuk ke *convolutional encoder*, nilai n merupakan jumlah bit yang keluar dari *convolutional encoder* sedangkan m yaitu jumlah memori yang digunakan.

Beberapa parameter lain yang sering digunakan yaitu *code rate*, *constraints length* dan *generator polynomial*. *Code rate* (R_c) merupakan nilai efisiensi dari kode konvolusional (k/n). Kode konvolusi yang terdapat pada standar 3GPP terdiri dari 2 macam *code rate* yaitu: $1/2$ dan $1/3$. *Constraints length* (L_c) menyatakan jumlah bit *input* keluar dari memori *register* menjadi *output* ($K = m + 1$). Semakin besar nilai L_c maka semakin besar pula memori sehingga semakin bagus performansi dari kode konvolusi. *Generator polynomials* merupakan aliran bit dari *input* ke *output* memori register dan dinyatakan dalam bilangan oktal.

Berikut gambar *convolutional encoder* dengan nilai $R_c = 1/2$ and $L_c = 3$



Gambar 2.3 Convolutional encoder dengan nilai $R_c = 1/2$ and $L_c = 3$

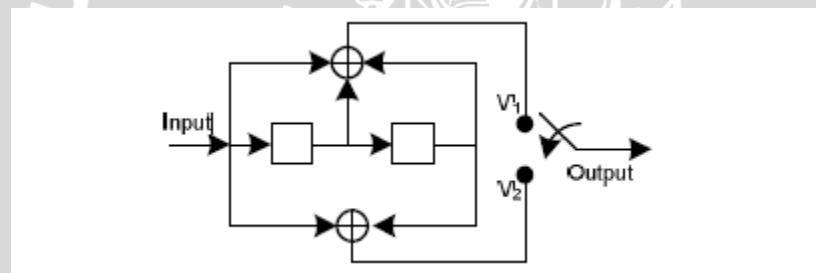
Sumber : Leo Fajri, 2009:5

Gambar 2.3 merupakan encoder *convolutional encoder* dengan nilai $g_1(D) = 1 + D + D^2$ dan $g_2(D) = 1 + D_2$. Pembangkitan kode konvolusional dapat menggunakan cara yaitu *Trellis*.

2.4.3 Convolutional Decoder

Convolutional Decoder berfungsi mengembalikan sinyal informasi disisi penerima. Proses yang terjadi pada *decoder* yaitu mengembalikan kembali sinyal informasi dengan menggunakan algoritma *Viterbi* yang dengan metode pencarian maksimum *likelihood* secara atis, sehingga dapat melakukan koreksi kesalahan untuk kode yang panjang.

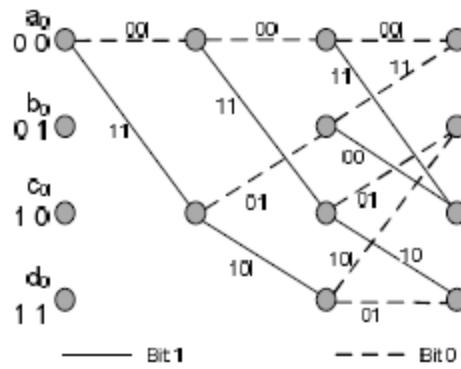
Setiap kali didapat kata kode dengan jarak paling kecil, maka kata kode ini disimpan dalam suatu register.



Gambar 2.4 Skema *encoder* kode konvolusi

Sumber : Leo Fajri, 2009:5

Algoritma *viterbi* ini merupakan cara pencacahan (*sequence*) *likelihood* maksimum yang dapat digunakan untuk proses *decoding* pada kode konvolusi.. *Likelihood* maksimum dicapai dengan menentukan jarak hamming minimum. Dekoder akan memilih kode yang memiliki *likelihood* maksimum sebagai keluaran dekoder. Pembuatan algoritma viterbi berdasarkan pada informasi *trellis* pada kode konvolusi.



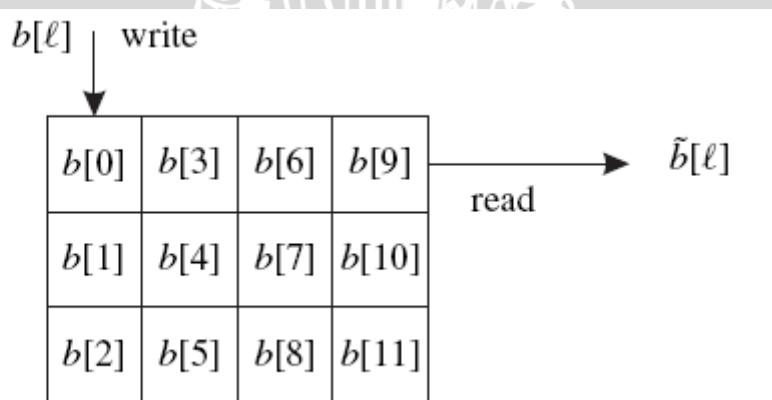
Gambar 2.5 Diagram trellis kode konvolusi

Sumber : Leo Fajri, 2009:5

2.4.5 Interleaving

Pada komunikasi bergerak, kanal *fading* sering menyebabkan *bursty error* yang dapat merusak sinyal informasi. Cara yang efektif untuk mengatasi *burst error* adalah dengan melakukan *interleave* data terkode dengan pola tertentu sehingga kanal *bursty* diubah ke kanal yang memiliki *error* yang saling bebas. Pemakaian *interleaver* sebelum transmisi dan *deinterleaver* setelah penerimaan akan menyebabkan pola *burst error* akan disebar dan akan ditangani oleh *decoder* sebagai pola *error* yang *random*.

Ada beberapa tipe *interleaver* yang biasa digunakan yaitu block *interleaver*, *convolutional interleaver* dan *random interleaving*. Pada simulasi ini digunakan blok *interleaver*.

Gambar 2.6 Contoh skema Blok *interleaver*.

Sumber : Leo Fajri, 2009:5

Proses yang terjadi pada blok *interleaver* yaitu pengurutan simbol-simbol yang masuk dari *encoder* dan mengisikan simbol tersusun tersebut ke modulator. Pengurutan yang biasa dilakukan dari blok adalah dengan mengisi kolom-kolom dari susunan M baris dan N kolom dengan deretan terkode.

Selanjutnya simbol-simbol tersebut diberikan ke modulator satu baris pada satu waktu dan dikirim ke kanal. Pada penerima, *deinterleaver* melakukan hal sebaliknya. Simbol-simbol dimasukkan ke susunan *deinterleaver* dengan baris dan dibaca dari kolom.

2.4.6 Modulasi

Modulasi adalah proses penumpangan sinyal informasi ke sinyal pembawa dengan mengubah parameter-parameter tertentu pada sinyal pembawa. Modulasi dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu modulasi analog dan modulasi digital.

Modulasi analog terdiri dari modulasi berdasarkan amplitudo (AM), berdasarkan frekuensi (FM) dan berdasarkan fasa (PM).

Sedangkan modulasi digital terdiri dari *Phase Shift Keying* (PSK), *Amplitudo Shift Keying* (ASK), dan *Frequency Shift Keying* (FSK). WCDMA, menggunakan modulasi digital, dimana modulasi yang digunakan adalah *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK)

Pada QPSK *bit stream* data akan dikelompokkan dalam dua *bit* yang kemudian akan memodulasi sinyal *carrier* dimana fasa sinyal *carrier* akan berubah-ubah sesuai *bit-bit input*. Fasa dari sinyal *carrier* dipilih satu dari 4 yang nilai spasinya sama, dimana setiap nilai fasa akan bersesuaian dengan secara unik dengan pasangan *bit* informasi.

Persamaan sinyal QPSK dapat diekspresikan sebagai berikut :

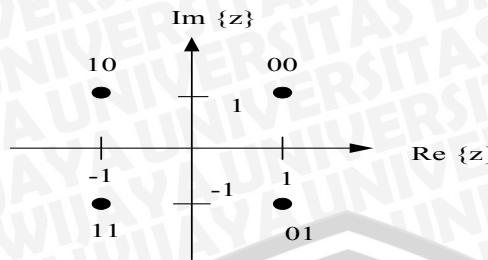
$$S_{QPSK}(t) = \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos\left[2\pi f_c + (2i-1)\frac{\pi}{4}\right] \quad 0 \leq t \leq T ; i = 1, 2, 3, 4 \quad (2.1)$$

Keterangan :

E = energi persimbol modulasi

T = durasi simbol modulasi

Dengan QPSK akan diperoleh empat kemungkinan data simbol, yang direpresentasikan dengan perbedaan fasa, dimana ada berbagai metode dalam urutan datanya. Gambar dibawah menunjukkan konstelasi *gray mapping*.



Gambar 2.7 Konstelasi QPSK *gray mapping*

Sumber : Leo Fajri, 2009:5

2.5 Jenis Layanan UMTS

UMTS memiliki kemampuan untuk mengirimkan berbagai layanan seperti suara, data dan multimedia. Trafik yang dapat dilayani pada jaringan UMTS ini dibagi menjadi dua kategori, yaitu:

2.5.1 Circuit Switched

Trafik untuk circuit switched ini normalnya memiliki kebutuhan real time yang tinggi, maksudnya tidak ada delay atau delay yang terjadi harus dalam keadaan konstan. Layanan yang berbasis circuit switched ini kemudian dikenal dengan layanan Real Time (RT). Contoh layanan untuk jenis trafik ini yaitu suara (normal speech) dan video phone.

2.5.2 Packet Switched

Trafik untuk packet switched normalnya tidak memiliki kebutuhan real time. Salah satu jenis layanan yang berbasis packet switched ini adalah koneksi internet, yang disebut juga dengan layanan Non Real Time (NRT).

2.6 Spreading

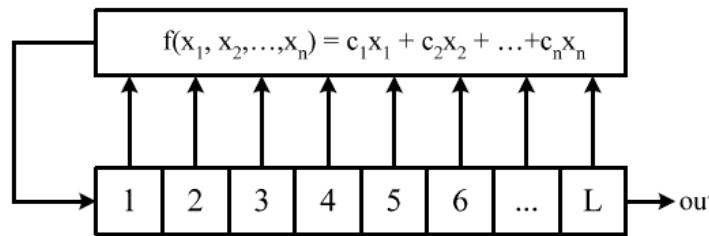
Pada DS-CDMA, sinyal di-spreading dengan cara mengalikan dengan *Pseudo-Noise code (PN code)*. Kode PN adalah rangkaian bit dengan kecepatan tinggi yang bernilai polar dari 1 ke -1 atau non polar 1 ke 0. Kode PN ini berfungsi sebagai pembeda antara pengguna satu dengan yang lainnya.

2.6.1 Kode Pseudo Noise M-Sequence

Sequence bisa dibangkitkan dengan linear generator *polynomial* dengan nilai m, dimana:

$$g(x) = g_m x^m + g_{m-1} x^{m-1} + g_{m-2} x^{m-2} + \dots + g_1 x + g_0 \quad (2.2)$$

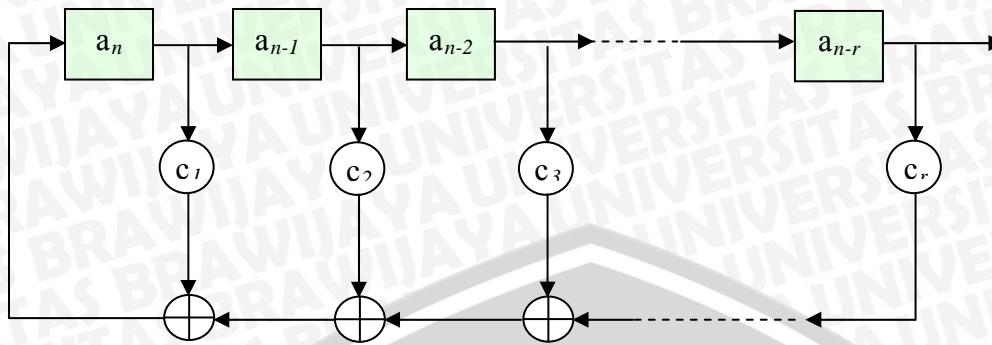
Pembangkit kode *M-sequence* dibuat dengan menggunakan register geser sederhana (*Simple Shift Register Generator*) seperti pada skema 2.8 di bawah yang memiliki *feedback* sinyal pada *input* tunggal register tersebut. Register geser tersebut adalah linier bila fungsi *feedback*-nya dapat diekspresikan dengan penjumlahan *modulo*-2 (XOR).



Gambar 2.8 *Simple Shift Register Generator*

Sumber : Leo Fajri, 2009:5

Fungsi *feedback* $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ adalah penjumlahan *modulo*-2 dari isi register x_i dengan c_i adalah koefisien koneksi *feedback* ($c_i = 0$ adalah open dan $c_i = 1$ adalah tersambung). Sebuah pembangkit *Shift Register* dengan L *flip flop* menghasilkan deretan yang tergantung pada panjang register L , *feedback* dan kondisi inisial register. Ketika periode (*length*) *sequence* yang memiliki harga $N_c = 2^L - 1$. Kode PN tersebut dinamakan *maximum length sequence* atau disingkat *M-sequence*.



Gambar 2.9 Linear shift register sequence generator

Sumber : Leo Fajri, 2009:5

Gambar 2.9 menjelaskan tentang *linear shift register* untuk membentuk kode *sequence*. Kode ini digunakan di CDMA dengan sekitar 4,4 triliun kombinasi kode. Inilah yang menyebabkan CDMA sangat aman.

2.7 Teknologi Komunikasi Spread Spectrum

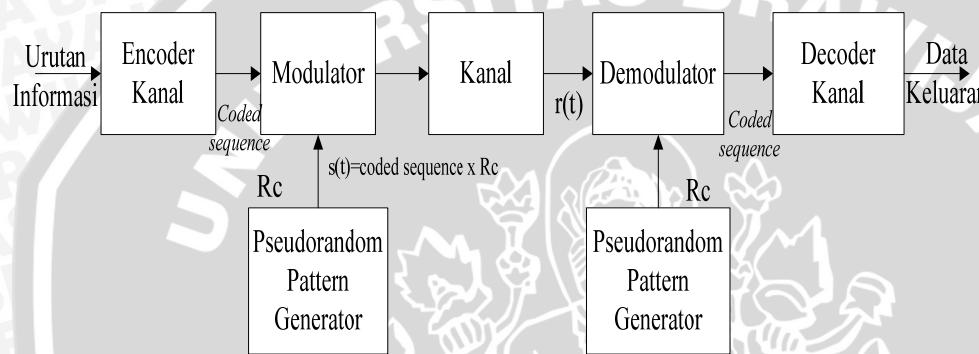
Spread Spectrum adalah sebuah teknik dalam sistem komunikasi yang dilatarbelakangi oleh kebutuhan sistem komunikasi yang dapat mengatasi masalah interferensi, dapat menjamin kerahasiaan informasi yang dikirim, dapat beroperasi pada tingkat S/N (*signal to noise ratio*) yang rendah atau tahan terhadap derau yang besar dan dapat digunakan untuk *multiple access* (akses jamak).

Teknik spread spectrum ini pada awalnya digunakan pada komunikasi militer karena kelebihannya dalam mengatasi jamming, yaitu tindakan yang disengaja untuk menindih transmisi dengan daya yang lebih tinggi dengan menggunakan sinyal yang tidak diinginkan pada band yang sama. Prinsip kerja dari sistem spread spectrum yaitu mentransmisikan sinyal informasi dengan cara menebarkan sinyal tersebut secara acak, yang dikenal sebagai noise, pada bandwidth yang jauh lebih lebar dari bandwidth sinyal informasi tersebut. Jadi jika penerima tidak mengetahui kode yang digunakan untuk melebarkan data maka penerima hanya akan menerima sinyal noise saja. Proses penebaran bandwidth sinyal informasi ini disebut dengan spreading, sedangkan proses mendapatkan kembali sinyal informasi seperti semula disebut despreading.

Dalam sistem komunikasi spread spectrum ini, sinyal yang ditransmisikan harus memenuhi dua kriteria, yaitu:

1. Bandwidth untuk sinyal yang ditransmisikan harus jauh lebih besar dari bandwidth sinyal informasi.
2. Terjadi proses spreading pada sisi pemancar, yaitu dengan cara menebarkan sinyal informasi dengan bantuan suatu kode, serta terjadi proses despreading pada sisi penerima

Model umum dari komunikasi spread spectrum dijelaskan pada gambar 2.10



Gambar 2.10 Model Umum Sistem Komunikasi Digital Spread Spectrum

Sumber: William Stalings, 2007:168

Keterangan:

1. Sinyal informasi (data masukan) diteruskan ke dalam suatu kanal penyandi (encoder) yang menghasilkan sinyal analog yang memiliki bandwidth relatif sempit.
2. Sinyal ini kemudian dimodulasi menggunakan serutan angka yang disebut spreading code, yang dibangkitkan oleh pseudonoise generator. Modulasi ini menyebabkan bertambah lebarnya bandwidth sinyal yang akan dipancarkan, atau dengan kata lain dapat menyebarkan spektrum.
3. Pada sisi penerima, runtutan digit yang sama digunakan untuk mendemodulasikan sinyal spektrum sebaran.
4. Akhirnya, sinyal dimasukkan ke dalam kanal decoder untuk memulihkan data.

Dalam teknologi spread spectrum terdapat beberapa teknik yang digunakan untuk menebarkan dan mengacak data. Teknik modulasi yang paling umum digunakan antara lain yaitu:

- a. Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)
- b. Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)
- c. Time Hopping Spread Spectrum (THSS)
- d. Chirp
- e. Hybrid Spread Spectrum

2.8 Proses Spreading dan Despreadng

Yang dimaksud dengan spreading yaitu proses menyebarkan spektrum sinyal informasi pada sisi pengirim dengan mengalikan sinyal informasi tersebut dengan quasi-random bits (chip) yang disebut spreading code. Sedangkan despreadng adalah proses untuk mendapatkan kembali sinyal informasi yang telah disebarluaskan spektrumnya pada sisi penerima dengan cara mengalikan sinyal informasi yang telah ditebarkan spektrumnya tersebut dengan spreading code yang sama seperti yang digunakan pada sisi pengirim.

2.9 Redaman Propagasi (*pathloss*)

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

$$PL(dB) = 40 \log d - (10 \log G_t + 10 \log G_r + 20 \log h_t + 20 \log h_r) \quad (2.3)$$

Keterangan :

- PL : *Path Loss* (dB)
d : jarak BS dan SS (m)
 G_t : *gain transmitter* (dBi)
 G_r : *gain receiver* (dBi)
 h_t : tinggi transmitter (m)
 h_r : tinggi receiver (m)

Setelah diperoleh nilai *Path Loss*, maka dapat dihitung besarnya daya terima pada *receiver* dengan menggunakan persamaan (2.4).

$$P_r (\text{dBm}) = P_t - L_t - L_r - PL - FM \quad (2.4)$$

Keterangan :

- P_r : daya terima *receiver* (dBm)
 P_t : daya pancar *transmitter* (dBm)
 L_t : *transmitter losses (cable loss)* (dB)
 L_r : *receiver losses (body loss)* (dB)
 PL : *Path Loss* (dB)
 FM : *fading margin* (dB)

2.10 Transmit Diversity

Kanal *fading* akan menyebabkan performansi sinyal mengalami penurunan. Hal ini bisa diatasi dengan meningkatkan daya pancar atau ukuran antena. Tetapi cara ini tidak praktis dan juga membutuhkan penambahan biaya. Selain itu dengan menaikkan daya pancar antena tentu saja akan mengganggu sistem komunikasi yang lain. Teknik diversitas adalah metode yang digunakan untuk merekonstruksi sinyal informasi dari beberapa sinyal yang ditransmisikan melalui kanal *fading* yang saling *independent*. Teknik diversitas memungkinkan *transmitter* memancarkan sinyal informasi disertai replika sinyal tersebut. *Fading* terburuk (*deep fades*) kemungkinan kecil terjadi secara bersamaan selama interval waktu tertentu pada dua atau lebih jalur lintasan sinyal *uncorrelated*. Karena itu apabila suatu sinyal mengalami *deep fades* atau redaman yang sangat buruk, maka sinyal replikanya berpeluang memiliki daya sinyal yang lebih kuat. Di *receiver* akan dilakukan proses penggabungan sinyal-sinyal tersebut, sehingga teknik diversitas dapat meminimalisasi efek dari *multipath fading*.

Salah satu skema *transmit diversity* yang direkomendasikan untuk WCDMA yaitu *Space Time Transmit Diversity* (STTD). STTD digunakan untuk *physical channel* dengan skema *Space Time Block Coding* (STBC) yang diperkenalkan oleh Alamouti.

Ada dua mode operasi *uplink transmit diversity* yaitu *open loop*, dimana tidak diperlukan informasi dari *user equipment* (UE) dan *closed loop* (*feedback*), dimana

feedback information diperlukan dari UE. Secara umum *closed loop* memberikan hasil yang lebih baik.

Pada sistem komunikasi *wireless* dengan sistem *Transmit Diversity* dimana di sisi pengirim menggunakan n antena *transmitter* dan sisi penerima menggunakan 2 antena penerima. Dengan kata lain pada sistem *Transmiter Diversity* adalah teknik *spatial* diversitas yang hanya diaplikasikan pada sisi *transmitter* saja atau sering disebut MIMO (*Multiple Input Multiple Output*).

2.11 *Multiple Input Multiple Output* (MIMO)

MIMO pada jaringan WCDMA terletak pada bagian transmisi jaringan WCDMA, penggunaan MIMO pada WCDMA tidak menyebabkan penambahan bandwidth transmisi meskipun data dikirimkan lewat dua antena atau lebih, karena tiap antena bekerja pada frekuensi yang sama. Agar tidak terjadi saling interferensi antara sinyal yang dikirimkan oleh kedua antena maka diperlukan orthogonalitas antara kedua sinyal yang ditransmisikan.

Untuk mendapatkan sinyal yang saling orthogonal digunakan kode spreading yang berbeda. Selain itu juga dapat dengan memanfaatkan sinyal-sinyal hasil pantulan yang terjadi pada lintasan. Karena itulah teknik MIMO lebih tepat digunakan pada daerah dengan kepadatan yang tinggi.

Pada sistem MIMO yang menerapkan metode transmisi *Orthogonal Space Time Block Codes* yang merupakan salah satu contoh dari metode *linear codes*.

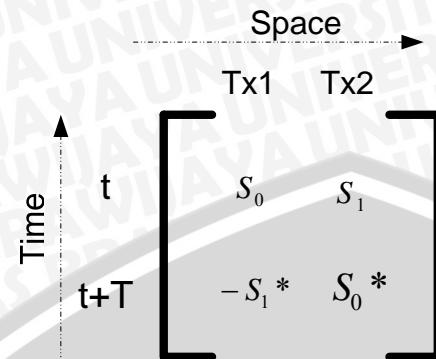
Pada *encoding* dan *transmission sequence*, dua sinyal secara simultan dikirimkan dari kedua antena, Tx1 (antena 0) memancarkan sinyal S_0 dan Tx2 (antena 1) memancarkan sinyal S_1 , saat $t+T$, Tx1 (antena 0) memancarkan sinyal $-S_1^*$ dan Tx2 (antena 1) memancarkan sinyal S_0^* . Tanda * merupakan operasi konjugat.

Tabel 2.2 Skema Matriks Transmisi *Orthogonal Space Time Block Code*

	Antenna 0	Antenna 1
Waktu t	S_0	S_1
Waktu $t+T$	$-S_1^*$	S_0^*

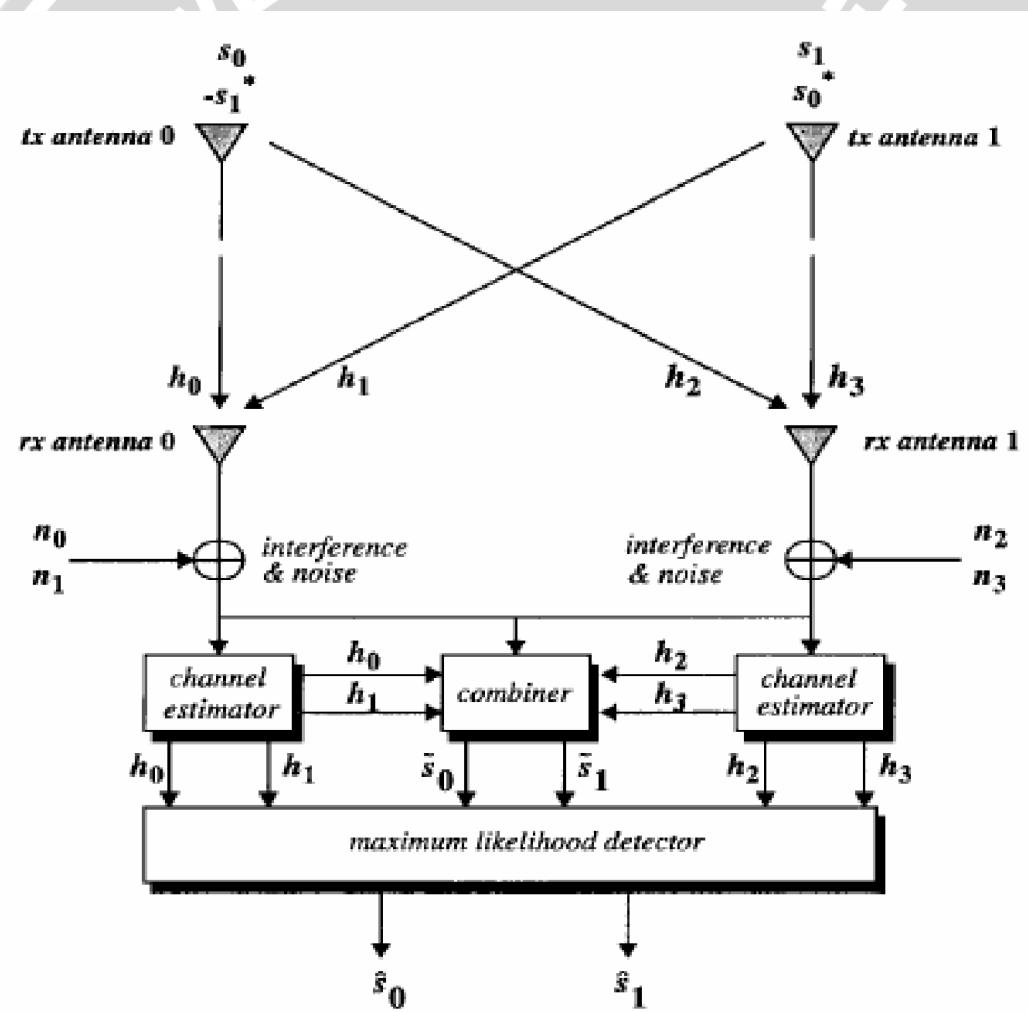
Sumber : Leo Fajri, 2009:5

Dari tabel 2.2 , *encoding* dilakukan dalam *space* dan *time*.



Gambar 2.11 Skema Alamouti

Sumber : Leo Fajri, 2009:5



Gambar 2.12 Skema Transmisi Dengan 2 Antena Tx & 2 Antena Rx

Sumber : Leo Fajri, 2009:5

Berdasarkan gambar 2.12, persamaan seluruh sinyal yang diterima adalah:

$$\begin{aligned} r_0 &= h_0 s_0 + h_1 s_1 + n_0 \\ r_1 &= -h_0 s_1^* + h_1 s_0^* + n_1 \\ r_2 &= h_2 s_0 + h_3 s_1 + n_2 \\ r_3 &= -h_2 s_1^* + h_3 s_0^* + n_3 \end{aligned} \quad (2.5)$$

Nilai n_0, n_1, n_2 dan n_3 adalah variabel acak kompleks yang mewakili interferensi dan *noise*.

Setelah melewati combiner maka persamaan sinyal berikut yang akan dikirimkan ke detektor *maximum likelihood* menjadi :

$$\begin{aligned} \tilde{S}_0 &= h_0^* r_0 + h_1^* r_1 + h_2^* r_2 + h_3^* r_3 \\ \tilde{S}_1 &= h_1^* r_0 - h_0^* r_1 + h_3^* r_2 - h_2^* r_3 \end{aligned} \quad (2.6)$$

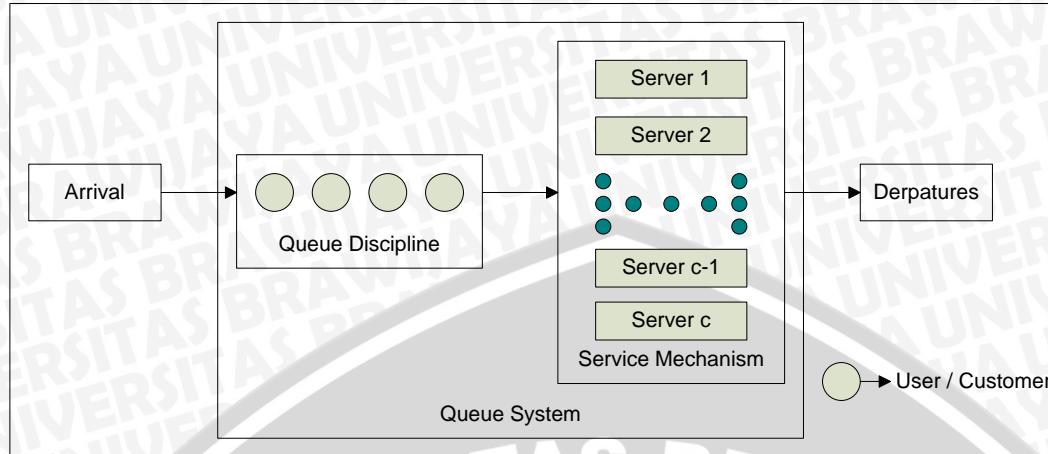
Dengan mensubstitusikan persamaan maka akan diperoleh :

$$\begin{aligned} \tilde{S}_0 &= (a_0^2 + a_1^2 + a_2^2 + a_3^2) s_0 + h_0^* n_0 + h_1^* n_1 + h_2^* n_2 + h_3^* n_3 \\ \tilde{S}_1 &= (a_0^2 + a_1^2 + a_2^2 + a_3^2) s_1 - h_0^* n_1 + h_1^* n_0 - h_2^* n_3 + h_3^* n_2 \end{aligned} \quad (2.7)$$

Dimana a_1, a_2, a_3 , dan a_4 adalah amplituda kanal h_0, h_1, h_2 , dan h_3 . Keputusan simbol yang dikirim ditentukan oleh *maximum likelihood detector*.

2.12 Sistem Antrian

Sebuah sistem antrian adalah himpunan pelanggan, pelayanan dan suatu aturan yang mengatur kedatangan para pelanggan dan pemrosesan masalahnya. Antrian timbul akibat adanya kedatangan pelanggan yang menunggu untuk dilayani. Proses kedatangan pelanggan (*input process*) ini umumnya terjadi secara acak dengan kecepatan kedatangan adalah λ pelanggan/satuan waktu. Bila pelanggan tiba pada suatu fasilitas pelayanan, maka segera fasilitas pelayanan sibuk, maka pelanggan yang dating akan menunggu pada ruang tunggu atau saluran tunggu (*waiting line*) hingga ada saluran yang siap melayani (saluran yang bebas) dengan suatu mekanisme pelayanan (*service mechanism*) tertentu. Pada akhirnya setelah proses pelayanan selesai dengan kecepatan pelayanan μ pelanggan/satuan waktu, pelanggan akan meninggalkan fasilitas pelayanan tersebut. Dari uraian diatas secara blok diagram sistem antriannya dapat digambarkan seperti gambar 2.13.



Gambar 2.13 Model Antrian

Sumber : www.visualrota.co.uk

Terdapat banyak jenis sistem antrian dan masing-masing dapat dibedakan sesuai dengan karakteristiknya sebagai berikut:

2.12.1 Proses Kedatangan

Proses kedatangan adalah proses pembentukan suatu bentuk antrian akibat kedatangan pelanggan. Pada umumnya proses kedatangan pelanggan adalah tidak konstan melainkan membentuk suatu fungsi distribusi yang acak dan bebas. Distribusi ini bersifat diskrit, artinya jumlah unit yang tergabung dalam antrian selalu bilangan bulat (*integer*). Bentuk yang sering digunakan pada proses kedatangan ini adalah distribusi Poisson.

Ada 3 asumsi dasar yang sering digunakan untuk menggambarkan proses kedatangan Poisson (Swarup Kanti, 1982) :

1. Jumlah kedatangan pada interval yang tidak tumpang tindih (overlapping) adalah bebas statistic, artinya proses mengalami pertambahan yang bebas.
2. Probabilitas lebih dari satu kedatangan antara waktu t dan $t + \Delta t$ adalah $0(\Delta t)$, artinya probabilitas kedatangan 2 atau lebih selama interval waktu Δt dapat diabaikan, sehingga $P_0(\Delta t) + P_1(\Delta t) + 0(\Delta t) = 1$
3. Probabilitas suatu kedatangan yang terjadi antara waktu t dan Δt sama dengan $\lambda(\Delta t) + 0(\Delta t)$, sehingga: $P_1(\Delta t) = \lambda\Delta t + 0(\Delta t)$

Dimana: λ = konstanta yang tidak bergantung pada jumlah kedatangan

Δt = elemen pertambahan

$0(\Delta t)$ = besaran yang dinyatakan dengan $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{0(\Delta t)}{\Delta t} = 0$

2.12.2 Proses Pelayanan

Proses pelayanan biasanya dicirikan oleh waktu pelayanan (*service time*). Waktu pelayanan ini dapat bersifat tetap dari waktu ke waktu (*deterministic*) atau berupa variable acak yang distribusinya telah diketahui. Umumnya untuk keperluan analisis, waktu pelayanan dianggap sebagai variable acak yang tidak bergantung pada waktu kedatangan.

2.12.3 Kapasitas Sistem

Kapasitas sistem adalah jumlah maksimum pelanggan, baik yang sedang dilayani maupun yang berada dalam antrian yang dapat ditampung oleh fasilitas pelayanan pada saat yang sama. Bila seorang pelanggan tiba pada fasilitas pelayanan yang telah penuh, maka pelanggan ini akan ditolak. Sebuah sistem yang tidak membatasi jumlah pelanggan dalam fasilitas pelayanannya memiliki kapasitas yang tidak berhingga. Sedangkan sistem yang membatasi jumlah pelanggan memiliki kapasitas berhingga.

2.12.4 Disiplin Antrian

Disiplin antrian adalah aturan dalam dimana para pelanggan dilayani. Ada beberapa bentuk disiplin antrian yang biasa digunakan dalam praktik, yaitu :

- FIFO (*First In First Out*), artinya yang lebih dahulu dating dilayani lebih dahulu.
- LIFO (*Last In First Out*), artinya yang datang terakhir lebih dahulu dilayani.
- SIRO (*Service In Random Order*), artinya pelayanan yang acak.
- PS (*Priority Service*), artinya pelayanan dengan prioritas.

2.13 Model Antrian

Beberapa model antrian menurut notasi yang dikemukakan oleh Kendall, 1953) sebagai berikut:

Format umum : (A/B/S/K/N/Disc)

Dimana:

A = *interarrival time distribution*

- B = *service time distribution*
S = *number of servers*
K = *system capacity*
N = *calling population*
Disc = *service discipline assumed*

Huruf A dan B masing-masing menunjukkan pola kedatangan dan pola pelayanan dengan notasi sebagai berikut :

- M = distribusi kedatangan/keberangkatan Poisson (Markovian) atau distribusi waktu pelayanan eksponensial.
D = waktu pelayanan/waktu antar kedatangan yang konstan (deterministic)
G = distribusi umum (general) dari lamanya waktu pelayanan.
GI = distribusi umum yang bebas (General Independent)
Ek = distribusi Erlang atau Gamma dari waktu pelayanan dengan parameter k.

Disc merupakan notasi yang menunjukkan disiplin pelayanan (FIFO, LIFO, SIRO , PS)

2.14 Signal to Noise Ratio (SNR)

SNR adalah perbandingan antara sinyal yang dikirim terhadap *noise*. SNR digunakan untuk mengetahui besarnya pengaruh redaman sinyal terhadap sinyal yang ditransmisikan. SNR dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.8).

$$SNR \text{ (dB)} = P_r \text{ (dBm)} - N \text{ (dBm)} \quad (2.8)$$

Keterangan :

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

Besarnya daya yang diterima oleh receiver (P_r) dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain yaitu kondisi daerah yang memiliki penghalang sinyal (gedung, pohon, dsb), jarak antara *transmitter* dan *receiver* serta besarnya rugi-rugi propagasi (*path loss*). Dalam kasus ini, besarnya daya yang diterima oleh receiver (P_r) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.4).

Sedangkan untuk menghitung daya noise (N), maka digunakan persamaan (2.9).

$$N = 10 \log k \cdot T + 10 \log B + NF \quad (2.9)$$

Keterangan :

- N : daya *noise* saluran transmisi (dBm)
k : konstanta Boltzman, $1,381 \times 10^{-23}$ J/ $^{\circ}$ K
T : suhu ruang, 300° K
B : *bandwidth* (Hz)
NF : *noise figure*

2.15 Energi bit to Noise (Eb/No)

Eb/No 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, Eb/No dapat didefinisikan sebagai perbandingan energi sinyal per bit terhadap noise. Energi per bit dalam sebuah sinyal dijelaskan dalam persamaan (2.10) [William Stalings, 2007 : 117]

$$E_b = S \cdot T_b \quad (2.10)$$

Keterangan :

- E_b : energi bit sinyal (joule)
S : daya sinyal (watt)
T_b : waktu yang diperlukan untuk mengirimkan satu bit (detik)

Daya sinyal noise (No) yang dipengaruhi oleh suhu lingkungan dijelaskan dalam persamaan (2.11).

$$No = k \cdot T \quad (2.11)$$

Keterangan:

- No : daya sinyal noise
k : konstanta Boltzman, $1,381 \times 10^{-23}$ J/ $^{\circ}$ K
T : suhu ruang, 290° K

Jika suatu sinyal, digital atau analog, yang berisi data digital biner yang dipancarkan pada suatu laju data tertentu, R, dimana R dapat dihitung menggunakan persamaan (2.12),

$$R = \frac{1}{T_b} \quad (2.12)$$

Keterangan :

R : laju data (bps)

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

Maka dengan mensubstitusikan nilai R ke dalam persamaan (2.13), persamaan untuk E_b akan menjadi:

$$E_{b} = \frac{S}{R} \quad (2.13)$$

Sehingga E_b/No dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.14).

$$\frac{E_b}{No} = \frac{S / R}{No} = \frac{S / R}{kT} = \frac{S}{kTR} \quad (2.14)$$

Keterangan :

$\frac{E_b}{No}$: rasio *energy bit* terhadap *noise* (dB)

S : level sinyal (watt)

N : daya *noise* saluran transmisi (watt)

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

T : suhu ruang, 290° K

R : laju data (bps)

Jika sinyal ditransmisikan dalam suatu bandwidth tertentu, B, maka nilai E_b/No dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.15).

$$\frac{E_b}{No} = \frac{S}{N} - 10 \log \frac{B}{R} \quad (2.15)$$

Keterangan :

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

S : level sinyal (watt)

N : daya *noise* saluran transmisi (watt)

B : *bandwidth* (bps)

R : laju data (bps)

2.16 Perhitungan Bit Error Rate (BER)

Didefinisikan sebagai rata-rata bit yang diterima dalam keadaan *error* setelah melalui proses transmisi. Beberapa faktor yang mempengaruhi error diantaranya adalah noise, baik yang terjadi pada saat proses transmisi ataupun yang terdapat pada peralatan transmisi. Sebuah sinyal noise dapat menyebabkan sebuah bit salah diterjemahkan. Sehingga besarnya nilai BER akan mempengaruhi throughput.

Penghitungan Probabilitas BER (P_{be}) dengan menggunakan teknik modulasi QPSK dijelaskan dalam persamaan (2.16).

$$P_{b.QPSK} = Q\left(\sqrt{2 \frac{E_b}{N_0}}\right) \quad (2.16)$$

Keterangan :

P_{be} : Probabilitas BER pada saat transmisi (tanpa satuan)

Q : simbol modulasi quadrature (QPSK)

E_b/N_0 : rasio energy bit terhadap noise pada saat transmisi

dimana,

$$Q(x) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right) \quad (2.17)$$

$$\operatorname{erfc}(x) \approx \frac{1}{\sqrt{\pi x}} e^{-x^2} \quad (2.18)$$

Keterangan :

erfc : *error function complementary*

Probabilitas paket error dapat diperoleh sebagai berikut :

$$\rho_{\text{error}} = (L + L') P_{be} \quad (2.19)$$

Keterangan :

L = panjang data (bit)

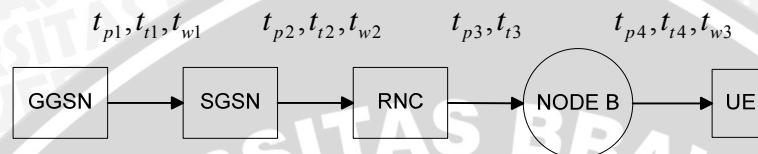
L' = jumlah header (bit)

P_{be} = probabilitas BER (*Bit Error Rate*)

ρ_{error} = probabilitas paket error

2.17 Perhitungan Delay

Salah satu ukuran performansi jaringan data adalah *delay* yang dibutuhkan untuk mengirimkan data dari sumber ke tujuannya. Definisi umum dari *delay* adalah waktu tunda. *Delay* yang terjadi merupakan penjumlahan *delay*-*delay* yang ada pada perjalanan paket dari sumber ke tujuannya yaitu *Delay Transmisi*, *Delay Propagasi*, dan *Delay Antrian WCDMA*.



Gambar 2.14 Model analisis *node* ke *node*

Sumber : Heri Hermansyah, 2008 : 56

2.18 *Delay Transmisi* (t_t)

Delay transmisi adalah waktu yang dibutuhkan untuk mentransmisikan semua data dari sumber ke tujuan. *Delay transmisi* dirumuskan sebagai berikut :

$$t_t = \frac{(L + L')}{C_{ATM}} \times 8 = \frac{W_{frame}}{C_{ATM}} \times 8 \quad (2.20)$$

Keterangan :

$t_{t(n)}$ = *delay transmisi* (s)

L = panjang data (bit)

L' = jumlah header (bit)

W_{frame} = panjang frame ATM (byte/paket)

C_{ATM} = kecepatan transmisi ATM (bps)

Delay transmisi yang terjadi pada sistem terjadi pada hubungan GGSN-SGSN, SGSN-RNC, RNC-Node B, Node B-UE. Sehingga rumus delay total transmisinya,

$$t_t = t_{t1} + t_{t2} + t_{t3} + t_{t4} \quad (2.21)$$

t_t = *delay total transmisi* (s)

t_{t1} = *delay transmisi* dari GGSN ke SGSN (s)

t_{t2} = *delay transmisi* dari SGSN ke RNC (s)

- t_{13} = delay transmisi dari RNC ke Node B (s)
 t_{14} = delay transmisi dari Node B ke UE (s)

2.19 Delay Propagasi (t_p)

Delay propagasi yaitu waktu yang diperlukan sebuah informasi (paket data) untuk merambat melalui media transmisi dari GGSN ke UE. Besar delay propagasi adalah :

$$t_p = t_{p1} + t_{p2} + t_{p3} + t_{p4} \quad (2.22)$$

Jadi :

$$t_{p(n)} = \frac{d}{v} \quad (2.23)$$

Keterangan :

- t_p = delay propagasi (s)
 $t_{p(n)}$ = delay propagasi pada titik ke-n
 t_{p1} = delay propagasi dari GGSN ke SGSN (m)
 d_1 = jarak dari GGSN ke SGSN (m)
 t_{p2} = delay propagasi dari SGSN ke RNC (s)
 d_2 = jarak dari SGSN ke RNC (m)
 t_{p3} = delay propagasi dari RNC ke Node B (s)
 d_3 = jarak dari RNC ke Node B (m)
 t_{p4} = delay propagasi dari Node B ke UE (s)
 d_4 = jarak dari Node B ke UE (m)
 v = kecepatan sinyal pada media wireless ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$)

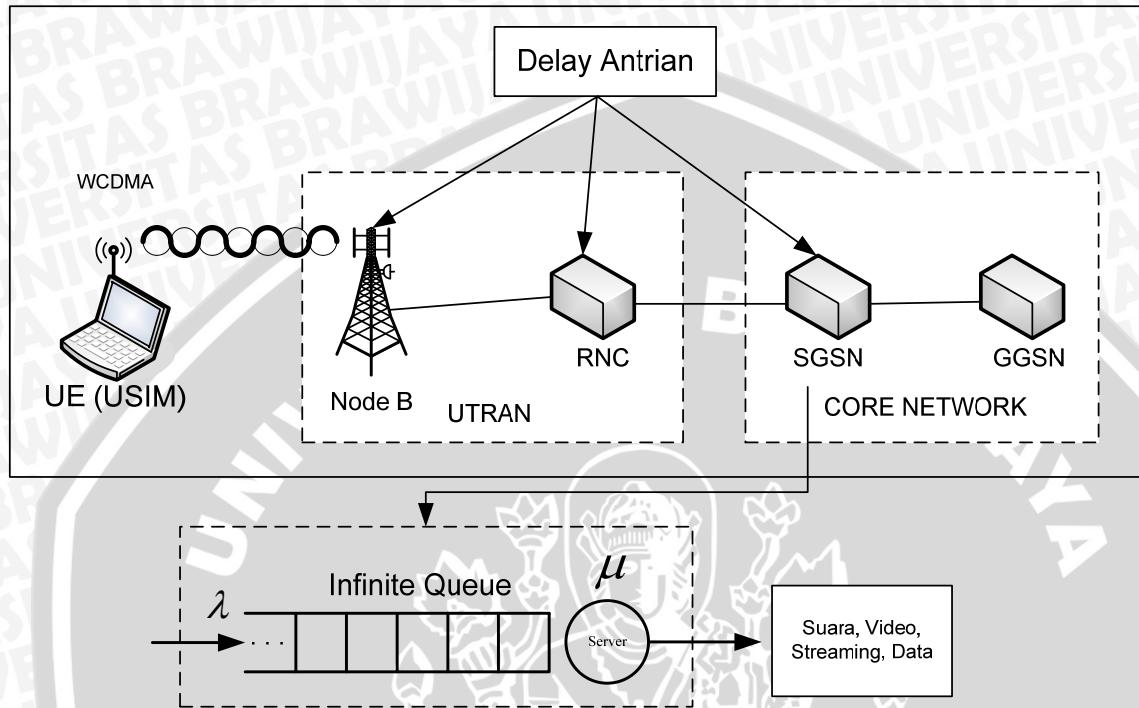
Delay propagasi sangat dipengaruhi oleh jarak antara node ke node, sehingga semakin besar jarak antara keduanya maka delay propagasi yang terjadi juga semakin besar.

2.20 Model Antrian dan Delay Antrian (t_w)

Merupakan waktu dimana paket data berada dalam antrian untuk ditransmisikan. Selama waktu ini paket data menunggu sampai selesainya paket lain ditransmisikan.

Delay antrian yang terjadi sangat dinamis, jika antrian kosong dan tidak ada paket data lain yang sedang ditransmisikan maka delay antrian tidak terjadi atau sama dengan nol.

2.20.1 Model sistem antrian WCDMA (M/M/1), sehingga delay antrian totalnya :



Gambar 2.15 Model Antrian WCDMA (M/M/1)

Sumber : Jui-Chi Chen, *Queueing Model for Code Allocation in WCDMA*

$$t_w = \frac{\lambda}{\mu} + t_s \quad (2.24)$$

Keterangan :

t_w = delay antrian total (s)

t_s = delay rata-rata kecepatan pelayanan paket pada saluran (s)

μ = kecepatan pelayanan paket (pps)

λ = kecepatan kedatangan paket (pps)

Perhitungan waktu rata-rata pelayanan antrian data (t_s) dalam persamaan (2.25).

$$t_s = \frac{1}{\mu} \quad (2.25)$$

Kecepatan kedatangan paket (λ) dapat dihitung dengan persamaan:

$$\lambda = \mu \times \rho \quad (2.26)$$

Kecepatan pelayanan paket (μ) dapat dihitung dengan persamaan:

$$\mu = \frac{C_{SISO}}{L_{paket}} \quad (2.27)$$

Dimana nilai kapasitas kanal (C) (Rohde & Schwarz, *Introduction to MIMO Systems*:4):

$$C_{SISO} = B \log_2 \left[1 + \frac{S}{N} \right] \quad (2.28)$$

Keterangan :

L_{paket} = panjang paket data

C_{SISO} = kapasitas kanal transmisi (bps)

ρ = faktor utilitas sistem *wireless*

B = bandwidth (bps)

S/N = signal to noise ratio

2.20.2 Model sistem antrian MIMO-WCDMA (M/M/4)

Model antrian ini mempunyai proses kedatangan Poisson dan distribusi pelayanan eksponensial dengan C saluran pelayanan. Disiplin antrian yang digunakan FIFO dengan kapasitas sistem yang tak berhingga dan sumber polulasi yang tak berhingga. Model sistem antrian yang digunakan model sistem antrian multiserver (M/M/4/ ∞/∞ /FIFO).

Delay antrian (t_w) (Robert S. Cahn, 1998:316) :

$$t_w = \left[\frac{1}{\mu} + \frac{(\lambda/\mu)^n \mu}{(n-1)!(n\mu-\lambda)^2} \times p_0 \right] + t_s \quad (2.29)$$

Keterangan :

t_w = delay antrian total (s)

t_s = delay rata-rata kecepatan pelayanan paket pada saluran (s)

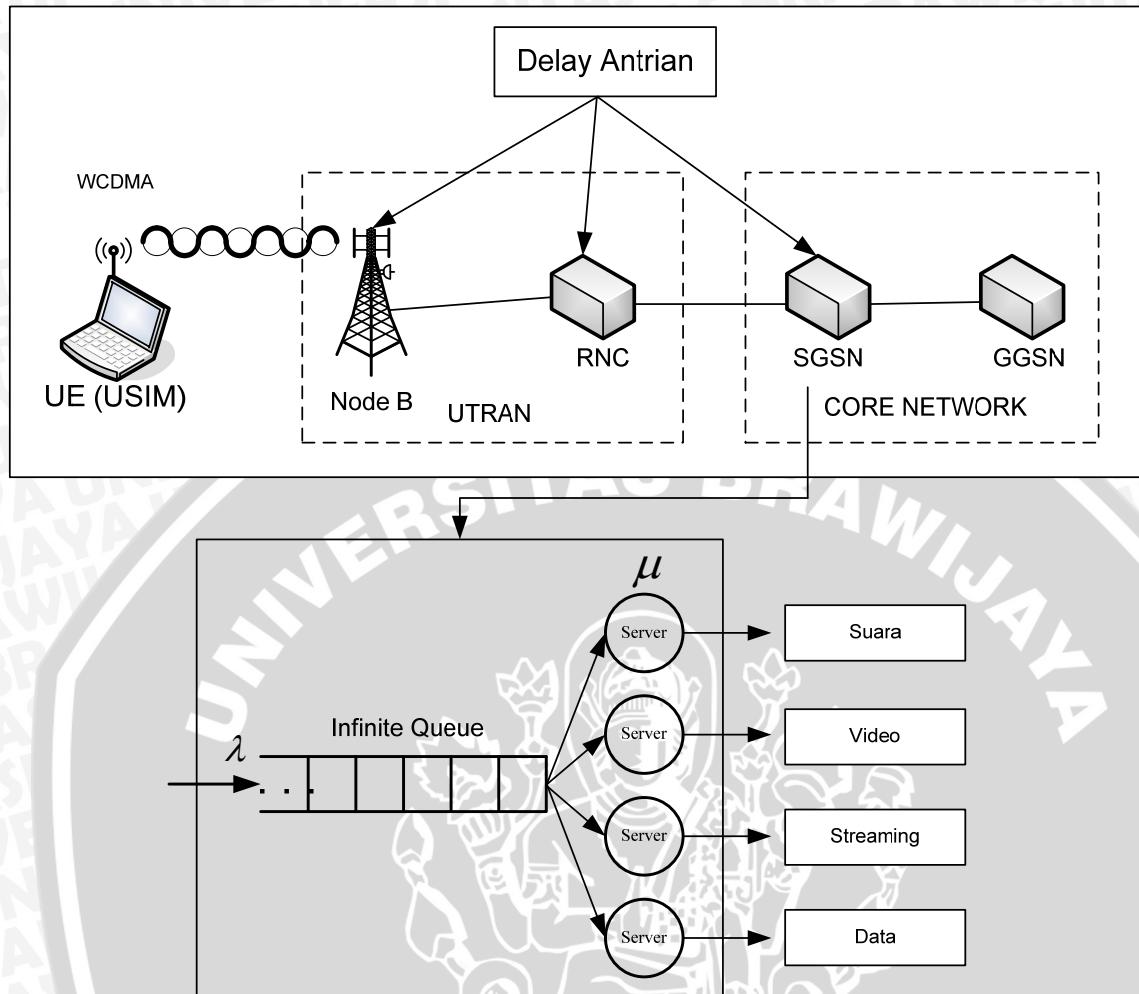
μ = kecepatan pelayanan paket (pps)

λ = kecepatan kedatangan paket (pps)

n = server

p_0 = probabilitas kedatangan paket

ρ = faktor utilitas sistem *wireless* (0,8)



Gambar 2.17 Model Antrian MIMO-WCDMA (M/M/4/ ∞/∞ /FIFO)

Sumber : Jui-Chi Chen, Queueing Model for Code Allocation in WCDMA

Faktor utilisasi saluran (ρ) :

$$\rho = \frac{\lambda}{n \times \mu} \quad (2.30)$$

Probabilitas kedatangan paket (p_0) :

$$p_0 = \frac{1}{\left(1 + \frac{\rho}{4} + \frac{\rho^2}{8} + \frac{3\rho^3}{8} + \dots\right)} \quad (2.31)$$

Perhitungan waktu rata-rata pelayanan antrian data (t_s) dalam persamaan (2.32).

$$t_s = \frac{1}{\mu} \quad (2.32)$$

Kecepatan kedatangan paket (λ) dapat dihitung dengan persamaan (2.33):

$$\lambda = \mu \times \rho \quad (2.33)$$

Kecepatan pelayanan paket (μ) dapat dihitung dengan persamaan:

$$\mu = \frac{C_{MIMO}}{L_{paket}} \quad (2.34)$$

Dimana nilai kapasitas kanal (C) (Rohde & Schwarz, *Introduction to MIMO Systems*:4):

$$C_{MIMO} = MB \log_2 \left[1 + \frac{S}{N} \right] \quad (2.35)$$

Keterangan :

L_{paket} = panjang paket data

C_{MIMO} = kapasitas kanal transmisi *Multiple-Input Multiple-Output* (bps)

ρ = faktor utilitas sistem *wireless*

B = *bandwidth* (bps)

M = jumlah antena transmisi

S/N = *signal to noise ratio*

2.20.3 Delay antrian total

$$t_w = t_{w1} + t_{w2} + t_{w3} \quad (2.36)$$

Keterangan :

t_w = delay antrian total (s)

t_{w1} = delay antrian pada SGSN (s)

t_{w2} = delay antrian pada RNC (s)

t_{w3} = delay antrian pada Node B (s)

2.21 Delay Total (t_v)

Delay total adalah waktu yang diperlukan untuk mengirimkan data dari sumber sampai ketujuan.

Delay total yang terjadi pada sistem sebesar,

$$t_v = t_t + t_p + t_w \quad (2.37)$$

Dimana :

$$t_v = \text{delay total (s)}$$

$$t_t = \text{delay transmisi total (s)}$$

$$t_p = \text{delay propagasi total (s)}$$

$$t_w = \text{delay antrian total (s)}$$

2.22 Perhitungan *Throughput* (λ)

Throughput merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui jumlah data yang diterima dalam keadaan baik terhadap waktu transmisi yang dibutuhkan dari sumber data ke penerima. Besarnya nilai throughput diperoleh sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{(1 - \rho_{\text{error}})}{t_v [1 + (\alpha - 1)\rho_{\text{error}}]} (L_{\text{paket}}) \quad (2.38)$$

Keterangan :

$$\lambda = \text{throughput (bit/s)}$$

$$t_v = \text{delay total (s)}$$

$$L_{\text{paket}} = \text{panjang paket data}$$

$$\rho_{\text{error}} = \text{probabilitas paket error}$$

$$\alpha = \text{konstanta propagasi}$$



BAB III

METODE PENELITIAN

Dalam penyusunan skripsi ini, metode yang digunakan pada penyusunan skripsi ini adalah:

3.1 Pengambilan Data

Pengambilan data yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah :

3.1.1 Pengambilan Data Sekunder

Data sekunder berupa studi literatur diambil dari buku teks, jurnal, internet, maupun data dari sumber lain yang berhubungan penerapan sistem antrian MIMO pada jaringan WCDMA. Literatur yang diperlukan adalah hal – hal yang berhubungan dengan :

- WCDMA
Meliputi pengertian, prinsip kerja, dan konfigurasi jaringan WCDMA.
- MIMO
Meliputi pengertian, prinsip kerja dan kelebihan sistem MIMO.
- Sistem Antrian
Meliputi pengertian dan prinsip kerja sistem antrian.

Beberapa data sekunder dan asumsi adalah :

Data Asumsi :

1. Faktor utilitas sistem *wireles* (ρ) = 0,2, 0,4, 0,6, 0,8

Data Sekunder :

(Gunadi Dwi Hantoro, 1999, www.elektroindonesia.com) :

1. Bandwidth = 5 Mhz

2. *Data rate* = 144 kbps, 384 kbps, dan 2000 kbps

(Linda Ekowati, 2008 : 54) :

1. $W_{frame} (L + L') = 557$ byte/paket

2. *Maximum Segment Size* (MSS) atau $L_{paket} = 512$ byte/paket

3. *Total Tx Power* (Pt) = 37 dBm

4. Tx Antenna Gain (Gt) = 18 dBi
5. Cable Loss (Lt) = 2 dB
6. UE Noise Figure (NF) = 8 dB
7. Thermal Noise = -108 dB
8. Rx Antenna Gain (Gr) = 2 dBi
9. Body Loss (Lr) = 0 dB
10. Fading Margin (FM) = 10 dB
11. Kecepatan transmisi ATM (C_{ATM}) = 155,52 Mbps
12. Noise Figure = 8
13. konstanta Boltzman (k) = $1,381 \times 10^{-23}$ J/K
14. suhu ruang (T) = 300° K
15. konstanta propagasi (α) = 1,26

3.2

Pemodelan Sistem

Metode pemodelan sistem dibutuhkan untuk memudahkan dalam menganalisis agar menjadi lebih terarah. Gambar 3.1 menunjukkan diagram alir proses pemodelan sistem.

a) Pemodelan Konfigurasi Jaringan WCDMA

Konfigurasi jaringan WCDMA yaitu bentuk jaringan yang direncanakan sesuai dengan infrastruktur yang menunjang layanan sistem antrian pada jaringan WCDMA dan sesuai dengan data sekunder yang diperoleh.

b) Pemodelan Sistem Antrian MIMO

Mengkaji model sistem antrian MIMO yang digunakan pada jaringan WCDMA, yang nantinya akan berpengaruh pada kapasitas sistem.

c) Pemodelan Sistem Antrian

Pemodelan sistem antrian yang terjadi pada saat transmisi yaitu proses masukan, proses kedatangan, proses pelayanan, kapasitas sistem, dan disiplin antrian.

Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui mekanisme antrian yang terjadi pada jaringan yang nantinya akan berpengaruh pada proses transmisi.

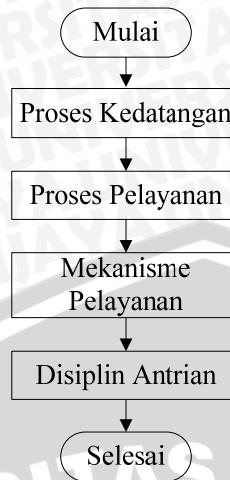
Gambar 3.2 menunjukkan diagram alir proses pemodelan sistem antrian.

- d) Identifikasi parameter yang akan digunakan untuk mengetahui penerapan model sistem antrian MIMO pada jaringan WCDMA.
- e) Perhitungan pengaruh penerapan model sistem antrian MIMO pada jaringan WCDMA terhadap *Bit Error Rate* (BER), *delay total* dan *throughput*.
- f) Mengetahui hasil penerapan model sistem antrian MIMO pada jaringan WCDMA.



Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Pemodelan Sistem

Sumber : Perencanaan



Gambar 3.2 Diagram Alir Proses Pemodelan Sistem Antrian

Sumber : Perencanaan

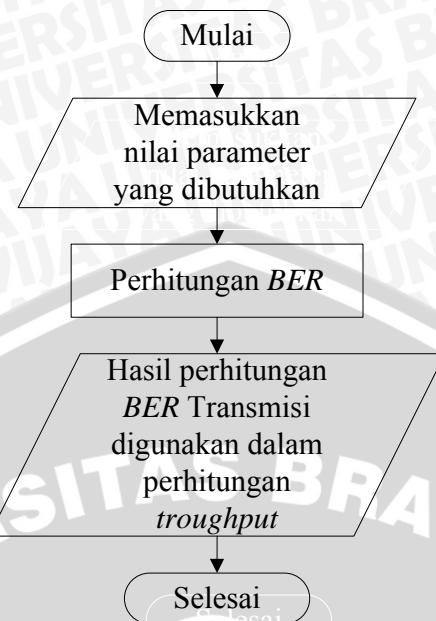
3.3 Analisis Sistem

Analisis pada skripsi ini dilakukan dengan mengamati sistem secara keseluruhan.

Pengamatan yang dilakukan antara lain :

3.3.1 Bit Error Rate (BER)

Didefinisikan sebagai rata-rata bit yang diterima dalam keadaan *error* setelah melalui proses transmisi. Beberapa faktor yang mempengaruhi error diantaranya adalah noise, baik yang terjadi pada saat proses transmisi ataupun yang terdapat pada peralatan transmisi. Sebuah sinyal noise dapat menyebabkan sebuah bit salah diterjemahkan. Sehingga besarnya nilai BER akan mempengaruhi throughput. Gambar 3.3 menunjukkan proses perhitungan BER.



Gambar 3.3 Diagram Alir Perhitungan BER

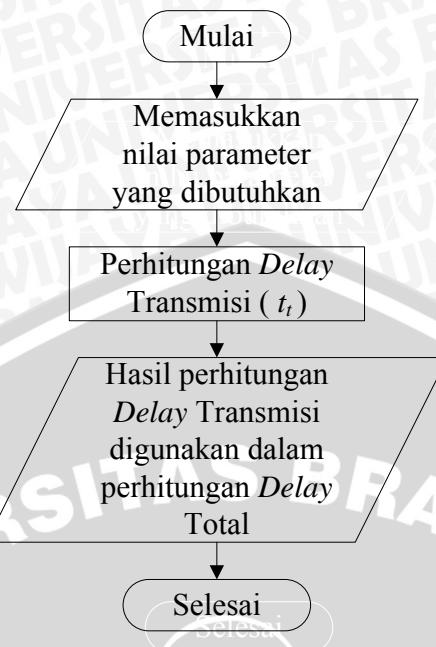
Sumber: Perancangan

3.3.2 Perhitungan Delay

Merupakan penjumlahan *delay-delay* yang ada dalam perjalanan paket dari sumber ke tujuannya yaitu Delay Transmisi, Delay Propagasi, dan Delay Antrian WCDMA. Gambar 3.4 menunjukkan proses perhitungan *delay*.

3.3.2.1 Delay Transmisi (t_t)

Waktu yang dibutuhkan untuk mentransmisikan semua data dari sumber ke tujuan.

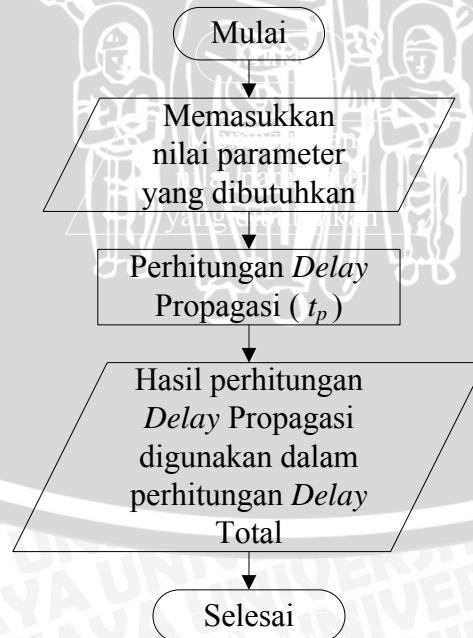


Gambar 3.4 Diagram Alir Perhitungan *Delay* Transmisi

Sumber : Perencanaan

3.3.2.2 *Delay Propagasi* (t_p)

Merupakan waktu perambatan atau penjalaran ke udara yang dibutuhkan oleh sebuah paket data

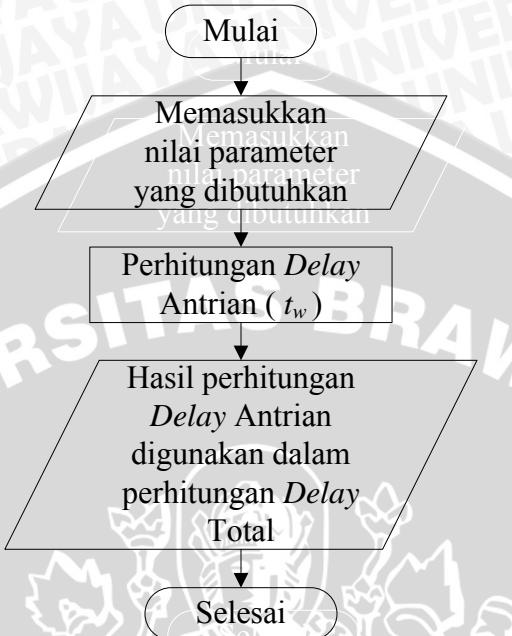


Gambar 3.5 Diagram Alir Perhitungan *Delay* Propagasi

Sumber : Perencanaan

3.3.2.3 Model Antrian dan *Delay* Antrian (t_w)

Merupakan waktu dimana paket data tersebut berada dalam antrian untuk ditransmisikan.

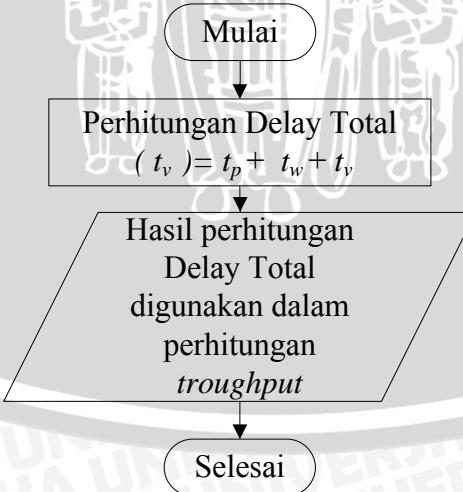


Gambar 3.6 Diagram Alir Perhitungan Delay Antrian

Sumber : Perencanaan

3.3.2.4 *Delay* Total (t_v)

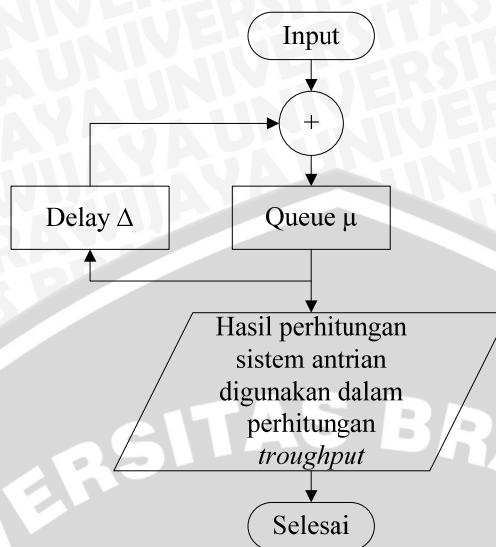
Waktu yang diperlukan untuk mengirimkan data dari sumber sampai ke tujuan,



Gambar 3.7 Diagram Alir Perhitungan Delay

Sumber : Perencanaan

3.3.3 Proses Sistem Antrian

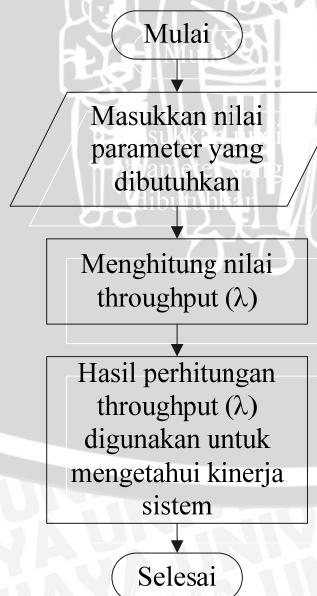


Gambar 3.8 Diagram Alir Proses Sistem Antrian

Sumber : Perencanaan

3.3.4 Perhitungan *Throughput* (λ)

Throughput merupakan parameter yang digunakan mengetahui jumlah data yang diterima dalam keadaan baik terhadap waktu transmisi yang dibutuhkan dari sumber data ke penerima. Gambar 3.5 menunjukkan proses perhitungan *Throughput*.



Gambar 3.9 Diagram Alir Perhitungan *Throughput*

Sumber : Perencanaan

Hasil perhitungan *throughput* digunakan untuk menganalisa penerapan sistem antrian MIMO pada jaringan WCDMA, sehingga dapat diketahui hilangnya paket pada waktu proses transmisi.

3.4 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan diambil berdasarkan analisis dan pemecahan dari permasalahan yang terjadi pada penerapan sistem antrian MIMO pada jaringan WCDMA. Sedangkan saran berisi tentang pengembangan dari sistem yang telah ada.



BAB IV

PEMBAHASAN DAN HASIL

4.1 Umum

Dalam bab ini akan dilakukan analisis dan pembahasan tentang pengaruh penerapan sistem antrian *Multiple-Input Multiple-Output* (MIMO) pada jaringan *Wideband Code Division Multiple Access* (WCDMA). Metode analisis yang digunakan dalam skripsi ini adalah analisis metematis, yaitu dilakukan dengan mengumpulkan nilai-nilai parameter yang berupa data sekunder serta melakukan perhitungan menggunakan persamaan-persamaan yang telah dijelaskan dalam Bab II. Analisis yang dilakukan meliputi analisis perhitungan model sistem antrian MIMO pada jaringan WCDMA, yaitu *Bit Error Rate* (BER), *delay*, serta *throughput*. Data sekunder yang digunakan antara lain berupa spesifikasi teknis untuk WCDMA serta jenis layanan WCDMA yang diperoleh dari skripsi dan jurnal.

Untuk mempermudah proses analisis dan perhitungan, maka digunakan beberapa data sekunder dan data asumsi seperti ditunjukkan Tabel 4.1

Tabel 4.1 Parameter Perhitungan

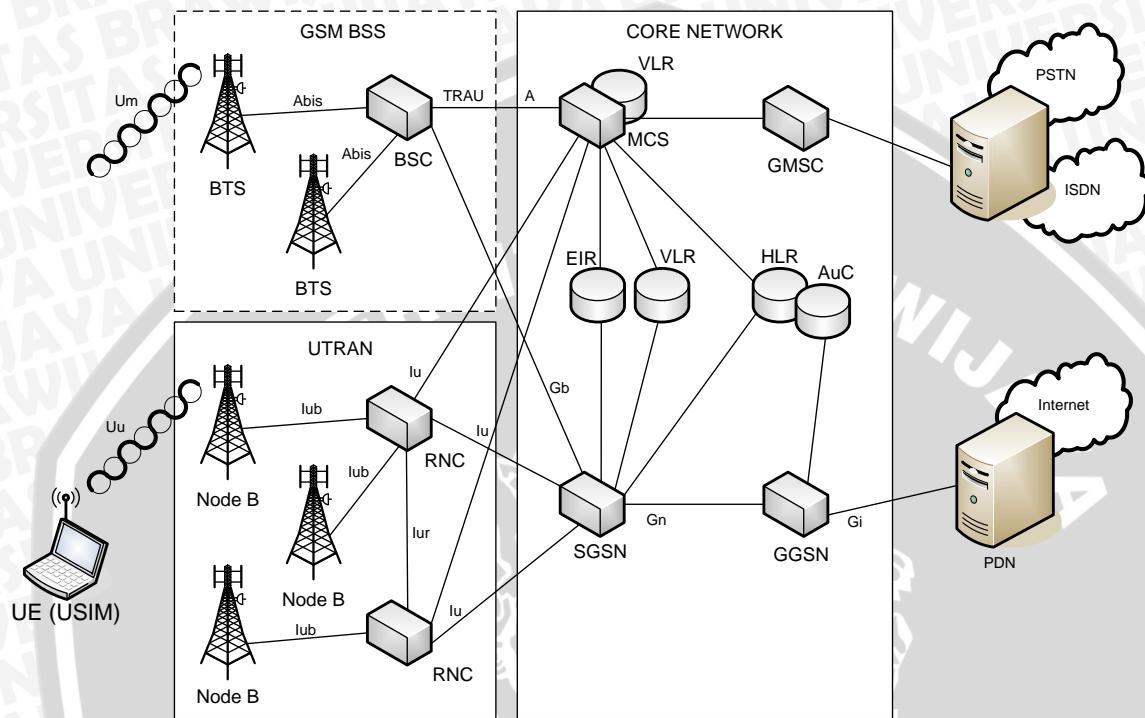
No.	Parameter	Nilai
Data Asumsi		
1	Faktor utilitas sistem <i>wireles</i> (ρ)	0,2, 0,4, 0,6, 0,8
Data Sekunder (Gunadi Dwi Hantoro, 1999, www.elektroindonesia.com)		
2	Bandwidth	5 Mhz
3	Data rate	144 kbps, 384 kbps
Data Sekunder (Linda Ekowati, 2008 : 54)		
4	Panjang frame ATM (W_{frame}) atau ($L + L'$)	557 byte/paket

5	<i>Maximum Segment Size (MSS)</i> atau L_{paket}	512 byte/paket
6	<i>Total Tx Power (Pt)</i>	37 dBm
7	<i>Tx Antenna Gain (Gt)</i>	18 dBi
8	<i>Cable Loss (Lt)</i>	2 dB
9	<i>UE Noise Figure (NF)</i>	8 dB
10	<i>Thermal Noise</i>	-108 dB
11	<i>Rx Antenna Gain (Gr)</i>	2 dBi
12	<i>Body Loss (Lr)</i>	0 dB
13	<i>Fading Margin (FM)</i>	10 dB
14	Kecepatan transmisi ATM (C_{ATM})	155,52 Mbps
15	<i>Noise Figure</i>	8
16	konstanta Boltzman (k)	$1,381 \times 10^{-23} \text{ J}^{\circ}\text{K}$
17	suhu ruang (T)	300° K
18	konstanta propagasi (α)	1,26

Sumber : Data Sekunder dan Asumsi

4.2 Konfigurasi Jaringan WCDMA

Jaringan WCDMA yang merupakan air interface dari UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) memiliki arsitektur jaringan seperti pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Konfigurasi Jaringan WCDMA

Sumber : shanmg.wordpress.com/3g-4g/

Jaringan akses radio menyediakan koneksi antara terminal mobile dan Core Network. Dalam UMTS jaringan akses radio dinamakan UTRAN. UTRAN terdiri dari Radio Network Systems (RNS), dimana setiap RNS meliputi RNC (dianalogikan dengan GSM BSC) dan Node B (sebagai Base Station). Sebuah RNS merupakan suatu sub-jaringan dalam UTRAN dan terdiri dari Radio Network Controller (RNC) dan satu atau lebih Node B. RNS dihubungkan antar RNC melalui suatu Iur *Interface* dan Node B dihubungkan dengan satu Iub *Interface*.

Core Network merupakan jaringan inti yang telah dibangun sebelum adanya, UMTS. Jaringan ini berfungsi sebagai *switching* pada jaringan UMTS, memanajemenkan jaringan serta sebagai *interface* antara jaringan UMTS dengan jaringan yang lainnya.

4.3 Perhitungan Redaman Propagasi (*Path Loss*)

Gelombang radio yang dipancarkan oleh base station akan merambat melalui banyak halangan sehingga terjadi rugi – rugi yang disebabkan oleh redaman. Rugi lintasan tergantung pada jarak antara pemancar dan penerima, frekuensi carrier yang digunakan, gain antena pemancar dan penerima dan karakteristik lingkungan antara pemancar dan penerima.

Pada kondisi ini akan dihitung besarnya nilai redaman propagasi (*path loss*) jika jarak antara User Equipment (UE) dan Node B berubah-ubah mulai dari jarak 6 km – 15 km. Dengan menggunakan persamaan (2.3), maka nilai *path loss* dapat dihitung sebagai berikut :

$$PL(dB) = 40 \log d - (10 \log G_t + 10 \log G_r + 20 \log h_t + 20 \log h_r)$$

Jika telah diketahui:

Tinggi antena Node B (h_t) = 50 m; Tinggi antena UE (h_r) = 1 m;

P_t = 37 dBm ; G_t = 18 dBi ; G_r = 2 dBi ; L_t = 2 dB ; L_r = 0 dB ; FM = 10 dB

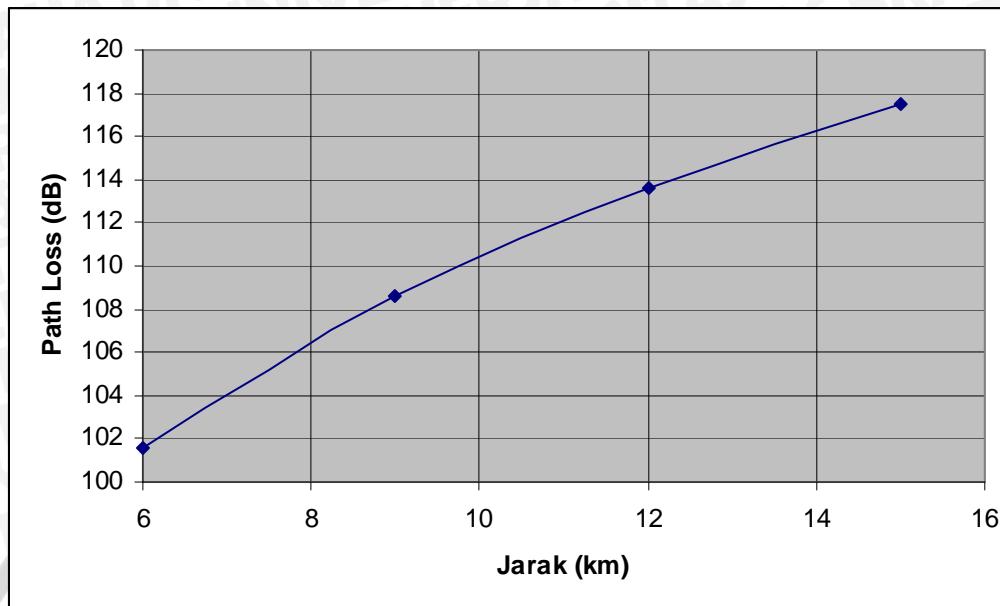
Maka nilai *path loss* untuk jarak 12 km pada kondisi NLOS yaitu :

$$\begin{aligned} PL(dB) &= 40 \log 12000 - (10 \log 18 + 10 \log 2 + 20 \log 50 + 20 \log 1) \\ &= 163,167 - (12,553 + 3,010 + 33,980 + 0) 49,543 \\ &= 113,624 \text{ dB} \end{aligned}$$

Table 4.2. Path Loss (PL)

Jarak UE – Node B	Path Loss (PL)
6 km	101,569 dB
9 km	108,626 dB
12 km	113,624 dB
15 km	117,5 dB

Sumber : Perhitungan



Gambar 4.2 Grafik nilai *path loss* terhadap jarak Node B dengan UE

Sumber : Hasil perhitungan

Untuk menghitung level sinyal terima pada receiver, maka digunakan persamaan (2.4).

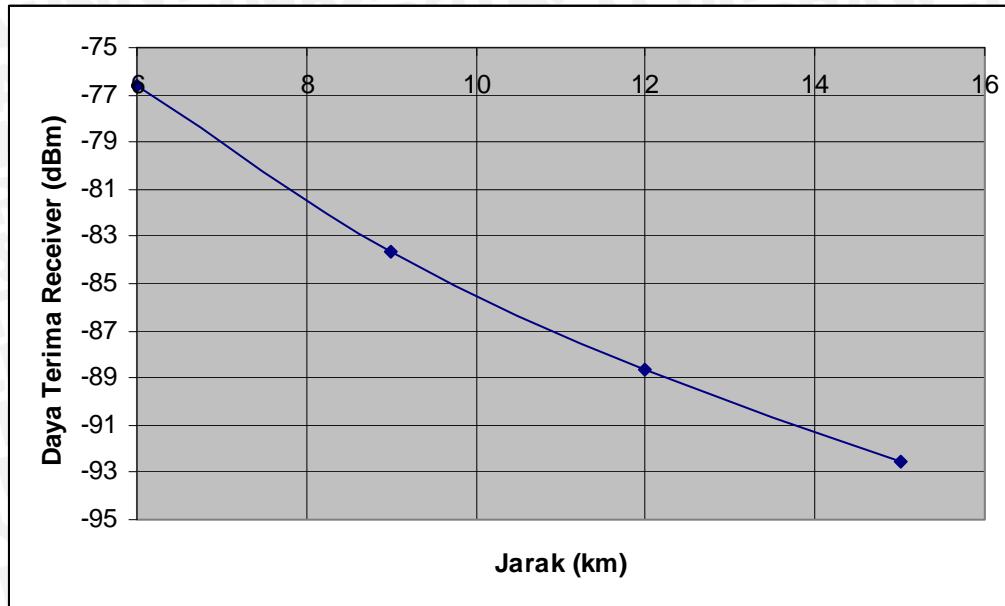
$$\begin{aligned}P_r (\text{dBm}) &= P_t - L_t - L_r - PL - FM \\&= 37 - 2 - 113,624 - 10 \\&= -88,624 \text{ dBm}\end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan Node B antara 6 km – 15 km, maka akan diperoleh nilai *path loss* seperti pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Daya terima *receiver* (P_r)

Jarak UE – Node B	Daya terima <i>receiver</i> (P_r)
6 km	-76,569 dBm
9 km	-83,626 dBm
12 km	-88,624 dBm
15 km	-92,5 dBm

Sumber : Perhitungan



Gambar 4.3 Grafik nilai level daya terima P_r terhadap jarak Node B dengan UE

Sumber : Hasil perhitungan

4.4 Perhitungan *Signal to Noise Ratio* (SNR)

- Perhitungan daya noise (N), dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.11).

$$\begin{aligned} N &= 10 \log k.T + 10 \log B + NF \\ &= 10 \log (1,381 \times 10^{-23} \times 300) + 10 \log (5 \times 10^6) + 8 \\ &= -203,827 + 66,989 + 8 \\ &= -128,838 \text{ dBm} \end{aligned}$$

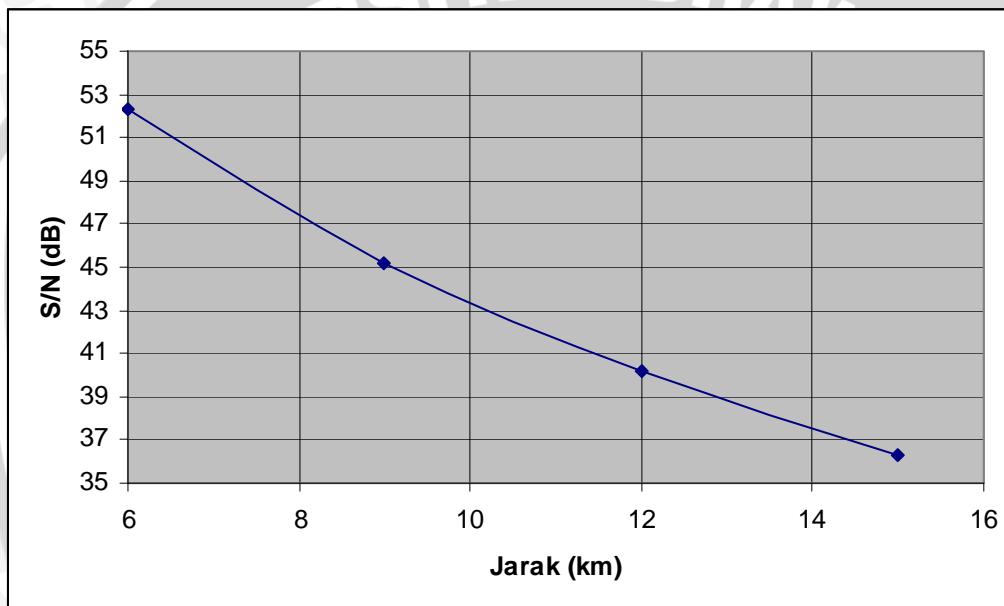
- Perhitungan Signal to Noise Ratio (SNR), dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.10).

$$\begin{aligned} SNR \text{ (dB)} &= P_r \text{ (dBm)} - N \text{ (dBm)} \\ &= -88,624 - (-128,838) = 40,214 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan Node B antara 6 km – 15 km, maka akan diperoleh nilai SNR seperti pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Signal to Noise Ratio (SNR)

Jarak UE – Node B	S/N
6 km	52,269 dB
9 km	45,212 dB
12 km	40,214 dB
15 km	36,338 dB

Sumber : Perhitungan**Gambar 4.4** Grafik nilai Signal to Noise Ration terhadap jarak Node B dengan UE*Sumber : Hasil perhitungan*

4.5 Perhitungan *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), dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.9), dengan data rate 144 kbps untuk jarak 12 km.

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

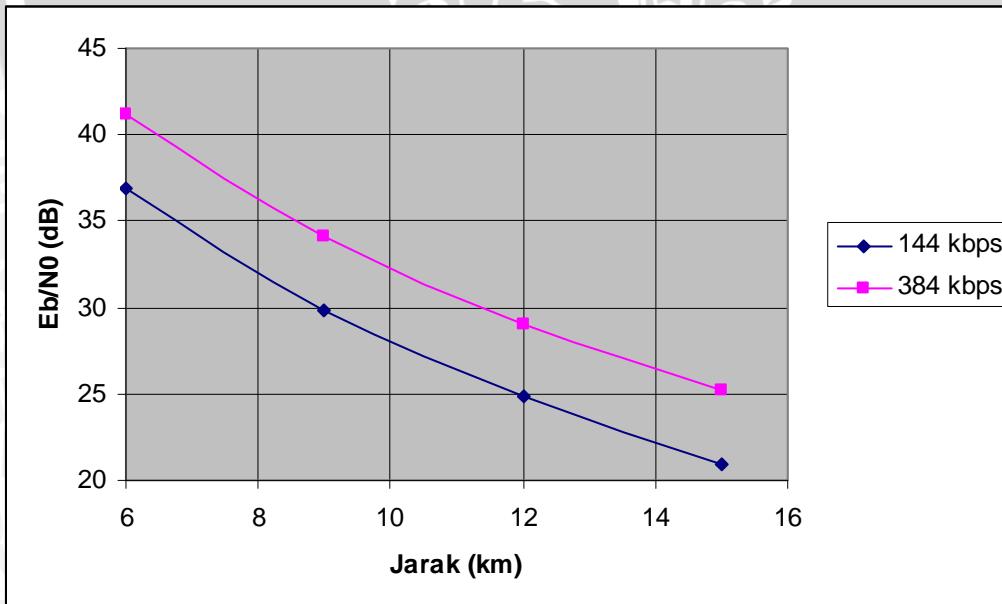
$$\frac{E_b}{N_o} (dB) = 40,214 - 10 \log \left(\frac{5 \times 10^6}{144 \times 10^3} \right) = 40,214 - 15,406 = 24,808 \text{ dB}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan Node B antara 6 km – 15 km, dan data rate 384 kbps 2 Mbps maka akan diperoleh nilai Eb/No seperti pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Energy bit to Noise Ratio (Eb/No)

Data Rate	Jarak UE – Node B	Eb/No
144 kbps	6 km	36,863 dB
	9 km	29,806 dB
	12 km	24,808 dB
	15 km	20,932 dB
384 kbps	6 km	41,123 dB
	9 km	34,066 dB
	12 km	29,068 dB
	15 km	25,192 dB

Sumber : Perhitungan



Gambar 4.5 Grafik nilai Eb/N0 terhadap jarak Node B dengan UE

Sumber : Hasil perhitungan

4.6 Bit Error Rate (BER)

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

Penghitungan Probabilitas BER (P_{be}) dengan menggunakan teknik modulasi QPSK dengan berdasarkan Tabel 4.1 diketahui nilai bandwidth (B) = 5 MHz, bit rate (R) yang digunakan = 144 kbps.

Perhitungan Probabilitas BER (P_{be}) dengan $E_b/N_0 = 24,808$ dB dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.16).

$$\begin{aligned} P_{be.QPSK} &= Q\left(\sqrt{2 \frac{E_b}{N_0}}\right) \\ &= Q\left(\sqrt{2 \times 24,808}\right) \\ &= Q(7,043) \end{aligned}$$

Dengan nilai (x) adalah (10,173) maka diperoleh :

$$\begin{aligned} Q(x) &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right) \\ Q(7,043) &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{7,043}{\sqrt{2}}\right) \\ &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(4,98) \end{aligned}$$

Dimana,

$$\begin{aligned} \operatorname{erfc}(x) &\approx \frac{1}{\sqrt{\pi x}} \cdot e^{-x^2} \\ \operatorname{erfc}(4,98) &\approx \frac{1}{\sqrt{3,14 \times 4,98}} \cdot e^{-4,98^2} \\ &\approx \frac{1}{3,954} \cdot e^{-24,8} \\ &\approx 4,28789 \times 10^{-12} \end{aligned}$$

$$\text{Sehingga, } Q(4,28789) = \frac{1}{2}(4,28789 \times 10^{-12}) = 2,1439 \times 10^{-12}$$

Perhitungan nilai probabilitas paket *error* (ρ) dengan menggunakan persamaan (2.19)

$$\begin{aligned}\rho_{\text{error}} &= (L + L')P_{be} \\ &= 4456 \times 2,1439 \times 10^{-12} \\ &= 9,5532 \times 10^{-9}\end{aligned}$$

Teknologi WCDMA yang menggunakan jenis modulasi QPSK diharapkan mempunyai nilai batas BER maksimum sebesar 10^{-6} , artinya dari 1 juta bit ada 1 bit yang mengalami kerusakan. Dari hasil perhitungan nilai $P_{be} = 2,1439 \times 10^{-12}$ probabilitas paket *error* (ρ_{error}) = $9,5532 \times 10^{-9}$, dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan Node B antara 6 km – 15 km, maka akan diperoleh nilai P_{be} seperti pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Bit Error Rate (BER) dan probabilitas paket *error* (ρ_{error})

Data Rate	Jarak UE – Node B	Bit Error Rate (BER)	probabilitas paket <i>error</i> (ρ_{error})
144 kbps	6 km	$1,1218 \times 10^{-17}$	$4,9987 \times 10^{-14}$
	9 km	$1,3793 \times 10^{-14}$	$6,1461 \times 10^{-11}$
	12 m	$2,1439 \times 10^{-12}$	$9,5532 \times 10^{-9}$
	15 m	$1,0711 \times 10^{-10}$	$4,7728 \times 10^{-7}$
384 kbps	6 km	$1,5423 \times 10^{-19}$	$6,8724 \times 10^{-16}$
	9 km	$1,8741 \times 10^{-16}$	$8,3509 \times 10^{-13}$
	12 km	$2,8902 \times 10^{-14}$	$1,287 \times 10^{-10}$
	15 km	$1,4445 \times 10^{-12}$	$6,4366 \times 10^{-9}$

Sumber : Perhitungan

4.7 Delay Transmisi (t_t)

Delay transmisi dihitung berdasarkan total waktu yang dibutuhkan untuk meletakkan sebuah informasi ke media transmisi, antara lain yaitu dari GGSN ke SGSN, dari SGSN ke RNC, dari RNC ke Node B, dan dari Node B ke UE. Delay transmisi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.20)

$$\begin{aligned}t_t &= \frac{(L + L')}{C_{ATM}} \times 8 = \frac{W_{frame}}{C_{ATM}} \times 8 \\&= \frac{557}{155,52 \times 10^6} \times 8 \\&= 2,865 \times 10^{-5} \text{ s}\end{aligned}$$

Delay transmisi total menggunakan persamaan (2.21)

$$\begin{aligned}t_t &= t_{t1} + t_{t2} + t_{t3} + t_{t4} \\&= (2,865 \times 10^{-5} + 2,865 \times 10^{-5} + 2,865 \times 10^{-5} + 2,865 \times 10^{-5}) \\&= 1,146 \times 10^{-4} \text{ s}\end{aligned}$$

4.8 Delay Propagasi (t_p)

Delay propagasi yaitu waktu yang diperlukan sebuah informasi (paket data) untuk merambat melalui media transmisi dari GGSN ke UE. Diasumsikan jarak tiap node sebagai berikut :

- GGSN ke SGSN = 150 m
- SGSN ke RNC = 80.000 m
- RNC ke Node B = 8000 m
- Node B ke UE = 1500 m

Maka dapat dihitung delay propagasinya menggunakan persamaan (2.22 dan 2.23)

$$t_{p(n)} = \frac{d}{v}$$

$$t_{p(1)} = \frac{150}{3 \times 10^8} = 5 \times 10^{-7} \text{ s}$$

$$t_{p(2)} = \frac{80.000}{3 \times 10^8} = 2,66 \times 10^{-4} \text{ s}$$

$$t_{p(3)} = \frac{8000}{3 \times 10^8} = 2,66 \times 10^{-5} \text{ s}$$

$$t_{p(4)} = \frac{12000}{3 \times 10^8} = 4 \times 10^{-5} \text{ s}$$

Sehingga, delay propagasi total

$$t_p = t_{p1} + t_{p2} + t_{p3} + t_{p4}$$

$$\begin{aligned}
 &= 5 \times 10^{-7} + 2,66 \times 10^{-4} + 2,66 \times 10^{-5} + 4 \times 10^{-5} \\
 &= 3,331 \times 10^{-4} \text{ s}
 \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan Node B antara 6 km – 15 km, maka akan diperoleh nilai *delay* propagasi (t_p) total seperti pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7. *Delay* propagasi (t_p) total

Jarak UE – Node B	<i>Delay</i> Propagasi (t_p)	<i>Delay</i> propagasi (t_p) total
6 km	2×10^{-5} s	$3,131 \times 10^{-4}$ s
9 km	3×10^{-5} s	$3,231 \times 10^{-4}$ s
12 km	4×10^{-5} s	$3,331 \times 10^{-4}$ s
15 km	5×10^{-5} s	$3,431 \times 10^{-4}$ s

Sumber : Perhitungan

4.9 Model Antrian dan *Delay* Antrian (t_w)

Delay antrian adalah waktu yang dibutuhkan sebuah informasi selama berada dalam antrian untuk ditransmisikan.

4.9.1 Model sistem antrian WCDMA (M/M/1)

Delay antrian M/M/1 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.24)

$$t_w = \frac{\lambda / \mu}{(\mu - \lambda)} + t_s$$

Untuk menghitung *Delay* Antrian (t_w) ini diperlukan langkah-langkah sebagai berikut :

- Perhitungan kecepatan pelayanan paket (μ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.27).

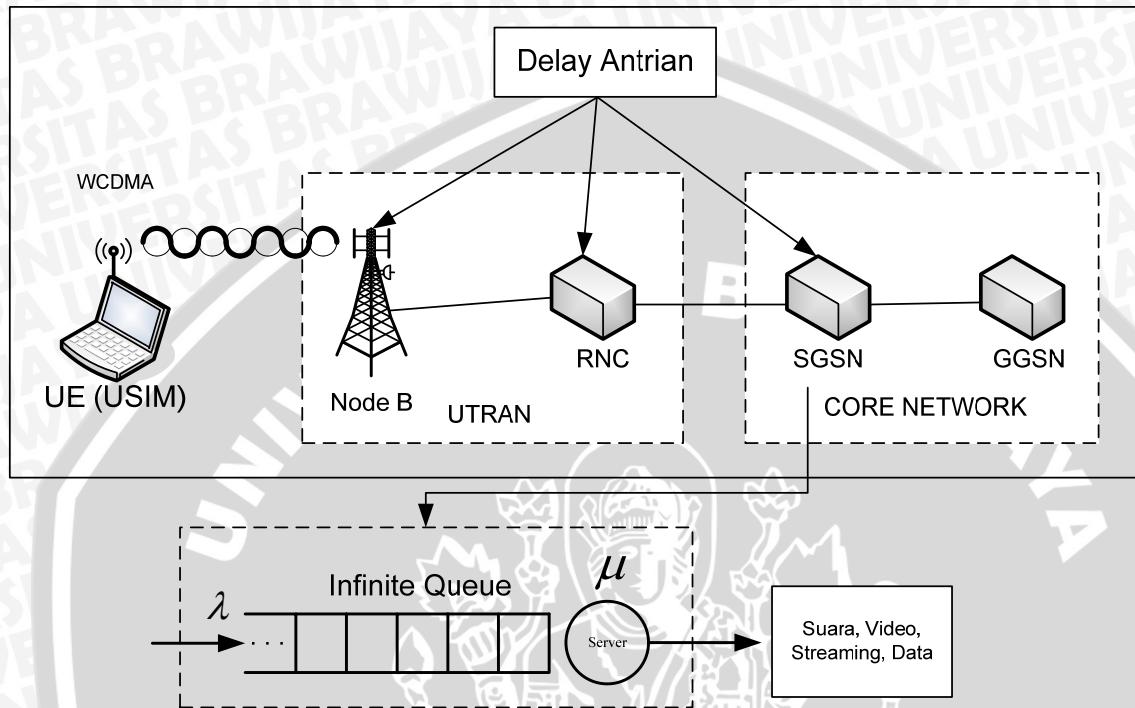
$$\mu = \frac{C_{SISO}}{L_{paket}}$$

Dengan $L_{paket} = 512 \times 8$ bit/paket dan $S/N = 40,214$ untuk jarak UE - node B 12 km, nilai kapasitas kanal (C_{SISO}) menggunakan persamaan (2.28)

$$C_{SISO} = B \log_2 \left[1 + \frac{S}{N} \right]$$

$$= (5 \times 10^6) \times \log_2 [1 + 40,214]$$

$$= 26,825 \text{ Mbps}$$



Gambar 4.6 Model Antrian WCDMA (M/M/1)

Sumber : www.slideshare.net

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan Node B antara 6 km – 15 km, maka akan diperoleh nilai kapasitas kanal (C_{SISO}) seperti pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8. Kapasitas kanal SISO (C_{SISO})

Jarak UE – Node B	Kapasitas kanal (C_{SISO})
6 km	28,589 Mbps
9 km	27,493 Mbps
12 m	26,825 Mbps
15 km	25,917 Mbps

Sumber : Perhitungan

$$\text{Sehingga, } \mu = \frac{26,825 \times 10^6}{512 \times 8}$$

$$= 6549 \text{ pps}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan Node B antara 6 km – 15 km, maka akan diperoleh nilai kecepatan pelayanan paket (μ) seperti pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9. Kecepatan pelayanan paket (μ)

Jarak UE – Node B	Kecepatan pelayanan paket (μ)
6 km	6979 pps
9 km	6712 pps
12 km	6549 pps
15 km	6327 pps

Sumber : Perhitungan

- Perhitungan kecepatan kedatangan paket (λ)

Dengan faktor utilitas sistem *wireless* (0,8), perhitungan kecepatan kedatangan paket (λ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.26).

$$\begin{aligned}\lambda &= \mu \times \rho \\ &= 6549 \times 0,8 \\ &= 5239 \text{ pps}\end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan Node B antara 6 km – 15 km, maka akan diperoleh nilai kecepatan kedatangan paket (λ) seperti pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10. Kecepatan kedatangan paket (λ)

Faktor utilitas sistem <i>wireless</i>	Jarak UE – Node B	Kecepatan kedatangan paket (λ)
0,2	6 km	1395 pps
	9 km	1342 pps
	12 km	1309 pps
	15 km	1265 pps
0,4	6 km	2791 pps
	9 km	2684 pps
	12 km	2619 pps
	15 km	2530 pps
0,6	6 km	4187 pps
	9 km	4027 pps
	12 km	3929 pps

0,8	15 km	3796 pps
	6 km	5583 pps
	9 km	5369 pps
	12 km	5239 pps
	15 km	5061 pps

Sumber : Perhitungan

- Perhitungan delay rata-rata pelayanan antrian data (t_s)

Besarnya nilai t_s dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.25).

$$t_s = \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{1}{6549} = 1,526 \times 10^{-4} \text{ s}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan Node B antara 6 km – 15 km, maka akan diperoleh nilai *delay* rata-rata pelayanan antrian data (t_s) seperti pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Delay rata-rata pelayanan antrian data (t_s)

Jarak UE – Node B	Delay rata-rata pelayanan antrian data (t_s)
6 km	$1,432 \times 10^{-4}$ s
9 km	$1,489 \times 10^{-4}$ s
12 km	$1,526 \times 10^{-4}$ s
15 km	$1,581 \times 10^{-4}$ s

Sumber : Perhitungan

Setelah diperoleh nilai-nilai yang diperlukan, maka dapat dihitung delay antrian sebagai berikut :

$$t_w = \frac{6549 / 5239}{(5239 - 6549)} + (1,526 \times 10^{-4})$$

$$= 7,623 \times 10^{-4} \text{ s}$$

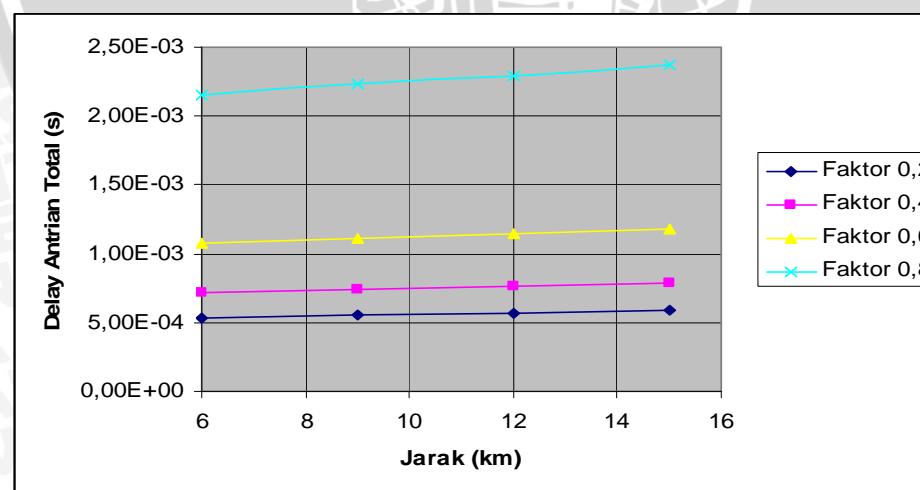
Sehingga delay antrian total WCDMA (M/M/1) yaitu:

$$t_w = t_{w1} + t_{w2} + t_{w3}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan Node B antara 6 km – 15 km, maka akan diperoleh nilai *Delay Antrian total* (t_w) seperti pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Delay Antrian total (t_w)

faktor utilitas sistem wireless	Jarak UE – Node B	<i>Delay Antrian (t_w)</i>	<i>Delay Antrian total (t_w)</i>
0,2	6 km	$1,789 \times 10^{-4}$ s	$5,367 \times 10^{-4}$ s
	9 km	$1,861 \times 10^{-4}$ s	$5,583 \times 10^{-4}$ s
	12 km	$1,907 \times 10^{-4}$ s	$5,721 \times 10^{-4}$ s
	15 km	$1,975 \times 10^{-4}$ s	$5,925 \times 10^{-4}$ s
0,4	6 km	$2,386 \times 10^{-4}$ s	$7,158 \times 10^{-4}$ s
	9 km	$2,481 \times 10^{-4}$ s	$7,443 \times 10^{-4}$ s
	12 km	$2,543 \times 10^{-4}$ s	$7,629 \times 10^{-4}$ s
	15 km	$2,634 \times 10^{-4}$ s	$7,902 \times 10^{-4}$ s
0,6	6 km	$3,581 \times 10^{-4}$ s	$1,074 \times 10^{-3}$ s
	9 km	$3,723 \times 10^{-4}$ s	$1,116 \times 10^{-3}$ s
	12 km	$3,815 \times 10^{-4}$ s	$1,144 \times 10^{-3}$ s
	15 km	$3,951 \times 10^{-4}$ s	$1,185 \times 10^{-3}$ s
0,8	6 km	$7,162 \times 10^{-4}$ s	$2,148 \times 10^{-3}$ s
	9 km	$7,445 \times 10^{-4}$ s	$2,233 \times 10^{-3}$ s
	12 km	$7,632 \times 10^{-4}$ s	$2,289 \times 10^{-3}$ s
	15 km	$7,899 \times 10^{-4}$ s	$2,369 \times 10^{-3}$ s

Sumber : Hasil Perhitungan**Gambar 4.7** Grafik *Delay antrian total* terhadap jarak Node B dengan UE*Sumber : Hasil perhitungan*

4.9.2 Model sistem antrian MIMO-WCDMA (M/M/4)

Delay antrian M/M/4/ ∞/∞ /FIFO dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.29)

$$t_w = \left[\frac{(\lambda/\mu)^n \mu}{(n-1)!(n\mu - \lambda)^2} \times p_0 \right] + t_s$$

Untuk menghitung *Delay Antrian* (t_w) ini diperlukan langkah-langkah sebagai berikut :

- Perhitungan kecepatan pelayanan paket (μ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.34).

$$\mu = \frac{C_{MIMO}}{L_{paket}}$$

Dengan $L_{paket} = 512 \times 8$ bit/paket dan nilai kapasitas kanal MIMO (C_{MIMO}) menggunakan persamaan (2.35)

$$C_{MIMO} = MB \log_2 \left[1 + \frac{S}{N} \right]$$

$$= (2) \times (5 \times 10^6) \times \log_2 [1 + 40,214] = 53,296 \text{ Mbps}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan Node B antara 6 km – 15 km, maka akan diperoleh nilai kapasitas kanal MIMO (C_{MIMO}) seperti pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Kapasitas kanal MIMO (C_{MIMO})

Jarak UE – Node B	Kapasitas kanal MIMO (C_{MIMO})
6 km	57,178 Mbps
9 km	54,986 Mbps
12 km	53,296 Mbps
15 km	51,834 Mbps

Sumber : Perhitungan

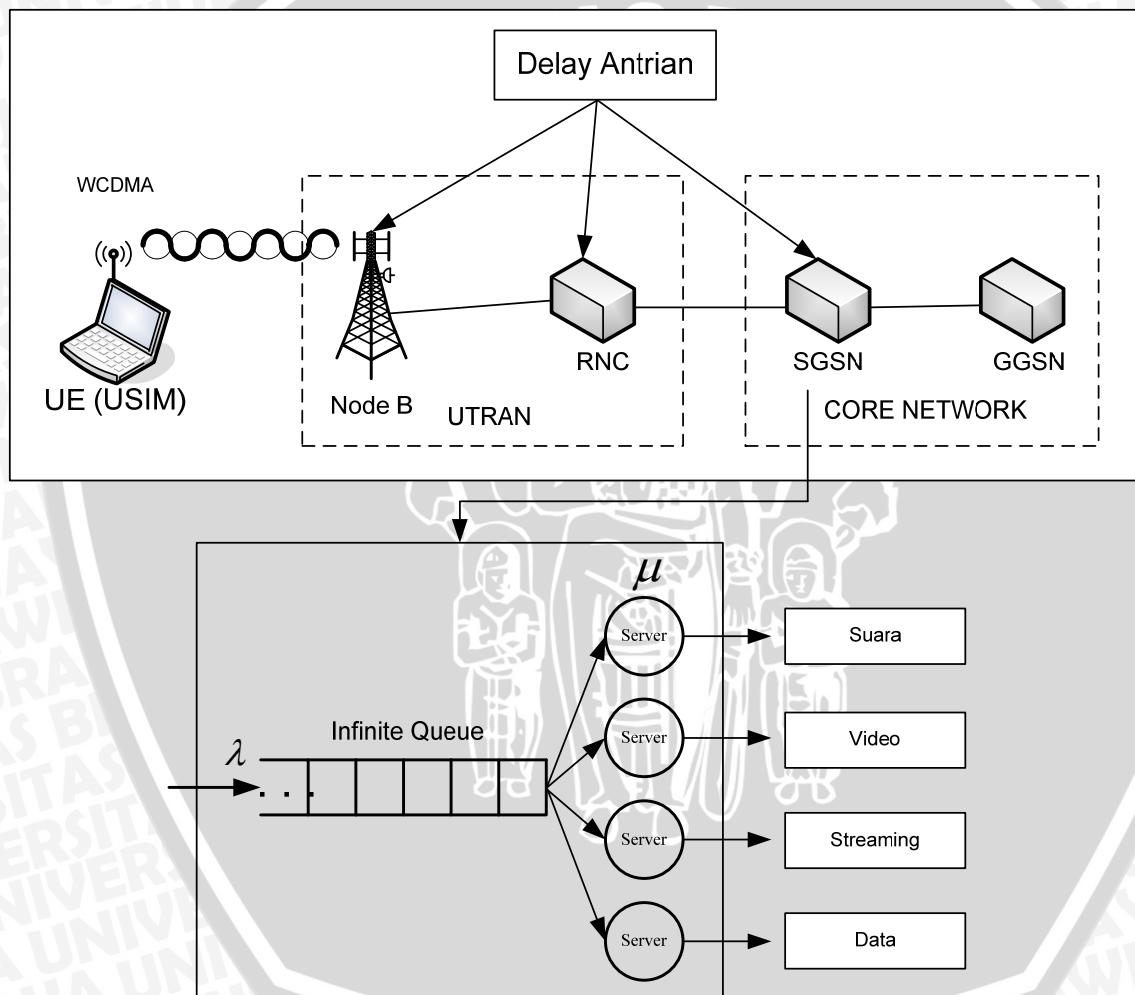
$$\text{Sehingga, } \mu = \frac{53,296 \times 10^6}{512 \times 8} = 13011 \text{ pps}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan Node B antara 6 km – 15 km, maka akan diperoleh nilai kecepatan pelayanan paket (μ) seperti pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14. Kecepatan pelayanan paket (μ)

Jarak UE – Node B	Kecepatan pelayanan paket (μ)
6 km	13959 pps
9 km	13424 pps
12 km	13011 pps
15 km	12654 pps

Sumber : Perhitungan

**Gambar 4.8 Model Antrian M/M/4/ ∞/∞ /FIFO**

Sumber : www.slideshare.net

- Perhitungan kecepatan kedatangan paket (λ)

Dengan faktor utilitas sistem *wireless* (0,8), perhitungan kecepatan kedatangan paket (λ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.33).

$$\lambda = \mu \times \rho$$

$$= 13011 \times 0,8 = 10408 \text{ pps}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan Node B antara 6 km – 15 km, maka akan diperoleh nilai kecepatan kedatangan paket (λ) seperti pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15. Kecepatan kedatangan paket (λ)

Faktor utilitas sistem wireless	Jarak UE – Node B	Kecepatan kedatangan paket (λ)
0,2	6 km	2791 pps
	9 km	2684 pps
	12 km	2602 pps
	15 km	2530 pps
0,4	6 km	5583 pps
	9 km	5369 pps
	12 km	5204 pps
	15 km	5061 pps
0,6	6 km	8375 pps
	9 km	8054 pps
	12 km	7806 pps
	15 km	7592 pps
0,8	6 km	11167 pps
	9 km	10739 pps
	12 km	10408 pps
	15 km	10123 pps

Sumber : Perhitungan

- Perhitungan delay rata-rata pelayanan antrian data (t_s)
- Besarnya nilai t_s dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.32).

$$\begin{aligned}
 t_s &= \frac{1}{\mu} \\
 &= \frac{1}{13011} \\
 &= 7,685 \times 10^{-5} \text{ s}
 \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan Node B antara 6 km – 16 km, maka akan diperoleh nilai delay rata-rata pelayanan antrian data (t_s) seperti pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16. Delay rata-rata pelayanan antrian data (t_s)

Jarak UE – Node B	Delay rata-rata pelayanan antrian data (t_s)
6 km	$7,163 \times 10^{-5}$ s
9 km	$7,449 \times 10^{-5}$ s
12 km	$7,685 \times 10^{-5}$ s
15 km	$7,902 \times 10^{-5}$ s

Sumber : Perhitungan

- Perhitungan probabilitas kedatangan paket (p_0)

Besarnya nilai p_0 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.31)

$$p_0 = \frac{1}{\left(1 + \frac{0,8}{4} + \frac{0,8^2}{8} + \frac{3 \cdot 0,8^3}{8}\right)} \\ = 0,679$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan Node B antara 6 km – 15 km, maka akan diperoleh nilai probabilitas kedatangan paket (p_0) seperti pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17. Probabilitas kedatangan paket (p_0)

Faktor utilitas sistem wireless	Probabilitas kedatangan paket (p_0)
0,2	0,945
0,4	0,874
0,6	0,783
0,8	0,679

Sumber : Perhitungan

Setelah diperoleh nilai-nilai yang diperlukan , maka dapat dihitung delay antrian sebagai berikut :

$$t_w = \left[\frac{1}{13011} + \frac{(10408/13011)^4 13011}{(4-1)!(4 \times 13011 - 10408)^2} \times p_0 \right] + t_s = 1,540 \times 10^{-4} \text{ s}$$

Sehingga delay antrian total MIMO-WCDMA (M/M/4) yaitu:

$$t_w = t_{w1} + t_{w2} + t_{w3}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan Node B antara 6 km – 15 km, maka akan diperoleh nilai *Delay Antrian total* (t_w) seperti pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18. *Delay Antrian total* (t_w)

faktor utilitas sistem wireless	Jarak UE – Node B	<i>Delay Antrian</i> (t_w)	<i>Delay Antrian total</i> (t_w)
0,2	6 km	$1,432 \times 10^{-4}$ s	$4,296 \times 10^{-4}$ s
	9 km	$1,489 \times 10^{-4}$ s	$4,467 \times 10^{-4}$ s
	12 km	$1,537 \times 10^{-4}$ s	$4,611 \times 10^{-4}$ s
	15 km	$1,580 \times 10^{-4}$ s	$4,740 \times 10^{-4}$ s
0,4	6 km	$1,432 \times 10^{-4}$ s	$4,296 \times 10^{-4}$ s
	9 km	$1,490 \times 10^{-4}$ s	$4,470 \times 10^{-4}$ s
	12 km	$1,537 \times 10^{-4}$ s	$4,611 \times 10^{-4}$ s
	15 km	$1,580 \times 10^{-4}$ s	$4,740 \times 10^{-4}$ s
0,6	6 km	$1,433 \times 10^{-4}$ s	$4,299 \times 10^{-4}$ s
	9 km	$1,491 \times 10^{-4}$ s	$4,473 \times 10^{-4}$ s
	12 km	$1,538 \times 10^{-4}$ s	$4,614 \times 10^{-4}$ s
	15 km	$1,581 \times 10^{-4}$ s	$4,743 \times 10^{-4}$ s
0,8	6 km	$1,435 \times 10^{-4}$ s	$4,305 \times 10^{-4}$ s
	9 km	$1,493 \times 10^{-4}$ s	$4,479 \times 10^{-4}$ s
	12 km	$1,540 \times 10^{-4}$ s	$4,620 \times 10^{-4}$ s
	15 km	$1,584 \times 10^{-4}$ s	$4,752 \times 10^{-4}$ s

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.9 Grafik *Delay* antrian total terhadap jarak Node B dengan UE

Sumber : Hasil perhitungan

4.10 *Delay Total* (t_v)

Delay Total dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.37)

$$t_v = t_t + t_p + t_w$$

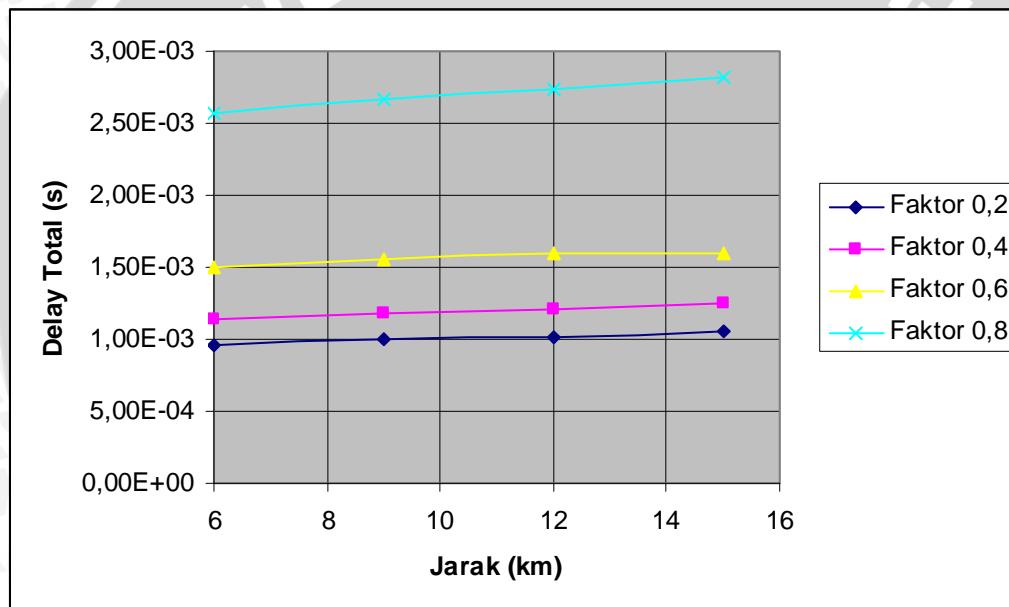
Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan Node B antara 6 km – 15 km, maka akan diperoleh nilai *Delay Total* (t_v) total seperti pada Tabel 4.18.

Tabel 4.19 *Delay Total* (t_v) WCDMA (M/M/1)

Faktor utilitas sistem wireless	Jarak UE – Node B	<i>Delay</i> Transmisi (t_t)	<i>Delay</i> propagasi (t_p) total	<i>Delay</i> Antrian total (t_w)	<i>Delay</i> Total (t_v)
0,2	6 km	$1,146 \times 10^{-4}$ s	$3,131 \times 10^{-4}$ s	$5,367 \times 10^{-4}$ s	$9,644 \times 10^{-4}$ s
	9 km	$1,146 \times 10^{-4}$ s	$3,231 \times 10^{-4}$ s	$5,583 \times 10^{-4}$ s	$9,960 \times 10^{-4}$ s
	12 km	$1,146 \times 10^{-4}$ s	$3,331 \times 10^{-4}$ s	$5,721 \times 10^{-4}$ s	$1,019 \times 10^{-3}$ s
	15 km	$1,146 \times 10^{-4}$ s	$3,431 \times 10^{-4}$ s	$5,925 \times 10^{-4}$ s	$1,050 \times 10^{-3}$ s
0,4	6 km	$1,146 \times 10^{-4}$ s	$3,131 \times 10^{-4}$ s	$7,158 \times 10^{-4}$ s	$1,143 \times 10^{-3}$ s
	9 km	$1,146 \times 10^{-4}$ s	$3,231 \times 10^{-4}$ s	$7,443 \times 10^{-4}$ s	$1,182 \times 10^{-3}$ s
	12 km	$1,146 \times 10^{-4}$ s	$3,331 \times 10^{-4}$ s	$7,629 \times 10^{-4}$ s	$1,210 \times 10^{-3}$ s

	15 km	$1,146 \times 10^{-4}$ s	$3,431 \times 10^{-4}$ s	$7,902 \times 10^{-4}$ s	$1,247 \times 10^{-3}$ s
0,6	6 km	$1,146 \times 10^{-4}$ s	$3,131 \times 10^{-4}$ s	$1,074 \times 10^{-3}$ s	$1,501 \times 10^{-3}$ s
	9 km	$1,146 \times 10^{-4}$ s	$3,231 \times 10^{-4}$ s	$1,116 \times 10^{-3}$ s	$1,553 \times 10^{-3}$ s
	12 km	$1,146 \times 10^{-4}$ s	$3,331 \times 10^{-4}$ s	$1,144 \times 10^{-3}$ s	$1,591 \times 10^{-3}$ s
	15 km	$1,146 \times 10^{-4}$ s	$3,431 \times 10^{-4}$ s	$1,185 \times 10^{-3}$ s	$1,601 \times 10^{-3}$ s
	6 km	$1,146 \times 10^{-4}$ s	$3,131 \times 10^{-4}$ s	$2,148 \times 10^{-3}$ s	$2,575 \times 10^{-3}$ s
0,8	9 km	$1,146 \times 10^{-4}$ s	$3,231 \times 10^{-4}$ s	$2,233 \times 10^{-3}$ s	$2,670 \times 10^{-3}$ s
	12 km	$1,146 \times 10^{-4}$ s	$3,331 \times 10^{-4}$ s	$2,289 \times 10^{-3}$ s	$2,736 \times 10^{-3}$ s
	15 km	$1,146 \times 10^{-4}$ s	$3,431 \times 10^{-4}$ s	$2,369 \times 10^{-3}$ s	$2,826 \times 10^{-3}$ s

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.10 Grafik nilai $Delay\ Total\ (t_v)$ WCDMA (M/M/1) terhadap jarak Node B dengan UE

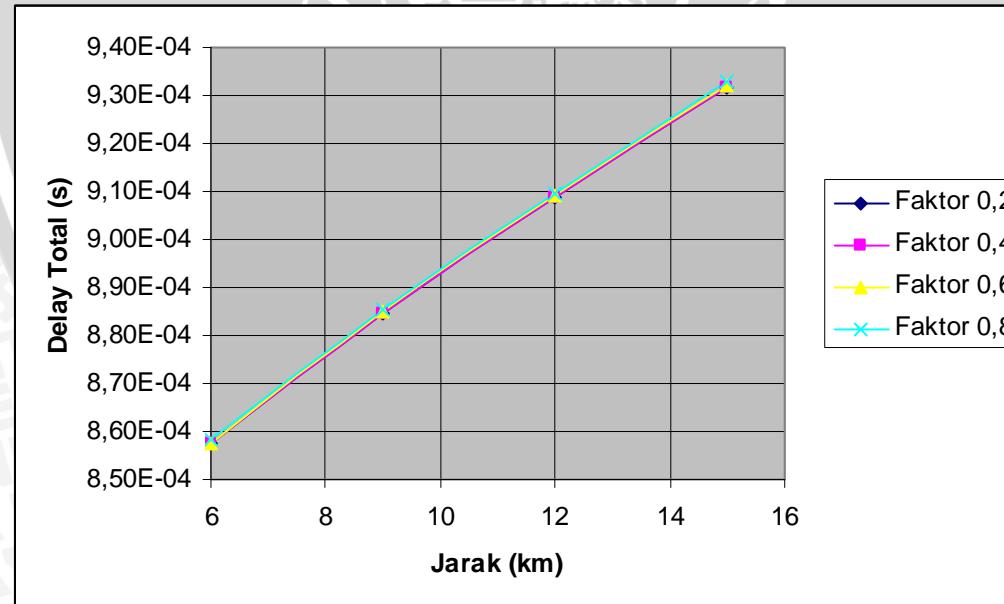
Sumber : Hasil perhitungan

Tabel 4.20. Delay Total (t_v) MIMO-WCDMA (M/M/4)

faktor utilitas sistem wireless	Jarak UE – Node B	$Delay\ Transmisi\ (t_t)$	$delay\ propagasi\ (t_p)\ total$	$Delay\ Antrian\ total\ (t_w)$	$Delay\ Total\ (t_v)$
0,2	6 km	$1,146 \times 10^{-4}$ s	$3,131 \times 10^{-4}$ s	$4,296 \times 10^{-4}$ s	$8,573 \times 10^{-4}$ s

	9 km	$1,146 \times 10^{-4}$ s	$3,231 \times 10^{-4}$ s	$4,467 \times 10^{-4}$ s	$8,844 \times 10^{-4}$ s
	12 km	$1,146 \times 10^{-4}$ s	$3,331 \times 10^{-4}$ s	$4,611 \times 10^{-4}$ s	$9,088 \times 10^{-4}$ s
	15 km	$1,146 \times 10^{-4}$ s	$3,431 \times 10^{-4}$ s	$4,740 \times 10^{-4}$ s	$9,317 \times 10^{-4}$ s
0,4	6 km	$1,146 \times 10^{-4}$ s	$3,131 \times 10^{-4}$ s	$4,296 \times 10^{-4}$ s	$8,573 \times 10^{-4}$ s
	9 km	$1,146 \times 10^{-4}$ s	$3,231 \times 10^{-4}$ s	$4,470 \times 10^{-4}$ s	$8,847 \times 10^{-4}$ s
	12 km	$1,146 \times 10^{-4}$ s	$3,331 \times 10^{-4}$ s	$4,611 \times 10^{-4}$ s	$9,088 \times 10^{-4}$ s
	15 km	$1,146 \times 10^{-4}$ s	$3,431 \times 10^{-4}$ s	$4,740 \times 10^{-4}$ s	$9,317 \times 10^{-4}$ s
0,6	6 km	$1,146 \times 10^{-4}$ s	$3,131 \times 10^{-4}$ s	$4,299 \times 10^{-4}$ s	$8,576 \times 10^{-4}$ s
	9 km	$1,146 \times 10^{-4}$ s	$3,231 \times 10^{-4}$ s	$4,473 \times 10^{-4}$ s	$8,850 \times 10^{-4}$ s
	12 km	$1,146 \times 10^{-4}$ s	$3,331 \times 10^{-4}$ s	$4,614 \times 10^{-4}$ s	$9,091 \times 10^{-4}$ s
	15 km	$1,146 \times 10^{-4}$ s	$3,431 \times 10^{-4}$ s	$4,743 \times 10^{-4}$ s	$9,320 \times 10^{-4}$ s
0,8	6 km	$1,146 \times 10^{-4}$ s	$3,131 \times 10^{-4}$ s	$4,305 \times 10^{-4}$ s	$8,582 \times 10^{-4}$ s
	9 km	$1,146 \times 10^{-4}$ s	$3,231 \times 10^{-4}$ s	$4,479 \times 10^{-4}$ s	$8,856 \times 10^{-4}$ s
	12 km	$1,146 \times 10^{-4}$ s	$3,331 \times 10^{-4}$ s	$4,620 \times 10^{-4}$ s	$9,097 \times 10^{-4}$ s
	15 km	$1,146 \times 10^{-4}$ s	$3,431 \times 10^{-4}$ s	$4,752 \times 10^{-4}$ s	$9,329 \times 10^{-4}$ s

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.11 Grafik nilai Delay Total (t_v) MIMO-WCDMA (M/M/4) terhadap jarak Node B dengan UE

Sumber : Hasil perhitungan

4.11 Perhitungan *Throughput* (λ)

Throughput dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.38)

$$\lambda = \frac{(1 - \rho_{\text{error}})}{t_v [1 + (\alpha - 1)\rho_{\text{error}}]} (L_{\text{paket}})$$

Dengan probabilitas paket *error* (ρ) = $2,1439 \times 10^{-12}$, maka dapat dihitung nilai throughput untuk:

1. WCDMA (M/M/1) :

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{(1 - 2,1439 \times 10^{-12})}{2,736 \times 10^{-3} [1 + (1,26 - 1)2,1439 \times 10^{-12}]} (4096) \\ &= \frac{1}{2,736 \times 10^{-3}} (4096) \\ &= 1,497 \text{ Mbps} \end{aligned} \quad (4096)$$

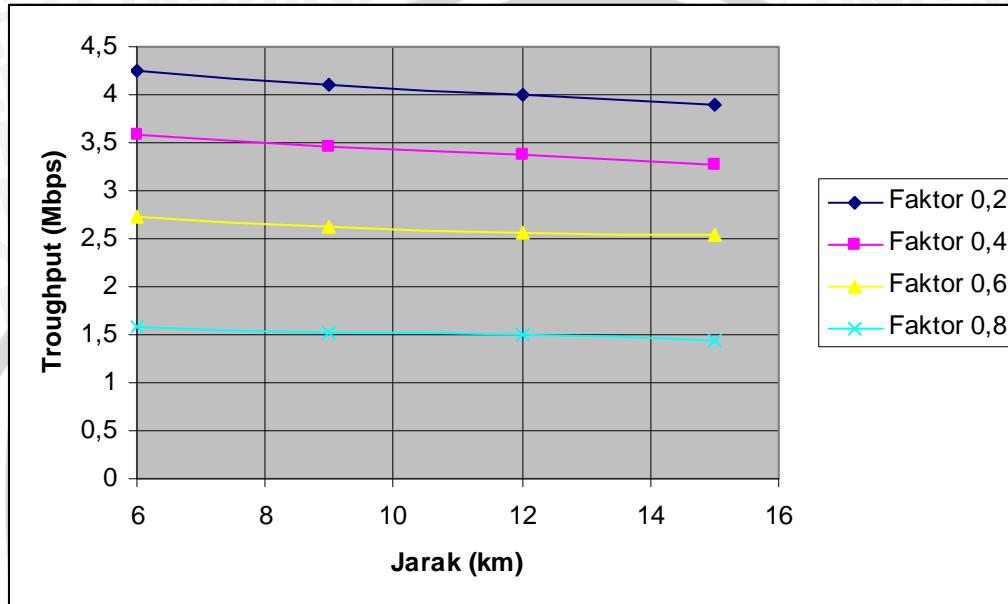
Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan Node B antara 6 km – 15 km, maka akan diperoleh nilai *throughput* (λ) seperti pada Tabel 4.20.

Tabel 4.21. *Throughput* (λ) WCDMA (M/M/1)

faktor utilitas sistem <i>wireless</i>	Jarak UE – Node B	<i>Delay Total</i> (t_v)	<i>Throughput</i> (λ)
0,2	6 km	$9,644 \times 10^{-4}$ s	4,24 Mbps
	9 km	$9,960 \times 10^{-4}$ s	4,11 Mbps
	12 km	$1,019 \times 10^{-3}$ s	4,01 Mbps
	15 km	$1,050 \times 10^{-3}$ s	3,90 Mbps
0,4	6 km	$1,143 \times 10^{-3}$ s	3,58 Mbps
	9 km	$1,182 \times 10^{-3}$ s	3,46 Mbps
	12 km	$1,210 \times 10^{-3}$ s	3,38 Mbps
	15 km	$1,247 \times 10^{-3}$ s	3,28 Mbps
0,6	6 km	$1,501 \times 10^{-3}$ s	2,72 Mbps
	9 km	$1,553 \times 10^{-3}$ s	2,63 Mbps
	12 km	$1,591 \times 10^{-3}$ s	2,57 Mbps
	15 km	$1,601 \times 10^{-3}$ s	2,55 Mbps

0,8	6 km	$2,575 \times 10^{-3}$ s	1,59 Mbps
	9 km	$2,670 \times 10^{-3}$ s	1,53 Mbps
	12 km	$2,736 \times 10^{-3}$ s	1,49 Mbps
	15 km	$2,826 \times 10^{-3}$ s	1,44 Mbps

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.12 Grafik nilai *Throughput* (λ) WCDMA (M/M/1) terhadap jarak Node B dengan UE

Sumber : Hasil perhitungan

2. MIMO-WCDMA (M/M/4) :

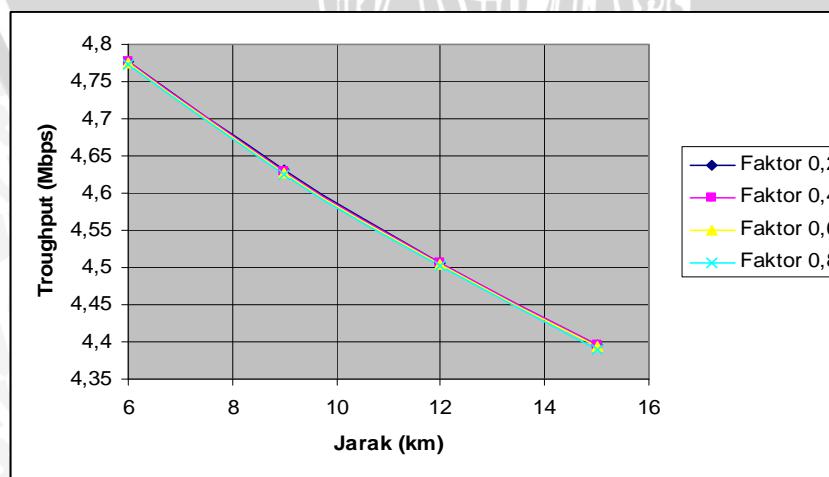
$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{(1 - 2,1439 \times 10^{-12})}{9,097 \times 10^{-4} [1 + (1,26 - 1)2,1439 \times 10^{-12}]}^{(4096)} \\ &= \frac{1}{9,097 \times 10^{-4}} (4096) \\ &= 4,502 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan Node B antara 6 km – 15 km, maka akan diperoleh nilai *throughput* (λ) seperti pada Tabel 4.21.

Tabel 4.22. Throughput (λ) MIMO-WCDMA (M/M/4)

faktor utilitas sistem wireless	Jarak UE – Node B	Delay Total (t_v)	Throughput (λ)
0,2	6 km	$8,573 \times 10^{-4}$ s	4,777 Mbps
	9 km	$8,844 \times 10^{-4}$ s	4,631 Mbps
	12 km	$9,088 \times 10^{-4}$ s	4,507 Mbps
	15 km	$9,317 \times 10^{-4}$ s	4,396 Mbps
0,4	6 km	$8,573 \times 10^{-4}$ s	4,777 Mbps
	9 km	$8,847 \times 10^{-4}$ s	4,629 Mbps
	12 km	$9,088 \times 10^{-4}$ s	4,507 Mbps
	15 km	$9,317 \times 10^{-4}$ s	4,396 Mbps
0,6	6 km	$8,576 \times 10^{-4}$ s	4,776 Mbps
	9 km	$8,850 \times 10^{-4}$ s	4,628 Mbps
	12 km	$9,091 \times 10^{-4}$ s	4,505 Mbps
	15 km	$9,320 \times 10^{-4}$ s	4,394 Mbps
0,8	6 km	$8,582 \times 10^{-4}$ s	4,772 Mbps
	9 km	$8,856 \times 10^{-4}$ s	4,625 Mbps
	12 km	$9,097 \times 10^{-4}$ s	4,502 Mbps
	15 km	$9,329 \times 10^{-4}$ s	4,390 Mbps

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.13 Grafik nilai *Throughput* (λ) MIMO-WCDMA (M/M/4) terhadap jarak Node B dengan UE

Sumber : Hasil perhitungan

Setelah dilakukan analisis terhadap penerapan sistem antrian MIMO pada jaringan WCDMA, dapat diketahui bahwa jaringan yang dianalisa menggunakan sistem antrian M/M/4 yang terjadi *throughput* lebih besar daripada sistem antrian M/M/1. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dalam penerapan sistem antrian MIMO pada jaringan WCDMA akan mempunyai performansi jaringan yang paling baik jika menggunakan sistem antrian M/M/4.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa penerapan sistem antrian MIMO pada jaringan WCDMA, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Antrian multi server merupakan pelayanan antrian yang didesain untuk mempermudah pengelompokkan antrian yang datang berdasarkan jenis informasi.
2. Nilai *Bit Error Rate* (BER) dan Probabilitas paket yang *error* (ρ_{error}) semakin jauh jarak UE – Node B semakin besar, karena *Path Loss* semakin jauh jarak UE – Node B semakin besar sehingga daya yang diterima receiver dan S/N semakin kecil.
3. Dari hasil penerapan, model sistem antrian yang diterapkan WCDMA (M/M/1) dan MIMO-WCDMA (M/M/4), semakin jauh jarak UE – Node B dengan faktor utilitas sistem wireless 0,2 maka delay antrian total (t_v) semakin besar, dengan faktor utilitas sistem wireless 0,8 maka delay antrian total (t_v) semakin lebih besar.
4. Hasil perhitungan *Throughput* (λ) pada model sistem yang menerapkan MIMO-WCDMA (M/M/4) lebih besar daripada model sistem WCDMA (M/M/1).

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penerapan sistem antrian MIMO pada jaringan WCDMA antara lain :

1. Penelitian hanya menggunakan sistem antrian distribusi kedatangan/keberangkatan Poisson (Markovian).
2. Penerapan dilakukan dengan memperhatikan faktor lain seperti sistem pada node B, saluran pada *Core Network* dan UTRAN, dan juga bisa mempertimbangkan *cost* yang dihasilkan dengan sistem antrian yang telah diterapkan.

DAFTAR ISI

- Robert S. Cahn. 1998. *Wide area network design: concepts and tools for optimization.*
- Mukhyi, M.A., Dr. SE., MM. Teori Antrian.
- Chen, J.C. April 8, 2003. *Queueing Model for Code Allocation in WCDMA.*
- Rohde & Schwarz. 06/06. *Introduction to MIMO Systems, Application Note.*
- Junaidi, A. Studi Pemakaian Teori Antrian (*Queueing Theory*) dalam Sistem Telekomunikasi, Tugas Akhir, Universitas Brawijaya. 1992.
- Hermansyah, H. Optimasi HSPDA Pada Jaringan GSM Generasi Ketiga (3G), Tugas Akhir, Universitas Brawijaya. Januari 2008
- Retnoningsih, L.E. Penerapan HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) Pada Jaringan WCDMA, Tugas Akhir, Universitas Brawijaya, Desember 2007.
- Suprianto, Y. Penerapan HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) pada Jaringan WCDMA, Tugas Akhir, Universitas Brawijaya. Februari 2008.
- Fajri, L. Performansi MIMO WCDMA menggunakan teknik Rayleigh Fading, Tugas Akhir, IT Telkom. 2009.
- Kurniawati, A. Analisis Mekanisme *Handover* pada Jaringan HSDPA (*Hightspeed Downlink Packet Access*), Tugas Akhir, IT TELKOM. 2008.