

PENERAPAN TRANSMISI PAKET DATA PADA TEKNOLOGI CDMA 2000 3X

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun oleh:

**ADI SETIAWAN
03210632002-63**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2007**



PENERAPAN TRANSMISI PAKET DATA PADA TEKNOLOGI CDMA 2000 3X

S K R I P S I

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun Oleh:

**ADI SETIAWAN
0310632002 – 63**

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Endah Budi Purnomowati, MT
NIP. 132 839 362

Rudy Yuwono, ST, MSc
NIP. 132 206 465

PENERAPAN TRANSMISI PAKET DATA PADA TEKNOLOGI CDMA 2000 3X

Disusun Oleh:

ADI SETIAWAN
NIM. 0310632002-63

**Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus
pada tanggal 14 Juni 2007**

MAJELIS DOSEN PENGUJI:

Ali Mustofa, ST, MT
NIP. 132 258 187

Rusmi Ambarwati, ST, MT
NIP. 132 258 188

Ir. Wahyu Adi P, MT
NIP. 131 759 602

Erfan Achmad Dahlan, Ir
NIP. 131 124 663

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ir. Heru Nurwarsito, M.Kom
NIP. 131 879 033

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga dapat penulis mampu menyelesaikan kuliah dan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dari berbagai pihak maka penulis akan mengalami kesulitan dalam menyelesaikan skripsi ini. Untuk itu dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ir. Heru Nurwasito, M.kom dan Rudy Yuwono, ST,MSc selaku Ketua Jurusan dan Sekretaris Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
2. Ir. Wahyu Adi Priyono, MS., selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Telekomunikasi yang dengan sabar memberikan bimbingan, petunjuk, saran dan masukan-masukan selama penulisan skripsi ini.
3. Ibu Ir. Endah Budi Purnomowati, MT, dan Bapak Rudi Yuwono, ST, MSc selaku Dosen Pembimbing skripsi yang telah banyak memberikan bimbingan, masukan dan saran dalam pengerjaan skripsi ini.
4. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen, serta seluruh Staf Akademik dan Karyawan Teknik Elektro Universitas Brawijaya atas bantuannya kepada penulis.
5. Ayah, Ibu, dan Adik-adiku tercinta yang telah banyak memberikan dukungan, pengorbanan dan inspirasi selama studi sampai terselesaikannya skripsi ini.
6. Seluruh rekan dan teman-temanku di Elektro Brawijaya serta pihak-pihak lain atas semua bantuan dan dukungannya.

Penulis menyadari bahwa dalam skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan-kekurangan , karena itu segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan.

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua dan semoga Allah SWT senantiasa membimbing kita ke jalan yang penuh kebaikan dan kebenaran.

Malang, Mei 2007

Penulis



DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| KATA PENGANTAR | i |
| DAFTAR ISI | ii |
| DAFTAR TABEL | v |
| DAFTAR GAMBAR | vii |
| ABSTRAK | viii |
| | |
| BAB I. PENDAHULUAN | 1 |
| 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 | 4 |
| 2.1. Konsep Komunikasi Bergerak | 4 |
| 2.1.1. Sistem Konvensional (<i>Large Zone</i>) | 4 |
| 2.2.2. Sistem Selular (<i>Multi Zone</i>) | 5 |
| 2.2. Evolusi Teknologi <i>CDMA 2000 3X</i> | 5 |
| 2.3. Metode Akses Jamak | 7 |
| 2.3.1. FDMA (<i>Frequency Division Multiple Access</i>) | 7 |
| 2.3.2. TDMA (<i>Time Division Multiple Access</i>) | 7 |
| 2.3.3. CDMA (<i>Code Division Multiple Access</i>) | 8 |
| 2.4. Teknologi CDMA2000 | 9 |
| 2.4.1. Standarisasi CDMA2000 | 10 |
| 2.5. Teknologi <i>Spread Spectrum</i> Pada Sistem Komunikasi Bergerak selular CDMA | 10 |



BAB III. SISTEM PAKET DATA PADA PENERAPAN TEKNOLOGI

CDMA 2000-3X 15

3.1. Arsitektur Jaringan CDMA2000 15

3.2. Protocol Stack Jaringan CDMA2000 17

3.3. Interface 18

3.4. Parameter Kinerja Teknologi CDMA 2000-3X 20

 3.4.1. Sistem Spread Spektrum 20

 3.4.2. Kapasitas Kanal 22

3.5. Parameter Kualitas Layanan Data CDMA 2000-3X 24

 3.5.1. *Delay* 24

 3.5.2. *Throughput* 37

BAB IV. METODOLOGI 39

4.1. Studi Pustaka 39

4.2. Pengambilan data 39

 4.2.1. Spesifikasi Jaringan Selular CDMA 2000-3X..... 39

4.3. Pembatasan Variabel Data 40

4.4. Perhitungan & Analisa Data 41

4.5. Pengambilan Kesimpulan 41

BAB V. ANALISA KINERJA SISTEM PAKET DATA

PADATEKNOLOGI CDMA 2000 3X 42

5.1. Umum 42

5.2. Analisis *Bit Error Rate* (BER) 42

 5.2.1. *Reverse link* (dari MS ke BS)..... 42

 5.2.2. *Forward link* (dari BS ke MS) 44

5.3. Analisis Kapasitas Kanal Selular CDMA 2000 3X 47

5.4. Analisis Parameter Kualitas Pelayanan Untuk Layanan Data 49

 5.5.1. Analisis *Delay* 49

 5.4.1.1. *Delay proses* 49



| | |
|---|----|
| 5.4.1.2. <i>Delay</i> transmisi | 61 |
| 5.4.1.3. <i>Delay</i> propagasi | 64 |
| 5.4.1.4. <i>Delay</i> antrian | 66 |
| 5.4.1.5. <i>Delay Total</i> | 68 |
| 5.4.2. Analisis <i>Throughput</i> | 75 |

BAB VI. PENUTUP

| | |
|-----------------------|----|
| 6.1. Kesimpulan | 79 |
| 6.2. Saran | 80 |

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



ABSTRAK

Adi Setiawan, Jurusan Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Februari 2007, Penerapan Transmisi Paket Data Pada Teknologi CDMA 2000-3X. Dosen Pembimbing: **Ir. Endah Budi P_Purnomowati, MT** dan **Rudy Yuwono, ST, MSc**

Saat ini kebutuhan akan teknologi khususnya dunia telekomunikasi berkembang pesat. Kebutuhan akan transfer data secara cepat dan *wireless* semakin meningkat, teknologi CDMA 2000-3X yang berdasarkan standar IS-2000 memberikan solusi kinerja yang optimal dalam hal kapasitas berupa pelayanan paket data dengan kecepatan yang lebih tinggi dan bandwidth yang lebih besar sehingga diharapkan dapat menjawab kebutuhan pelanggan terhadap pertumbuhan penetrasi akses data di Indonesia

Tujuan analisis Tugas Akhir ini adalah menganalisis paket data pada CDMA2000-3X. Analisis dilakukan dengan perhitungan secara matematis parameter *Bit Error Rate*, kapasitas kanal, parameter kualitas layanan yang berupa *delay total* serta *throughput*

Pengiriman paket data pada jaringan dibutuhkan untuk mengirimkan data dari *source* ke *destination* berupa *delay total* terkecil diperoleh pada panjang segmen data 10000 *byte* dengan *data rate* 245,76 kbps dengan faktor utiliasi 0,1 yaitu sebesar 0,097114 detik sedangkan *delay total* terbesar diperoleh pada paket data 12000 *byte* dengan faktor utiliasi 0,95 yaitu sebesar 2.161713 detik. Hasil analisis *throughput* terbesar diperoleh pada paket data 10000 *byte* dengan faktor utiliasi 0,1, *data rate* 245.76 kbps yaitu 823772,34 bps.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Dewasa ini, penggunaan sistem komunikasi radio berkembang dengan sangat pesat, seiring dengan peningkatan kebutuhan jasa telekomunikasi bagi masyarakat modern. Hal ini mengakibatkan alokasi frekuensi radio yang tersedia semakin lama akan semakin padat. Kondisi demikian dapat menyebabkan permintaan hubungan komunikasi yang sangat besar tidak bisa dilayani melalui jaringan yang berbasis lintas radio.

Berbagai upaya telah dilakukan untuk memecahkan permasalahan yang terjadi seperti dengan sistem komunikasi akses jamak *FDMA* dan *TDMA*. Tetapi, kapasitas pemakai yang dimiliki oleh kedua sistem tersebut relatif terbatas. *Code Division Multiple Acces* (*CDMA*) merupakan teknologi digital selular terbaru menggunakan sistem pengkodean yang unik, menjamin keamanan tinggi dan memiliki kapasitas spektrum yang besar. Mulanya *CDMA* digunakan untuk sistem komunikasi militer Amerika Serikat, dengan ditetapkannya *CDMA* sebagai standar internasional oleh Asosiasi Industri Telepon Selular *CTIA*, mulailah *CDMA* dipergunakan di berbagai negara seperti Amerika Serikat, Kanada, Cina, Jerman, Hongkong, India, Jepang, Rusia, Thailand, Singapura, Argentina, Brazil, Philipina dan Indonesia.

Saat ini kebutuhan masyarakat akan transfer data secara cepat dan bergerak semakin meningkat dan teknologi terkait juga semakin berkembang, selain itu kendala yang dihadapi masyarakat adalah sulit mendapatkan saluran telepon karena keterbatasan kapasitas jaringan dan teknologinya hanya ditunjang dengan kecepatan data yang rendah, sehingga layanan suara, data dan multimedia tidak dapat diberikan secara *real time*.

Teknologi *CDMA 2000-3X* merupakan suatu sistem selular yang berbasis *CDMA* (*Code Division Multiple Access*). Dimana dalam sistem *CDMA*, seluruh pelanggan menggunakan spektrum frekuensi yang sama, tiap pelanggan dibedakan berdasarkan kode-kode tertentu. Sistem *CDMA* memakai suatu frekuensi tertentu dan memisahkannya dengan kode-kode tertentu pula. Suara dipecah menjadi bit-bit digital dan dikelompokkan dengan suatu kode, masing-masing kode berhubungan dengan suatu panggilan di dalam

jaringan. Kelompok-kelompok bit dari satu panggilan dipancarkan secara acak terhadap panggilan lainnya. Kemudian bit-bit tadi disusun kembali seperti semula. Kecepatan panggilan CDMA mula-mula sebesar 9,6 Kbps baru kemudian laju pentransmisian sinyalnya dinaikkan sampai dengan 1,23 Mbps.

Teknologi CDMA 2000-3X memiliki kecepatan data yang tinggi sehingga layanan suara, data dan multimedia dapat diberikan secara *real time*. Para pelanggan dapat dengan mudah menjelajahi *internet*, mengirim *e-mail* dan menikmati layanan multimedia kapanpun dan dimanapun berada.

Dalam skripsi ini akan membahas analisis terhadap paket data pada jaringan CDMA 2000-3X.. Dimana akses data dengan kecepatan yang lebih tinggi ini diharapkan dapat menjawab kebutuhan pelanggan terhadap pertumbuhan penetrasi akses data di Indonesia, sehingga pelanggan dapat menikmati kualitas jaringan dan layanan yang diberikan.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Dengan latar belakang yang telah dipaparkan tadi, maka penulis merumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana konfigurasi penerapan paket data pada sistem komunikasi bergerak selular CDMA 2000-3X?
2. Bagaimana sistem akses dan konsep *spread spectrum* pada CDMA?
3. Bagaimana prinsip-prinsip sistem komunikasi bergerak selular pada CDMA?
4. Bagaimana arsitektur sistem komunikasi teknologi CDMA 2000-3X?
5. Bagaimana analisis paket data pada jaringan CDMA 2000-3X dengan data rate tinggi meliputi *delay* keseluruhan sistem, *kapasitas kanal*, *throughput* dan BER (*Bit Error Rate*)?

1.3 RUANG LINGKUP

Berkaitan dengan rumusan masalah di atas agar permasalahan yang akan dibahas menjadi lebih terarah maka pembahasan dibatasi oleh beberapa hal sebagai berikut :

1. Tidak membahas sinyal dan pengkodean yang digunakan dalam sistem CDMA 2000-3X.

2. Tidak membahas perangkat keras dan lunak sistem yang digunakan.
3. Tidak membahas mengenai teknik modulasi dan teknik multipleksing.
4. Hanya membahas kriteria dan parameter-parameter yang berkaitan dengan kinerja sistem paket data pada penerapan teknologi CDMA 2000-3X.

1.4 TUJUAN PENULISAN

Berdasarkan rumusan masalah yang ada tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk menganalisis kinerja paket data pada penerapan teknologi CDMA 2000-3X.

1.5 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan skripsi ini agar didapatkan hasil yang diinginkan sesuai dengan sasaran, maka digunakan sistematika penulisan yang meliputi :

Bab I Pendahuluan

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

Bab II Sistem Komunikasi Bergerak Selular CDMA 2000

Membahas secara umum teori dasar tentang komunikasi bergerak selular CDMA 2000

Bab III Sistem Paket Data Pada Penerapan Teknologi CDMA 2000-3X.

Merupakan studi pustaka yang membahas sistem paket data pada penerapan teknologi CDMA 2000 3X

Bab IV Metodologi

Memberikan penjelasan tentang metode yang digunakan.

Bab V Analisis Kinerja Sistem Paket Data Pada Penerapan Teknologi CDMA 2000 3X.

Berisikan analisis kinerja paket data pada penerapan teknologi CDMA 2000 3X.

Bab VI : Penutup

Berisi kesimpulan dan saran dari analisis yang telah dilakukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Konsep Komunikasi Bergerak Selular

Dilihat dari segi daerah jangkauan (*coverage*), maka suatu sistem komunikasi bergerak dapat dibedakan menjadi dua kategori, yaitu :

2.1.1. Sistem Konvensional (*Large Zone*)

Pada sistem ini *base station* melayani wilayah yang sangat luas dengan radius 40 km. Keuntungan dari sistem ini adalah relatif mudah dalam hal *switching*, *charging* dan transmisi. Sedangkan kekurangannya:

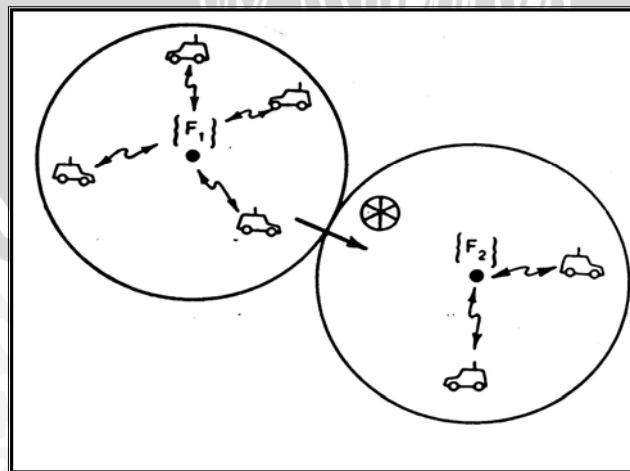
1. Kesanggupan pelayanan yang terbatas

Daya yang dipancarkan harus besar dan antena harus tinggi, selain itu *area* layanan dibatasi oleh kelengkungan bumi. Pada saat *user* sedang melakukan pembicaraan dan keluar dari suatu *area* layanan maka pembicaraan akan terputus dikarenakan tidak terdapatnya fasilitas *handoff* dan harus dilakukan inisialisasi ulang.

2. Unjuk kerja pelayanan yang kurang baik

Pada sistem konvensional ini hanya memiliki jumlah kanal yang sedikit sehingga kemungkinan terjadinya *blocking* menjadi sangat besar.

3. Tidak efisien dalam pemakaian *bandwidth* karena tidak menggunakan pengulangan frekuensi sehingga jumlah kanal yang dialokasikan pada setiap sel akan sangat kecil.



Gambar 2.1. Sistem Komunikasi Bergerak Konvensional
(Sumber : Lee, 1995:2)

2.1.2. Sistem Selular (*Multi Zone*)

Pada sistem ini layanan dibagi menjadi daerah-daerah yang lebih kecil disebut dengan sel dan setiap sel dilayani oleh suatu *Radio Base Station* (RBS) atau disebut juga *Base Transceiver System* (BTS) . Antara RBS/BTS masing-masing sel saling terintegrasi dan dikendalikan oleh suatu *Base Station Controller* (BSC). Prinsip dasar dari arsitektur sistem selular adalah :

1. Pemancar yang digunakan memiliki daya pancar yang rendah dan memiliki luas jangkauan daerah pelayanan yang sempit.
2. Adanya proses pembelahan sel (*Cell Splitting*) pada sel yang telah jenuh dengan *user*.
3. Menggunakan prinsip penggunaan kembali frekuensi (*frequency reuse*).
4. Terdapatnya proses perpindahan sel atau sektor dikenal dengan istilah *handoff / handover*.

Sistem ini memiliki banyak keuntungan dibandingkan sistem konvensional, antara lain :

1. Kapasitas pelanggan lebih besar.
2. Efisien dalam pemakaian *band* frekuensi karena memiliki prinsip pengulangan frekuensi.
3. Kemampuan adaptasi yang tinggi terhadap kepadatan lalu lintas atau trafik karena sel dapat dibelah.
4. Kualitas pembicaraan baik karena tidak sering terputus.
5. Kemudahan bagi pemakai.

2.2 Evolusi Teknologi CDMA 2000 3X

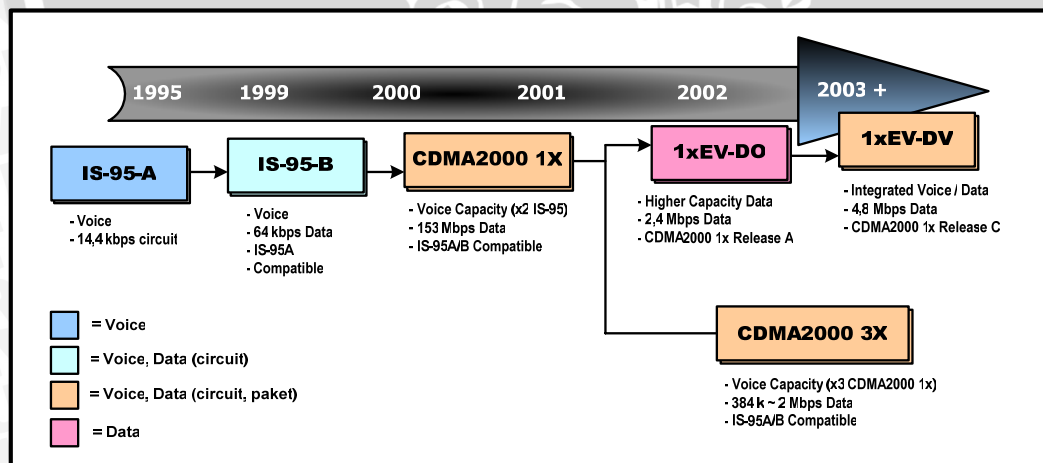
Sistem *Code Division Multiple Access* (CDMA) pertama kali diluncurkan secara komersial pada tahun 1989 oleh *Qualcomm* di Amerika Serikat. Sistem ini jauh lebih baik daripada pendahulunya yaitu sistem *Advanced Mobile Phone System* (AMPS). Sistem CDMA mampu meningkatkan kapasitas pelanggan dan meningkatkan kualitas suara. Sistem CDMA ini merupakan generasi kedua (2G) dalam komunikasi nirkabel.

CDMA2000 juga dikenal sebagai IMT-CDMA *Multi-Carrier* atau IS-2000, yang mana merupakan evolusi perkembangan teknologi dari CDMA One/IS-95 menuju layanan-layanan generasi ketiga bagi operator-operator CDMA untuk jaringan selular. Jaringan selular dengan teknologi ini banyak diterapkan dan dikembangkan di

negara-negara seperti Jepang, dan sebagian negara di Asia Tenggara seperti Indonesia.

Teknologi *Code Division Multiple Access* (CDMA) merupakan salah satu alternatif dari arsitektur GSM seluler. Kedua teknologi tersebut membuat transisi ke sistem generasi ketiga (3G) dengan menawarkan layanan kapasitas yang lebih dan layanan data. CDMA 2000 ini mengalami beberapa fase perkembangan, fase pertama adalah CDMA 2000 1x atau dikenal dengan 1x *Radio Transmission Technology* (1x-RTT) yang mana memiliki kecepatan transfer data rata-rata sebesar 144 kbps untuk kondisi bergerak. Fase kedua untuk perkembangan CDMA 2000 adalah 1x EV-DO (*1x Evolution Data Only*) yang memiliki kecepatan data yang sangat tinggi pada sebuah *dedicated data carrier*. CDMA 2000 3X memiliki kecepatan data puncak hingga mencapai 2 Mbps untuk *data packet* dan *voice*.

Teknologi CDMA 2000 3X mulai dikembangkan pada tahun akhir 2002 sampai sekarang yang mengintegrasikan teknologi sebelumnya antara *data packet* dan *voice*. Dengan tujuan untuk memberikan layanan yang lebih baik dari pada teknologi sebelumnya. Sistem 2000 3X akan memberikan kecepatan pengantaran data dan suara yang tinggi secara bergantian juga mengantar layanan paket secara *realtime*. Gambar 2.2 menunjukkan evolusi dari sistem CDMA 2000.



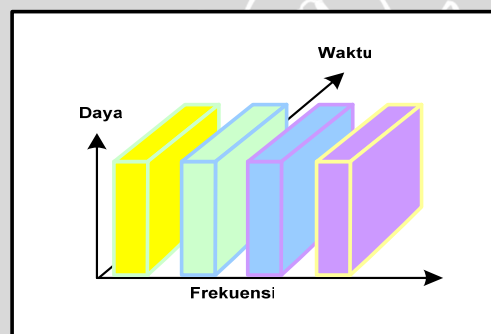
Gambar 2.2 Evolusi Teknologi CDMA2000
(Sumber : SK Telecom, 2003)

2.3 Metode Akses Jamak

Teknologi akses jamak merupakan suatu metode yang digunakan untuk mentransmisikan beberapa kanal informasi pada *band* frekuensi yang telah ditentukan. Secara umum terdapat tiga macam akses jamak yaitu FDMA, TDMA, dan CDMA.

2.3.1 FDMA (*Frequency Division Multiple Access*)

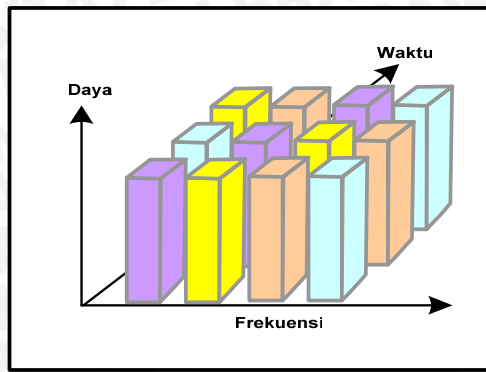
Teknik FDMA merupakan teknik akses jamak yang umumnya digunakan komunikasi bergerak. Dimana sinyal-sinyal informasi yang dikirimkan melalui media transmisi yang sama dibedakan berdasarkan frekuensi untuk tiap sinyalnya, dengan begitu antara informasi satu dengan informasi yang lain dalam setiap kanal dapat ditransmisikan dan diterima dengan membedakan frekuensinya.



Gambar 2.3 Spektrum RF untuk teknik FDMA
(Sumber : IEC, 2003)

2.3.2 TDMA (*Time Division Multiple Access*)

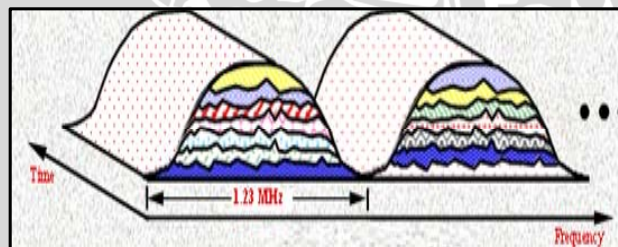
Teknik TDMA merupakan teknik akses jamak dimana semua informasi menempati kanal frekuensi yang sama dan dibedakan berdasarkan waktu pentransmisiannya. Jadi teknik ini akan menggunakan perbedaan waktu antara satu informasi dengan informasi yang lain dalam kanal frekuensi yang sama. Kelebihan dari teknik TDMA adalah lebar pita frekuensi (*bandwidth frequency*) yang digunakan lebih sempit dibandingkan dengan sistem FDMA, tapi pada kenyataannya teknik ini masih mempunyai keterbatasan karena kecepatan waktu dari sampling yang digunakan akan menimbulkan *bandwidth* tersendiri.



Gambar 2.4 Spektrum RF untuk teknik TDMA
(Sumber : IEC, 2003)

2.3.3 CDMA (*Code Division Multiple Access*)

Teknik CDMA adalah teknik yang menggunakan kode untuk membedakan antara informasi yang satu dengan yang lain pada suatu saluran transmisi yang sama, teknik ini tidak terpengaruh oleh frekuensi dan waktu penransmisian, atau teknik ini dapat mentransmisikan beberapa informasi dengan frekuensi yang sama dan dalam waktu yang bersamaan. Sehingga keterbatasan sebuah media transmisi yang dibatasi oleh *bandwidth* tidak menjadikan sebuah permasalahan dengan menggunakan teknik ini.



Gambar 2.5 Spektrum RF untuk teknik CDMA
(Sumber : Motorola, 2003)

Konsep dasar *CDMA (Code Division Multiple Access)* adalah suatu sistem komunikasi bergerak yang menggunakan konsep seluler dimana sel merupakan batasan untuk alokasi frekuensi yang digunakan dan sel juga digunakan sebagai batasan untuk menentukan batasan pelanggan yang akan dilayani sehingga tidak ada pelanggan yang tidak sampai tidak terlayani nantinya. Meski permasalahan mengenai jumlah kanal atau jumlah layanan dapat diatasi dengan sistem multiplek tetap saja ada batasan untuk menggunakan teknik multiplek ini, sehingga batasan atau solusi dengan menggunakan sektorisasi sel tidak akan menjadi efektif lagi. Satu-satunya cara yang

dapat menanggulangi permasalahan ini adalah dengan meningkatkan performansi sistem multiplek. Untuk sementara ini sistem multiplek yang dirasakan mempunyai beberapa kelebihan dengan cara meningkatkan kapasitas layanan tidak perlu lagi memperkecil fisik dari sel.

Code Division Multiple Access (CDMA) adalah suatu metode akses dengan *user* yang banyak yang menempati satu area sel yang sama dan menggunakan kanal yang sama untuk melakukan pertukaran informasi (komunikasi). Penggunaan kanal yang sama memiliki arti bahwa setiap *user* menggunakan frekuensi yang sama dan dalam waktu yang sama juga untuk berkomunikasi. Karena menggunakan frekuensi yang sama dan dalam waktu yang bersamaan antar *user*, maka untuk membedakan *user* yang satu dengan yang lainnya sistem CDMA menggunakan teknik *spread spectrum*. *Spread spectrum* adalah teknik pentransmisian dengan menggunakan kode sebagai metode *spreadingnya*. Kode pada *spreading* ini digunakan sebagai pengenal atau bisa disebut sebagai alamat bagi setiap user yang ditransmisikan menggunakan frekuensi yang sama dan dalam rentang waktu yang sama pula dengan *user* yang lainnya, sehingga pada *user* penerima akan dapat diterjemahkan kembali sesuai dengan tujuannya. Akses jamak merupakan suatu metode yang digunakan untuk mentransmisikan beberapa kanal pembicaraan pada *band* frekuensi yang telah ditentukan.

2.4 Teknologi CDMA 2000

Teknik yang digunakan pada CDMA memungkinkan pelanggan menggunakan frekuensi yang sama pada waktu yang sama pula. Untuk itu tiap *user* mempunyai *unique code*, disebut *PN code*, yang akan membedakannya dengan *user* yang lain. Sinyal dari *user* pengirim ini akan disebar dalam lebar pita tertentu sehingga sistem ini juga dikenal dengan *spread spectrum*. Pada sistem penerima, sinyal akan di-*despread* dengan menggunakan *PN code* yang sama sehingga informasi asli dapat diambil.

Layanan utama 2G adalah suara. Seiring dengan makin meningkatnya permintaan akan komunikasi data yang dapat dilakukan secara *mobile*, maka muncullah generasi ketiga (3G). Dalam lingkungan 3G, sistem CDMA dikembangkan menjadi CDMA2000 yang dapat melayani komunikasi suara maupun data dengan kecepatan tinggi.

Kunci utama dari sistem CDMA 2000 ini adalah berupa *Packet Core Network* (PCN) baru yang memungkinkan untuk mengirimkan layanan data paket dengan lebih cepat dan aman. PCN ini merupakan salah satu langkah awal dalam perkembangan system CDMA 2000 untuk arsitektur *All-IP* dan multimedia untuk mencapai tujuan dari generasi keempat yaitu integrasi seluruh jaringan berbasis IP.

2.4.1 Standarisasi CDMA 2000

Third Generation Partnership Project 2 (3GPP2), sebuah badan yang bertindak untuk menentukan standarisasi untuk teknologi CDMA 2000, telah membuat beberapa perubahan standarisasi untuk *air interface* baru dan *Radio Access* serta *Core Network* dengan maksud untuk meningkatkan kapasitas jaringan, meningkatkan kecepatan transfer data dan penentuan *bandwidth* yang optimal bagi *mobile terminal*.

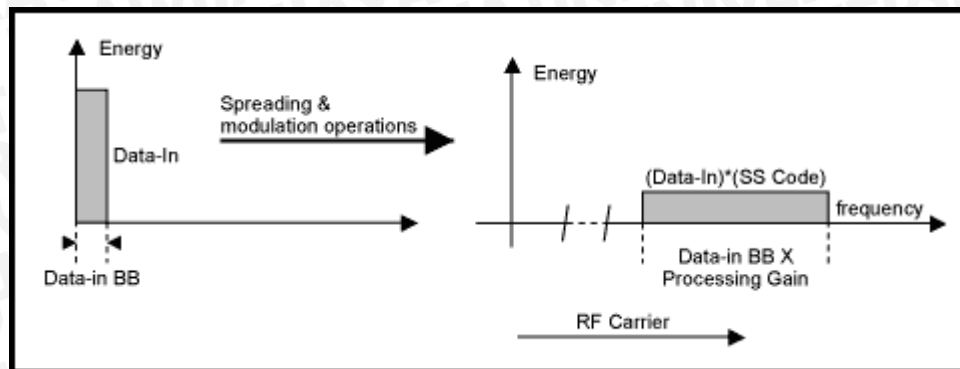
Berdasarkan banyaknya pengembangan yang dilakukan dalam mengoptimasikan sistem CDMA 2000 ini, mulai dari sistem CDMA 2000 1x RTT, 3x RTT, CDMA 2000 1x EV-DO, dan perkembangan terakhirnya yaitu CDMA 2000 1x EV-DV menyebabkan munculnya beberapa standar yang diberikan. Perkembangan sistem CDMA 2000 1x RTT, 3x RTT dan CDMA 2000 1x EV-DV mengacu pada standar IS-2000, sedangkan untuk perkembangan teknologi 1xEV-DO akan mengacu pada standar yang berbeda yaitu menggunakan standar IS-856 yang mana semua standar tersebut diatur dalam satu badan 3GPP2.

Dengan Tujuan untuk mendukung generasi-generasi sebelumnya mengembangkan teknologi dari 2G kearah 3G. Standarisasi untuk CDMA 2000 ini terus mengalami perkembangan di bawah badan 3GPP2 untuk mendapatkan standar optimal bagi teknologi ini.

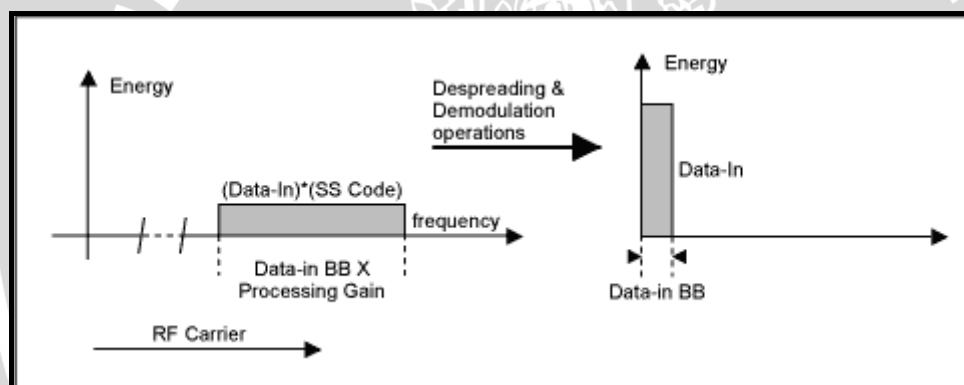
2.5 Teknologi *Spread Spectrum* Pada Sistem Komunikasi Bergerak Selular CDMA

Spread spectrum merupakan mekanisme pemrosesan sinyal dimana sinyal informasi dalam *bandwidth* yang sempit dimodulasi dengan suatu sinyal *spreading* yang merupakan deretan kode *pseudo interferensi* (kode yang mirip dengan noise) yang memiliki laju *bit* yang tinggi. Hasil dari proses *spread spectrum* tersebut adalah sinyal dengan *bandwidth* yang jauh lebih lebar dari sinyal informasi (*base band*).

Dengan adanya kode *pseudo noise* tersebut sistem CDMA dapat mengenali komunikasi yang terjadi. Sinyal pembicaraan ke suatu tujuan hanya dapat dikenali oleh *receiver* tujuan tersebut dan sinyal lain yang diterima dianggap sebagai *interferensi*.



Gambar 2.6. Spektrum modulasi sinyal *Spread Spectrum*
(Sumber: Dalas Semiconductor MAXIM, 2003)



Gambar 2.7. Spektrum demodulasi sinyal *Spread Spectrum*
(Sumber: Dalas Semiconductor MAXIM, 2003)

Pada modulasi *SS (Spread Spectrum)* lebar band sinyal informasi disembunyikan melalui lebar band sinyal noise yang jauh lebih lebar dari lebar band sinyal informasinya. Keuntungan dari penyembunyian sinyal kirim pada lebar band sinyal derau antara lain :

1. Anti jamming, karena sinyal informasi disembunyikan pada sinyal derau.
2. Anti interferensi, karena kode PN untuk setiap sinyal yang dikirim dalam bandwidth lebar akan mengurangi terjadinya interferensi.
3. Memungkinkan pemakaian *multiple access* dengan pengalaman yang selektif.

4. Menjamin keamanan yang tinggi karena menggunakan pengkodean dengan sistem PN.

Prinsip *spread spectrum* diterangkan dengan persamaan tentang kapasitas kanal digital, [Schwartz, 1990]:

$$C = W \log_2(1 + S/N) \quad (2.1)$$

dengan :

- W : Lebar pita kanal (Hz)
- S : Daya sinyal (Watt)
- C : Kapasitas kanal maksimum (bit/s)
- N : Daya *noise additive Gaussian* (Watt)

Untuk perbandingan sinyal dan *noise* yang lebih kecil dari 1, hubungan diatas dapat didekati oleh

$$C \approx W.S/N \quad (2.2)$$

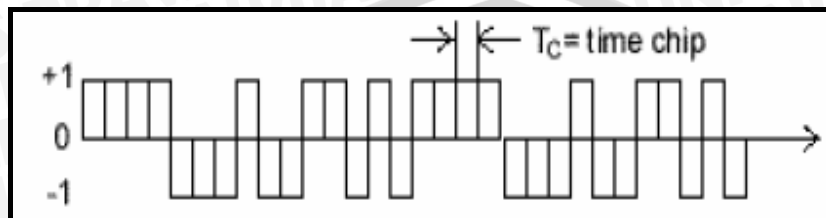
Dari hubungan itu, dapat dikatakan bahwa untuk mengirimkan informasi pada laju tertentu dengan perbandingan sinyal dan *noise* yang tertentu pula, diperlukan suatu kanal dengan lebar pita yang cukup. Dengan kata lain, sistem *spread spectrum* harus memenuhi dua kriteria :

1. Lebar pita sinyal transmisi harus jauh lebih besar daripada lebar pita sinyal informasi.
2. Suatu bentuk pengkodean diperlukan untuk menyebarkan daya sinyal pada suatu pita frekuensi yang sangat lebar sehingga perbandingan antara sinyal dan *noise* menjadi lebih kecil. Untuk mendapatkan kembali sinyal informasi di penerima, suatu bentuk pengkodean sinkron dapat digunakan untuk mengumpulkan daya yang tersebar dan menyatukan kembali dalam pita frekuensi asal [Simon Haykin, 1988].

Ada tiga macam teknik *spread spectrum* yang digunakan dalam sistem CDMA yaitu:

1. DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*)

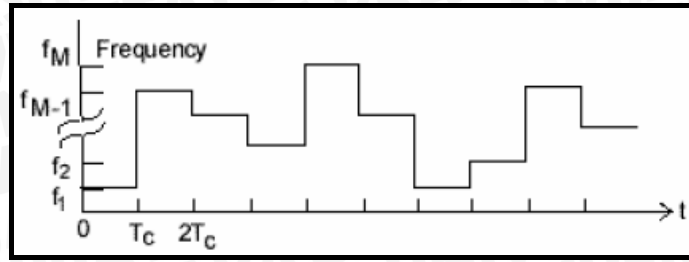
DSSS terdiri dari suatu gelombang pembawa yang dimodulasi oleh sebuah kode digital dimana memiliki kode *bit rate* yang jauh lebih besar daripada *bit rate* sinyal informasi yang ditunjukkan dalam Gambar 2.8. Sistem ini sering disebut juga sistem *pseudo-noise*.



Gambar 2.8. Metode *direct sequence spread spectrum*
(Sumber: Garg, 2000:10)

2. FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*)

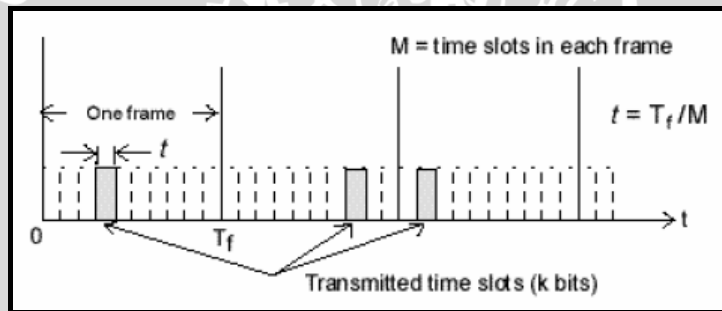
FHSS terdiri dari frekuensi pembawa yang diubah ke dalam penambahan diskrit dalam sebuah pola umum oleh suatu kode yang berurutan. Seringkali kode-kode yang dipilih digunakan untuk menghindari interferensi dari sistem non *spread spectrum* lain. Dalam suatu sistem FHSS, frekuensi sinyal menyisakan secara konstan untuk suatu durasi waktu yang spesifik yang menunjuk sebagai *time chip* (T_c). Penerapan sistem FHSS kadang penuh dengan *error burst* meskipun dengan level *error* acak yang rendah. Dengan sistem radio DSSS *error* tunggal dapat terdispersi secara acak melebihi waktunya, sedangkan dengan sistem radio FHSS *error*nya terdistribusikan dalam *cluster-cluster*. *Error burst* dapat disebabkan oleh *fading* atau interferensi frekuensi tunggal bergantung pada waktu dan frekuensinya. DSSS menyebarkan informasi pada domain waktu dan frekuensi sehingga dengan ketersediaan waktu dan frekuensi dapat meminimalkan efek *fading* dan interferensi.



Gambar 2.9. Metode frequency hopping spread spectrum (Sumber: Garg, 2000:10)

3. THSS (*Time Hopped Spread Spectrum*)

THSS menggunakan waktu transmisi yang dibagi ke dalam interval yang disebut *frame-frame* yang dapat dilihat dalam Gambar 2.10 dimana masing-masing frame dibagi ke dalam *time slot-time slot*. Tiap satu *time slot* dimodulasi dengan sebuah pesan dimana seluruh bit pesan diakumulasikan dalam *frame* awal yang ditransmisikan.



Gambar 2.10. Metode time hopped spread spectrum (Sumber: Garg, 2000:10)

BAB III

SISTEM PAKET DATA

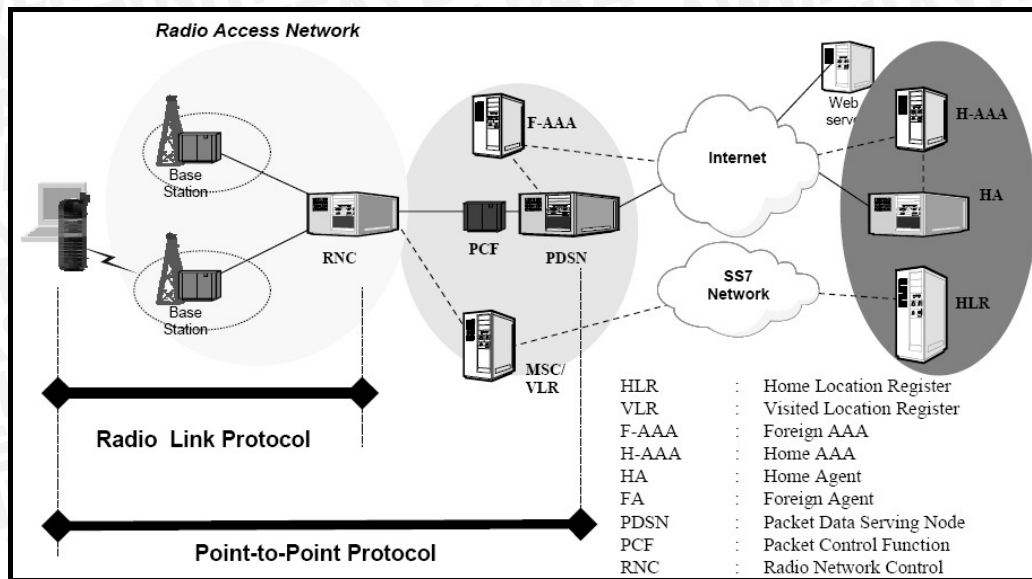
PADA PENERAPAN TEKNOLOGI CDMA 2000 3X

3.1 Arsitektur Jaringan CDMA 2000 3X

Arsitektur jaringan CDMA 2000 secara umum dapat dijelaskan sebagaimana dalam Gambar 3.1 dimana *Radio Access Network* (RAN) dalam jaringan CDMA 2000 terdiri dari beberapa *Base Station* (BS) yang masing-masing terhubung pada *Radio Network Controller* (RNC) atau biasa disebut sebagai *Base Station Controller* (BSC). RNC ini berfungsi untuk mengatur beberapa *Radio Link Protocol* (RLP) *layer-2 session* secara sekaligus dengan *Mobile Node* (MN) dan melakukan pengaturan *bandwidth* untuk tiap-tiap *link* yang ditanganinya. *Throughput* per-carrier sebesar 144 kbps pada CDMA 2000 1x akan di-*share* untuk beberapa MN yang aktif, namun untuk kondisi lain sebuah MN dapat menggunakan *full data rate*. Ketika sebuah MN berpindah dari satu RNC ke RNC yang lain, maka RLP *session* dari RNC sebelumnya aliran datanya akan dialihkan ke RNC yang dituju setelah terbentuk *session* baru.

Packet Data Serving Node (PDSN) dalam arsitektur diatas, berfungsi untuk mengatur *data traffic* dari beberapa RNC dan menghubungkan RAN pada jaringan berbasis *packet switching*. PDSN ini bertindak untuk mengakhiri koneksi *Point-to-Point* (PPP) dan sekaligus menjaga kondisi *session* untuk tiap-tiap MN dalam jangkauan daerah layanan. Dengan menjaga koneksi PPP antara PDSN dan MN dalam daerah layanan maka MN akan mendapatkan layanan yang baik pula.

PDSN disini membutuhkan dua mode operasi IP pendukung yaitu *Simple-IP* dan *Mobile-IP*. Dalam *Simple-IP*, jika MN berpindah dari satu PDSN ke PDSN yang lainnya harus membentuk kembali koneksi PPP dan selain itu juga diperlukan alamat IP baru. Dalam hal ini *user* perlu membentuk kembali semua *data session*-nya. Sedangkan dalam *Mobile-IP*, PDSN memanfaatkan fungsi-fungsi *Foreign Agent* (FA) untuk menangani mobilitas antar PDSN yang berbeda.



Gambar 3.1 Arsitektur jaringan CDMA 2000-3X
(Sumber : M. Buddhikot et al, 2003)

Jaringan CDMA2000 mempunyai komponen-komponen sebagai berikut :

➤ *Mobile Station (MS)*

Mempunyai fungsi utama untuk membentuk, memelihara dan membubarkan hubungan (voice dan data) dengan jaringan. MS membentuk hubungan dengan meminta kanal radio dari RN. Setelah hubungan terbentuk MS bertanggung jawab untuk menjaga kanal radio tersebut dan melakukan *buffer* paket jika kanal radio sedang tidak tersedia. MS biasanya mendukung enkripsi dan protokol seperti *Mobile IP* dan *Simple IP*.

➤ *Radio Network (RN)*

Terdiri dari dua komponen yaitu *Packet Control Function (PCF)* dan *Radio Resources Control (RRC)*. Fungsi utama PCF adalah untuk membentuk, memelihara dan membubarkan hubungan dengan PDSN. PCF berkomunikasi dengan RRC untuk meminta dan mengatur kanal radio untuk menyampaikan paket dari dan ke MS. PCF juga bertanggung jawab mengumpulkan informasi akunting dan meneruskannya ke PDSN. RRC mendukung otentikasi dan otorisasi MS untuk mendapatkan akses radio. RRC juga mendukung enkripsi *air interface* bagi MS.

➤ *Packet Data Serving Node (PDSN)*

PDSN melakukan bermacam-macam fungsi. Yang utama adalah melakukan *routing* paket ke jaringan IP atau ke HA. Dia memberikan alamat IP dinamik dan menjaga sesi *Point-To-Point Protocol (PPP)* ke MS. Dia memulai otentikasi,

otorisasi dan akunting ke AAA untuk sesi paket data. Sebagai balasannya PDSN menerima parameter-parameter profil pelanggan yang berisi jenis-jenis layanan dan keamanan.

➤ *Home Agent (HA)*

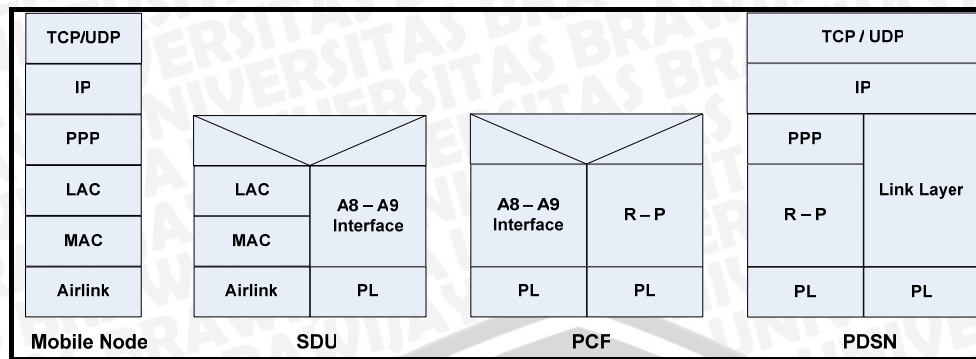
HA berperan dalam implementasi protokol *Mobile IP* dengan meneruskan paket-paket ke FA dan sebaliknya. HA menyediakan keamanan dengan melakukan otentikasi MS melalui pendaftaran *Mobile IP*. HA juga menjaga hubungan dengan AAA untuk menerima informasi tentang pelanggan.

➤ *Authentication, Authorization and Accounting (AAA)*

a. AAA mempunyai peran yang berbeda-beda tergantung pada tipe jaringan dimana dia terhubung. Jika AAA server terhubung ke *service provider network*, fungsi utamanya adalah melewatkan permintaan otentikasi dari PDSN ke *Home IP network*, dan mengotorisasi respon dari *home IP network* ke PDSN. AAA juga menyimpan informasi akunting dari MS dan menyediakan profil pelanggan dan informasi QoS bagi PDSN. Jika AAA server terhubung ke *home IP network*, dia melakukan otentikasi dan otorisasi bagi MS berdasarkan permintaan dari AAA lokal. Jika AAA terhubung ke *broker network*, dia meneruskan permintaan dan respon antara *service provider network* dan *home IP network* yang tidak mempunyai hubungan bilateral.

3.2 Protocol Stack Jaringan CDMA 2000

Dalam Gambar 3.2 ditunjukkan secara umum model protokol jaringan selular CDMA berbasis IP yang digunakan untuk komunikasi data antara MN dengan PDSN server. Protocol standar yang digunakan berbasiskan protocol TCP/IP. Pada layer data *link* terbentuk komunikasi *peer-to-peer connection* antara MN dengan PDSN dengan menggunakan *Point-to-Point Protocol (PPP)* dan pada link ini menyediakan operasi bi-directional serta paket-paket data dikirimkan berdasarkan urutan tertentu. Sedangkan komunikasi antara *Radio Network Controller (RNC)* dan MN terhubung dengan menggunakan *Radio Link Protocol (RLP)*.



Gambar 3.2 MN – PDSN Protocol Stack pada Jaringan CDMA
(Sumber : www.3GPP2.org)

Adapun fungsi dan tugas masing-masing layer adalah :

1. *Physical Layer (PL)*

Physical layer ini mendukung transmisi dan penerimaan sinyal antara MN dan Base station (BS). *Physical layer* ini mengikuti *physical layer* model referensi OSI dan unit transmisinya disebut dengan paket *physical layer*.

2. *Data Link Layer*

Data link layer antara MN dan jaringan dibagi menjadi dua *sublayer* yaitu *Link Access Layer (LAC)* dan *Medium Access Control (MAC)*. *Link Access Layer (LAC)* menjaga *interlink connection*, sekaligus menyediakan fungsi *convergence* untuk *upper layer* yang berbeda-beda. Sedangkan MAC berfungsi memberikan kontrol akses pada medium pentransmisian data.

3. *Upper Layer*

Upper layer disini direpresentasikan dalam layer 3 sampai layer 7 sesuai standar OSI yang berfungsi untuk dapat mengakses semua jenis *service*.

3.3 Interface

Interface yang didefinisikan pada standar ini dijelaskan sebagai berikut [3gpp2 A.S0011-B version 1.0, 2004:13]:

a. A1

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

b. A2

Interface A2 digunakan untuk menyediakan *path* untuk trafik pelanggan. *Interface A2* membawa 64/56 kbps informasi PCM (untuk *circuit switch* yang berorientasi pada layanan suara atau 64 kbps *Unrestricted Digital Information (UDI)* untuk

ISDN antara komponen *switch* dari MSC dan *Selection Distribution Unit* (SDU) yang merupakan fungsi dari BS.

c. A3

Interface A3 digunakan untuk mengangkut trafik pelanggan dan pensinyalan antar BS (*Soft/softer handoff*) ketika *target* BS disertakan untuk fungsi pemilihan *frame* di dalam *source* BS. *Interface A3* membawa informasi pelanggan yang dikodekan berupa data atau suara dan sinyal informasi antara fungsi SDU dari *source* BS dan komponen elemen kanal BTS dari *target* BS. *Interface A3* terdiri dari dua bagian yaitu pensinyalan dan trafik pelanggan. Informasi pensinyalan dibawa melintasi kanal logika yang terpisah dari kanal trafik pelanggan, dan mengontrol alokasi serta penggunaan kanal sebagai transportasi trafik pelanggan.

d. A5

Interface A5 digunakan untuk menyediakan *path* untuk trafik pelanggan berupa panggilan data antara *source* BS dan MSC. *Interface A5* membawa aliran *byte* secara *full duplex* antara komponen *switch* dari MSC dan fungsi SDU dari BS.

e. A7

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

f. A8

Interface A8 membawa trafik pelanggan antara BS dan PCF.

g. A9

Interface A9 membawa informasi pensinyalan antara BS dan PCF.

h. A10

Interface A10 membawa trafik pelanggan antara PCF dan PDSN.

i. A11

Interface A11 membawa informasi pensinyalan antara PCF dan PDSN

Pada sistem CDMA 2000-3X terdapat beberapa layanan yang terbagi dalam beberapa kelas yang dapat digunakan oleh *user*. Layanan-layanan tersebut antara lain:

1. *High MultiMedia* (HMM), antara lain *web browsing*, *file transfer*, dan *video surveillance*.
2. *High Interactive Multimedia* (HIMM), antara lain *video conference*, *web hosting*, dan *client server*.
3. *Very High Multimedia* (VHMM), *streaming video* dan *pooling video*.

Berikut ini diberikan karakteristik beberapa layanan komunikasi berdasarkan *bit rate* dan toleransi *delay* yang digunakan.

Tabel 3.1 Karakteristik beberapa layanan komunikasi untuk sistem CDMA 2000-3X

| Kategori Layanan | Bit Rate | Ukuran (byte) | Toleransi Delay |
|------------------------|---------------------|------------------|-----------------|
| Voice Mail | 16 – 64 kbps | 2000-8000 | 500 ms – 5 s |
| ADPCM Voice | 32 kbps | 4000 | 10 – 150 ms |
| PCM Voice | 64 kbps | 8000 | 10 – 150 ms |
| High-Quality Voice | 192 – 384 kbps | 24000-48000 | 10 – 150 ms |
| Electronic Mail | 9,6 kbps – 1,5 Mbps | 1200-187500 | 1 – 10 s |
| Remote Database Access | 1 – 10 Mbps | 125000-1250000 | 1 – 10 s |
| LAN Interconnection | 1,5 – 100 Mbps | 187500-12500000 | 10 – 100 ms |
| Client/Server System | 10 – 100 Mbps | 1250000-12500000 | 10 – 500 ms |
| Video Telephony | 64 kbps – 2 Mbps | 8000-250000 | 150 – 350 ms |
| Video Conferencing | 128 kbps – 14 Mbps | 16000-1750000 | 150 – 350 ms |
| Video/Image Mail | 1 – 4 Mbps | 125000-500000 | 1 – 5 s |

(Sumber: www.Infoteknologi.com)

3.4 Parameter Kinerja Teknologi CDMA 2000-3X

3.4.1 Sistem Spread Spectrum

Salah satu keuntungan *spread spectrum* memiliki kemampuan tahan terhadap interferensi. *Gain processing system* (G_p), yang merupakan perbandingan antara *bandwidth* RF (B_w) terhadap kecepatan informasi (R) merupakan suatu parameter dari penolakan interferensi yang dapat dinyatakan dengan persamaan [Vijay K. Garg, 2000:12] :

$$G_p = \frac{B_w}{R} \quad (3-1)$$

Pada sistem *spread spectrum*, tingkat *noise* ditentukan oleh *thermal noise* dan interferensi. Pada *user*, interferensi diproses sebagai *noise*. Hubungan antara S/N *input* dan *output* dapat ditunjukkan oleh persamaan [Vijay K. Garg, 2000:13] adalah :

$$\left(\frac{S}{N}\right) = G_p \left(\frac{S}{N}\right)_i \quad (3-2)$$

Performansi sistem digital ditentukan oleh E_b/N_o yang merupakan perbandingan antara energi tiap bit dengan kerapatan spektral daya *noise*. Berikut ini diberikan hubungan antara S/N dengan E_b/N_o yang ditunjukkan oleh persamaan [Vijay K. Garg, 2000:13] :

$$\left(\frac{S}{N}\right)_i = \frac{E_b \times R}{N_o \times B_w} = \frac{E_b}{N_o} \times \frac{1}{G_p} \quad (3-3)$$

Dari persamaan (3-3) dapat dinyatakan bahwa :

$$\frac{E_b}{N_o} = G_p \times \left(\frac{S}{N}\right)_i = \left(\frac{S}{N}\right)_o \quad (3-4)$$

dengan :

G_p = *processing gain* (dB)

B_w = *bandwidth* (Hz)

R = laju transmisi data (bps)

S/N = *signal to noise ratio* (dB)

E_b/N_o = energi tiap bit per kerapatan spektral daya *noise* (dB)

Pada suatu sistem komunikasi digital, kualitas transmisi sinyal juga ditentukan oleh *Bit Error Rate* (BER) dari sinyal digital yang merupakan kualitas dari sinyal yang diterima. Hubungan antara BER dengan E_b/N_o ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut [Vijay K. Garg, 2000:17] :

$$P_b(BER) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{E_b}{N_o}} = Q\left(\sqrt{\frac{2xE_b}{N_o}}\right), \text{ dimana } Q(u) \approx \frac{e^{-u^2/2}}{\sqrt{2\pi}u}, \quad u \gg 1 \quad (3-5)$$

Sehingga :

$$P_b(BER) = \frac{e^{-E_b/N_o}}{2\sqrt{\pi}\left(\frac{E_b}{N_o}\right)} \quad (3-6)$$

dengan :

$P_b(BER)$ = probabilitas bit yang *error*

erf = *error function*

$\left(\frac{E_b}{N_o}\right)$ = *signal to noise ratio* kanal trafik

Selain E_b/N_o dan BER, kualitas pentransmisian ditentukan juga oleh besarnya *carrier to interference ratio* (C/I) pada sisi penerima. C/I ini berhubungan dengan E_b/I_o yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

Tabel 3.2. Spesifikasi parameter E_b/N_o berdasarkan klasifikasi data rate

| <i>Data rate (kbps)</i> | <i>Parameter Forward Link</i> | | | | | | | | |
|-------------------------|-------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| | 38,4 | 76,8 | 153,6 | 307,2 | 614,4 | 921,6 | 1228,8 | 1843,2 | 2457,6 |
| E_b/N_o (dB) | 2,4 | 2,19 | 2,18 | 2,27 | 2,35 | 3,29 | 4,25 | 7,79 | 11,14 |
| <i>Data rate (kbps)</i> | <i>Parameter Reverse Link</i> | | | | | | | | |
| | 9,6 | 19,2 | 38,4 | 76,8 | 153,6 | | | | |
| E_b/N_o (dB) | 6,62 | 4,98 | 3,84 | 3,55 | 3,25 | | | | |

(Sumber: www.Qualcomm.com)

3.4.2. Kapasitas Kanal Sel

Kapasitas selular pada CDMA dapat didefinisikan sebagai banyaknya kanal yang dapat disediakan dalam 1 *bandwidth* sebesar 1,25 MHz. Kapasitas pada sistem CDMA ini dipengaruhi oleh faktor aktivitas trafik yang dapat berupa *voice* maupun data, faktor interferensi dari sel tetangga yang lain, faktor kontrol daya yang tidak sempurna serta faktor sektorisasi.

Kapasitas kanal sel CDMA dapat dikelompokkan menjadi dua bagian yaitu *primary traffic* dan *secondary traffic*. Untuk *primary traffic* hanya digunakan sebagai kanal suara saja sedangkan untuk *secondary traffic*-nya digunakan sebagai kanal untuk pentransmisian data saja. Berikut ini diberikan persamaan untuk menentukan kapasitas kanal sel CDMA yang menggunakan antena dengan pancaran ke segala arah (*omnidirectional*) [Vijay K. Garg, 2000:286]:

$$M_{\max} = G_p \cdot \left[\frac{\eta_c}{\left(\frac{E_b}{I_t} \right) \cdot v_f \cdot (1+f)} \right] \quad (3-7)$$

dengan :

M_{\max} = kapasitas kanal (kanal)

G_p = *processing gain* (dB) sebagaimana didefinisikan oleh persamaan (3-1)

$\frac{E_b}{I_t}$ = rasio energi tiap bit terhadap total interferensi dan kerapatan spektral daya

thermal noise (dB)

η_c = faktor kontrol daya yang tidak sempurna (0,7 – 0,85)

v_f = faktor aktivitas trafik yang dapat berupa *voice* (0,4 – 0,6) dan data (1)

f = faktor interferensi dari sel yang lain (0,56 – 1,28)

Untuk mengurangi interferensi dari *user* yang berasal dari sel lain maka *base station* menggunakan antena dengan pancaran yang membentuk sudut tertentu sebesar A sehingga sektorisasi sudut yang terbentuk sebesar $360^\circ/A$. Dalam praktek di lapangan *base station* menggunakan 3 antena yang membentuk sektorisasi sebesar 120° dan menerapkan gain sektorisasi (α) secara praktis sebesar 2,55 maka banyaknya kanal yang disediakan tiap sektor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [Vijay K. Garg, 2000:286]:

$$M_{\text{sektor}} = M_{\max} \times \frac{\alpha}{3} \quad (3-8)$$

dengan :

M_{sektor} = banyaknya kanal yang disediakan tiap sektor (kanal)

α = faktor sektorisasi

Adapun spesifikasi parameter-parameter yang mempengaruhi kapasitas kanal CDMA 2000-3X ditunjukkan dalam Tabel 3.3.:

Tabel 3.3. Spesifikasi parameter kapasitas kanal CDMA 2000-3X

| No. | Parameter | Nilai |
|-----|--|---------------|
| 1. | <i>Bandwidth</i> (B_w) | (1,25 x3) MHz |
| 2. | <i>Data rate 1</i> (R_1), E_b/I_t data traffic 1 | 9600 bps |
| 3. | <i>Data rate 2</i> (R_2), E_b/I_t data traffic 2 | 19200 bps |
| 4. | <i>Data rate 3</i> (R_3), E_b/I_t data traffic 3 | 38400 bps |
| 5. | <i>Data rate 4</i> (R_4), E_b/I_t data traffic 4 | 76800 bps |
| 6. | <i>Data rate 5</i> (R_5), E_b/I_t data traffic 5 | 153600 bps |
| 7. | Faktor sektorisasi (α) | 2,55 |
| 8. | Faktor interferensi dari sel yang lain (f) | 0,85 |
| 9. | Faktor kontrol daya yang tidak sempurna (η_c) | 0,8 |
| 10. | Faktor aktivitas trafik data (v_f) | 1 |

(Sumber: www.Qualcomm.com)

3.5 Parameter Layanan Data CDMA 2000-3X

Dalam kualitas layanan data sangat dibutuhkan suatu jaringan dengan kualitas yang baik untuk mencapai kualitas kinerja sistem yang mendukung. Maka dapat dilihat beberapa faktor yang menunjukkan kinerja dari arsitektur yang digunakan.

3.5.1. Delay

Salah satu ukuran unjuk kerja jaringan data adalah *delay* yang dibutuhkan untuk mengirimkan data dari sumber ke tujuannya. Pertimbangan *delay* tersebut mempengaruhi penentuan dan unjuk kerja dari algoritma jaringan, seperti perutean dan *flow control*. Definisi umum dari *delay* adalah waktu tunda. Dalam jaringan yang berbasis *packet switching*, *delay* yang terjadi merupakan penjumlahan *delay-delay* yang ada dalam perjalanan paket dari sumber ke tujuannya pada setiap *hop*. *Delay* tersebut meliputi 4 komponen (Bertsekas et al,1992:185) :

1. *Delay proses*

Merupakan waktu yang dibutuhkan untuk memproses paket data dan untuk menentukan kemana data tersebut akan diteruskan. *Delay proses* merupakan waktu yang dibutuhkan oleh sebuah data agar bisa ditransmisikan dalam sebuah mikroprosesor. *Delay proses* terdiri dari *delay* enkapsulasi dan *delay* dekapsulasi. Pada bagian ini akan dilakukan analisis proses enkapsulasi dan dekapsulasi dari titik

Packet Data Serving Node (PDSN), Packet Control Function (PCF), Selection Distribution Unit (SDU), dan menuju Mobile Station (MS)

a. *Packet Data Serving Node (PDSN)*

Pada PDSN paket data (*segment data*) yang dikirimkan ke *transport layer* untuk diubah menjadi segmen TCP atau UDP (tergantung pada jenis layanan yang digunakan) dengan menambahkan *header* yang sesuai. Penambahan *header* ini dirumuskan :

$$W_{\text{segmen}} = W_{\text{data}} + \text{Header} \quad (3-9)$$

dengan :

W_{segmen} = panjang segmen TCP (*byte*)

W_{data} = jumlah data sebelum terenkapsulasi (*byte*)

Header = panjang *header* TCP (20 *byte*) [Stalling, 1997:614]
atau UDP (8 *byte*) [Stalling, 1997:619]

Dari *transport layer*, segmen ini kemudian dikirim ke *network layer* untuk diubah menjadi *datagram* IP. *Layer* IP ini memiliki *Maximum Segment Size (MSS)* sebesar 65511 *byte* [Heywood, 1999:135], sehingga bila panjang segmen data yang masuk ke *layer* ini panjangnya melebihi MSS maka segmen data ini terlebih dahulu harus disegmentasi sebelum dienkapsulasi (ditambahkan *header*). Pengubahan segmen TCP menjadi *datagram* IP dapat dirumuskan :

$$W_{\text{datagram}} = W_{\text{segmen}} + \text{Header}_{\text{IP}} \quad (3-10)$$

dengan :

W_{datagram} = panjang *datagram* IP (*byte*)

$\text{Header}_{\text{IP}}$ = panjang *header* IP (20 *byte*) [Stalling, 1997:544]

Dari *network layer*, *datagram* IP kemudian dikirim ke *data link layer* (R-P *interface*) melalui *Point-to-Point Protocol (PPP)*. Pada R-P *interface*, *datagram* IP diubah menjadi *frame Ethernet* yang memiliki *Maximum Transfer Unit (MTU)* sebesar 1500 *byte* [Heywood, 1999:63]. Bila jumlah *datagram* IP ini melebihi jumlah

MTU *Ethernet*, maka *datagram* akan disegmentasi. Proses segmentasi ini dirumuskan

$$: N_{frame} = \frac{W_{datagram}}{MTU_{Ethernet}} \quad (3-11)$$

dengan :

N_{frame} = jumlah *frame Ethernet* (*byte*)

$MTU_{Ethernet}$ = MTU *Ethernet* (1500 *byte*)

Setelah tersegmentasi, *frame-frame* ini kemudian dienkapsulasi untuk disesuaikan dengan panjang *frame Ethernet*. Berikut ini diberikan persamaan untuk menyatakan panjangnya 1 *frame Ethernet* [Heywood, 1999:63] :

$$W_{Ethernet} = MTU_{Ethernet} + Header_{Ethernet} + FCS \quad (3-12)$$

dengan :

$W_{Ethernet}$ = panjang *frame Ethernet* (*byte*)

$MTU_{Ethernet}$ = *payload data* (46 - 1500 *byte*)

Header = *header Ethernet* (14 *byte*)

FCS = jumlah *FCS (Frame Check Sequence)* (4 *byte*)

Sehingga jumlah total *frame Ethernet* yang dikirimkan dari PDSN ke PCF adalah dirumuskan :

$$W_{frame\ total} = N_{frame} \times W_{Ethernet} \quad (3-13)$$

Dengan demikian *delay enkapsulasi* yang terjadi di PDSN dirumuskan :

$$t_{E1} = \frac{W_{frame\ total} \times 8}{V_{PDSN}} \quad (3-14)$$

dengan :

t_{E1} = *delay enkapsulasi* pada PDSN (*detik*)

$W_{frame\ total}$ = jumlah *frame total* pada PDSN (*byte*)

V_{PDSN} = kecepatan transmisi data PDSN (*bps*)

b. Packet Control Function (PCF)

Setelah paket dari R-P *interface* ditransmisikan dan sampai di PCF, *frame* dari PDSN didekapsulasi sehingga diperoleh kembali *frame* data aslinya. *Delay* dekapsulasi (t_{D1}) dirumuskan :

$$t_{D1} = \frac{W_{frame\ total} \times 8}{V_{1(PCF)}} \quad (3-15)$$

dengan:

t_{D1} = *delay* enkapsulasi pada PCF (detik)

$W_{frame\ total}$ = jumlah *frame* total pada PDSN (*byte*)

$V_{1(PCF)}$ = kecepatan transmisi data dari PDSN ke PCF (bps)

Frame data asli yang diperoleh dari proses *dekapsulasi* ini kemudian ditransfer dari R-P *interface* ke A8 – A9 *interface* oleh *relay* di PCF. Dari sini dapat dihitung *delay* enkapsulasi pada PCF yaitu :

$$t_{E2} = \frac{W_{PCF\ total} \times 8}{V_{2(PCF)}} \quad (3-16)$$

dimana :

t_{E2} = *delay* enkapsulasi pada PCF (detik)

$W_{PCF\ total}$ = panjang data di PCF (*byte*)

$V_{2(PCF)}$ = kecepatan transmisi data dari PCF ke SDU (bps)

c. Selection Distribution Unit (SDU)

Pada SDU, *frame* yang dikirimkan dari PCF kemudian akan didekapsulasi untuk mendapatkan *Link Access Control – Selection Distribution Unit* (LAC-SDU) *Service Data Unit*-nya. LAC SDU ini kemudian ditransfer ke *link layer* LAC oleh *relay* di SDU. Nilai *delay* enkapsulasi yang terjadi pada SDU ini diperoleh dari :

$$t_{D2} = \frac{W_{PCF\ total} \times 8}{V_{SDU}} \quad (3-17)$$

dengan :

t_{D2} = *delay* enkapsulasi pada SDU (detik)

$W_{PCF\ total}$ = panjang data di PCF (*byte*)

V_{SDU} = kecepatan transmisi data di SDU (*bps*)

Selanjutnya LAC-SDU pada *link layer* LAC diubah menjadi LAC- *Protocol Data Unit* (PDU) dengan menambahkan 30 bit CRC [3GPP2 C.S0004-0 Version 1.0:53], sehingga diperoleh :

$$W_{LAC-PDU} = (W_{LAC-SDU} \times 8) + \text{Header}_{LAC-SDU} \quad (3-18)$$

dengan :

$W_{LAC-PDU}$ = panjang LAC-PDU (*bit*)

$W_{LAC-SDU}$ = panjang LAC-SDU sama dengan $W_{PCF\ total}$ (*bit*)

Selanjutnya LAC-PDU dari *link layer* LAC dikirimkan ke *link layer Medium Access Control* (MAC). Disini, *frame* kemudian disegmentasi menjadi MAC-*radio block* dengan ukuran yang sesuai dengan *data rate*-nya. Spesifikasi MAC-*radio block* berdasarkan *data rate* untuk standar pelayanan komunikasi data yang dapat dilihat dalam Tabel 3.4.

Tabel 3.4a. Jumlah bit tiap *Frame* CDMA untuk Pelayanan Komunikasi Data *Forward Link*

| Banyaknya slot yang ditempati | <i>Data rate</i> (bps) | Jumlah Bit Tiap <i>Frame</i> | | | | |
|-------------------------------|------------------------|------------------------------|---------------|-------------|-----|------|
| | | Total | Bit informasi | Bit padding | FCS | Tail |
| 4 | 153600 | 1024 | 1002 | - | 16 | 6 |
| 2 | 307200 | | | | | |
| 1 | 614400 | | | | | |
| 4 | 307200 | 2048 | 2004 | 22 | 16 | 6 |
| 2 | 614400 | | | | | |
| 1 | 1228800 | | | | | |
| 2 | 921600 | 3072 | 3006 | 44 | 16 | 6 |
| 1 | 1843200 | | | | | |
| 2 | 1228800 | | | | | |
| 1 | 2457600 | 4096 | 4008 | 66 | 16 | 6 |

(Sumber : www.3GPP2 C.S0024)

Tabel 3.4b. Jumlah bit tiap *Frame* CDMA untuk Pelayanan Komunikasi Data Reverse Link

| Durasi Packet (ms) | Data Rate (bps) | Jumlah Bit tiap <i>Frame</i> | | | |
|--------------------|-----------------|------------------------------|---------------|-----|------|
| | | Total | Bit Informasi | FCS | Tail |
| 26,667 | 153600 | 4096 | 4074 | 16 | 6 |

(Sumber : www.3GPP2.C.S0024)

Sehingga proses segmentasi yang terjadi dirumuskan :

$$N_{\text{payload MAC-radio block}} = \frac{W_{\text{LAC-PDU}}}{W_{\text{payload MAC-radio block}}} \quad (3-19)$$

dengan :

$N_{\text{payload MAC}}$ = jumlah *payload MAC-radio block*

$W_{\text{payload MAC}}$ = panjang *payload MAC-radio block* termasuk di dalamnya *information bit* dan *padding bit* (bit)

Setelah itu *MAC-radio block* akan dienkapsulasi dengan menambahkan 16 bit *FCS* dan 6 bit *Tail*, sehingga didapatkan :

$$W_{\text{MAC-radio block}} = W_{\text{payload MAC-radio block}} + \text{FCS} + \text{Tail} \quad (3-20)$$

Sehingga diperoleh nilai *frame* total yang dapat dikirimkan menuju *airlink* sebesar:

$$W_{\text{SDU total}} = N_{\text{payload MAC-radio block}} \times W_{\text{MAC-radio block}} \quad (3-21)$$

Maka *delay* enkapsulasi yang terjadi pada SDU didapatkan :

$$t_{E3} = \frac{W_{\text{SDU total}}}{V_{\text{SDU}}} \quad (3-22)$$

dengan :

t_{E3} = *delay* enkapsulasi pada SDU (detik)

Selanjutnya *frame* data yang berasal dari SDU akan diteruskan ke *layer* berikutnya yaitu *airlink*. Karena pada *layer* ini banyaknya data yang dilewatkan dinyatakan dalam *chip*, berdasarkan alokasi *data rate* yang digunakan dapat dilakukan

konversi dari bit ke dalam *chip*. Maka banyaknya data pada *layer* ini dapat dinyatakan sebagai :

$$W_{airlink} = W_{SDU\ total} \times PN\ Chip/bit \quad (3-23)$$

dengan :

$W_{airlink}$ = banyaknya data pada *layer airlink (chip)*

$W_{SDU\ total}$ = jumlah data yang terdapat pada SDU (bit)

$PN\ Chip/bit$ = banyaknya alokasi *chip* berdasarkan *data rate* untuk setiap bit (*chip*)

Banyaknya data informasi, *pilot*, MAC dan *preamble* yang dimuat untuk 1 *frame* dapat dilihat pada tabel 3.6 berdasarkan klasifikasi *data rate* yang digunakan dengan struktur alokasi data tiap *slot*-nya dapat dilihat pada tabel 3.5. Banyaknya *frame* yang dibutuhkan untuk mengirimkan data informasi pada *airlink layer* dapat dinyatakan sebagai :

$$N_{frame} = \frac{W_{airlink}}{Data\ chip\ tiap\ frame} \quad (3-24)$$

dengan :

N_{frame} = *frame* yang dibutuhkan untuk mengirimkan data pada *airlink layer* (buah)

$Data\ Chip/frame$ = banyaknya alokasi *chip* berdasarkan *data rate* untuk setiap *frame* (*chip*)



Tabel 3.5. Parameter *airlink* untuk *forward link*

| Banyaknya slot yang ditempati | Data rate (bps) | PN Chip/Bit | Bit/ paket encoder | Preamble (chip) | Durasi paket encoder (ms) |
|-------------------------------|-----------------|-------------|--------------------|-----------------|---------------------------|
| 16 | 38400 | 32 | 1024 | 1024 | 26,67 |
| 8 | 76800 | 16 | | 512 | 13,33 |
| 4 | 153600 | 8 | | 256 | 6,67 |
| 2 | 307200 | 4 | | 128 | 3,33 |
| 1 | 614400 | 2 | | 64 | 1,67 |
| 4 | 307200 | 4 | 2048 | 128 | 6,67 |
| 2 | 614400 | 2 | | 64 | 3,33 |
| 1 | 1228800 | 1 | | 64 | 1,67 |
| 2 | 921600 | 1,33 | 3072 | 64 | 3,33 |
| 1 | 1843200 | 0,67 | | 64 | 1,67 |
| 2 | 1228800 | 1 | 4096 | 64 | 3,33 |
| 1 | 2457600 | 0,5 | | 64 | 1,67 |

(Sumber: www.cdg.org)

Total keseluruhan untuk *chip* yang dibawa oleh *airlink layer* dapat dinyatakan sebagai :

$$W_{airlink\ total} = (Chip_{preamble\ 1\ frame} \times N_{frame}) + (N_{pilot\ 1\ frame} \times N_{frame}) + (N_{MAC\ 1\ frame} \times N_{frame}) + W_{airlink} \quad (3-25)$$

dengan :

$Chip_{preamble\ 1\ frame}$ = alokasi *preamble* pada 1 *frame* (*chip*)

N_{frame} = banyaknya *frame* yang ditransmisikan di *airlink layer* (buah)

$N_{pilot\ 1\ frame}$ = alokasi *pilot* pada 1 *slot* (192 *chip*)

$N_{MAC\ 1\ frame}$ = alokasi *MAC* pada 1 *slot* (256 *chip*)

$W_{airlink}$ = banyaknya data pada *layer airlink* (*chip*)

Maka *delay* enkapsulasi yang terjadi pada *airlink* didapatkan :

$$t_{E4} = \frac{W_{airlink\ total}}{C_r} \quad (3-26)$$

dengan :

t_{E4} = delay enkapsulasi pada *airlink* (detik)

C_r = *chip rate* (1,2288 Mcps)

Tabel 3.6. Parameter modulasi untuk kanal *forward traffic* dan kanal kontrol

| Data Rate (kbps) | Banyaknya nilai tiap paket <i>layer</i> fisik | | | | | | |
|------------------|---|------|----------------|-----------------|-------|------|-------|
| | Slot | Bit | Jenis Modulasi | TDM <i>chip</i> | | | |
| | | | | Preamble | Pilot | MAC | Data |
| 38,4 | 16 | 1024 | QPSK | 1024 | 3072 | 4096 | 24576 |
| 76,8 | 8 | | | 512 | 1536 | 2048 | 12288 |
| 153,6 | 4 | | | 256 | 768 | 1024 | 6144 |
| 307,2 | 2 | | | 128 | 384 | 512 | 3072 |
| 614,4 | 1 | | | 64 | 192 | 256 | 1536 |
| 307,2 | 4 | 2048 | QPSK | 128 | 768 | 1024 | 6272 |
| 614,4 | 2 | | | 64 | 384 | 512 | 3136 |
| 1228,8 | 1 | | | 64 | 192 | 256 | 1536 |
| 921,6 | 2 | 3072 | 8 – PSK | 64 | 384 | 512 | 3136 |
| 1843,2 | 1 | | | 64 | 192 | 256 | 1536 |
| 1228,8 | 2 | 4096 | 16 - QAM | 64 | 384 | 512 | 3136 |
| 2457,6 | 1 | | | 64 | 192 | 256 | 1536 |

(Sumber: www.3GPP2.org C.S004 ver 2.0, 2000:9-62 dan 9-63)

d. Mobile Station (MS)

Data yang sudah dalam bentuk *chip* dari *layer airlink* pada BS dibawa melalui Um *interface* diterima oleh MS yang selanjutnya akan didekapsulasi. Nilai *delay* dekapsulasi MS pada *layer airlink* ini diperoleh dengan :

$$t_{D3} = \frac{W_{airlink\ total}}{C_r} \quad (3-27)$$

MAC *radio block* yang diterima oleh MS akan didekapsulasi menjadi data aslinya. Nilai *delay* dekapsulasi MS pada *layer* MAC ini didapatkan :

$$t_{D4} = \frac{W_{SDU\ total}}{n} \times (n_s \times 1,67 \times 10^{-3} \text{ s}) \quad (3-28)$$

dengan :

t_{D4} = *delay* dekapsulasi MS pada *layer* MAC (detik)

n = *physical layer packet* ($n = 1024, 2048, 3072, 4096$ bit)

n_s = alokasi banyaknya *slot* yang ditempati berdasarkan *data rate*

2. Delay transmisi

Delay transmisi merupakan lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mentransmisikan bit pertama dari paket data hingga bit terakhir melalui media transmisi tertentu. Besarnya *delay* transmisi untuk masing-masing *interface* adalah :

a. A10 interface / R-P interface

Delay transmisi yang terjadi pada R-P *interface* dirumuskan :

$$t_{T1} = \frac{W_{paket\ Ethernet} = W_{frame\ total}}{V_{Ethernet}} \quad (3-29)$$

dengan :

t_{T1} = *delay* transmisi R-P *interface* (detik)

$V_{Ethernet}$ = kecepatan transmisi data *Ethernet* (bps)

$W_{frame\ total}$ = jumlah *frame* total pada PDSN (*byte*)

b. A8 interface

Delay transmisi yang terjadi pada A8 *interface* dirumuskan :

$$t_{T2} = \frac{W_{PCF\ total}}{V_{A8\ interface}} \quad (3-30)$$

dengan :

- t_{T2} = delay transmisi A8 interface (detik)
- $V_{A8\ interface}$ = kecepatan transmisi data A8 interface (bps)
- $W_{PCF\ total}$ = panjang data di PCF (byte)

c. Abis interface

Delay transmisi yang terjadi pada Abis interface dirumuskan :

$$t_{T3} = \frac{W_{SDU\ total}}{V_{Abis\ interface}} \tag{3-31}$$

dengan :

- t_{T3} = delay transmisi Abis interface (detik)
- $V_{Abis\ interface}$ = kecepatan transmisi data Abis interface (bps)
- $W_{SDU\ total}$ = panjang data pada SDU (byte)

d. Um interface

Delay transmisi yang terjadi pada UM interface dirumuskan :

$$t_{T4} = \frac{W_{SDU\ total}}{n} \times (n_s \times 1,67 \times 10^{-3}) \tag{3-32}$$

dengan :

- t_{T4} = delay transmisi pada Um interface (detik)
- n = physical layer packet (n = 1024, 2048, 3072, 4096 bit)
- n_s = alokasi banyaknya slot yang ditempati berdasarkan data rate
- $W_{SDU\ total}$ = panjang data pada SDU (byte)

3. Delay propagasi

Delay propagasi merupakan waktu antara bit terakhir ditransmisikan dari node sebelumnya sampai bit terakhir diterima pada node berikutnya. Kecepatan propagasi tergantung pada karakteristik fisik media koneksi antara pengirim dan penerima. Besarnya delay propagasi adalah :



$$t_p = \frac{d}{c} = \frac{N_{frame} \times R}{v} \quad (3-33)$$

dengan :

- t_p = *delay* propagasi (detik)
- d = jarak / radius sel (m)
- c = cepat rambat gelombang elektromagnetik (3×10^8 m/s)
- R = jarak *node* ke *node* (m)
- V = cepat rambat dalam medium (m/s)
- N_{frame} = jumlah *payload frame* yang ditransmisikan (*byte*)

4. *Delay* antrian

Merupakan waktu dimana paket data tersebut berada dalam antrian untuk ditransmisikan. Selama waktu ini paket data menunggu sampai selesainya paket lain ditransmisikan. *Delay* antrian yang dianalisis merupakan *delay* yang terjadi pada PDSN dengan menggunakan model antrian M/M/1.

Model antrian M/M/1 dapat diartikan bahwa proses kedatangan paket data pada umumnya secara acak dan waktu pelayanannya merupakan distribusi yang eksponensial. Disiplin antrian yang digunakan adalah FIFO (*First In First Out*). Beberapa parameter model antrian M/M/1 antara lain :

a. Kapasitas *link*

Kapasitas *link* yang diterapkan dengan menggunakan kecepatan standar yang dimiliki oleh PDSN dan panjang paket data yang ditransmisikan dalam bit. Besarnya kapasitas *link* yang terjadi akan menentukan kecepatan pelayanan, sehingga kecepatan pelayanan di PDSN *server* dapat dihitung sebagaimana persamaan berikut ini :

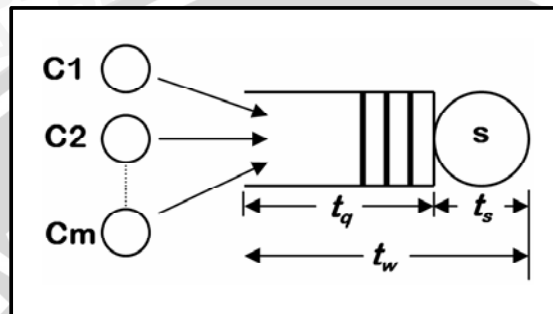
$$\mu_{PDSN} = \frac{C_{PDSN}}{m} \quad (3-34)$$

dengan :

- μ_{PDSN} = kecepatan pelayanan di PDSN (paket/detik)
- C_{PDSN} = kapasitas *link* di PDSN (1 Gbps)
- m = panjang paket data yang ditransmisikan di PDSN (bit)

b. Interval waktu untuk permintaan (*request*)

Interval waktu untuk permintaan merupakan *Distribusi Poisson* dengan kecepatan kedatangan data adalah λ (paket/detik). Dimana kedatangan paket data pada umumnya secara acak dan waktu pelayanannya merupakan distribusi yang eksponensial, menggunakan 1 *server* dan sel yang datang lebih dahulu akan keluar lebih dahulu atau FIFO (*First In First Out*).



Gambar 3.3 Model antrian M/M/1
(Sumber : I Made Wiryana, 1999 : 2)

Berdasarkan model antrian M/M/1 sebagaimana yang ditunjukkan dalam Gambar 3.3. maka besarnya total *delay* antrian adalah :

$$t_w = t_q + t_s \quad (3-35)$$

dengan :

t_w = total *delay* antrian di PDSN (detik)

t_q = waktu tunggu paket di dalam saluran (detik)

t_s = rata-rata kecepatan pelayanan paket di PDSN (detik)

dimana :

$$t_s = \frac{1}{\mu_{PDSN}} \quad (3-36)$$

Performansi suatu sistem antrian ditunjukkan dalam *utilisasi* yang memiliki nilainya dengan asumsi berubah terhadap kenaikan tertentu. Besarnya nilai *utilisasi* yang terjadi ditunjukkan pada persamaan berikut ini :

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu_{PDSN}} \quad (3-37)$$

dengan :

ρ = faktor utilitas

λ = laju kedatangan data (paket/detik)

μ_{PDSN} = kecepatan pelayanan di PDSN (paket/detik)

Sehingga untuk masing-masing nilai ρ dapat ditentukan laju kedatangan paket (λ) di PDSN sebesar :

$$\lambda_{PDSN} = \rho \times \mu_{PDSN} \quad (3-38)$$

Dengan menggunakan *teori Little*, maka besarnya nilai *delay* antrian diperoleh :

$$t_w = \frac{1}{\mu(1-\rho)} \quad (3-39)$$

Sedangkan waktu tunggu dari paket data dapat dirumuskan sebagai berikut [Wiryana, 1999:7] :

$$\begin{aligned} t_q &= t_w - t_s \\ &= \frac{1/\mu}{1-\rho} - \frac{1}{\mu} = \frac{\lambda/\mu^2}{1-\rho} \\ &= \frac{\lambda/\mu}{\mu \times (1-\rho)} = \frac{\lambda/\mu}{(\mu-\lambda)} \end{aligned} \quad (3-40)$$

Sehingga total *delay* antrian yang terjadi pada PDSN menjadi :

$$t_w = t_q + t_s = \frac{\lambda_{PDSN} / \mu_{PDSN}}{\mu_{PDSN} - \lambda_{PDSN}} + \frac{1}{\mu_{PDSN}} \quad (3-41)$$

3.5.2 Throughput

Throughput merupakan ukuran seberapa cepat data dapat melewati suatu *entity* seperti *node* atau jaringan. Pengiriman data pada jaringan *packet switch* antara dua stasiun yang melalui beberapa lapisan protokol memiliki batas kemampuan kapasitas yang dapat dikeluarkan oleh jaringan tersebut. *Throughput* merupakan

parameter yang digunakan untuk mengetahui jumlah data yang diterima dalam keadaan baik terhadap waktu transmisi yang dibutuhkan dari sumber data ke penerima. Pada keadaan saturasi, yaitu suatu kondisi dimana selalu tersedia *frame* yang menunggu untuk ditransmisikan, t_v merepresentasikan sebagai waktu transmisi rata-rata *frame* yang diterima dengan benar [Schwartz, 1987:129].

Besarnya *throughput* maksimum untuk jaringan dapat dirumuskan sebagaimana dapat dilihat pada persamaan berikut ini :

$$\lambda = \frac{1}{t_v} \quad (3-42)$$

Karena nilai *throughput* akan berbeda-beda untuk panjang paket dan nilai *header*-nya, maka untuk paket data dengan panjang x , persamaan (3-44) dapat diubah menjadi :

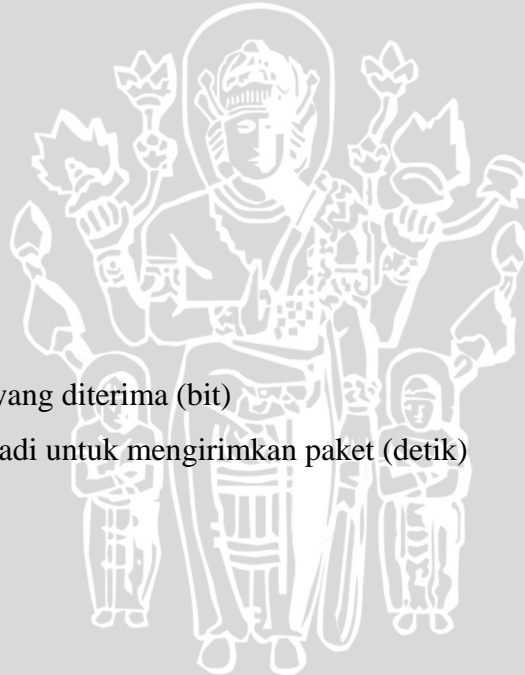
$$\lambda = \frac{x}{t_v} \quad (3-43)$$

dengan :

λ = *throughput* (bps)

x = panjang paket data yang diterima (bit)

t_v = *delay* total yang terjadi untuk mengirimkan paket (detik)



BAB IV METODOLOGI

Kajian dalam skripsi ini bersifat analisis terhadap kinerja sistem paket data jaringan pada CDMA 2000 3X. Dengan menggunakan sistem teknologi CDMA 2000 3X diharapkan mampu memberikan solusi kerja yang optimal dalam hal kapasitas dan *throughput* bagi layanan yang berupa *data paket*. Metodologi yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini terdiri atas lima metode, yaitu:

1. Studi Pustaka
2. Pengambilan data
3. Pembatasan Variabel
4. Perhitungan & Analisa Data
5. Pengambilan Kesimpulan

4.1. Studi Pustaka

Studi pustaka dalam skripsi ini berisi teori tentang perkembangan CDMA 2000, konsep teknologi CDMA 2000, arsitektur jaringan CDMA 2000 3X, konfigurasi jaringan CDMA 2000 3X, parameter kinerja teknologi CDMA 2000 3X, parameter kualitas layanan data CDMA 2000 3X, yang meliputi perhitungan *delay*, *throughput* pada pengiriman paket data.

4.2. Pengambilan data

Data yang digunakan dalam kajian ini berupa data sekunder, yaitu data yang diperoleh dari buku referensi, jurnal, skripsi, situs-situs web (*web browsing*) serta rekomendasi dari badan standar telekomunikasi internasional yang berhubungan dengan penerapan teknologi CDMA 2000 3X. Adapun data sekunder yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini adalah sebagai berikut :

4.2.1. Spesifikasi Jaringan Selular CDMA 2000-3X

Data ini merupakan data pokok yang diperlukan untuk menentukan model serta ukuran jaringan dengan sistem data paket yang menerapkan teknologi

CDMA 2000. Data spesifikasi mengenai teknologi CDMA 2000 diperlukan untuk menganalisis jaringan selular CDMA 2000 3X dan parameter kinerja sistem pelayanan *paket data* yang mana teknologinya kompatibel dengan jaringan CDMA 2000.

Standar yang digunakan untuk pengolahan data kajian skripsi ini berdasarkan standar dari 3GPP2 (3rd *Generation Partnership Project 2*) dengan spesifikasi sebagai berikut :

1. 3GPP2 C.S0002 : *Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems.*
2. 3GPP2 C.S0004-0 : *Signaling Link Access Control (LAC) Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems.*
3. 3GPP2 C.S0024 version 2.0 : *cdma2000 High Rate Packet Data Air Interface Specification*
4. 3GPP2 C.S0003-0 : *Medium Access Control (MAC) Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems.*
5. 3GPP2 C.S0026 version 1.0 : *High-Speed Data Enhancements for CDMA 2000 1x-Integrated Data and Voice.*
7. TIA/EIA/IS-2000 : *CDMA 2000 1x Releases C and D*

4.3. Pembatasan Variabel Data

Agar pembahasan dapat berfokus pada penyelesaian masalah dan tidak melebar dari batasan permasalahan yang dikemukakan, ditentukan beberapa batasan dalam analisis variable data, antara lain:

1. Parameter Jaringan

Parameter jaringan yang digunakan menggunakan sistem data paket kecepatan tinggi yang berdasarkan standar TIA/EIA IS-2000 untuk *forward* maupun *reverse link*. Adapun variabel parameter jaringan meliputi *bandwidth* sistem, *data rate* untuk kondisi *forward* maupun *reverse link*, rasio energi tiap bit terhadap *noise* dan interferensi, faktor sektorisasi, faktor aktivitas trafik data, faktor kontrol daya tidak sempurna, faktor interferensi dari sel yang lain. Parameter-parameter ini diperlukan sebagai bahan analisis kapasitas kanal.

2. Batasan yang diberikan dalam pembahasan analisis ini, ditekankan pada parameter *forward link*, *reverse link* dan *delay* dalam struktur arsitektur jaringan CDMA 2000-3X yang mengacu pada *standard TIA/EIA/IS-2000* dan *3GPP2 (3rd Generation Partnership Project 2)*.

4.4 Perhitungan & Analisa Data

Metode analisis data yang dilakukan adalah mengkombinasikan beberapa nilai parameter yang diperoleh dari data sekunder untuk digunakan dalam analisis kinerja sistem paket data kecepatan tinggi pada penerapan teknologi CDMA 2000-3X yang meliputi :

Analisis secara matematis

1. Analisis Paket Data yang menerapkan teknologi CDMA-3X meliputi:
 - Perhitungan probabilitas bit pada kondisi *forward link* (dari BS ke MS) dan *reverse link* (dari MS ke BS) serta kapasitas kanal sel..
2. Analisis Parameter kualitas pelayanan untuk layanan data yang meliputi perhitungan *delay*, *throughput* pada pengiriman paket data.

4.5. Pengambilan Kesimpulan

Pengambilan kesimpulan pada skripsi ini berdasarkan pada perhitungan dan analisis data yang meliputi kinerja sistem paket data pada teknologi CDMA 2000-3X, radius sel pada kondisi *forward link* dan *reverse link*, kapasitas kanal sel, *delay*, dan *throughput* pada pengiriman paket data.

BAB V

ANALISA KINERJA SISTEM PAKET DATA PADA TEKNOLOGI CDMA 2000 3X

5.1 Umum

Pada skripsi ini terdapat dua tahapan proses analisis yang akan dilakukan. Pertama, melakukan analisis kinerja terhadap jaringan selular CDMA 2000 3X yang digunakan yaitu dengan menghitung nilai kapasitas kanal, dan bit error ratel (*forward link* maupun *reverse link*). Sedangkan tahap yang kedua menganalisa nilai masing-masing *delay* (meliput *delay* enkapsulasi/dekapsulasi, *delay* transmisi, *delay* propagasi, *delay* antrian) pada tiap-tiap *node* sesuai dengan arsitektur yang telah dijelaskan sebelumnya dan berikut pengaruhnya terhadap *throughput* jaringan.

5.2. Analisis Bit Error Rate (BER)

Analisis *Bit Error Rate* (BER) pada CDMA 2000 3X dibagi menjadi dua arah lintasan, yaitu :

5.2.1. Reverse link (dari Mobile Station ke Base Station)

Dengan memasukkan nilai parameter-parameter :

$$R_1 = 9,6 \text{ kbps} = 9,6 \times 10^3 \text{ bps} \quad ; E_b/N_{o1} = 6,62 \text{ dB} = \log^{-1} 0,662 = 4,5919$$

$$R_2 = 19,2 \text{ kbps} = 19,2 \times 10^3 \text{ bps} \quad ; E_b/N_{o2} = 4,98 \text{ dB} = \log^{-1} 0,498 = 3,1477$$

$$R_3 = 38,4 \text{ kbps} = 38,4 \times 10^3 \text{ bps} \quad ; E_b/N_{o3} = 3,84 \text{ dB} = \log^{-1} 0,384 = 2,4210$$

$$R_4 = 76,8 \text{ kbps} = 76,8 \times 10^3 \text{ bps} \quad ; E_b/N_{o4} = 3,55 \text{ dB} = \log^{-1} 0,355 = 2,2646$$

$$R_5 = 153,6 \text{ kbps} = 153,6 \times 10^3 \text{ bps}; E_b/N_{o5} = 3,25 \text{ dB} = \log^{-1} 0,325 = 2,1134$$

$$P_b(\text{BER}) = \frac{e^{-E_b / N_o}}{2\sqrt{\pi\left(\frac{E_b}{N_o}\right)}}$$

Untuk kecepatan data (*bit rate* informasi) yang bervariasi ke dalam persamaan (3-6) maka diperoleh nilai BER sebesar :

Untuk $R_1 = 9,6 \text{ kbps} = 9,6 \times 10^3 \text{ bps}$; $E_b/N_{o1} = 6,62 \text{ dB} = \log^{-1} 0,662 = 4,5919$

$$BER_1 = \frac{e^{-4,5919}}{2\sqrt{\pi}(4,5919)} = 0,00133$$

Untuk $R_2 = 19,2 \text{ kbps} = 19,2 \times 10^3 \text{ bps}$; $E_b/N_{o2} = 4,98 \text{ dB} = \log^{-1} 0,498 = 3,1477$

$$BER_1 = \frac{e^{-3,1477}}{2\sqrt{\pi}(3,1477)} = 0,00682$$

Untuk $R_3 = 38,4 \text{ kbps} = 38,4 \times 10^3 \text{ bps}$; $E_b/N_{o3} = 3,84 \text{ dB} = \log^{-1} 0,384 = 2,4210$

$$BER_1 = \frac{e^{-2,4210}}{2\sqrt{\pi}(2,4210)} = 0,00068$$

Untuk $R_4 = 76,8 \text{ kbps} = 76,8 \times 10^3 \text{ bps}$; $E_b/N_{o4} = 3,55 \text{ dB} = \log^{-1} 0,355 = 2,2646$

$$BER_1 = \frac{e^{-2,2646}}{2\sqrt{\pi}(2,2646)} = 0,01947$$

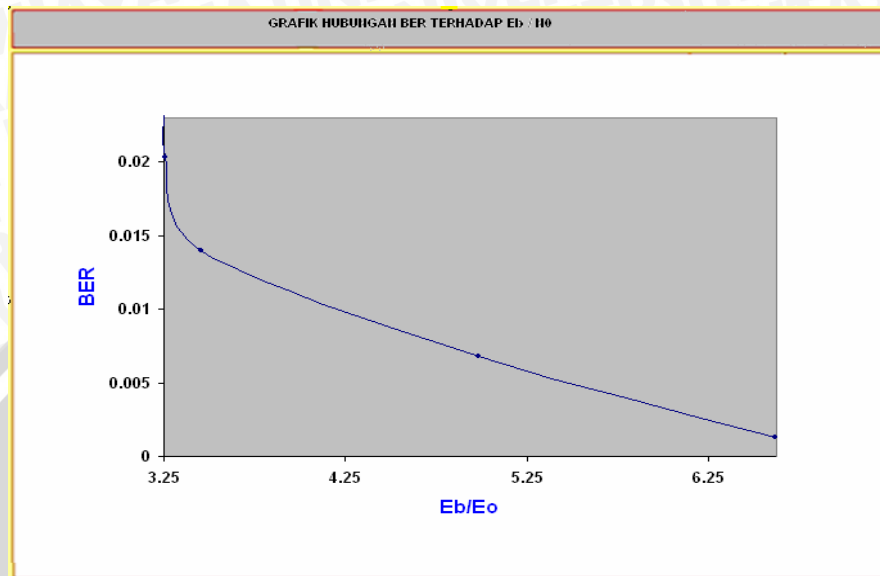
Untuk $R_5 = 153,6 \text{ kbps} = 153,6 \times 10^3 \text{ bps}$; $E_b/N_{o5} = 3,25 \text{ dB} = \log^{-1} 0,325 = 2,1134$

$$BER_1 = \frac{e^{-2,1134}}{2\sqrt{\pi}(4,5919)} = 0,02344$$

Tabel 5.1. Hasil BER pada reverse link untuk sistem CDMA 2000-3X

| No. | Data rate (kbps) | E_b/N_o (dB) | BER |
|-----|------------------|----------------|---------|
| 1. | 9,6 | 6,62 | 0,00133 |
| 2. | 19,2 | 4,98 | 0,00682 |
| 3. | 38,4 | 3,84 | 0,00068 |
| 4. | 76,8 | 3,55 | 0,01947 |
| 5. | 153,6 | 3,25 | 0,02344 |

(Sumber: Perhitungan)



Gambar 5.1. Grafik hubungan BER terhadap E_b/N_o pada reverse link (Sumber : Perhitungan)

Berdasarkan hasil analisis dan grafik, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai E_b/N_o yang digunakan pada *reverse link*, maka nilai BER yang diperoleh akan semakin kecil. Hal ini menunjukkan tingkat kesalahan bit yang ditransmisikan relatif kecil dimana rasio energi tiap bit terhadap kerapatan daya *noise* yang diperlukan semakin besar dalam mengatasi pengaruh *noise* pada CDMA 2000-3X

5.2.2. Forward link (dari BS ke MS)

Dengan memasukkan nilai parameter-parameter :

$$R_1 = 38,4 \text{ kbps} = 38,4 \times 10^3 \text{ bps}; E_b/N_{o1} = 2,4 \text{ dB} = \log^{-1} 0,24 = 1,7378$$

$$R_2 = 76,8 \text{ kbps} = 76,8 \times 10^3 \text{ bps}; E_b/N_{o2} = 2,19 \text{ dB} = \log^{-1} 0,219 = 1,6557$$

$$R_3 = 153,6 \text{ kbps} = 153,6 \times 10^3 \text{ bps}; E_b/N_{o3} = 2,18 \text{ dB} = \log^{-1} 0,218 = 1,6519$$

$$R_4 = 307,2 \text{ kbps} = 307,2 \times 10^3 \text{ bps}; E_b/N_{o4} = 2,27 \text{ dB} = \log^{-1} 0,227 = 1,6865$$

$$R_5 = 614,4 \text{ kbps} = 614,4 \times 10^3 \text{ bps}; E_b/N_{o5} = 2,35 \text{ dB} = \log^{-1} 0,235 = 1,7179$$

ke dalam persamaan (3-6) diperoleh:

$$P_b(BER) = \frac{e^{-E_b / N_o}}{2\sqrt{\pi}\left(\frac{E_b}{N_o}\right)}$$

Untuk $R_1 = 38,4 \text{ kbps} = 38,4 \times 10^3 \text{ bps}$; $E_b/N_{o1} = 2,4 \text{ dB} = \log^{-1} 0,24 = 1,7378$

$$BER_1 = \frac{e^{-1,73780}}{2\sqrt{\pi}(1,73780)} = 0,03764$$

Untuk $R_2 = 76,8 \text{ kbps} = 76,8 \times 10^3 \text{ bps}$; $E_b/N_{o2} = 2,19 \text{ dB} = \log^{-1} 0,219 = 1,6557$

$$BER_1 = \frac{e^{-1,6557}}{2\sqrt{\pi}(1,6557)} = 0,04186$$

Untuk $R_3 = 153,6 \text{ kbps} = 153,6 \times 10^3 \text{ bps}$; $E_b/N_{o3} = 2,18 \text{ dB} = \log^{-1} 0,218 = 1,6519$

$$BER_1 = \frac{e^{-1,6519}}{2\sqrt{\pi}(1,6519)} = 0,04206$$

Untuk $R_4 = 307,2 \text{ kbps} = 307,2 \times 10^3 \text{ bps}$; $E_b/N_{o4} = 2,27 \text{ dB} = \log^{-1} 0,227 = 1,6865$

$$BER_1 = \frac{e^{-1,6865}}{2\sqrt{\pi}(1,6865)} = 0,04021$$

Untuk $R_5 = 614,4 \text{ kbps} = 614,4 \times 10^3 \text{ bps}$; $E_b/N_{o5} = 2,35 \text{ dB} = \log^{-1} 0,235 = 1,7179$

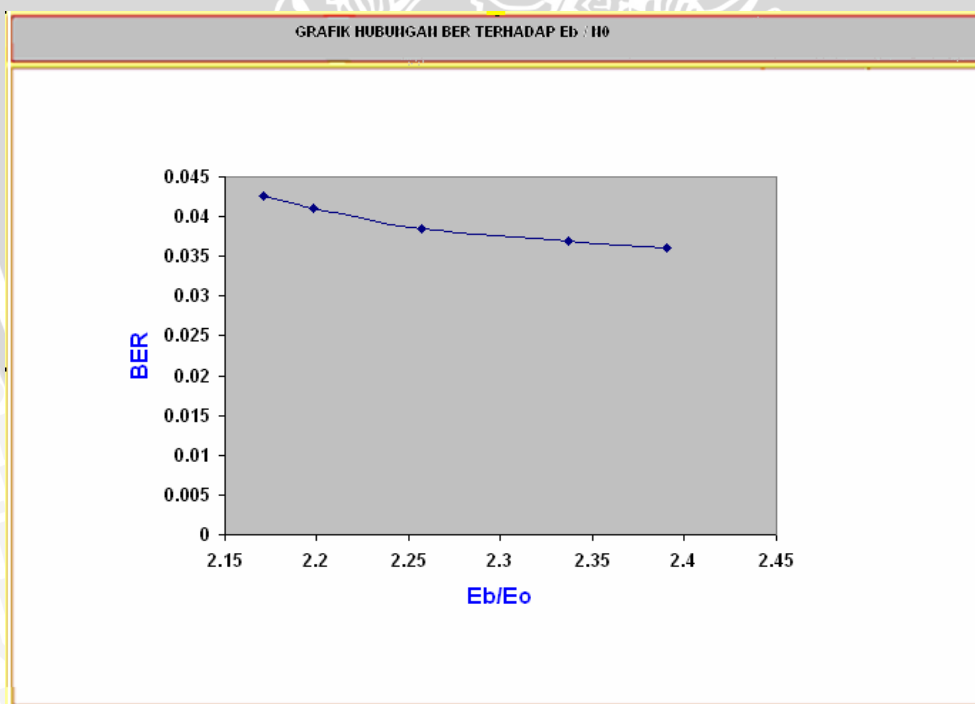
$$BER_1 = \frac{e^{-1,7179}}{2\sqrt{\pi}(1,71790)} = 0,03862$$

Tabel 5.2. Hasil BER pada forward link untuk sistem CDMA 2000-3X

| No. | Data rate (kbps) | E_b/N_o (dB) | BER |
|-----|------------------|----------------|---------|
| 1. | 38,4 | 2,4 | 0.03764 |
| 2. | 76,8 | 2,19 | 0,04186 |
| 3. | 153,6 | 2,18 | 0,04206 |
| 4. | 307,2 | 2,27 | 0,04021 |
| 5. | 614,4 | 2,35 | 0,03862 |

(Sumber: Perhitungan)

Dalam bentuk tabel maka akan dapat diperoleh grafik perbandingan antara kecepatan data informasi (*bit rate*) dengan *Bit Error Rate* (BER) seperti pada gambar Tabel 5.2 berikut:



Gambar 5.2. Grafik hubungan BER terhadap E_b/N_o pada forward link (Sumber : Perhitungan)

Berdasarkan hasil analisis perhitungan dan grafik dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai E_b/N_o yang digunakan pada forward link maka nilai BER semakin kecil. Hal ini menunjukkan tingkat kesalahan bit yang ditransmisikan relatif kecil dimana rasio energi tiap bit terhadap kerapatan daya noise yang diperlukan semakin besar dalam mengatasi pengaruh noise pada teknologi CDMA 2000 3X

5.3. Analisis Kapasitas Kanal Selular CDMA 2000 3X

Analisis kapasitas kanal *Primary Traffic* dilakukan pada kondisi dimana seluruh kanal sel CDMA 2000-3x hanya dipakai sebagai pentransmisi kanal suara saja. Dengan menggunakan parameter standar yang ditetapkan dalam Tabel 3.3 parameter-parameternya adalah:

- Bandwidth (B_w) = 1,25 MHz x 3 = 3.75 MHz
- Faktor sektorisasi (α) = 2,55
- Faktor interferensi dari sel yang lain (f) = 0,85
- Faktor kontrol daya yang tidak sempurna (η_c) = 0,8
- Faktor aktivitas trafik data (v_f) = 1

$$M_{\max} = G_p \cdot \left[\frac{\eta_c}{\left(\frac{E_b}{I_t}\right) \cdot v_{f_1} \cdot (1+f)} \right]$$

Dengan menggunakan persamaan (3-7) maka :

Untuk $R_1 = 9600$ bps; $E_b/I_{t1} = 4$ dB (2.5118)

$$M_{\max} = \frac{3.75 \times 10^6}{9,6 \times 10^3} \times \left(\frac{0,8}{2,5118 \times (1 + 0,85)} \right)$$

$$M_{\max} = 67,246 \approx 67 \text{ kanal}$$

Untuk $R_2 = 19200$ bps; $E_b/I_{t1} = 3$ dB (1,9952)

$$M_{\max} = \frac{3.75 \times 10^6}{19,2 \times 10^3} \times \left(\frac{0,8}{1,9952 \times (1 + 0,85)} \right)$$

$$M_{max} = 42.34375 \approx 42 \text{ kanal}$$

Untuk $R_3 = 38400 \text{ bps}$; $E_b/I_{t2} = 2,3 \text{ dB}$ (1,6982)

$$M_{max} = \frac{3.75 \times 10^6}{38.4 \times 10^3} x \left(\frac{0,8}{1,6982 \times 1(1 + 0.85)} \right)$$

$$M_{max} = 24.62126 \approx 24 \text{ kanal}$$

Untuk $R_4 = 76800 \text{ bps}$; $E_b/I_{t3} = 2 \text{ dB}$ (1,5848)

$$M_{max} = \frac{3.75 \times 10^6}{76,8 \times 10^3} x \left(\frac{0,8}{1,5848 \times 1(1 + 0.85)} \right)$$

$$M_{max} = 13,3233 \approx 13 \text{ kanal}$$

Untuk $R_5 = 153600 \text{ bps}$; $E_b/I_{t4} = 1,8 \text{ dB}$ (1,5135)

$$M_{max} = \frac{3.75 \times 10^6}{153,6 \times 10^3} x \left(\frac{0,8}{1,5135 \times 1(1 + 0.85)} \right)$$

$$M_{max} = 6,1451 \approx 7 \text{ kanal}$$

Pada analisa perhitungan kapasitas kanal selular CDMA 2000-3X diatas masih menggunakan antenna *omnidirectional*. Untuk analisa perhitungan kapasitas kanal pada *base station* yang memanfaatkan antenna jenis *directional* dengan sudut pancaran 120° maka dengan persamaan (3-8) diperoleh :

$$M_{sektor} = M_{max} x \frac{\alpha}{3}$$

Untuk $R_1 = 9600 \text{ bps}$; $E_b/I_{t1} = 3 \text{ dB}$

$$M_{sektor} = 67 x \frac{2,55}{3} = 56.95 \approx 60 \text{ kanal}$$

Dengan cara yang sama untuk *data rate* 19200 bps; $E_b/I_t = 3 \text{ dB}$; 38400 bps; 2,5 dB, 76800 bps; 2,3 dB serta 153600 bps; 2 dB maka akan diperoleh jumlah kanal untuk tiap sel dengan penerapan 3 sektorisasi sebesar 60, 36, 21, 12, dan 6 kanal.

5.4. Analisis Delay Untuk Layanan Data

5.4.1. Analisis Delay

Salah satu unjuk kerja jaringan untuk layanan data adalah *delay* yang dibutuhkan untuk mengirimkan data dari *source* ke *destination*. Panjang segmen yang digunakan sebagai bahan analisis adalah sebesar 10000 *byte*, 11000 *byte*, dan 12000 *byte*.

5.4.1.1. Delay proses

Perhitungan *delay* proses meliputi *delay enkapsulasi* dan *dekapsulasi* dengan panjang segmen data sebesar 10000 *byte*, 110000 *byte*, dan 12000 *byte*.

a. PDSN

Segmen data sebesar 10000 *byte* dikirimkan ke *layer* TCP dan segmen data ini kemudian diubah menjadi segmen TCP dengan menggunakan persamaan (3-9) :

$$\begin{aligned} W_{\text{segmen}} &= W_{\text{data}} + \text{Header}_{\text{TCP}} \\ &= 10000 \text{ byte} + 20 \text{ byte} \\ &= 10020 \text{ byte} \end{aligned}$$

Karena panjang segmen TCP kurang dari MSS IP, maka segmen TCP langsung diubah menjadi *datagram* IP. Dengan menggunakan persamaan (3-10) diperoleh :

$$\begin{aligned} W_{\text{datagram}} &= W_{\text{segmen}} + \text{Header}_{\text{IP}} \\ &= 10020 \text{ byte} + 20 \text{ byte} \\ &= 10040 \text{ byte} \end{aligned}$$

Pada *link layer*, karena panjang *datagram* IP melebihi MTU dari *ethernet*, maka *datagram* IP akan disegmentasi. Dengan menggunakan persamaan (3-11) diperoleh :

$$\begin{aligned} N_{\text{frame}} &= \frac{W_{\text{datagram}}}{\text{MTU}_{\text{Ethernet}}} \\ &= \frac{10040 \text{ byte}}{1500 \text{ byte}} \\ &= 6,493 \text{ buah} \end{aligned}$$

Sehingga terdapat 7 *frame* dengan klasifikasi 6 buah *frame* yang masing-masing *frame* berisi data sebesar 1500 *byte* dan 1 buah *frame* yang berisi data sebesar 46 *byte*, yang diperoleh dari $0,0267 \times 1500 \text{ byte} = 40,05 \text{ byte}$. Karena panjang data minimum untuk struktur *frame Ethernet* sebesar 46 *byte* [Heywood, 1999:63], maka 40,05 *byte* dibulatkan menjadi 46 *byte* dengan konsekuensi sekitar 6 *byte* tidak berisikan data pada 1 buah *frame* tadi.

Kemudian dengan menggunakan persamaan (3-12) untuk 8 buah *frame* diperoleh panjang *frame Ethernet* sebesar :

$$\begin{aligned} W_{Ethernet} &= MTU_{Ethernet} + Header_{Ethernet} + FCS \\ &= 1500 \text{ byte} + 14 \text{ byte} + 4 \text{ byte} \\ &= 1518 \text{ byte} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk 1 buah *frame* diperoleh panjang *frame Ethernet* sebesar :

$$\begin{aligned} W_{Ethernet} &= 46 \text{ byte} + 14 \text{ byte} + 4 \text{ byte} \\ &= 64 \text{ byte} \end{aligned}$$

Sehingga jumlah total *frame Ethernet* yang dapat dikirimkan dari PDSN menuju PCF adalah :

$$\begin{aligned} W_{frame \text{ total}} &= N_{frame} \times W_{Ethernet} \\ &= (6 \times 1518 \text{ byte}) + (1 \times 64 \text{ byte}) \\ &= 9108 \text{ byte} + 64 \text{ byte} \\ &= 9172 \text{ byte} \end{aligned}$$

Kemudian diasumsikan menggunakan PDSN CISCO yang memiliki kecepatan transmisi data sebesar 1 Gbps, maka *delay* enkapsulasi yang terjadi di PDSN sebagaimana persamaan (3-14) :

$$\begin{aligned} t_{E1} &= \frac{W_{frame \text{ total}} \times 8}{V_{PDSN}} \\ t_{E1} &= \frac{(9172 \times 8) \text{ bit}}{1 \times 10^9 \text{ bps}} \\ &= 7,3376 \times 10^{-5} \text{ detik} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, hasil analisis *delay* enkapsulasi yang terjadi pada PDSN untuk panjang paket data sebesar 11000 *byte*, dan 12000 *byte* ditunjukkan dalam Tabel 5.3.

0Tabel 5.3. Hasil delay enkapsulasi pada PDSN

| No. | Spesifikasi | Segmen data (byte) | | |
|-----|---|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| | | 10000 | 11000 | 12000 |
| 1. | W_{segmen} (byte) | 10020 | 11020 | 12020 |
| 2. | W_{datagram} (byte) | 10040 | 11040 | 12040 |
| 3. | N_{frame} (buah) | 6 | 7 | 9 |
| 4. | $W_{\text{frame maks Ethernet}}$ (byte) | 1518 | 1518 | 1518 |
| 5. | $W_{\text{frame min ethernet}}$ (byte) | 64 | 64 | 64 |
| 6. | W_{total} (byte) | 9108 | 10626 | 12208 |
| 7. | t_{E1} (detik) | $7,3376 \times 10^{-5}$ | $8,552 \times 10^{-5}$ | $9,7664 \times 10^{-5}$ |

(Sumber: Perhitungan)

Dari hasil analisis perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa semakin besar data yang dikirimkan, maka *delay* enkapsulasi yang terjadi pada PDSN juga semakin besar.

b. Packet Control Function (PCF)

Antara PDSN dengan PCF dihubungkan dengan *Fast Ethernet* yang memiliki kecepatan transmisi data sebesar 100 Mbps. Berdasarkan persamaan (3-15), maka nilai *delay* dekapsulasi (t_{D1}) diperoleh sebesar :

$$t_{D1} = \frac{W_{\text{frame total}} \times 8}{V_{1(PCF)}}$$

$$t_{D1} = \frac{(9108 \times 8) \text{ bit}}{100 \times 10^6 \text{ bps}}$$

$$= 72,864 \times 10^{-5} \text{ detik}$$



Antara PCF dengan BSC dihubungkan dengan menggunakan *interface* sistem transmisi digital *Synchronous Transfer Module (STM-1)/Optical Carrier level 3 (OC-3)* yang memiliki kecepatan transmisi sebesar 155,52 Mbps [3GPP2 A.S0012-A, 2003:7]. Sehingga nilai *delay* enkapsulasi pada PCF berdasarkan persamaan (3-16) diperoleh :

$$t_{E2} = \frac{W_{PCF\ total} \times 8}{V_{2(PCF)}}$$

$$t_{E2} = \frac{(9108 \times 8) \text{ bit}}{155,52 \times 10^6 \text{ bps}}$$

$$= 468,52 \times 10^{-6} \text{ detik}$$

Dengan cara yang sama, hasil analisis *delay* dekapsulasi dan enkapsulasi yang terjadi pada PCF untuk panjang paket data sebesar 11000 *byte*, dan 12000 *byte* ditunjukkan dalam Tabel 5.4.

Tabel 5.4. Hasil *delay* dekapsulasi dan enkapsulasi pada PCF

| No. | Spesifikasi | Segmen data (<i>byte</i>) | | |
|-----|------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | | 10000 | 11000 | 12000 |
| 1. | t_{D1} (detik) | $72,864 \times 10^{-5}$ | $85,008 \times 10^{-5}$ | $97,664 \times 10^{-5}$ |
| 2. | t_{E2} (detik) | $468,52 \times 10^{-6}$ | $546,603 \times 10^{-6}$ | $627,98 \times 10^{-6}$ |

(Sumber: Perhitungan)

Semakin besar data yang dikirimkan, maka *delay* dekapsulasi dan enkapsulasi yang terjadi pada PCF juga semakin besar.

c. Selection Distribution Unit

Nilai *delay* dekapsulasi pada SDU berdasarkan persamaan (3-17) diperoleh :

$$t_{D2} = \frac{W_{PCF\ total} \times 8}{V_{SDU}}$$

$$t_{D2} = \frac{(9108 \times 8) \text{ bit}}{155,52 \times 10^6 \text{ bps}} = 468,52 \times 10^{-6} \text{ detik}$$

Nilai LAC-PDU berdasarkan persamaan (3-18) adalah :

$$\begin{aligned} W_{LAC-PDU} &= (W_{LAC-SDU} \times 8) + \text{Header}_{LAC-SDU} \\ &= (9108 \times 8) \text{ bit} + 30 \text{ bit} \\ &= 72894 \text{ bit} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, hasil analisis *delay* dekapsulasi pada SDU untuk panjang paket data sebesar 11000 *byte*, dan 12000 *byte* ditunjukkan dalam Tabel 5.5.

Tabel 5.5. Hasil *delay* dekapsulasi pada SDU

| No. | Spesifikasi | Segmen data (<i>byte</i>) | | |
|-----|---------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | | 10000 | 11000 | 12000 |
| 1. | t_{D2} (detik) | $468,52 \times 10^{-6}$ | $546,603 \times 10^{-6}$ | $627,98 \times 10^{-6}$ |
| 2. | $W_{LAC-PDU}$ (bit) | 72894 | 85038 | 97694 |

(Sumber: Perhitungan)

Pada *link layer* MAC, *frame* kemudian disegmentasi menjadi MAC-*radio block* dengan ukuran yang sesuai dengan *data rate*-nya. Berdasarkan tabel 3.5, untuk *data rate* 153600 bps memiliki jumlah bit informasi dan bit *padding* sebanyak 1024 bit. Sehingga proses segmentasi berdasarkan persamaan (3-19) diperoleh :

$$\begin{aligned} N_{\text{payload MAC-radioblock}} &= \frac{W_{LAC-PDU}}{W_{\text{payload MAC-radioblock}}} \\ &= \frac{72894}{1024 \text{ bit}} \\ &= 71,1855 \text{ buah} \end{aligned}$$

Terdapat 71 *frame* dengan klasifikasi 70 buah *frame* yang masing-masing *frame* berisi data sebesar 1024 bit dan 1 buah *frame* lagi yang juga harus berisi data sebesar $(0,1855 \times 1024 \text{ bit} = 189,952 \text{ bit})$. Sehingga panjang 71 *frame* MAC-*radioblock* berdasarkan persamaan (3-20) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 W_{MAC\text{-}radio\text{ block}} &= W_{payload\text{ MAC}\text{radio\text{ block}}} + FCS + Tail \\
 &= 1024\text{ bit} + 16\text{ bit} + 6\text{ bit} \\
 &= 1056\text{ bit}
 \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh nilai *frame* total yang dapat dikirimkan menuju *airlink* berdasarkan persamaan (3-21) sebesar :

$$\begin{aligned}
 W_{SDU\text{ total}} &= N_{payload\text{ MAC}\text{-}radio\text{ block}} \times W_{MAC\text{-}radio\text{ block}} \\
 &= 71 \times 1056\text{ bit} \\
 &= 74976\text{ bit}
 \end{aligned}$$

Nilai *delay* enkapsulasi yang terjadi berdasarkan persamaan (3-22) sebesar :

$$\begin{aligned}
 t_{E3} &= \frac{W_{SDU\text{ total}}}{V_{SDU}} \\
 t_{E3} &= \frac{74976\text{ bit}}{155,52 \times 10^6\text{ bps}} \\
 &= 482,098 \times 10^{-6}\text{ detik}
 \end{aligned}$$

Hasil analisis *delay* enkapsulasi yang terjadi pada SDU untuk panjang paket data sebesar 11000 *byte*, dan 12000 ditunjukkan pada Tabel 5.6..

Tabel 5.6. Hasil Delay Enkapsulasi pada SDU

| No. | Data rate (bps) | $W_{MAC\text{-}radioblock}$ (bit) | Delay Enkapsulasi (detik) untuk segmen data | | |
|-----|-----------------|-----------------------------------|---|-----------------------|-----------------------|
| | | | 10000 (byte) | 11000 (byte) | 12000 (byte) |
| 1. | 153600 | 1024 | $4,82 \times 10^{-4}$ | $5,63 \times 10^{-4}$ | $6,41 \times 10^{-4}$ |
| 2. | 307200 | | $4,82 \times 10^{-4}$ | $5,63 \times 10^{-4}$ | $6,41 \times 10^{-4}$ |
| 3. | 614400 | | $4,82 \times 10^{-4}$ | $5,63 \times 10^{-4}$ | $6,41 \times 10^{-4}$ |
| 4. | 307200 | 2048 | $4,66 \times 10^{-4}$ | $5,45 \times 10^{-4}$ | $6,25 \times 10^{-4}$ |
| 5. | 614400 | | $4,66 \times 10^{-4}$ | $5,45 \times 10^{-4}$ | $6,25 \times 10^{-4}$ |
| 6. | 1228800 | | $4,66 \times 10^{-4}$ | $5,45 \times 10^{-4}$ | $6,25 \times 10^{-4}$ |
| 7. | 921600 | 3072 | $4,57 \times 10^{-4}$ | $5,37 \times 10^{-4}$ | $6,16 \times 10^{-4}$ |
| 8. | 1843200 | | $4,57 \times 10^{-4}$ | $5,37 \times 10^{-4}$ | $6,16 \times 10^{-4}$ |
| 9. | 1228800 | 4096 | $4,50 \times 10^{-4}$ | $5,29 \times 10^{-4}$ | $6,10 \times 10^{-4}$ |
| 10. | 2457600 | | $4,50 \times 10^{-4}$ | $5,29 \times 10^{-4}$ | $6,10 \times 10^{-4}$ |

(Sumber : Perhitungan)

Dengan memasukkan nilai parameter-parameter $PN \text{ Chip/bit} = 8$ untuk *data rate* 153600 bps, Dari tabel (3.5) ke dalam persamaan (3-23), maka banyaknya data pada *layer airlink* diperoleh sebesar :

$$\begin{aligned} W_{airlink} &= W_{SDU \text{ total}} \times PN \text{ Chip/bit} \\ &= 74976 \text{ bit} \times 8 \text{ chip/bit} \\ &= 599808 \text{ chip} \end{aligned}$$

Banyaknya *frame* yang dibutuhkan pada *airlink layer* berdasarkan persamaan (3-24) sebesar :

$$\begin{aligned} N_{frame} &= \frac{W_{airlink}}{\text{Data chip tiap frame}} \\ &= \frac{599808 \text{ chip}}{6144 \text{ chip / frame}} \\ &= 97,625 \text{ frame} \\ &\approx 98 \text{ frame} \end{aligned}$$

Total keseluruhan untuk *chip* yang dibawa oleh *airlink layer* berdasarkan persamaan (3-25) sebesar :

$$\begin{aligned} W_{airlink \text{ total}} &= (\text{Chip}_{preamble \ 1 \ frame} \times N_{frame}) + (N_{pilot \ 1 \ frame} \times N_{frame}) + \\ &\quad (N_{MAC \ 1 \ frame} \times N_{frame}) + W_{airlink} \\ &= (256 \text{ chip} \times 98) + (768 \text{ chip} \times 98) + (1024 \text{ chip} \times 98) + 599808 \text{ chip} \\ &= 25088 \text{ chip} + 75264 \text{ chip} + 100352 \text{ chip} + 599808 \text{ chip} \\ &= 800512 \text{ chip} \end{aligned}$$

Maka *delay* enkapsulasi yang terjadi pada *airlink* berdasarkan persamaan (3-26) dieproleh sebesar :

$$\begin{aligned} t_{E4} &= \frac{W_{airlink \text{ total}}}{C_r} \\ t_{E4} &= \frac{800512 \text{ chip}}{1,2288 \times 10^6 \text{ chip / s}} \\ &= 0,651 \text{ detik} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, hasil analisis *delay* enkapsulasi yang terjadi pada *airlink* untuk panjang paket data 11000 *byte* dan 12000 *byte* ditunjukkan dalam tabel 5.7.

Tabel 5.7. Hasil *delay* enkapsulasi pada *airlink* untuk paket data 10000 *byte*

| Data rate | PN Chip | W_{mac} | Segmen data | | | | | |
|-----------|---------|-----------|-----------------------------|------------------|-----------------------------|------------------|-----------------------------|------------------|
| | | | 10000 byte | | 11000 byte | | 12000 byte | |
| | | | $W_{airlink\ total}$ (chip) | t_{e4} (detik) | $W_{airlink\ total}$ (chip) | t_{e4} (detik) | $W_{airlink\ total}$ (chip) | t_{e4} (detik) |
| 153600 | 8 | 1024 | 599808 | 0,651 | 934656 | 0,760 | 1059152 | 0,861 |
| 307200 | 4 | | 399744 | 0,325 | 467328 | 0,380 | 529576 | 0,431 |
| 614400 | 2 | | 199616 | 0,162 | 233664 | 0,190 | 264788 | 0,215 |
| 307200 | 4 | 2048 | 372820 | 0,303 | 416160 | 0,338 | 508200 | 0,413 |
| 614400 | 2 | | 189060 | 0,153 | 221580 | 0,180 | 254100 | 0,206 |
| 1228800 | 1 | | 96514 | 0,078 | 84870 | 0,023 | 97290 | 0,105 |
| 921600 | 1,3 | 3072 | 1213106 | 0,098 | 151479 | 0,123 | 763088 | 0,133 |
| 1843200 | 0,6 | | 57033,2 | 0,046 | 67018,8 | 0,054 | 76492,4 | 0,062 |
| 1228800 | 1 | | 91126 | 0,074 | 82360 | 0,016 | 94714 | 0,100 |
| 2457600 | 0,5 | 4096 | 46267 | 0,037 | 55004 | 0,043 | 63229 | 0,051 |

(Sumber: Perhitungan)

d. Mobile Station (MS)

Nilai *delay* dekapsulasi MS pada *layer airlink* berdasarkan persamaan (3-27) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 W_{airlink} &= W_{SDU\ total} \times PN\ Chip/bit \\
 &= 74976\ bit \times 8\ chip/bit \\
 &= 599808\ chip
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{D3} &= \frac{W_{airlink}}{C_r} \\
 &= \frac{599808\ chip}{1,2288 \times 10^6\ cps} \\
 &= 0,488125\ detik
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, hasil analisis *delay* dekapsulasi MS pada *layer airlink* ini sama dengan *delay* enkapsulasi BS yang terjadi pada *layer airlink* untuk panjang paket data sebesar 11000 *byte*, dan 12000 *byte*.

Nilai *delay* dekapsulasi MS pada *layer* MAC berdasarkan persamaan (3-28) diperoleh :

$$\begin{aligned} t_{D4} &= \frac{W_{SDU \text{ total}}}{n} \times (n_s \times 1,67 \times 10^{-3} \text{ s}) \\ &= \frac{74976 \text{ bit}}{1024} \times (4 \times 1,67 \times 10^{-3} \text{ s}) \\ &= 0,489 \text{ detik} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, hasil analisis *delay* dekapsulasi MS pada *layer* MAC untuk panjang paket data sebesar 11000 *byte*, dan 12000 *byte* yang ditunjukkan dalam Tabel 5.8.

Tabel 5.8. Hasil *delay* dekapsulasi MS pada *layer* MAC

| Data rate | Slot | Total paket (bit) | Segmen data | | | | | |
|-----------|------|-------------------|-------------------------------|---------------|-------------------------------|---------------|-------------------------------|---------------|
| | | | 10000 byte | | 11000 byte | | 12000 byte | |
| | | | $W_{SDU \text{ total}}$ (bit) | $td4$ (detik) | $W_{SDU \text{ total}}$ (bit) | $td4$ (detik) | $W_{SDU \text{ total}}$ (bit) | $td4$ (detik) |
| 153600 | 4 | 1024 | 74976 | 0,489 | 87648 | 0,571 | 99370 | 0,648 |
| 307200 | 2 | | 74976 | 0,244 | 87648 | 0,285 | 99370 | 0,324 |
| 614400 | 1 | | 74976 | 0,122 | 87648 | 0,142 | 99370 | 0,162 |
| 307200 | 4 | 2048 | 72450 | 0,236 | 84870 | 0,276 | 97290 | 0,317 |
| 614400 | 2 | | 72450 | 0,114 | 84870 | 0,138 | 97290 | 0,158 |
| 1228800 | 1 | | 72450 | 0,059 | 84870 | 0,141 | 97290 | 0,079 |
| 921600 | 2 | 3072 | 71162 | 0,077 | 83538 | 0,090 | 95914 | 0,104 |
| 1843200 | 1 | | 71162 | 0,038 | 83538 | 0,045 | 95914 | 0,052 |
| 1228800 | 2 | | 70006 | 0,057 | 82360 | 0,067 | 94714 | 0,077 |
| 2457600 | 1 | 4096 | 70006 | 0,028 | 82360 | 0,033 | 94714 | 0,038 |

(Sumber: Perhitungan)

Sehingga total nilai *delay* enkapsulasi mulai dari PDSN sampai dengan MS didapatkan :

$$\begin{aligned} t_{E \text{ total}} &= t_{E1} + t_{E2} + t_{E3} + t_{E4} \\ &= (7,3376 \times 10^{-5} + 468,52 \times 10^{-6} + 6,82 \times 10^{-4} + 0,651) \text{ detik} \\ &= 0,65160228 \text{ detik} \end{aligned}$$

Sedangkan total nilai *delay* dekapsulasi dari PDSN sampai dengan MS didapatkan sebesar :

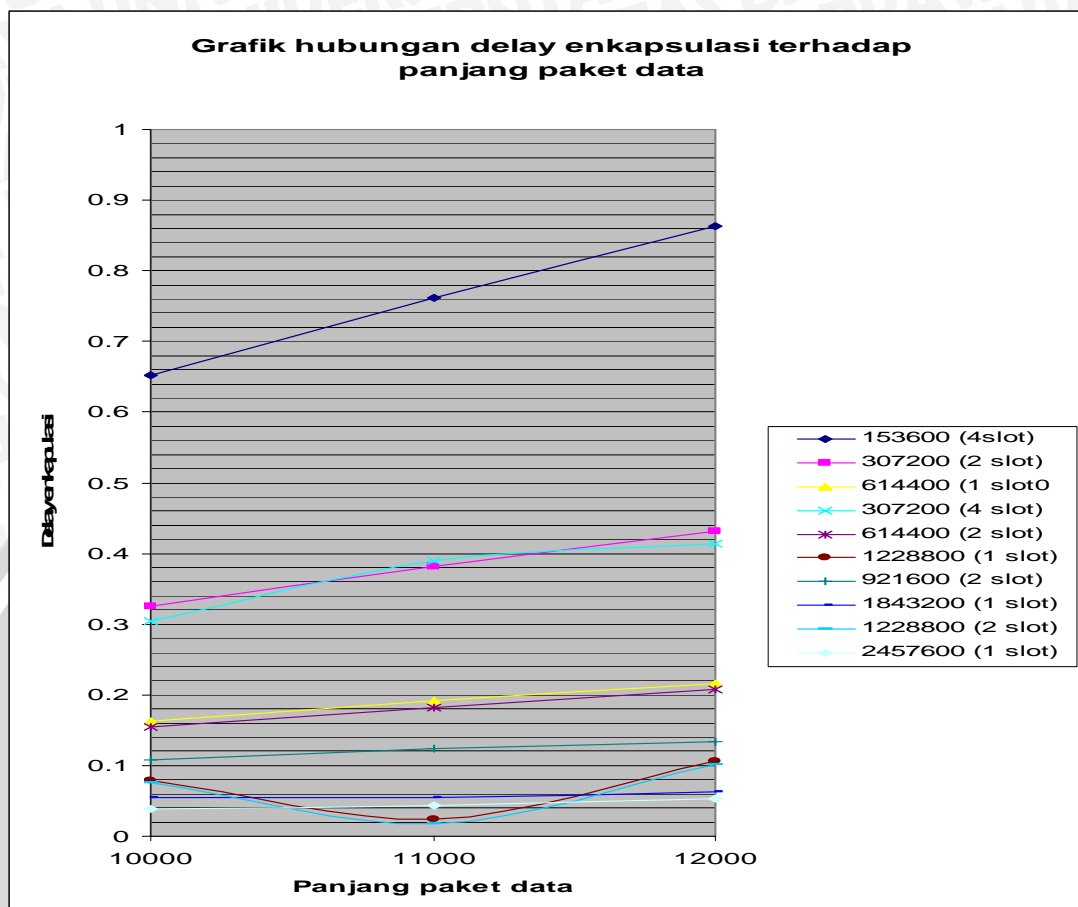
$$\begin{aligned} t_{D\text{ total}} &= t_{D1} + t_{D2} + t_{D3} + t_{D4} \\ &= (72,864 \times 10^{-5} + 468,52 \times 10^{-6} + 0,488125 \text{ detik} + 0,489 \text{ detik}) \\ &= 0,488125 \text{ detik} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama untuk panjang segmen data 11000 *byte*, dan 12000 *byte* dengan *data rate* 153,6 kbps; 307,2 kbps; 307,2 kbps; 614,4 kbps; 614,4 kbps; 921,6 kbps; 1228,8 kbps; 1228,8 kbps; 1843,2 kbps; dan 2457,6 kbps. Ditunjukkan pada tabel 5.9.

Tabel 5.9. Hasil *delay* enkapsulasi total

| <i>Data rate</i>) | $t_{E\text{ total}}$ (detik) | | |
|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | Segmen data 10000 <i>byte</i> | Segmen data 11000 <i>byte</i> | Segmen data 12000 <i>byte</i> |
| 153600 (4 slot) | 0,6520 | 0,7612 | 0,8625 |
| 307200 (2slot) | 0,3256 | 0,3810 | 0,4320 |
| 614400 (1 slot) | 0,1620 | 0,1913 | 0,2164 |
| 307200 (4slot) | 0,30401 | 0,3390 | 0,4140 |
| 614400 (2slot) | 0,15401 | 0,1810 | 0,2073 |
| 1228800 (1 slot) | 0,07901 | 0,0247 | 0,1060 |
| 921600 (2 slot) | 0,10798 | 0,1240 | 0,1340 |
| 1843200 (1slot) | 0,05598 | 0,0556 | 0,0632 |
| 1228800 (2 slot) | 0,07499 | 0,0174 | 0,1010 |
| 2457600 (1 slot) | 0,03799 | 0,0441 | 0,0520 |

(Sumber: Perhitungan)



Gambar 5.3. Grafik hubungan *delay* enkapsulasi terhadap panjang paket data

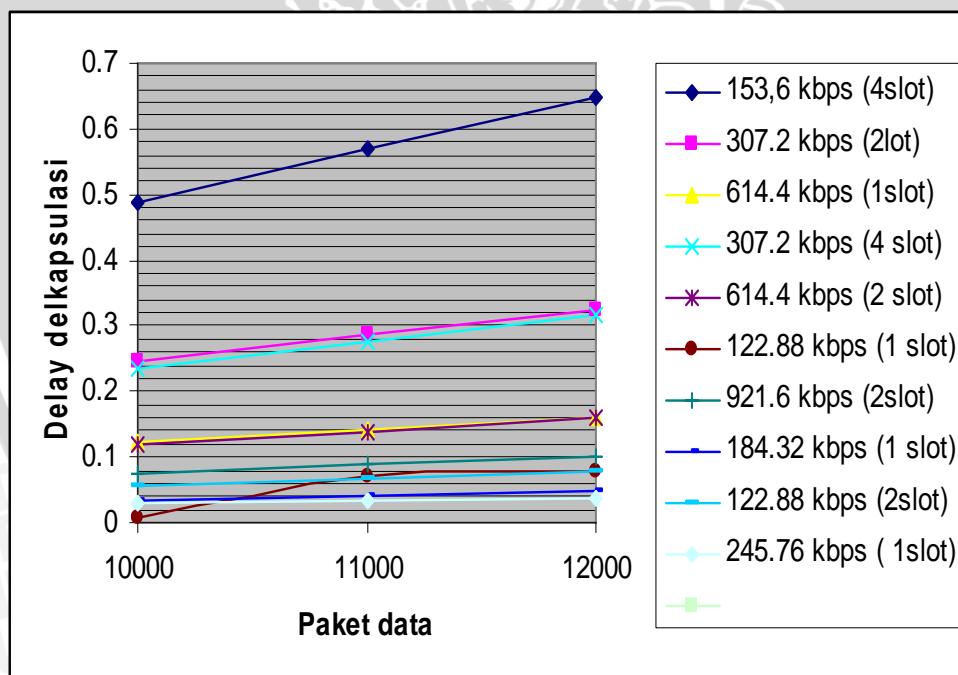
Berdasarkan perhitungan dan grafik *delay enkapsulasi* diatas dapat disimpulkan bahwa :

- Dengan menggunakan *data rate* yang lebih besar untuk paket data berukuran sama *delay* enkapsulasi akan semakin kecil

Tabel 5.10. Hasil *delay* dekapsulasi total

| <i>Data rate (bps)</i> | $t_{E\ total}$ (detik) | | |
|------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | Segmen data 8000 byte | Segmen data 10000 byte | Segmen data 12000 byte |
| 153600 (4 slot) | 0,488125 | 0,570625 | 0,64694 |
| 307200 (2 slot) | 0,244063 | 0,285313 | 0,32347 |
| 614400 (1 slot) | 0,122031 | 0,142656 | 0,161735 |
| 307200 (4 slot) | 0,23584 | 0,27627 | 0,316699 |
| 614400 (2 slot) | 0,11792 | 0,138135 | 0,15835 |
| 1228800 (1 slot) | 0,005896 | 0,069067 | 0,079175 |
| 921600 (2 slot) | 0,075285 | 0,088378 | 0,101472 |
| 1843200 (1 slot) | 0,034747 | 0,04079 | 0,046833 |
| 1228800 (2 slot) | 0,056971 | 0,067025 | 0,077078 |
| 2457600 (1 slot) | 0,028486 | 0,033512 | 0,038539 |

(Sumber: Perhitungan)

Gambar 5.4. Grafik hubungan *delay* dekapsulasi terhadap panjang paket data

Berdasarkan perhitungan dan grafik *delay* enkapsulasi dan *delay* dekapsulasi dapat disimpulkan bahwa :

- Dengan menggunakan *data rate* yang lebih besar untuk paket data berukuran sama *delay* enkapsulasi akan semakin kecil

Sebagaimana telah ditunjukkan pada grafik serta perhitungan enkapsulasi dan dekapsulasi jadi *data rate* yang akan digunakan disesuaikan dengan pengiriman paket data berdasarkan jenis layanan aplikasi yang diterapkan pada sistem CDMA 2000-3x dengan kata lain untuk *data rate* yang rendah besar ukuran paket data yang dikirimkan harus kecil juga.

5.4.1.2. Delay transmisi

Dalam menganalisa *delay* transmisi dilakukan kalkulasi pada hubungan antara PDSN – PCF yang menggunakan R-P *interface*, PCF – BSC yang menggunakan A8 *interface*, BSC – BTS yang menggunakan Abis *interface* serta BTS – MS yang menggunakan Um *interface*.

a. A10 *interface* / R-P *interface*

Antara PDSN dengan PCF dihubungkan dengan menggunakan *Ethernet* sebagai *interface* yang memiliki kecepatan transmisi data sebesar 100 Mbps, sehingga *delay* transmisi yang terjadi pada R-P *interface* untuk data sebesar 12000 *byte* berdasarkan persamaan (3-29) diperoleh :

$$t_{T1} = \frac{W_{frame\ total} \times 8}{V_{Ethernet}}$$

$$t_{T1} = \frac{9172 \times 8 \text{ bit}}{100 \times 10^6 \text{ bps}}$$

$$= 0,0007338 \text{ detik}$$

b. A8 *interface*

Antara PCF dengan BSC dihubungkan dengan menggunakan *interface* sistem transmisi digital STM-1/OC-3 yang memberikan kecepatan data sebesar 155,52 Mbps [3GPP2 A.S0012-A, 2003:7]. Sehingga *delay* transmisi yang terjadi pada A8 *interface* untuk data sebesar 10000 *byte* berdasarkan persamaan (3-30) diperoleh:

$$t_{T2} = \frac{W_{PCF\ total} \times 8}{V_{A8\ interface}}$$

$$\begin{aligned} t_{T2} &= \frac{9172 \times 8 \text{ bit}}{155,52 \times 10^6 \text{ bps}} \\ &= 0,0004718 \text{ detik} \end{aligned}$$

c. *Abis interface*

Physical layer untuk *Abis interface* pada jaringan CDMA berbasis IP menggunakan *interface* sistem transmisi digital STM-1/OC-3 yang memberikan kecepatan data sebesar 155,52 Mbps [3GPP2 A.S0003, 2000:14] sehingga nilai *delay* transmisi yang terjadi pada *Abis interface* untuk data sebesar 10000 *byte* berdasarkan persamaan (3-31) diperoleh:

$$t_{T3} = \frac{W_{SDU\ total}}{V_{Abis\ interface}}$$

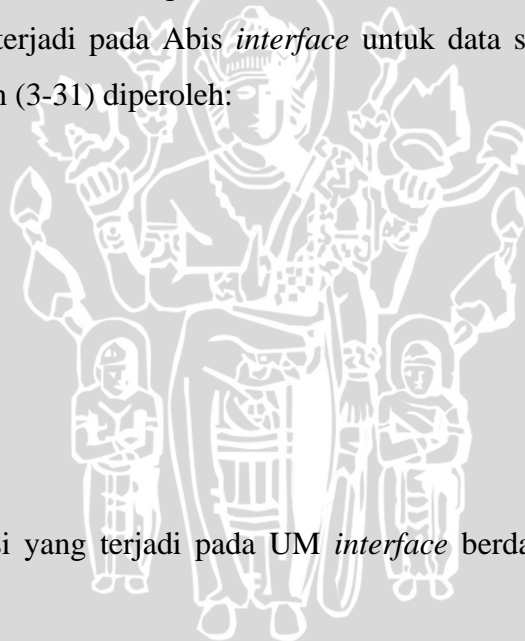
$$\begin{aligned} t_{T3} &= \frac{74976 \times 8 \text{ bit}}{155,52 \times 10^6 \text{ bps}} \\ &= 0,0004821 \text{ detik} \end{aligned}$$

d. *Um interface*

Delay transmisi yang terjadi pada *UM interface* berdasarkan persamaan (3-32) adalah :

$$\begin{aligned} t_{T4} &= \frac{W_{SDU\ total}}{n} \times (n_s \times 1,67 \times 10^{-3}) \\ &= \frac{74976 \text{ bit}}{1024} \times (4 \times 1,67 \times 10^{-3} \text{ s}) \\ &= 0,489 \text{ detik} \end{aligned}$$

Untuk total *delay* transmisi yang terjadi pada segmen data 10000 *byte* dengan *data rate* sebesar 156,3 kbps adalah :



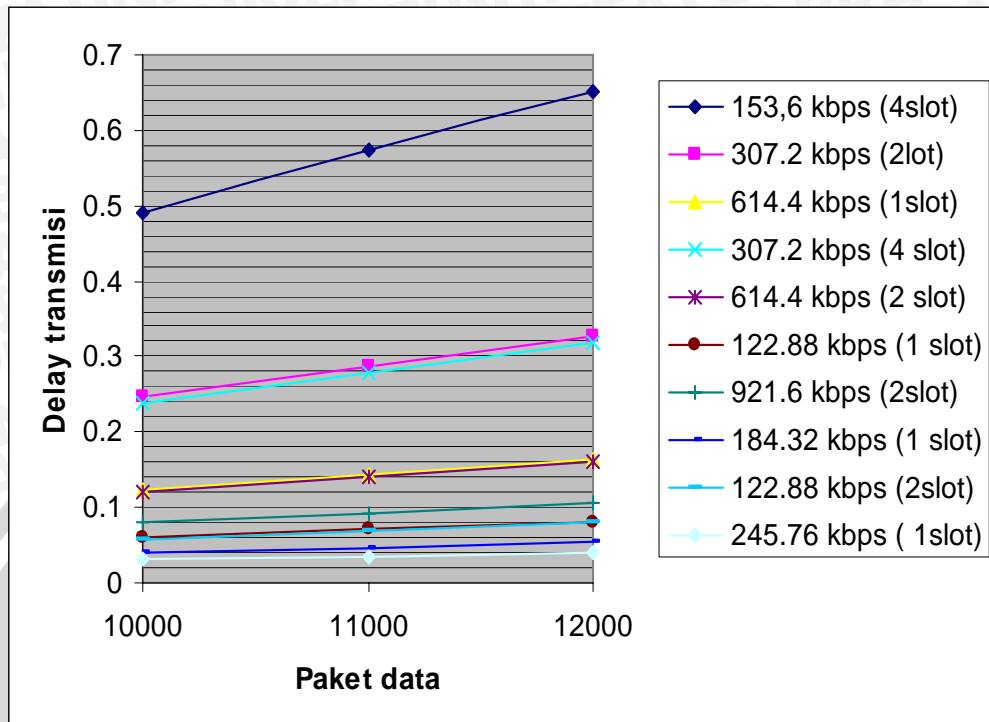
$$\begin{aligned}
 t_{T \text{ total}} &= t_{T1} + t_{T2} + t_{T3} + t_{T4} \\
 &= 0,0007338 \text{ detik} + 0,0004718 \text{ detik} + 0,0004821 \text{ detik} + 0,489 \text{ detik} \\
 &= 0,4907889 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama untuk panjang segmen data 11000 *byte*, dan 12000 *byte* dapat ditunjukkan pada table 5.11.

Tabel 5.11. Hasil *delay* transmisi total

| <i>Data rate (kbps)</i> | $t_{T \text{ total}}$ (detik) | | |
|-------------------------|---|---|---|
| | Paket data 10000 <i>byte</i> | Paket data 11000 <i>byte</i> | Paket data 12000 <i>byte</i> |
| 153,6 (4 slot) | 0,4907889 | 0,5734539 | 0,6499217 |
| 307,2 (2 slot) | 0,246238 | 0,287571 | 0,325805 |
| 614,4 (1 slot) | 0,123964 | 0,144629 | 0,163746 |
| 307,2 (4 slot) | 0,237999 | 0,27851 | 0,31902 |
| 614,4 (2 slot) | 0,119843 | 0,140099 | 0,160354 |
| 1228,8 (1 slot) | 0,060766 | 0,070893 | 0,081021 |
| 921,6 (2 slot) | 0,079058 | 0,092514 | 0,105969 |
| 1843,2 (1 slot) | 0,040373 | 0,047101 | 0,053828 |
| 1228,8 (2 slot) | 0,058773 | 0,068847 | 0,07892 |
| 2457,6 (1 slot) | 0,03023 | 0,035267 | 0,040304 |

(Sumber: Perhitungan)



Gambar 5.5. Grafik hubungan *delay* transmisi terhadap panjang paket data

Berdasarkan analisis perhitungan dan grafik 5.5. dapat disimpulkan bahwa:

- Delay transmisi semakin besar seiring dengan semakin besarnya ukuran paket data dengan *data rate* yang sama.
- Semakin besar *data rate* yang digunakan untuk mengirimkan data dengan ukuran yang sama, maka *delay* transmisinya akan semakin kecil
- Semakin banyak *slot* yang ditempati maka akan semakin menambah *delay* transmisinya.

5.4.1.3. *Delay* propagasi

Di dalam skripsi ini *delay* propagasi yang dianalisis antara BTS ke MS (termasuk jarak ke PDSN) sesuai dengan parameter radius sel sebesar 6,65882 km [Bell Labs Technical Journal]. Sehingga nilai *delay* propagasi untuk ukuran paket data sebesar 10000 *byte* pada *data rate* 153,6 Kbps Mbps diperoleh :

$$t_p = \frac{d}{c} = \frac{N_{frame} \times R}{c}$$

$$= \frac{71 \times 6,65882 \times 10^3}{3 \times 10^8} \text{ m/s}$$

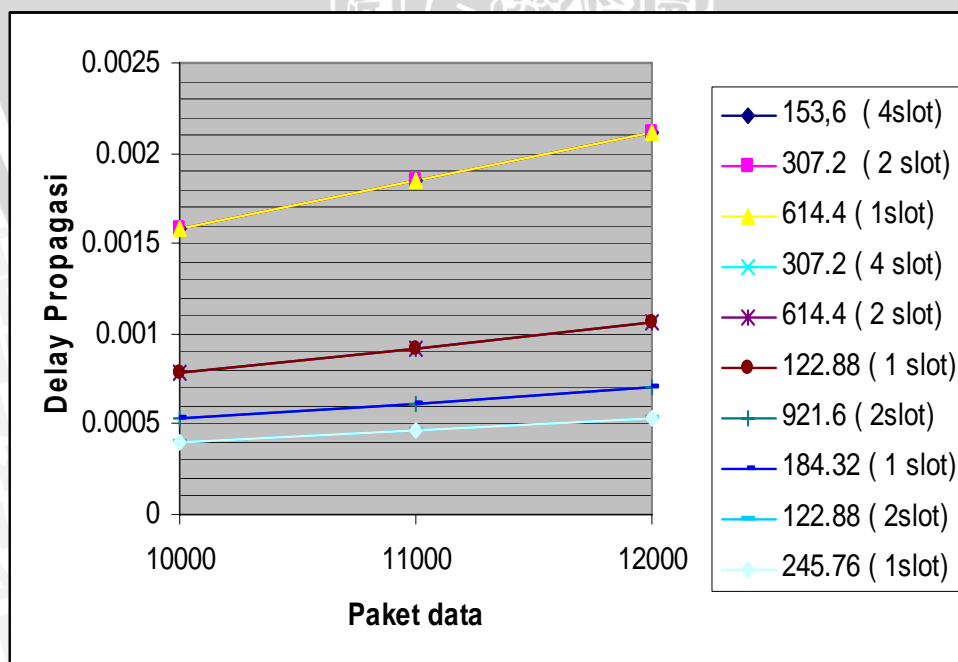
$$= 0,00158 \text{ detik}$$

Dengan cara yang sama untuk panjang segmen data 11000 *byte*, dan 12000 *byte* ditunjukkan dalam Tabel 5.12.

Tabel 5.12. Hasil delay propagasi

| Data rate (Kbps) | Paket Data | | |
|------------------|------------|----------|----------|
| | 10000 | 11000 | 12000 |
| 153,6 (4 slot) | 0,00158 | 0,001843 | 0,002112 |
| 307,2 (2 slot) | 0,00158 | 0,001843 | 0,002112 |
| 614,4 (1 slot) | 0,00158 | 0,001843 | 0,002112 |
| 307,2 (4 slot) | 0,00079 | 0,000922 | 0,001059 |
| 614,4 (2 slot) | 0,00079 | 0,000922 | 0,001059 |
| 122,88 (1 slot) | 0,00079 | 0,000922 | 0,001059 |
| 921,6 (2 slot) | 0,0005267 | 0,000614 | 0,000706 |
| 184,32 (1 slot) | 0,0005267 | 0,000614 | 0,000706 |
| 122,88 (2 slot) | 0,000395 | 0,000461 | 0,000529 |
| 245,76 (1 slot) | 0,000395 | 0,000461 | 0,000529 |

(Sumber: Perhitungan)



Gambar 5.6. Grafik hubungan delay propagasi terhadap panjang paket data

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan secara matematis maupun grafis maka dapat disimpulkan bahwa :

- Semakin besar ukuran data yang dikirimkan untuk *data rate* yang sama, maka *delay* propagasinya juga semakin besar.
- Semakin besar *data rate* yang digunakan untuk mengirimkan data dengan ukuran yang sama, maka *delay* transmisinya akan semakin kecil

5.4.1.4. Delay antrian

Delay antrian yang dianalisis merupakan *delay* yang terjadi pada PDSN dengan menggunakan model antrian M/M/1. Dengan menggunakan kecepatan standar PDSN yang memiliki kecepatan sebesar 1 Gbps dengan panjang data di PDSN sebesar 1500 *byte*, maka kecepatan pelayanan paket data berdasarkan persamaan (3-34) diperoleh sebesar :

$$\begin{aligned}\mu_{PDSN} &= \frac{C_{PDSN}}{m} \\ &= \frac{1 \times 10^9}{1500 \times 8} \\ &= 83333,333 \text{ paket/detik}\end{aligned}$$

Dalam analisis ini diasumsikan bahwa nilai faktor utilisasi (ρ) diubah dari 0,1-0,10 dengan kenaikan sebesar 0,5. Dari masing-masing nilai ρ dapat ditentukan laju kedatangan paket di PDSN (λ) berdasarkan persamaan (3-38) diperoleh sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\lambda_{PDSN} &= \rho \times \mu_{PDSN} \\ &= 0,1 \times 83333,333 \\ &= 8333,333 \text{ paket/detik}\end{aligned}$$

Sedangkan *delay* antrian yang terjadi di PDSN (t_w) berdasarkan pada persamaan (3-41) diperoleh :

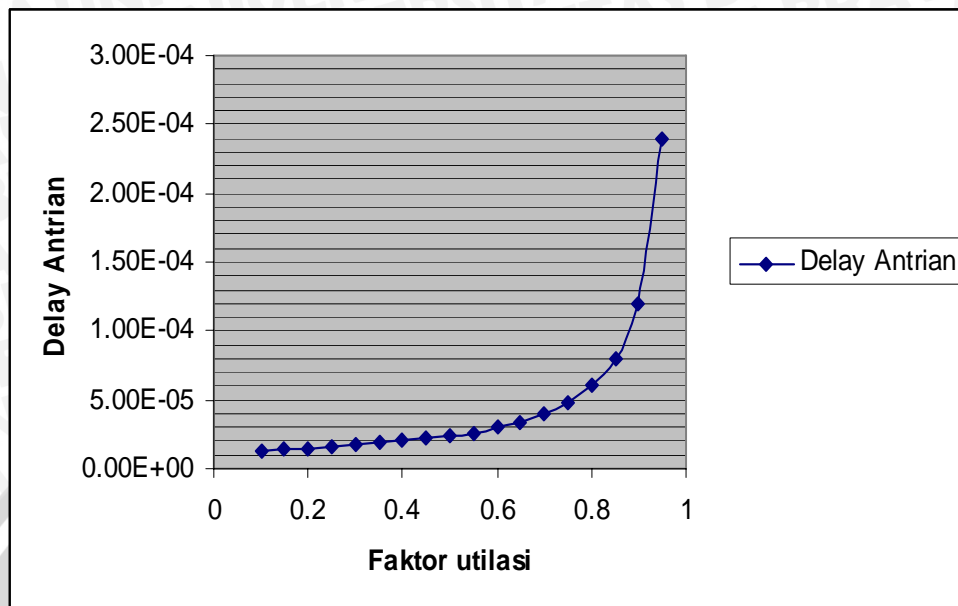
$$\begin{aligned}
 t_w &= t_q + t_s \\
 &= \frac{\lambda_{PDSN} / \mu_{PDSN}}{\mu_{PDSN} - \lambda_{PDSN}} + \frac{1}{\mu_{PDSN}} \\
 &= \frac{8333,333/83333,333}{83333,333-8333,333} + \frac{1}{83333,333} \\
 &= 1,333 \times 10^{-5} \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, hasil perhitungan laju kedatangan paket di PDSN (λ) dan *delay* antrian yang terjadi di PDSN (t_w) untuk faktor utilisasi (ρ) yang berubah-ubah dari 0,1 sampai dengan 0,9 dengan kenaikan sebesar 0,5 ditunjukkan dalam Tabel 5.12.

Tabel 5.13. Hasil *delay* antrian

| Faktor Utilisasi (ρ) | Delay Antrian (t_w) |
|-----------------------------|-------------------------|
| 0,1 | $1,3 \times 10^5$ |
| 0,15 | $1,4 \times 10^5$ |
| 0,2 | $1,5 \times 10^5$ |
| 0,25 | $1,6 \times 10^5$ |
| 0,3 | $1,7 \times 10^5$ |
| 0,35 | $1,85 \times 10^5$ |
| 0,4 | $2,0 \times 10^5$ |
| 0,45 | $2,2 \times 10^5$ |
| 0,5 | $2,4 \times 10^5$ |
| 0,55 | $2,6 \times 10^5$ |
| 0,6 | $3,0 \times 10^5$ |
| 0,65 | $3,4 \times 10^5$ |
| 0,7 | $4,0 \times 10^5$ |
| 0,75 | $4,8 \times 10^5$ |
| 0,8 | $6,0 \times 10^5$ |
| 0,85 | $8,0 \times 10^5$ |
| 0,9 | $1,2 \times 10^4$ |
| 0,95 | $2,4 \times 10^4$ |

(Sumber: Perhitungan)



Gambar 5.7. Grafik hubungan *delay* antrian terhadap faktor utilisasi (ρ) (Sumber: Perhitungan)

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan secara matematis maupun grafis maka dapat disimpulkan bahwa :

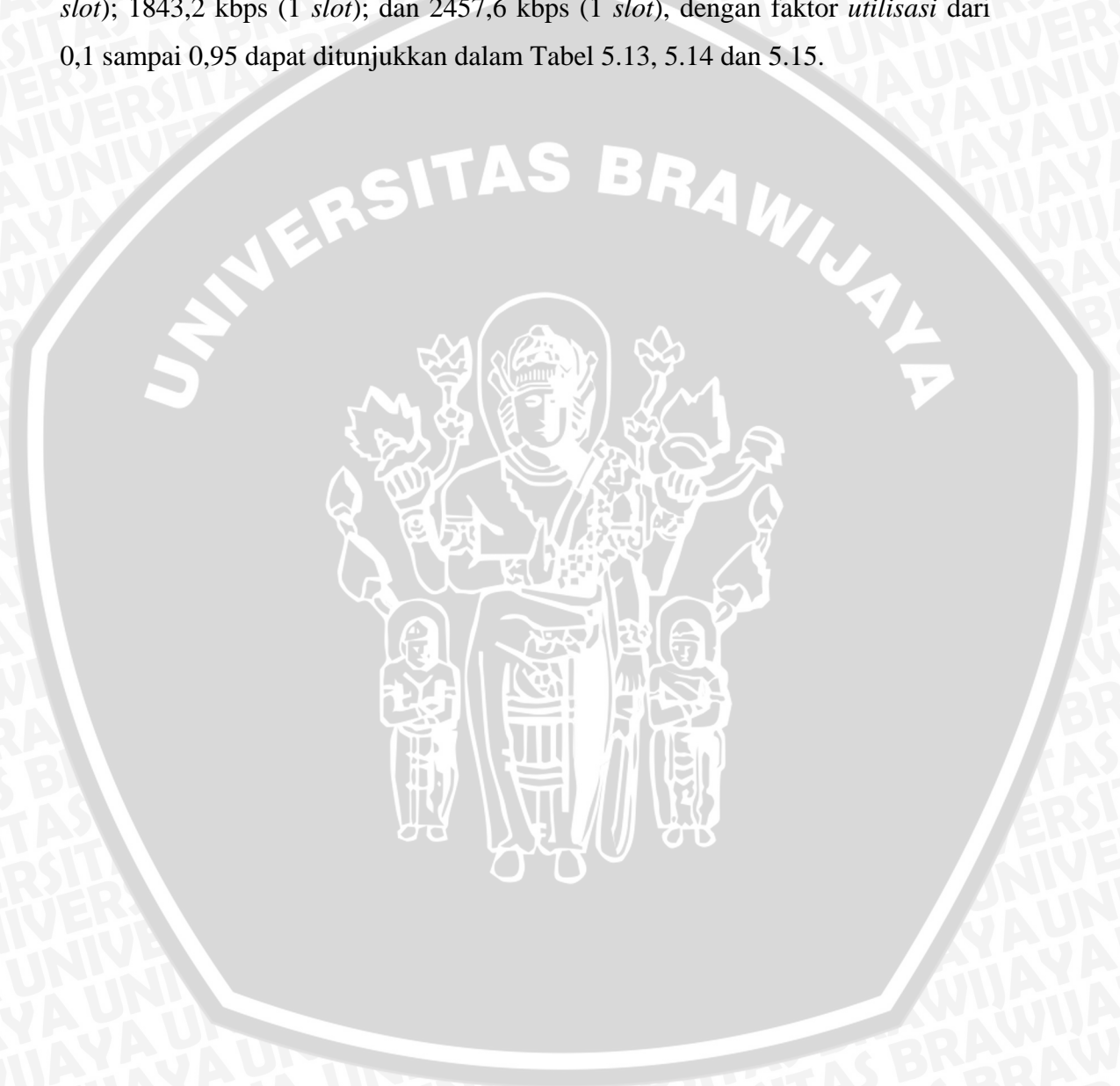
- Laju kedatangan paket data (λ) yang terjadi pada PDSN akan semakin bertambah seiring dengan bertambahnya faktor *utilisasi* (ρ)
- *Delay* antrian semakin bertambah seiring bertambahnya kedatangan paket data (λ) pada PDSN

5.4.1.5. *Delay Total*

Dari seluruh nilai analisis *delay* yang telah didapatkan, maka nilai total *delay* untuk panjang segmen data sebesar 10000 *byte* dengan *data rate* sebesar 153,6 Kbps dan faktor *utilisasi* 0,1 yang terjadi dari *source* menuju *destination* (PDSN ke MS) adalah sebesar :

$$\begin{aligned}
 T &= t_{E(PDSN-MS)} + t_{D(PDSN-MS)} + t_{T(PDSN-MS)} + t_{p(PDSN-MS)} + t_w(PDSN) \\
 &= [(4,1351 \times 10^{-2}) + (9,0461 \times 10^{-2}) + (4,2310 \times 10^{-2}) + (5,322 \times 10^{-4}) + \\
 &\quad (1,20 \times 10^{-4})] \text{detik} \\
 &= 0,174775 \text{ detik} \\
 &= 174,775 \text{ mdetik}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, hasil perhitungan *delay* total untuk panjang segmen data sebesar 10000 *byte*, 11000 *byte*, dan 12000 *byte* dengan *data rate* 153,6 kbps (4 *slot*); 307,2 kbps (2 *slot*); 307,2 kbps (4 *slot*); 614,4 kbps (1 *slot*); 614,4 kbps (2 *slot*); 921,6 kbps (2 *slot*); 1228,8 kbps (1 *slot*); 1228,8 kbps (2 *slot*); 1843,2 kbps (1 *slot*); dan 2457,6 kbps (1 *slot*), dengan faktor *utilisasi* dari 0,1 sampai 0,95 dapat ditunjukkan dalam Tabel 5.13, 5.14 dan 5.15.









Dari perhitungan secara matematis maka dapat disimpulkan bahwa :

- Semakin tinggi *data rate*, maka *delay* total yang terjadi akan semakin kecil.
- Semakin besari faktor utilisasi yang dipergunakan maka *delay* total yang terjadi semakin tinggi
- Semakin besar paket data yang digunakan maka semakin besar pula delay yang terjadi maka dari pada itu untuk mendapatkan nilai *delay* total yang kecil maka data paket yang diterapkan harus diperkecil.

5.5.2. Analisis *Throughput*

Analisis *throughput* yang dilakukan disini dari PDSN menuju MS. Diasumsikan bahwa tidak terjadinya pengiriman kembali segmen (*retransmission*), sehingga t_v merupakan nilai *delay* total yang terjadi untuk pengiriman segmen data sebesar 10000 *byte*, 11000 *byte*, dan 12000 *byte*. Untuk segmen data sebesar 10000 *byte* yang menggunakan *data rate* sebesar 153,6 kbps dengan faktor utilisasi sebesar 0,1 akan diperoleh besarnya nilai *throughput* berdasarkan persamaan (3-42) yaitu :

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{x}{t_v} \\ &= \frac{10000 \times 8 \text{ bit}}{1.907135 \text{ detik}} \\ &= 49004,39 \text{ bps}\end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, hasil perhitungan *throughput* untuk panjang segmen data sebesar 10000 *byte*, 11000 *byte*, dan 12000 *byte* dengan *data rate* 153,6 kbps (4 *slot*); 307,2 kbps (2 *slot*); 614,4 kbps (1 *slot*) ; 307,2 kbps (4 *slot*); 614,4 kbps (2 *slot*); 1228,8 kbps (1 *slot*) ; 921,6 kbps (2 *slot*); 1843,2 kbps (1 *slot*); 1228,8 kbps (2 *slot*) dan 2457,6 kbps (1 *slot*), dengan faktor utilisasi dari 0,1 sampai 0,95 akan diperoleh hasil seperti yang terdapat pada tabel 5.16 - 5.18..

Tabel 5.17. Hasil perhitungan *throughput* untuk segmen data 10000 byte (bps)

| (ρ) | 153,6 kbps (4 slot) | 307.2 kbps (2 slot) | 614.4 kbps (1slot) | 307.2 kbps (4 slot) | 614.4 kbps (2 slot) | 122.88 kbps (1 slot) | 921.6 kbps (2slot) | 184.32 kbps (1 slot) | 122.88 kbps (2 slot) | 245.76 kbps (1slot) |
|------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 0.1 | 49004.39 | 97860 | 195318.4 | 102741.6 | 203782 | 546169.7 | 304341.6 | 607720.9 | 418537.9 | 823772.34 |
| 0.15 | 49004.36 | 97859.89 | 195317.9 | 102741.5 | 203781.5 | 546166 | 304340.5 | 607720.9 | 418535.7 | 823763.857 |
| 0.2 | 49004.33 | 97859.77 | 195317.4 | 102741.4 | 203780.9 | 546162.2 | 304339.3 | 607711.6 | 418533.5 | 823755.375 |
| 0.25 | 49004.3 | 97859.65 | 195317 | 102741.2 | 203780.4 | 546158.5 | 304338.2 | 607707 | 418531.3 | 823746.893 |
| 0.3 | 49004.27 | 97859.53 | 195316.5 | 102741.1 | 203779.9 | 546154.8 | 304337 | 607702.4 | 418529.1 | 823738.411 |
| 0.35 | 49004.24 | 97859.41 | 195316 | 102741 | 203779.4 | 546151.1 | 304335.9 | 607697.8 | 418526.9 | 823729.929 |
| 0.4 | 49004.18 | 97859.17 | 195314.1 | 102740.7 | 203778.3 | 546133.5 | 304333.5 | 607688.6 | 418522.5 | 823712.967 |
| 0.45 | 49004.12 | 97858.93 | 195314.1 | 102740.4 | 203777.3 | 546136.1 | 304331.2 | 607688.6 | 418518.2 | 823696.004 |
| 0.5 | 49004.06 | 97858.69 | 195313.1 | 102740.2 | 203776.3 | 546128.7 | 304328.9 | 607670.1 | 418513.8 | 823679.043 |
| 0.55 | 49004 | 97858.45 | 195312.2 | 102739.9 | 203773.2 | 546121.2 | 304326.6 | 607660.9 | 418509.4 | 823679.043 |
| 0.6 | 49003.88 | 97857.97 | 195310.3 | 102739.4 | 203773.2 | 546106.3 | 304322 | 607642.4 | 418500.6 | 823628.162 |
| 0.65 | 49003.76 | 97857.49 | 195308.4 | 102738.9 | 203771.1 | 546091.4 | 304310.4 | 607623.9 | 418491.9 | 823594.246 |
| 0.7 | 49003.58 | 97856.77 | 195305.5 | 102738.1 | 203768 | 546069 | 304317.3 | 607596.3 | 418478.7 | 823543.376 |
| 0.75 | 49003.34 | 97855.82 | 195301.7 | 102737 | 203763.8 | 546039.2 | 304301.1 | 607559.3 | 418461.2 | 823475.559 |
| 0.8 | 49002.98 | 97854.38 | 195296 | 102735.4 | 203757.6 | 545994.5 | 304287.2 | 607504 | 418435 | 823373.855 |
| 0.85 | 49002.37 | 97851.99 | 195286.4 | 102732.8 | 203747.2 | 545920 | 304264.1 | 607411.7 | 418391.2 | 823204.403 |
| 0.9 | 49001.17 | 97847.2 | 195267.4 | 102711.7 | 203726.5 | 545771 | 304217.8 | 607227.3 | 418303.7 | 822865.71 |
| 0.95 | 48997.57 | 97832.84 | 195210.2 | 102711.7 | 203664.2 | 545324.6 | 304079.1 | 606674.7 | 418041.4 | 821851.3 |

(Sumber: Perhitungan)

Tabel 5.18. Hasil perhitungan *throughput* untuk segmen data 11000 byte (bps)

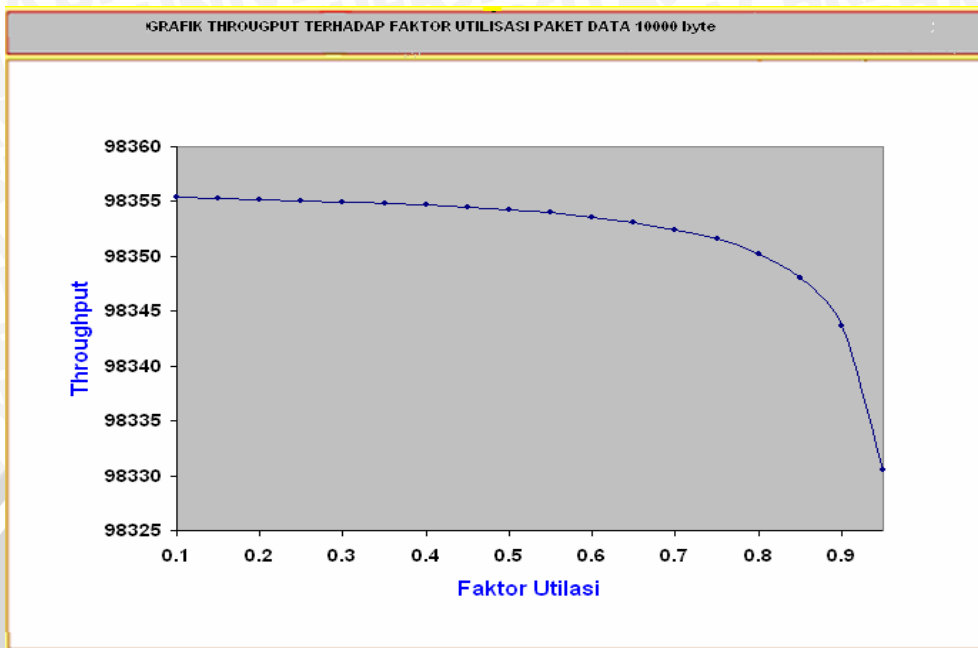
| (ρ) | 153,6 kbps (4slot) | 307.2 kbps (2 slot) | 614.4 kbps (1slot) | 307.2 kbps (4 slot) | 614.4 kbps (2 slot) | 122.88 kbps (1 slot) | 921.6 kbps (2 slot) | 184.32 kbps (1 slot) | 122.88 kbps (2slot) | 245.76 kbps (1slot) |
|------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 0.1 | 46142.51 | 92075.24 | 183164.9 | 98355.42 | 191234.4 | 531417.5 | 288034.5 | 610610.6 | 572375.2 | 776336.433 |
| 0.15 | 46142.48 | 92075.15 | 183164.5 | 98355.31 | 191234 | 531414.3 | 288033.6 | 610606.4 | 572371.4 | 776329.584 |
| 0.2 | 46142.46 | 92075.05 | 183164.1 | 98355.2 | 191233.5 | 531411.1 | 288032.6 | 610602.2 | 572367.7 | 776322.735 |
| 0.25 | 46142.44 | 92074.95 | 183163.7 | 98355.09 | 191233.1 | 531407.9 | 288031.7 | 610597.9 | 572364 | 776315.887 |
| 0.3 | 46142.41 | 92074.86 | 183163.3 | 98354.98 | 191232.7 | 531404.7 | 288030.8 | 610593.7 | 572360.3 | 776309.038 |
| 0.35 | 46142.39 | 92074.76 | 183163 | 98354.87 | 191232.3 | 531401.5 | 288029.8 | 610589.5 | 572356.5 | 776302.19 |
| 0.4 | 46142.34 | 92074.57 | 183162.2 | 98354.65 | 191231.5 | 531395.1 | 288027.9 | 610581 | 572349.1 | 776288.494 |
| 0.45 | 46142.29 | 92074.38 | 183161.4 | 98354.43 | 191230.6 | 531388.7 | 288026 | 610572.5 | 572341.6 | 776274.798 |
| 0.5 | 46142.24 | 92074.18 | 183160.7 | 98354.21 | 191229.8 | 531382.2 | 288024.2 | 610564 | 572334.2 | 776261.103 |
| 0.55 | 46142.19 | 92073.99 | 183159.9 | 98353.99 | 191229 | 531375.8 | 288022.3 | 610555.6 | 572326.8 | 776247.408 |
| 0.6 | 46142.1 | 92073.61 | 183158.4 | 98353.55 | 191227.3 | 531363 | 288018.5 | 610538.6 | 572311.9 | 776220.02 |
| 0.65 | 46142 | 92073.22 | 183156.9 | 98353.11 | 191225.6 | 531350.2 | 288014.7 | 610521.7 | 572297 | 776192.634 |
| 0.7 | 46141.85 | 92072.64 | 183154.6 | 98352.45 | 191223.1 | 531330.9 | 288009.1 | 610496.3 | 572274.7 | 776151.558 |
| 0.75 | 46141.66 | 92071.87 | 183151.5 | 98351.57 | 191219.8 | 531305.2 | 288001.5 | 610462.4 | 572244.9 | 776096.797 |
| 0.8 | 46141.37 | 92070.72 | 183147 | 98350.25 | 191214.8 | 531266.8 | 287990.2 | 610411.6 | 572200.2 | 776014.67 |
| 0.85 | 46140.89 | 92068.79 | 183139.3 | 98348.05 | 191206.5 | 531202.6 | 287971.4 | 610326.9 | 572125.8 | 775877.831 |
| 0.9 | 46139.92 | 92064.94 | 183124.1 | 98343.65 | 191189.9 | 531074.4 | 287933.7 | 610157.6 | 571977.1 | 775604.298 |
| 0.95 | 46137.02 | 92053.38 | 183078.4 | 98330.47 | 191140.1 | 530690.1 | 287820.7 | 609650.4 | 571531.3 | 774784.852 |

(Sumber: Perhitungan)

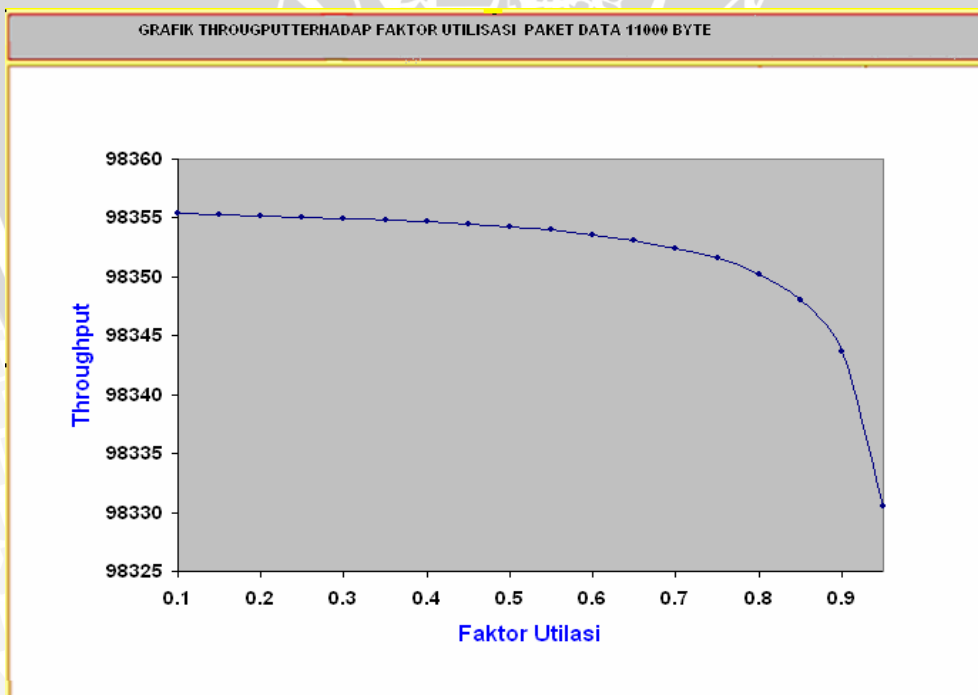
Tabel 5.19. Hasil perhitungan *throughput* untuk paket data 12000 byte (bps)

| (ρ) | 153.6 kbps (4slot) | 307.2 kbps (2 slot) | 614.4 kbps (1 slot) | 307.2 kbps (4 slot) | 614.4 kbps (2 slot) | 122.88 kbps (1 slot) | 921.6 kbps (2slot) | 184.32 kbps (1 slot) | 122.88 kbps (2slot) | 245.76 kbps (1slot) |
|----------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
| 0.1 | 44413.88 | 88609.98 | 176468.7 | 91359.74 | 182137 | 359190.6 | 280570.4 | 583302 | 372756.6 | 730674.793 |
| 0.15 | 44413.86 | 88609.89 | 176468.3 | 91359.65 | 182136.6 | 359189.2 | 280569.6 | 583298.5 | 372755.2 | 730669.232 |
| 0.2 | 44413.84 | 88609.81 | 176468 | 91359.56 | 182136.3 | 359187.9 | 280568.8 | 583294.9 | 372753.7 | 730663.671 |
| 0.25 | 44413.82 | 88609.73 | 176467.7 | 91359.48 | 182136 | 359186.5 | 280568 | 583291.4 | 372752.3 | 730658.11 |
| 0.3 | 44413.8 | 88609.65 | 176467.4 | 91359.39 | 182135.6 | 359185.2 | 280567.2 | 583287.8 | 372750.8 | 730652.549 |
| 0.35 | 44413.78 | 88609.57 | 176467 | 91359.3 | 182135.3 | 359183.8 | 280566.3 | 583284.3 | 372749.4 | 730646.988 |
| 0.4 | 44413.74 | 88609.4 | 176466.4 | 91359.13 | 182134.6 | 359181.2 | 280564.7 | 583277.2 | 372746.5 | 730635.866 |
| 0.45 | 44413.69 | 88609.24 | 176465.7 | 91358.96 | 182133.9 | 359178.5 | 280563.1 | 583270.1 | 372743.6 | 730624.745 |
| 0.5 | 44413.65 | 88609.08 | 176465.1 | 91358.78 | 182133.2 | 359175.8 | 280561.4 | 583263 | 372740.7 | 730613.624 |
| 0.55 | 44413.61 | 88608.91 | 176464.4 | 91358.61 | 182132.5 | 359173.1 | 280559.8 | 583255.9 | 372737.8 | 730602.504 |
| 0.6 | 44413.53 | 88608.59 | 176463.1 | 91358.26 | 182131.1 | 359167.7 | 280556.5 | 583241.8 | 372732 | 730580.263 |
| 0.65 | 44413.45 | 88608.26 | 176461.8 | 91357.91 | 182129.7 | 359162.3 | 280553.2 | 583227.6 | 372726.2 | 730558.025 |
| 0.7 | 44413.33 | 88607.77 | 176459.9 | 91357.39 | 182127.7 | 359154.3 | 280548.3 | 583206.3 | 372717.5 | 730524.669 |
| 0.75 | 44413.16 | 88607.11 | 176457.3 | 91356.7 | 182124.9 | 359143.5 | 280531.9 | 583178 | 372706 | 730480.199 |
| 0.8 | 44412.91 | 88606.13 | 176453.4 | 91355.65 | 182120.8 | 359127.4 | 280531.9 | 583135.5 | 372688.6 | 730413.505 |
| 0.85 | 44412.5 | 88604.5 | 176446.9 | 91353.91 | 182113.8 | 359100.5 | 280515.5 | 583064.6 | 372659.7 | 730302.376 |
| 0.9 | 44411.68 | 88601.23 | 176434 | 91350.44 | 182100 | 359046.8 | 280482.7 | 582923 | 372601.8 | 730080.218 |
| 0.95 | 44409.22 | 88591.41 | 176395 | 91340.01 | 182058.6 | 358885.7 | 280384.4 | 582498.6 | 372428.4 | 729414.554 |

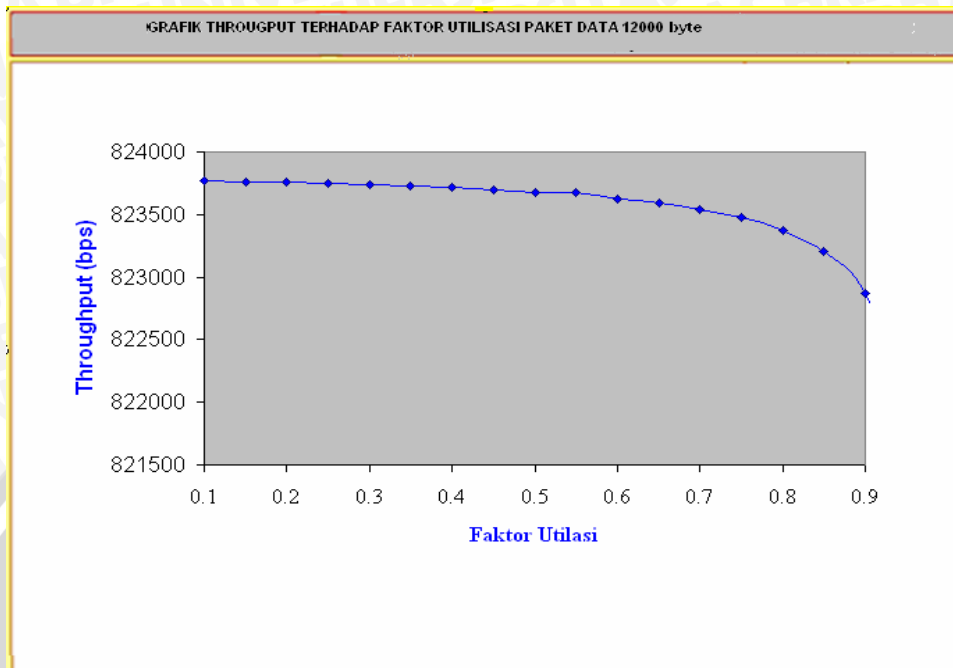
(Sumber: Perhitungan)



Gambar 5.8. Grafik *throughput* terhadap faktor utilisasi (ρ) paket data 10000 byte
(Sumber : Perhitungan)



Gambar 5.9. Grafik *throughput* terhadap faktor utilisasi (ρ) untuk paket data 11000 byte



Gambar 5.10. Grafik *throughput* terhadap faktor utilisasi (ρ) untuk paket data 12000 byte

(Sumber : Perhitungan)

Berdasarkan analisis perhitungan matematis dan grafik diatas maka dapat disimpulkan bahwa :

- Pada kondisi dengan segmen data yang memiliki panjang sama dengan faktor utilisasi yang sama, semakin tinggi *data rate* yang digunakan maka nilai *throughput* yang diberikan akan semakin besar.
- Semakin besar segmen data yang dikirimkan, maka nilai *throughput* juga akan semakin besar.

BAB VI PENUTUP

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan sistem paket data pada teknologi CDMA 2000 3X dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Perhitungan *Bit Error Rate*

Dengan penerapan nilai E_b/N_o yang semakin tinggi pada kondisi *forward link* maupun *reverse link* sistem CDMA 2000-3X, maka nilai *BER* yang diperoleh akan semakin kecil. Hal ini dapat diartikan bahwa tingkat kesalahan bit yang ditransmisikan relatif kecil dengan konsekuensi rasio energi tiap bit terhadap kerapatan daya *noise* yang diperlukan akan semakin besar untuk mengatasi pengaruh dari *noise*. Nilai *BER* untuk *forward link* untuk *data rate* 38,4 kbps; 0,03764, 153,6 kbps; 0,04206 sedang untuk *reverse link* untuk *data rate* 9,6 kbps; 0,00133, 76,8 kbps; 0,01947

2. Perhitungan Kapasitas Kanal

Data rate yang digunakan juga berpengaruh dalam penyediaan kanal, hal ini disebabkan karena semakin besar kecepatan pengiriman data yang diterapkan maka mengakibatkan kemampuan sistem untuk menyediakan kanal akan semakin terbatas pula baik untuk 1 sel *omni* maupun 1 sel dengan 3 sektorisasi. Kapasitas kanal dapat ditingkatkan dengan menggunakan 1 sel dengan 3 sektorisasi. Jumlah kanal untuk 1 sel *omni* dengan *data rate* 9,6 kbps, 19,2 kbps, 38,4 kbps, 76,8 kbps, 153,6 kbps masing-masing 67, 42, 24, 13, dan 7 kanal sedangkan untuk 1 sel dengan 3 sektorisasi dengan *ata rate* 19,2 kbps; 38,4 kbps, 76,8 kbps serta 153,6 kbps; maka akan diperoleh jumlah kanal untuk tiap sel dengan penerapan 3 sektorisasi sebesar 60, 36, 21, 12, dan 6 kanal.

3. *Delay*

Delay total untuk segmen data sebesar 10000 *byte* dan faktor utilisasi sebesar 0,7 dengan penerapan *data rate* yang berbeda-beda mulai dari 153,6 kbps; 307,2 kbps; 614,4 kbps; 921,6 kbps; 1228,8 kbps; 1843,2 kbps; serta 2457,6 kbps memenuhi toleransi *delay* yang diberikan bagi kategori layanan *Electronic Mail* yaitu sebesar 1-10 detik. Hal yang sama juga terjadi untuk segmen data sebesar 11000 *byte*, serta 12000 *byte*. Sedangkan *delay* total yang memenuhi berdasarkan perhitungan yang

telah dilakukan untuk penerapan layanan *Video Telephony* yang memberikan toleransi *delay* sebesar 150-350ms, maka memerlukan ukuran segmen data sebesar 10000 *byte* dengan penerapan *data rate* sebesar 921,6 kbps, 1228,8 kbps; Sedangkan untuk ukuran segmen data sebesar 11000 *byte* dengan *data rate* 122,88 kbps (1 slot), 921,6 kbps, 122,88 kbps (1 slot) dan 12000 *byte* untuk *data rate* sebesar 122,88 kbps, 921,6 kbps 1843, 2 kbps, 122,88 kbps (2 slot) dan 2457,6 kbp. Dapat disimpulkan. Semakin tinggi *data rate* yang digunakan, maka *delay* total yang terjadi semakin kecil. Semakin tinggi faktor utilisasi yang dipergunakan maka *delay* total yang terjadi juga semakin tinggi. Untuk mendapatkan nilai *delay* total yang semakin kecil maka ukuran segmen data paket yang dikirimkan juga harus semakin kecil.

4. *Throughput*

Semakin tinggi nilai *Data rate* semakin besar nilai *throughput*. *Throughput* terbesar diperoleh pada panjang data 10000 *byte* dengan faktor utilisasi 0,1 dan *data rate* 2,4576 Mbps. yaitu sebesar 823772,34 bps.

6.2. Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan analisis kinerja sistem data paket kecepatan tinggi pada penerapan teknologi CDMA 2000-3X yang telah dilakukan dalam penulisan skripsi ini antara lain :

1. Analisis dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menggunakan segmen data yang lebih tinggi dengan pemakaian *bandwith* dan *data rate* yang lebih tinggi seperti teknologi 4G.

DAFTAR PUSTAKA

- Garg, Vijay K., Smolik, Kenneth. 1997, “*Application of CDMA in Wireless/Personal Communication*”, New Jersey:Prentice Hall.
- Lee, William C.Y. 1993, “*Mobile Cellular Telecommunication Systems*”, New York:McGraw-Hill.
- Santoso, Gatot. 2004, “*Sistem Selular CDMA (Code Division Multiple Access)*”, Yogyakarta:Graha Ilmu.
- Qiang Wu dan Eduardo Esteves. 2002, “*The cdma2000 High Rate Packet Data System*”, San Diego:Qualcomm
- P.Bender, P.Black, M. Grob, R. Padovani, N. Sindhushayana, dan A. Viterbi, “*CDMA/HDR: A Bandwidth-Efficient High-Speed Wireless Data Service for Nomadic Users*”, IEEE Commun.Mag.,38:7 (2000), 70-78.
- Q. Bi, P. Chen, P. Li, S. Vitebsky, dan Y. Yang, “*Forward Link Performance Analysis of CDMA2000 3G1x Data System*”, Bell Labs Technical Journal, Vol.7, Issue 3, Mar.2003.
- D. Cui, C. Huang, Z. Siveski, dan Q. Bi, “*Reverse DRC Channel Performance Analysis for 1X EV-DO: Third-Generation High-Speed Wireless Data Systems*”, IEEE 56th Veh. Technol. Conf., (Vancouver, BC, 2002), 1, pp. 137-140.
- E. Esteves, “*On the Reverse Link Capacity in cdma2000 High Rate Packet Data Systems*”, IEEE Internat.Conf. on Commun., 3, (New York, NY, 2002), 1823-1828.
- K.S. Gilhousen, I.M. Jacobs, R. Padovani, A.J. Viterbi, L.A. Weaver, dan C.E.Wheatly III, “*On the Capacity of a Cellular CDMA System*”, IEEE Trans. On Veh. Technol., 40:2, (1991).
- Heywood, Drew. 1999, “*Konsep & Penerapan Microsoft TCP/IP*”. Alih Bahasa Daniel W.M., Yogyakarta:ANDI.
- Stallings, William. 1997, “*Data and Computer Communications Fifth Edition*”. New Jersey:Prentice Hall.
- Garg, Vijay K. 2000, “*IS-95 CDMA and cdma2000 Cellular/PCS Systems Implementation*”, New Jersey:Prentice Hall.
- Schwartz, Mischa. 1987, “*Telecommunication Networks: Protocols, Modelling and Analysis*”, USA:Addison Wesley Publishing Company.
- Rappaport, Theodore S. 1996, “*Wireless Communications Principles and Practice*”, New Jersey:Prentice Hall.
- Wiryana, I Made. 1999. *Performance Modelling for Web Access*.
http://www.qualcomm.com/technology/1xev-do/pdf/1xEV_AirlinkOverview_110701.pdf
http://www.cdg.org/resources/white_papers/files/Perf_DO.pdf
http://www.3gpp2.org/Public_html/specs/A.S0003.pdf
<http://www.radcom.com/radcom/WhitePapers/pdf/Introduction%20to%20CDMA2000.pdf>
http://www.3gpp2.org/Public_html/specs/S.R0033-0_v1.0.pdf
http://www.cdg.org/resources/white_papers/files/Perf_DO.pdf
<http://www.Infoteknologi.com>
<http://www.qualcomm.com>