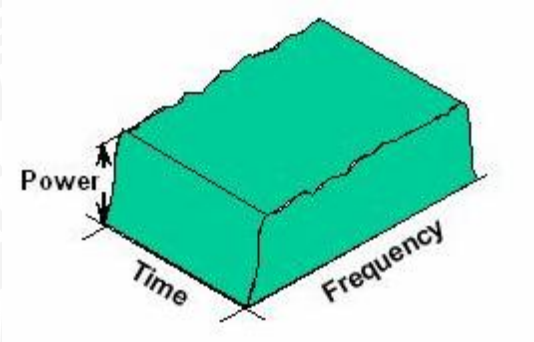
BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 TEKNOLOGI KOMUNIKASI BERGERAK

Di Indonesia, liberalisasi bisnis seluler dimulai sejak tahun 1995, pada saat pemerintah mulai membuka kesempatan kepada swasta untuk berbisnis telepon seluler dengan cara kompetisi penuh. Dapat diketahui bahwa teknologi *GSM (Global System for Mobile)* datang dan menggantikan teknologi seluler generasi pertama yang sudah masuk sebelumnya ke Indonesia seperti *NMT (Nordic Mobile Telephone)* dan *AMPS (Advance Mobile Phone System)*. Ketika di tahun 1980-an, teknologi *Global System for Mobile Communication (GSM)* datang ke Indonesia, maka para operator pemakai teknologi *AMPS (Advanced Mobile Phone System)* menghilang. Kemudian muncul Satelindo sebagai pemenang, yang kemudian disusul oleh Telkomsel, dan pada akhirnya teknologi GSM lebih unggul dan berkembang pesat. Hal ini dikarenakan kapasitas jaringan GSM yang lebih tinggi, serta penggunaan spektrum frekuensi yang lebih efisien dibandingkan teknologi NMT dan AMPS. Dalam kurun waktu hampir satu dekade, teknologi GSM telah menguasai pasar dengan jumlah pelanggan lebih dari jumlah pelanggan telepon tetap. Terdapat beberapa teknologi tanpa kabel untuk teknologi selular ini.

2.1.1 CDMA *(Code Division Multiple Access)*

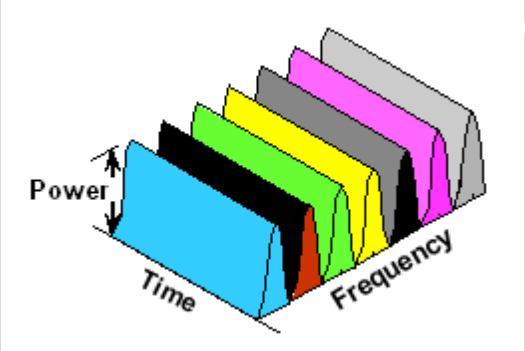
Menggunakan teknologi spektrum tersebar untuk mengirimkan sinyal informasi yang melalui lebar pita 1.25 MHz. Teknologi ini asal mulanya dibuat untuk kepentingan militer, dengan menggunakan kode digital yang unik, dengan kualitas sinyal yang lebih baik daripada kanal atau frekuensi RF (Radio Frekuensi).



Gambar 2.1. Kanal Trafik CDMA

2.1.2 AMPS *(Advanced Mobil Phone Service)*

Merupakan teknologi analog yang menggunakan *FDMA (Frequency Division Multiple Access)* untuk membagi lebar pita radio yang tersedia ke pada sejumlah kanal diskrit yang tetap. Dengan AMPS, lebar pita 1,25 MHz yang diberikan untuk penggunaan selular dibagi menjadi beberapa kanal dengan lebar pita 30 KHz per kanal, masing-masing kanal hanya dapat melayani satu pelanggan pada satu waktu. Satu pelanggan mengakses sebuah kanal maka tidak satupun pelanggan lainnya dapat mengakses kanal tersebut sampai panggilan pertama itu berhenti atau *handed-off* ke *base station* lainnya.

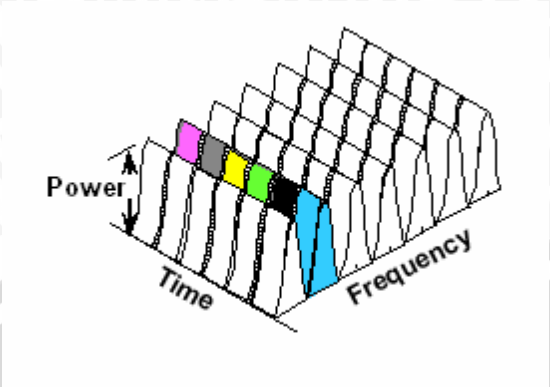


Gambar 2.2. Kanal Trafik FDMA

2.1.3 TDMA *(Time Division Multiple Access)*

Merupakan sebuah teknologi digital, sama halnya yaitu dengan membagi-bagi spektrum yang tersedia kepada sejumlah kanal diskrit yang tetap, meskipun masing-masing kanal merepresentasikan slot waktu yang tetap daripada frekunesi dasar yang tetap. *GSM (global sistem for Mobile)* adalah teknologi yang berbasis TDMA. Sebagai contoh yang mengimplementasikan teknologi TDMA adalah

GSM, yang membagi frekuensi pembawa 2.3 MHz menjadi delapan *time-division* kanal.



Gambar 2.3. Kanal Trafik TDMA

2.1.4 UMTS *(Universal Mobile Telecomunication Access)*

Merupakan salah satu sistem generasi ketiga yang dikembangkan di Eropa. Dirancang sehingga dapat menyediakan lebar pita sebesar 2 MHz. Layanan yang diberikan UMTS dapat memenuhi permintaan pemakai dimanapun berada, artinya UMTS mampu melayani area yang seluas mungkin, jika tidak ada sel UMTS pada suatu daerah dapat di *route*-kan melalui satelit. Frekuensi radio yang dialokasikan untuk UMTS adalah 1885-2025 MHz dan 2110-2200 MHz. Pita tersebut akan digunakan oleh sel yang kecil (sel piko) sehingga dapat memberikan kapasitas yang besar pada UMTS.

2.2 Arsitektur Jaringan CDMA

2.2.1 Konfigurasi Jaringan CDMA2000

Jaringan CDMA 2000 1X/1x EV-DO terdiri dari Access *Network (AN), Data Core Network (DCN),* dan *Voice Core Network (VCN).*

2.2.2 *Access Network (AN)*

AN terdiri dari stasiun *Base Tranceiver System (BTS), Base Station Controller (BSC), General ATM switch Network (GAN), Access Network-Authorization, Authentication and Accounting (AN-AAA),* dan *Data Location Register / DLR Local Manager (DLR / DLM).*

AN menyediakan layanan suara melalui VCN dan menyampaikan paket data yang diterima dari *Mobile Station (MS)* ke DCN.

2.2.3 *Base station Transceiver System (BTS)*

BTS menyediakan antarmuka udara untuk *Mobile Station (MS),* dan mentransmisikan atau menerima sinyal data nirkabel dan data ke atau dari MSS di bawah standar *CDMA2000 1X/1xEV-DO.*

BTS mengirimkan data yang diterima dari MSS ke jaringan inti, atau sebaliknya mengirimkan data yang diterima dari jaringan inti ke MSS melalui BSC. BTS berfungsi sebagai *transceiver* nirkabel yang mengelola sumber daya radio seperti FA dan Walsh, jadwal Frekuensi Radio (RF), atau *Power* kontrol.

BTS satu jaringan 1x EV-DO disebut *Access Network Tranceiver System* (SEMUT).

2.2.4 *Base Station Controller (BSC)*

BSC merupakan antarmuka untuk beberapa BTS, selain itu BSC sebagai antarmuka dengan MSC untuk memproses suara dan jalur panggilan data, dan sebagai antarmuka antara AN dan DCN untuk memproses paket data panggilan.

BSC bekerja sama dengan BSM untuk melakukan operasi dan pemeliharaan fungsi di *Base Station System (BSS). BSC vocoding* untuk melakukan panggilan suara, dan melakukan *Radio Link Protocol (RLP)* untuk panggilan data.

BSC mendukung *Select and Distributed Unit (SDU)* yang berfungsi untuk panggilan suara dan data untuk memungkinkan *soft handoff* di MSS. BSC dari sebuah jaringan 1xEV-DO tunggal disebut *Network Access Controller (ANC).*

2.2.5 *General ATM switch Network (GAN)*

GAN menyediakan jalur komunikasi antar BSC. Intreface. GAN dengan beberapa BSC untuk mengaktifkan *handoff antara* BSC, dan untuk memungkinkan BSM untuk berkomunikasi dengan BSC dan BTS terhubung ke setiap BSC melalui GAN. Selain itu, GAN dapat mentransmisikan paket data panggilan dari BSC ke PDSN.

GAN juga mengelola pelanggan mobilitas dan *session data*, dan menyediakan jalur antara BSC dan DLR / AN-AAA untuk otorisasi MS pada 1xEV-DO.

2.2.6 *Base Station Management (BSM)*

BSM menyediakan antarmuka operator sehingga operator dapat mengendalikan atau mengelola BSC dan BTS. BSM menyediakan perintah yang memungkinkan kegagalan sistem / status / perbaikan kinerja data, sistem manajemen konfigurasi, dan sistem kontrol parameter, yang dibutuhkan untuk operasi dan pemeliharaan BSC atau BTS. BSM beroperasi pada *platform workstation konvensional*, dan dilaksanakan dengan menggunakan *Graphical User Interface (GUI),* memungkinkan operator untuk memeriksa atau mengontrol status kenyamanan sistem.

2.2.7 *Access Network-Authorization, Authentication and Accounting (AN-AAA)*

AN-AAA autentikasi server MS pada jaringan 1xEV-DO. Setelah AN-AAA menerima permintaan untuk otorisasi, kemudian *International Mobile Station Identity (IMSI)* diberikan ke MS berdasarkan pada *Network Access Identifier (NAI)* dari MS, dan mengelola data pemetaan IMSI dan NAI MS.

2.2.8 *Data Location Register / DLR Lokal Manager (DLR / DLM)*

DLR, yang melakukan mobilitas penuh untuk pelanggan nirkabel 1xEV-DO dalam jaringan, menyediakan informasi lokasi terminal manajemen, *Unicast Terminal Access Identifier (UATI)* proses permintaan tugas, *International Mobile Station Identity (IMSI),* sesi pengendalian / pengelolaan MS , dan fungsi *paging MS.* DLM menyediakan antarmuka operator untuk DLR dan menyediakan *input / output* untuk perintah operator, menampilkan kesalahan / konfigurasi / status / kinerja pesan, *restart sistem*, dan *download Software blok.*

2.2.9 *Data Core Network (DCN)*

DCN diatur oleh *Packet Data Serving Node (PDSN), Home Agent (HA),*

Authorization Authentication and Accounting (AAA), dan Element Management System (EMS). DCN memproses paket data pada MS dan mengirim atau menerima paket data melalui AN.

2.2.10 *Packet Data Serving Node (PDSN)*

PDSN menghubungkan AN ke DCN pada jaringan CDMA2000 1X atau jaringan 1xEV-DO. PDSN menetapkan, memelihara atau melepaskan MS dan PPP. PDSN berfungsi *sebagai Foreign Agent (FA)* untuk HA ke penyedia layanan *Mobile Internet Protokol (IP).*

2.2.11 *Home Agent (HA)*

HA menhubungkan ke jaringan pribadi atau jaringan lain untuk memungkinkan *IP Mobile* pengguna untuk terhubung ke internet. HA menukarkan data dengan FA (PDSN) dalam berbagai metode enkripsi.

2.2.12 *Authorization, Authentication and Accounting (AAA)*

AAA melakukan fungsi *authorization and authentication* seperti *billing* untuk *packet data communication service* pelanggans. Sebuah AAA melakukan *authorization* untuk MS, Sementara AAA melakukan *authorization* untuk subscribers.

PDSN and HA membuat sebuah request information pada *user authorization and authentication to AAA* jika diperlukan, dan diterima oleh informasi *billing* ke AAA dengan berkala.

AAA mendukung *authorization* pada sebuah *accordance* dengan sebuah *user* profiles yang disimpan dalam *database*.

2.2.13 *Element Management System (EMS)*

EMS mendukung *interface function* untuk *DCN components*. EMS melakukan I/O dari perintah operator, menampilkan kesalahan/ *configurasi/ status/ performance messages, restarts the system*, dan *download system Software block.*

2.2.14 *Voice Core Network (VCN)*

VCN dikonfigurasi dengan *Mobile Switching Center(MSC), Home Location Register(HLR), and Interworking Function(IWF).* VCN memproses suara dan jalur data dari MS, yang diterima melalui AN.

2.2.15 *Mobile Switching Center (MSC)*

MSC melakukan *switching* pada jaringan CDMA2000. MSC menghubungkan *Mobile* pelanggan pada jaringan dengan pelanggans pada jaringan yang lain, dan *authorizes* MSs pada jaringan CDMA2000 1x. juga, MSC inter-works dengan berbagai sistem tambahan perangkat *Mobile* untuk menyediakan pelanggan dengan layanan tambahan.

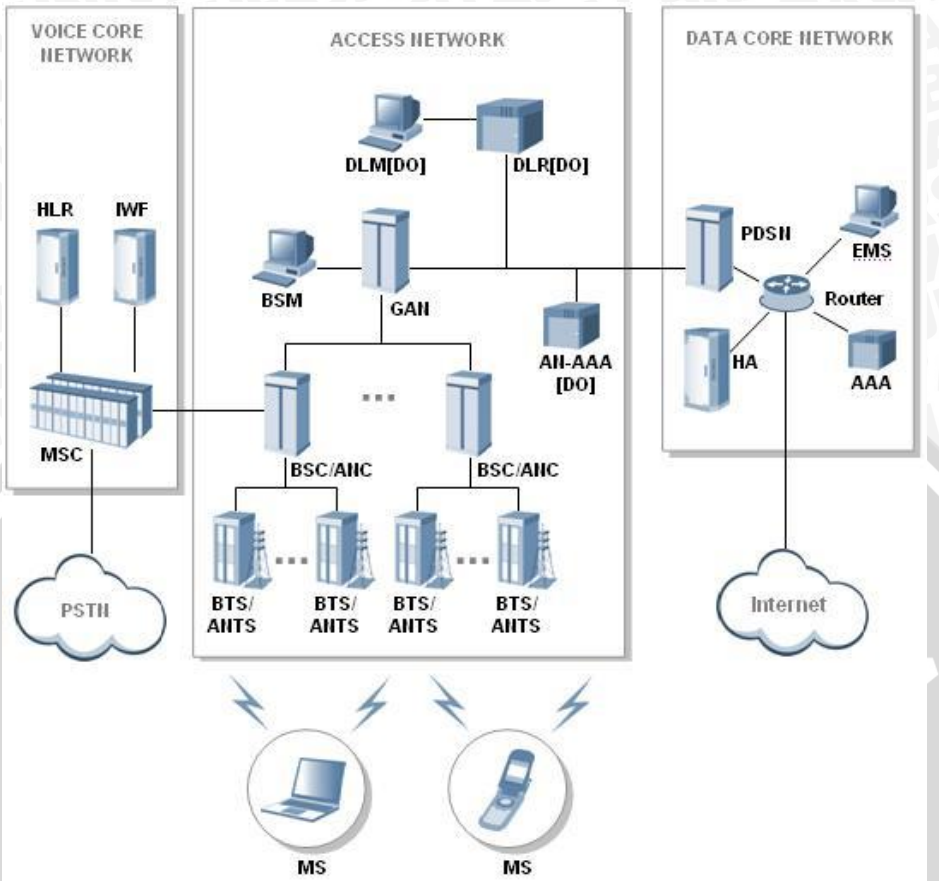
2.2.16 *Home Location Register (HLR)*

HLR berfungsi untuk menyimpan semua data dan informasi pelanggan yang tersimpan secara permanen dan tidak bergantung pada posisi pelanggan. HLR bertindak sebagai pusat informasi pelanggan yang setiap waktu dapat diakses jika diperlukan.

2.2.17 *Interworking Function (IWF)*

IWF menyediakan pelanggan *Mobile* dengan jalur layanan data komunikasi seperti *facsimile* dan modem komunikasi, dan memiliki modem pool.

Sekali IWF menerima sebuah request untuk jalur layanan data dari sebuah *Mobile* pelanggan atau *Public Switched Telephone Network(PSTN),* IWF mengalokasikan sumber daya dari modem pool untuk menyediakan layanan.
Konfigurasi jaringan CDMA2000 ditunjukkan dibawah:



Gambar 2.4. Arsitektur Jaringan CDMA

2.3 EVOLUSI TEKNOLOGI CDMA

2.3.1 CDMAOne

CDMAOne merupakan nama yang digunakan CDG sebagai teknologi seluler yang berbasis pada standar IS95.IS-95 distandarisasi oleh Telecommunication Industry Association (TIA) dan EAI Electronic Industries Association (EAI) pada bulan Juli 1993.Pada tahun 1995, IS-95A dipublikasikan dan merupakan standar 2G CDMA yang banyak digunakan saat ini. Jaringan IS 95 menggunakan lebar pita kelipatan 1.25 MHz dan beroperasi pada frekuensi 800 dan 1900 MHz CDMAOne dapat melayani hingga pada kecepatan (data rates) 14.4 kbps.

2.3.2 CDMA2000

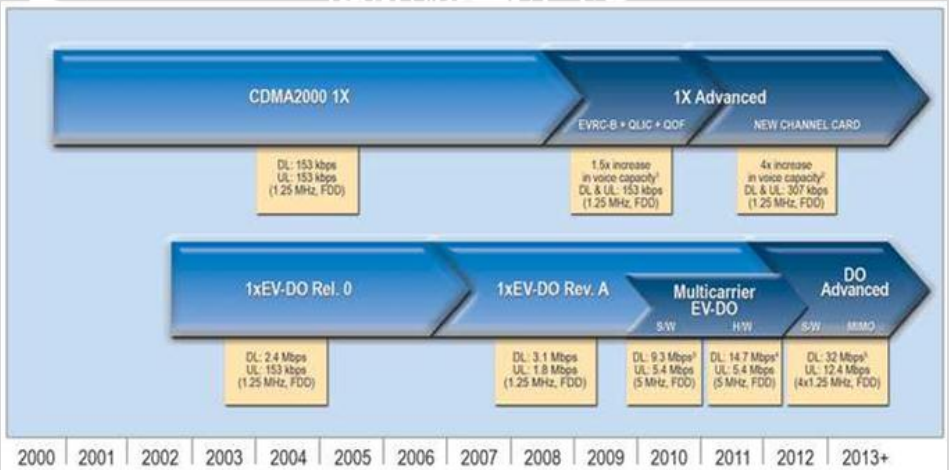
Pengembangan dari *CDMAOne* adalah CDMA2000 yang diadopsi ITU-T

sebagai salah satu teknologi 3G dalam payung standar IMT-2000 dengan nama CDMA Multi-Carrier (MC). Teknologi ini pertama kali di-launch komersial tahun 2000 di Korea selatan.

Generasi awal CDMA2000 adalah CDMA2000 1x yang menggunakan 1.25 MHz. CDMA2000 pada awalnya mendukung *mode single-carrier (1x)* dan *multi-carrier* (3x),tetapi *multi-carrier* tidak pernah dikembangkan dan digunakan sampai pada *standard* CDMA Rev.B.

2.3.3 CDMA 1x EVDO

Pengembangan selanjutnya CDMA2000 adalah lahirnya CDMA 1xEV-DO Rev.0. EVDO adalah singkatan dari *Evolution Data Optimized* atau *Evolution Data Only*. *Peak datarate* EV-DO sampai pada 2.4 Mbps pada penggunaan Lebar pita 1.25 Mz. Pada Okteber 2006, di-launch CDMA 1x EVDO Revision A



Gambar 2.5. Evolusi CDMA2000 Hingga UMB

2.3.4 Perkembangan CDMA 1xEVDO

Selain CDMA secara umum, CDMA 2000 1X EVDO juga mengalami perkembangan. Diantaranya adalah sebagai berikut :

2.3.4.1 CDMA 1xEVDO Rev.0

CDMA 1xEV-Do Rev.0 adalah sebuah peningkatan dengan meletakkan suara dan data pada kanal yang terpisah guna menyediakan pengiriman data pada kecepatan 2.4 Mbit/s. Pada Revisi 0 kecepatan *downlink* 2.4 Mbps dan *uplink* 153 kbps, sedangkan CDMA2000 1x kecepatan *donwlink* dan *uplink* hanya 153 kbps.

Arsitektur Pada 1x EVDO Rev.0 terdapat BTS paket – paket yang sudah dibagi, untuk suara, paket dilanjutkan ke BTS, kemudian ke BSC, terus ke MSC dan selanjutnya *circuit core* dan ke PSTN. Untuk data, dari Radio *node* ke RNC, kemudian ke PSDN, masuk ke paket *core* dan selanjutnya ke PDSN.

2.3.4.2 Perangkat Jaringan CDMA 1xEVDO Rev.0

Beberapa perangkat jaringan CDMA 2000 1xEV-DO Rev.0 adalah :

1. *Acces Terminal* (AT), merupakan alat penghubung komunikasi data ke *user*.
2. *Base Transceiver Station* (BTS), yang bertanggung jawab mengalokasikan frekuensi dan daya serta kode *walsh* yang akan digunakan pelanggan.
3. *Radio Node*, seperti BTS yang digunakan pada komunikasi data.
4. *Base Station Controller* (BSC), yang bertanggung jawab untuk mengontrol semua BTS yang berada pada daerah cakupan serta mengatur rute paket data dari BTS ke PDSN serta mengatur trafik komunikas BTS-MSC.
5. *Radio network control* (RNC), yang bertanggung jawab untuk mengontrol *radio node* yang berada pada daerah cakupannya.
6. *Mobile Switching Centre*, merupakan pusat koordinasi dari semua *cell site* yang ada dan berfungsi sebagai perangkat penyambung utama.
7. *Paket Data Service Network* (PDSN), mendukung layanan paket data.

2.3.4.3 CDMA 1x EVDO *Revision* A

CDMA2000 1x EV-DO Rev.A merupakan evolusi dari CDMA2000 1x EV-DO Rev.0 yang telah distandarkan oleh *Third Generation Partnership Project 2 (3GPP2)*. Keduanya sama-sama dapat mendukung layanan *wireless packet data* dengan cepat. Akan tetapi pada CDMA2000 1x EV-DO Rev.A dapat mendukung layanan data dan suara dengan baik, sedangkan pada CDMA2000 1x EV-DO Rev.0 hanya mendukung untuk layanan data. *Radio Access Network (RAN)* pada CDMA2000 1x EV-DO Rev.A lebih cepat dibandingkan CDMA2000 1x EV-DO Rev.0. Pada CDMA2000 1x EV-DO Rev.A, PDSN dibagi menjadi 2 bagian, yaitu untuk paket suara diteruskan *paket core* dan selanjutnya melewati media *gateway* dan masuk ke PSTN. Sedangkan untuk paket data**,** paket dilanjutkan ke *Paket Data Service Network*. Pada 1x EVDO Rev.0 pada BTS paket – paket sudah

dibagi, untuk suara, paket dilanjutkan ke BTS, kemudian ke BSC, terus ke MSC dan selanjutnya *circuit core* dan ke PSTN. Untuk data, dari *Radio node* ke RNC, kemudian ke PSDN, masuk ke *packet core* dan selanjutnya ke PDSN. Dilihat dari arsitektur tersebut 1x EVDO Rev.A lebih singkat arsitekturnya dan tentunya akan lebih sederhana.

2.3.4.3.1 Perangkat Jaringan CDMA 1xEVDO Rev.A

Perangkat jaringan pada CDMA 1x EVDO *Revision A* pada dasarnya sama dengan perangkat jaringan CDMA 1x EVDO *Revision 0*, yaitu terdiri dari *Acces Terminal* (AT), *Base Transceiver Station* (BTS), *Radio Node*, *Base Station Controller* (BSC), *Radio network control* (RNC), *Mobile Switching Centre* (MSC), *Paket Data Service Network* (PDSN).

2.3.4.4 CDMA 1x EVDO Revision B

CDMA 1xEV-DO *Revision B* atau CDMA2000 3x mengunakan 3.75 MHz. Teknologi ini dibuat dengan menggunakan arsitektur All-IP seperti halnya IMS. CDMA 1xEV-DO *Revision B* dipublikasikan dalam dokumen 3GPP2 C.S0024-B dan TIA/EIA/IS856-B.

EVDO Rev B merupakan pengembangan dari jaringan EVDO Rev A yang menawarkan kecepatan maksimum 9.3 Mbps untuk mengunduh data (*download*) dan 5.4 Mbps untuk mengunggah (*upload*). Tidak seperti Evdo Rev A yang hanya mengijinkan penggunaan satu *carrier*, pada Evdo Rev.B mengijinkan lalu lintas untuk memakai lebih dari satu *carrier*. Sehingga ini dapat meningkatkan transaksi data.

Berikut perbandingan penggunaan *carrier* pada Evdo Rev A dan Evdo Rev B, serta kecepatan yang di hasilkan.

Tabel 2.1. Perbandingan EVDO Rev A dan Rev B

Radio Access Network	*Required Spectrum*	*Peak Forward Link Troughput*	*Peak Reverse Link Troughput*
EVDO Rev.A (One Carrier)	1.25 MHz	3.1 Mbps	1.8 Mbps
EVDO Rev.B	2.50 MHz	6.2 Mbps	3.6 Mbps

(Two Carriers)			
EVDO Rev.B (Three Carriers)	3.75 MHz	9.3 Mbps	5.4 Mbps

2.3.4.4.1 *Upgrade* Pada EVDO Rev.B

Untuk mengubah Evdo Rev.A ke dalam Evdo Rev.B ada beberapa yang perlu di *upgrade*, diantaranya adalah sebagai berikut :

Tabel. 2.2. *Upgrade* pada Evdo Rev B

Terminal	Fully backward compatible with Release 0 and Rev A handsets - new Rev B handsets
BTS	Same cell sites, link budgets Software upgrade of Rev A channel cards
RNC	Software upgrade of RNC
PDSN	Same platform, same software
MMD/IMS	Same platform

2.4 *DRIVETEST*

Drivetest adalah pengukuran yang dilakukan untuk mengamati dan melakukan optimasi agar dihasilkan kriteria performansi jaringan. Yang diamati biasanya kuat daya pancar dan daya terima, tingkat kegagalan akses (*originating* dan *terminating*), tingkat panggilan yang gagal *(drop call)* serta PER.

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi mengalami sebuah percepatan yang luar biasa. Saat ini dunia teknologi terutama bidang Teknologi Informasi dan telekomunikasi merupakan salah satu bidang yang mengalami perkembangan paling pesat, karena memang hampir seluruh segi kehidupan

manusia bisa diterapkan teknologi tersebut di dalamnya. Hal ini mendorong berkermbangnya berbagai metode dalam merancang jaringan telekomunikasi khususnya komunikasi nirkabel yang bersifat *mobile*.

2.4.1 Parameter *Drivetest*

2.4.1.1 RX *Power*

Menunjukkan level daya yang diterima oleh MS terhadap daya pemancar BTS pada daerah tertentu.

Terdapat beberapa faktor yang dapat menyebabkan perbedaan nilai RX *power* pada suatu system komunikasi seluler khususnya system komunikasi CMDA. *Propagation loss* merupakan salah satu faktor tersebut. *Propagation loss* mencakup semua pelemahan yang diperkirakan akan dialami gelombang elektromagnetik ketika merambat dari BTS ke MS *(Mobile Station)*. Adanya pemantulan dari beberapa objek dan pergerakan MS *(Mobile Station)* dapat menyebabkan kuat sinyal yang diterima oleh MS *(Mobile Station)* bervariasi dan kuat sinyal yang diterima MS *(Mobile Station)* tersebut mengalami path loss. *Path loss* merupakan pengurangan level daya karena merambat melalui sebuah media transmisi. *Path loss* akan membatasi kinerja sistem komunikasi seluler.

Faktor lain yang dapat mempengaruhi nilai Rx Power yaitu penerima demodulasi, akurasi dari kontrol daya, dan daya interferensi dari pengguna lain yang ada pada sel yang sama maupun pada sel tetangga. Dalam sistem komunikasi digital perbandingan *energy per bit per noise Power density* difungsikan dengan Eb/No. Fungsi Eb/No digunakan untuk menyebut probabilitas bit error. Fungsi Eb/No mempunyai hubungan dengan *signal-to-noise ratio* (SNR) dengan menganggap energi per bit sama dengan rata-rata daya modulasi sinyal yang dialokasikan pada setiap durasi bit.

Persamaan tersebut mengelompokkan energi per bit E_b/N_0 menjadi 2 faktor, yaitu *S/N* dan perbandingan dari bandwidth yang ditransmisikan W dengan bit rate R. Perbandingan *W/R* juga dikenal dengan *gain processing*.

Dengan mempertimbangkan bahwa kapasitas *reverse-link* pada CDMA selalu dilakukan pembatasan dan diasumsikan bahwa daya yang ditransmisikan

pada semua MS pengguna (yang dikontrol oleh penerima di BTS) sama dengan semua daya yang diterima oleh MS *(Mobile Station)* pengguna.

Untuk menguraikan total rugi – rugi (losses) dan penguatan (gain) yang diterima oleh MS *(Mobile Station)* dapat ditentukan dengan nilai power link budget. Link budget dapat didefinisikan sebagai maksimum path loss dan radius sel maksimum. Parameter yang digunakan pada power revers link budget yaitu (Sumber : Melvi Ulvan, 2006) :

- Maximum Transmitter Power; daya pancar maksimum MS yaitu daya keluaran dari terminal pelanggan. Daya maksimum MS adalah 25 dBm.
- Cable, Connector Losses; Merupakan rugi-rugi yang terjadi pada kabel dan konektor. Dalam MS tidak terdapat kabel maka rugi-rugi ini diasumsikan dengan 0 dBi.
- Transmitter Antenna Gain; adalah besar penguatan (dalam dBi) antena terminal pelanggan. Besar penguatan pada antena MS tipikalnya adalah 0 dBi.
- Total Transmitter EIRP (Effective Isotropic Radiated Power); adalah penjumlahan dari transmitter power dikurangi oleh rugi-rugi kabel kemudian ditambah antenna gain.
- Body Loss; adalah rugi-rugi akibat interaksi sinyal dengan tubuh pelanggan. Besarnya bervariasi anara 2 sampai 6 dB. Biasanya parameter ini diasumsikan sama dengan 3 dB.
- Penetration loss; adalah rugi-rugi dari redaman oleh bangunan, badan kendaraan dan lain-lain. Besarnya rugi-rugi ini berdasarkan daerah cakupan.
- Receiver Antenna Gain; adalah besar penguatan (dalam dBi) antena penerima base station. Besarnya penguatan bervariasi tergantung jenis antena yang digunakan.
- Cabel, Connector and Combiner Losses; Adalah besarnya rugi-rugi untuk kabel, konektor dan combiner pada base station. Besarnya rugi-rugi berkisar antara 3 – 5 dB.
- Thermal Noise Density; adalah besar noise alami. Besarnya thermal noise density ini berdasarkan persamaan: N = 10 log kTB dBm/Hz dimana k =

konstanta Boltzmann = 1,380658 × 10-23 , T = temperatur dalam Kelvin, dengan asumsi T = 290o K, B = bandwidth data, 9600 Hz.

- Receiver Noise Figure; adalah noise yang ditambahkan oleh rangkaian elektronik pada receiver base station. Besarnya parameter ini adalah 5 dB.
- Rise Over Thermal; Dirumuskan dengan: ROT = -10log [1-x] (3) dimana x = 0 sampai 1. Jumlah persentase dari beban. Untuk CDMA2000-1X diasumsikan mempunyai beban 75% - 80%.
- Energy per bit to interference ratio (Eb/Io); adalah perbadingan energi setiap bit dengan interferensi. Menunjukkan kualitas sinyal yang diterima pada base station. Dalam perencanaan besarnya Eb/Io ditentukan yaitu sekitar 4 – 6 dB.
- Receiver Sensitivity; adalah sensitivitas dari receiver. Didapat dari perhitungan: Receiver sensitivity = Thermal noise + ReceivernNoise Figure + Rise Over Thermal + Required Eb/Io
- Cell Edge Reliability; pada sistem selular didefinisikan sebagai probabilitas daya sinyal yang diterima lebih besar dari yang telah dibataskan (threshold, Pth). Dalam perhitungan link budget, cell edge reliability biasanya mempunyai nilai 90%.
- Log Normal Shadow Standard Deviation; Parameter ini adalah standar deviasi untuk log normal shadow margin. Pada umumnya standar deviasi yang digunakan adalah 8 dB [6].
- Log Normal Shadow Margin; adalah rugi-rugi dari fading. Parameter ini mempunyai hubungan dengan cell edge reliability.
- Diversity Gain; adalah penguatan yang diperoleh dari penggunaan teknik diversitas. Untuk penggunaan space diversity maka mempunyai gain 3 dB.
- MAPL (Maximum Allowable Path Loss); MAPL = Total Mobile Transmitter EIRP (dBm) Receiver sensitivity (dBm) + Rx Antenna Gain(dBi) RX Cable Loss(dB) - Body Loss(dB) - Fade Margin(dB) - Building Penetration Loss(dB) + Diversity Gain.

2.4.1.1.1 Kontrol Daya

Power Kontrol atau kontrol daya meliputi kontrol daya *uplink* dan kontrol daya *downlink.* Kontrol daya *downlink* digunakan untuk memperbesar kapasitas

sistem, sedangkan *uplink* digunakan untuk mengontrol hubungan dan batas *threshold* penerimaan MS. Pada kanal *uplink* control daya yang digunakan kombinasi kontrol daya loop tertutup dan loop terbuka mendeteksi daya sinyal yang diterima dari MS.

Jika seluruh *Mobile Transmit* pada level daya yang sama, BTS akan menerima sinyal kuat dari *Mobile* yang terdekat, sedangkan yang jauh akan lemah sinyalnya. Hal ini akan mengurangi kapasitas sistem. *Problem* tersebut disebut *Near Far Effect* (Sumber : Budi Utomo, 2010).

Power control sangat penting untuk mengatur proses kerja sistem CDMA. Hal ini dikarenakan semua pengguna CDMA menggunakan pita RF yang sama menggunakan *PN code*. Oleh karena itu diperlukan suatu pengendali daya sehingga tidak ada pengguna yang mengganggu pengguna lain dikarenakan kelebihan daya.

Kontrol daya adalah teknik yang mengatur daya transmisi pada BS dan MS dengan level minimum yang diperlukan untuk performansi yang sesuai. Pada reverse link, kontrol daya digunakan untuk mengatur daya pancar MS.

Kontrol daya pada sistem seluler CDMA bergantung pada algoritma control daya, kecepatan sistem adaptif kontrol daya, jarak transmitter (BS) dengan receiver (MS), ruang distribusi user, dan kondisi propagasi.

Oleh karena banyak dipengaruhi oleh factor-faktor tersebut beserta efeknya, besarnya daya sinyal dapat ditentukan dengan distribusi log normal berdasarkan nilai standar deviasinya.

Berikut adalah kontrol daya berdasarkan nilai standar deviasinya (sumber : Nia Asianti, 2009)

:

- Kontrol Daya Sempurna (Perfect Power Control) Kontrol daya dimana MS dikontrol dengan kontrol daya sempurna sehingga setiap BS menerima daya dari setiap MS dengan level daya yang sama, dengan standar deviasi 0 dB.
- Kontrol Daya Tidak Sempurna (Imperfect Power Control) Kontrol daya dimana MS dikontrol dengan mengontrol nilai Eb/Io yang diinginkan, yaitu sesuai dengan distribusi log-normal dengan standar deviasi pada range 1-4

dB, sehingga level daya yang diterima BS sesuai dengan level daya yang diinginkan.

- Tanpa Kontrol Daya (*Without Power Control*) Daya pada MS tidak dikontrol, sehingga setiap BS menerima daya dari setiap pengguna/MS dengan level daya yang jauh berbeda, dengan standar deviasi lebih dari 4 dB

2.4.1.2 Tx *Power*

Penambahan nilai daya pancar pada MS akan menyebabkan interferensi terhadap *user* lain. Sehingga *user* lain juga akan meningkatkan daya pancarnya.

2.4.1.3 Thruoghput

merupakan jumlah total kedatangan paket yang sukses yang diamati pada *destination* selama interval waktu tertentu dibagi oleh durasi *interval* waktu tersebut.

2.5 ZXPOS CNT1 CDMA

Efisiensi operasional dan keuntungan dari jaringan komunikasi bergerak akhirnya tergantung pada kualitas dan kapasitas jaringan, yang secara langsung diwujudkan dalam antarmuka antara pengguna dan operator telekomunikasi. ini harus menjadi perhatian dari optimasi jaringan. optimasi jaringan telah menjadi salah satu perhatian utama operator karena perubahan dari kondisi propagasi radio dan pengembangan kapasitas jaringan serta memperbaharui perangkat dari jaringan itu sendiri.

Satu set peralatan yang sangat dibutuhkan oleh seorang teknisi optimasi jaringan untuk mengetes, menganalisis, mendiagnosa jaringan sehingga dapat mencari dan memprediksi kualitas jaringan dan masalah kapasitas dan untuk membuat solusi optimasi jaringan atau perencanaan jaringan. *Software* analisis optimasi jaringan memegang peranan penting dalam pekerjaan ini. *Software* terebut dapat mewakili suatu jaringan dalam menjalankan status di sisi pengguna dan menggabungkan data dari berbagai sumber, termasuk sisi jaringan untuk analisis untuk lebih menemukan penyebab yang lebih dalam dari fenomena masing-masing. *Software* analisis yang bagus yaitu yang dapat menawarkan

laporan status jaringan, dan berdasarkan yang, memberikan saran pada solusi optimasi.

Kemampuan dan keandalan *software* analisis optimasi jaringan bergantung pada pemahaman yang mendalam mengenai jaringan oleh pengembang *software*. Karakter dasar jaringan untuk berkembang secara terus-menerus dan dinamis memerlukan pengembang perangkat lunak untuk mengikuti dengan teknologi dan perubahan pasar dan menyediakan pengguna dengan layanan tepat waktu.

Dalam konteks produk nirkabel, ZTE telah membentuk solusi jaringan secara keseluruhan yang mencakup bidang-bidang teknis seperti cdma, GSM, WCDMA, TD-SCDMA dan Wimax. ZTE telah memiliki komunikasi lini produk lengkap *mobile* peralatan sistem.

ZTE memberikan produk komunikasi nirkabel dengan kualitas tinggi dan perencanaan jaringan *wireless* dan layanan optimalisasi.

ZXPOS mengintegrasikan perencanaan jaringan dengan *Software* simulasi, dan *Software drivetest* dengan perangkatnya, analisis data *wireless* dengan sistem analisis yang handal. menggunakan struktur terbuka untuk mendukung sistem multi-teknologi dan perangkat dari vendor lainnya.

ZXPOS CNT1 adalah *Software* pengujian untuk jaringan 2G/2.5G/3G/4G. dengan mengumpulkan, menampilkan dan merekam berbagai data dari BTS dan MS *(Mobile Station)* untuk mengetahui permasalahan RF dengan cepat. dengan terhubung dengan *scanner*, CNT1 mendukung PN *scanning*, kanal *power*, *spectrum and CW power measurement*, and Ec/Io, *delay propagasi*, *finger*, dan *walsh code power analysis*.

2.6 Teknologi *Video Streaming*

2.6.1 *CODEC (Coder/Decoder)*

Codec adalah singkatan dari *Coder-Decoder* (sebagian menyebutnya *Compressor-Decompressor*) dan digunakan untuk menjelaskan segala sesuatu yang mengubah data kedalam bentuk lain untuk disimpan atau transimisi, dan mengubahnya kembali agar dapat digunakan.

Dalam komputer, *codec* adalah cara mengkompres video, gambar dan audio kedalam ukuran yang mudah diatur. Kebanyakan *codec* menggunakan

metode kompresi "*lossy*", namun ada beberapa yang "*lossless*". *Codec* menghasilkan kembali video yang asli tanpa ada data yang hilang ketika dikodifikasi kembali. Kebanyakan *codec lossy* menghilangkan beberapa informasi yang tidak perlu tapi dapat menghemat *space*.

Codec lossy dapat berupa transformatif, prediktif, atau gabungan dari keduanya. *Codec* transformatif memotong gambar atau suara asli dan menggabungkannya dalam *space* yang lebih efesien, kemudian baru dikodifikasi. *Codec* yang prediktif membandingkan sekumpulan data yang dekat satu sama lainnya, dan menghapus informasi yang berlebihan untuk menghemat ukuaran file. Ada banyak bentuk *codec*, setiap *codec* berupaya untuk menjaga kseseimbangan antara data yang hilang dengan ukuran data.

Format atau *"container format"* dipakai untuk menyatukan video dan audio, juga untuk metadata dan *subtitle*. .mp4, .mov, .wmv dan sebaginya adalah *container* format yang menyatukan audio dan video. Contohnya .mp4 bisa dipakai dengan *codec* audio mp3 dengan *codec* video h264 atau *container* .avi bisa memakai aac audio dengan codec video xvid.

Standar MPEG ditentukan oleh *Motion Picture Experts Group*, merupakan sebuah aturan di mana format dan *codec video* harus didesain dengan standar tersebut. Standarisasi ini dibuat agar pabrik dan pembuat *software* bisa menyesuaikan *Software* atau *microchip* dengan jenis-jenis video dan audio.

Contohnya MPG1 dipakai untuk VCD, MPEG2 dipakai untuk DVD. Sebuah *Codec* MPEG4 yang baru dengan H.264 akan menjadi standar dalam pemakaian generasi berikut dari HD-DVD dan *codec* serta format lainnya.

Tabel. 2.3. Jenis CODEC Video dan Audio

Audio CODEC	**Bit Rate (kbps)**	**Maximum Payload (Byte)**	**Delay CODEC (ms)**
AMR-WB	6.6 – 23.85	35	10 – 20
AMR-WB+	5.2 - 48	46	20 – 40
HE-AAC v2	128 - 320	80	40 - 80
Video CODEC	**Bit Rate (kbps)**	**Maximum Payload (Byte)**	**Delay CODEC (ms)**
H.264/AVC	64 - 384	254	150 – 300

(**Sumber :** RFC 4352, 2006 dan RFC 3984, 2005)

2.6.2 H.264

H.264/AVC adalah standar terbaru *codec* yang berorientasi pada gerak-kompensasi. Standar codec ini dikembangkan oleh ITU-T *Video Coding Expert Group* (VCEG) bersama-sama dengan ISO / IEC *Moving Picture Expert Group* (MPEG), dan merupakan upaya kemitraan yang dikenal sebagai *Joint Video Team* (JVT). Standar H.264 ITU-T dan standar ISO / IEC MPEG-4 AVC (resmi, ISO / IEC 14496-10 - MPEG-4 Bagian 10, *Advanced Video Coding*) dikembangkan bersama-sama sehingga mereka memiliki konten teknis yang identik. H.264 digunakan dalam aplikasi seperti *Blu-ray Disc*, video dari *YouTube* dan *iTunes Store*, DVB *broadcast*, siaran langsung-layanan televisi satelit, layanan televisi kabel, dan *real-time video conference*.

Tujuan dari standar H.264/AVC adalah mampu memberikan kualitas video yang bagus harga sedikit lebih rendah daripada standar sebelumnya (misalnya setengah atau kurang laju bit MPEG-2 H.263, atau MPEG-4 Bagian 2), tanpa meningkatkan kompleksitas desain begitu banyak sehingga akan menjadi tidak praktis atau terlalu mahal untuk diterapkan.

Nama H.264 mengikuti konvensi penamaan ITU-T , di mana standar adalah anggota dari standar H.26x VCEG video *coding*; MPEG-4 AVC nama berkaitan dengan konvensi penamaan dalam ISO / IEC MPEG, dimana standar adalah bagian 10 dari ISO / IEC 14496, yang merupakan standar yang dikenal sebagai MPEG-4.

Format video H.264 memiliki berbagai aplikasi yang sangat luas yang mencakup segala bentuk kompresi video digital dari aplikasi bit tingkat rendah *streaming internet*, untuk menyiarkan HDTV dan aplikasi Digital Cinema. Dengan menggunakan H.264, menyimpan *bit rate* sebesar 50% atau lebih. Kualitas TV satelit digital, dapat dicapai sebesar 1.5 Mbit/s, dibandingkan dengan titik operasi saat video MPEG-2 di sekitar 3.5 Mbit/s. Untuk memastikan kompatibilitas dan adopsi yang bebas masalah, banyak badan standar telah merubah atau menanmbahkan H.264/AVC ke *standar-video* mereka sehingga pengguna dapat menggunakan H.264/AVC.

Digital Video Broadcast proyek (DVB) menyetujui penggunaan H.264/AVC untuk televisi siaran pada akhir 2004.

Badan standar Komite Sistem Televisi (ATSC) di Amerika Serikat menyetujui penggunaan H.264/AVC untuk televisi disiarkan pada bulan Juli 2008, meskipun standar itu belum dipakai untuk menyiarkan ATSC tetap di Amerika Serikat.

2.7 QOS

Tren saat ini untuk para *network designer* adalah membangun jaringan *multiservice* yang membawa trafik suara, data dan video, melewati arsitektur jaringan berbasis paket yang menyebabkan kebutuhan akan *bandwith* semakin meningkat.

Istilah QoS mengacu kepada kemampuan dari jaringan untuk menyediakan layanan yang lebih baik kepada trafik jaringan tertentu. Secara umum, QoS menyediakan layanan jaringan yang lebih baik dengan mendukung bandwidth yang terdedikasi, memperbaiki karakteristik *loss*, menghindari dan mengatur kongesti pada jaringan serta mengatur prioritas trafik yang melewati jaringan (Cisco Interactive, 2000: np).

Tujuan dari *QoS* adalah untuk memenuhi kebutuhan-kebutuhan layanan yang berbeda, yang menggunakan infrastruktur yang sama. *QoS* menawarkan kemampuan untuk mendefinisikan atribut-atribut layanan yang disediakan, baik secara *kualitatif* maupun *kuantitatif*.

2.7.1 Probabilitas *Packet Loss*

2.7.1.1 Probabilitas *Paket Loss* Pada *Server*

Protokol UDP/RTP/Ipv4 sendiri tidak dapat memberikan jaminan bahwa paket akan dikirimkan semua sesuai dengan permintaan.

Packet loss yang terjadi pada *server* di *layer transport* dan *layer network* dapat dihitung dengan persamaan:

$$\rho_{vs} = \text{Pvs-size} \times \rho_b \qquad (2.1)$$

Keterangan:

ρ_{vs} : Probabilitas *packet loss* pada server

Pvs-size : Panjang *packet* data *video streaming (byte)*

ρ_b : BER (10^{-8})

2.7.1.2 Probabilitas *Packet Loss* Pada Jaringan

Probabilitas *packet loss* merupakan banyaknya kemungkinan paket yang diterima mengalami kesalahan pada sisi penerima. Probabilitas *packet loss video streaming* pada suatu jaringan ditentukan berdasarkan pada probabilitas *packet loss* pada jaringan tersebut serta probabilitas *packet loss video streaming* yang berbasis protokol UDP/RTP/IP ditunjukkan pada persamaan. (Pritchard, et.al., 1993:339).

$$\rho_{total} = 1 - [(1- \rho_{network})\,(1- \rho_{RTP/UDP/Ipv4/option})] \qquad (2.2)$$

Keterangan :

ρ_{total} : probabilitas *packet loss* total

$\rho_{network}$: probabilitas *packet loss* pada EVDO

$\rho_{RTP/UDP/Ipv4/option}$: probabilitas *packet loss video streaming*

Probabilitas *packet loss* pada jaringan EVDO ditentukan dengan probabilitas *bit error* pada modulasi 16-QAM.

2.7.2 *Round Trip Delay* atau *Round Trip Time (RTT)*

Round Trip Time adalah total waktu mulai *packet* dikirimkan dari sebuah *Node A* ke tujuan *Node B* sampai ada respon dan mengirim balik ke *Node A*. Dengan kata lain *Round Trip Time* adalah, satu jalur *delay* dari *Node A ke Node B* dan dari *Node B* ke *Node A*.

Nilai RTT yang besar dapat menyebabkan masalah pada *Transmission Control Protocol (TCP)* dan *protocol transport* lain berbasis *windows. Round Trip Time* berpengaruh pada *throughput* yang diterima.

2.7.2.1 *Delay End to End* Aplikasi *Video Streaming*

Delay End to End Aplikasi *Video Streaming* merupakan jumlah *delay codec* aplikasi *video streaming* dengan *delay* jaringan dimana aplikasi tersebut berjalan. Delay CODEC aplikasi *video streaming* terdiri dari *delay codec audio* dan *video* untuk menghasilkan satu paket *video streaming*. Besarnya *delay* CODEC aplikasi *video streaming* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$t_{CODEC} = t_a + t_v \quad (2.3)$$

Keterangan :

t_{CODEC} : *delay CODEC* aplikasi *video streaming* (detik)

t_a : *delay CODEC audio* (detik)

t_v : *delay CODEC video* (detik)

Sehingga total *delay end to end* penerapan aplikasi *video streaming* pada jaringan EVDO Rev. B menggunakan Ipv4 dapat dihitung dengan persamaan:

$$t_{end\text{-}to\text{-}end} = t_{CODEC} + t_{net} \quad (2.4)$$

Keterangan :

t_{total} : *delay end to end* untuk aplikasi *video streaming* (detik)

t_{net} : *delay* jaringan EVDO (detik)

2.7.2.2 *Delay Enkapsulasi* dan *Delay Dekapsulasi*

Enkapsulasi merupakan proses penambahan *header* pada paket data sehingga paket tersebut dapat sampai tujuan. *Delay* enkapsulasi adalah waktu yang dibutuhkan untuk menambahkan keseluruhan *header* pada sebuah paket yang akan dikirimmkan yang berbasis IP (*Internet Protokol*).

Bila *node* sumber ingin mengirimkan paket ke *node* tujuan, maka proses yang terjadi adalah data aplikasi dikirimkan ke *transport layer* dengan protokol IP kemudian dienkapsulasi menjadi segmen IP.

Data yang melewati *transport layer* akan mengalami penambahan *header* RTP, sehingga dapat dihitung dengan persamaan:

$W_{message} = W_{data} + header_{RTP}$ (2.5)

Keterangan :

$W_{message}$: panjang pesan yang dikirimkan (*byte*)

W_{data} : panjang data yang dikirimkan (*byte*)

$header_{RTP}$:panjang *header* RTP (12 *byte*)

Dari *application layer*, *segment* diteruskan ke *transport layer* dengan menambahkan *header* UDP yang bersifat real time. Jika panjang *message* melebihi MSS UDP, maka akan difragmentasi dengan persamaan:

$N_{segmen} = W_{message}/MSS_{UDP}$ (2.6)

Keterangan :

N_{segmen} : Jumlah segmen UDP

MSS_{UDP} : *Maximum* segmen *size* UDP (1460 *byte*)

Maka panjang *frame* segmen diperoleh dengan persamaan :

$W_{segmen1} = MSS_{UDP} + header_{UDP}$ (2.7)

Keterangan :

$W_{segmen1}$: panjang segmen UDP (byte)

Maka total segmen menjadi:

$W_{segmen} = N_{segmen} + W_{segmen1}$

Dari *transport layer*, data menuju *network layer*, yaitu diubah menjadi *datagram* dengan dengan penambahan *header* IP, dengan persamaan:

$W_{datagram} = W_{segmen} + header_{IPV4}$ (2.8)

Keterangan :

$W_{datagram}$: panjang datagram IP (*byte*)

W_{segmen} : panjang segmen UDP (*byte*)

$header_{IPV4}$: panjang header Ipv4 (20 *byte*)

Dari *network layer*, datagram dikirimkan ke data *link layer*. Di *data link layer*, datagram IP dienkapsulasi menjadi *frame ethernet* yang memiliki nilai MTU (*Maximum Transmission Unit*) sebesar 1500 *byte*. Bila panjang datagram total melebihi MTU *ethernet*, maka akan difragmantasi dengan persamaan:

$N_{frame} = W_{datagram}/MTU_{ethernet}$ (2.9)

Keterangan:

N_{frame} : Jumlah *frame ethernet*

$MTU_{ethernet}$: MTU *ethernet* (1500 *byte*)

Setelah difragmentasi, *frame* tersebut dienkapsulasi dengan persamaan :

$$W_{frame} = W_{datagram} + header_{ethernet} \quad (2.10)$$

Keterangan:

W_{frame} : Panjang *frame ethernet (byte)*

$header_{ethernet}$: Panjang *header ethernet* (18 *byte*)

Jumlah *frame ethernet* yang dikirimkan dari sumber adalah:

$$W_{frame\ total} = W_{frame} + header_{MAC} + CRC \quad (2.11)$$

Keterangan :

$W_{frame\ total}$: Panjang *total frame* setelah enkapsulasi (*byte*)

W_{frame} : Panjang *frame ethernet* (*byte*)

$header_{MAC}$: panjang *header* MAC (*byte*)

CRC : Panjang CRC (*Cyclic Redudancy Check*) (*byte*)

Maka besar *delay* enkapsulasi adalah :

$$t_{enc} = W_{frame\ total}/C_{proc} \quad (2.12)$$

Keterangan :

t_{enc} : *Delay* enkapsulasi (s)

$W_{frame\ total}$: Panjang *total frame* setelah enkapsulasi (*byte*)

C_{proc} : Kecepatan pemrosesan di *node* sumber (bps)

Sedangkan *delay* dekapsulasi adalah :

$$t_{dec} = W_{frame\ total} / C_{proc2} \quad (2.13)$$

Keterangan :

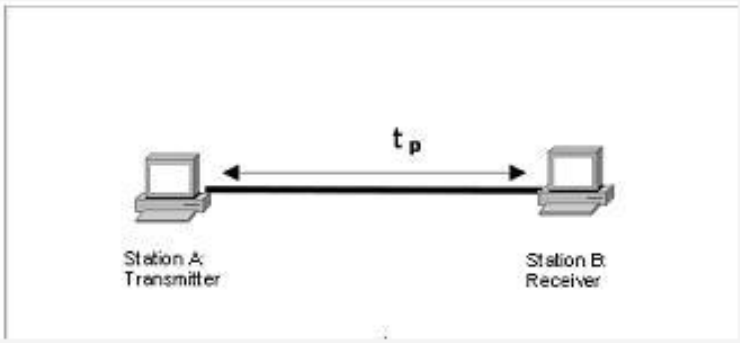
t_{dec} : *Delay* dekapsulasi (s)

$W_{frame\ total}$: Panjang total *frame* setelah enkapsulasi (*byte*)

C_{proc2} : Kecepatan pemrosesan di *node* tujuan (bps)

2.7.2.3 *Delay* Propagasi

Delay propagasi adalah waktu yang dibutuhkan untuk merambatkan paket data/informasi melalui media transmisi dari *server* ke *client*.



delay propagasi

Gambar 2.6. Proses *Delay* Propagasi

Delay propagasi tergantung antara sumber dan tujuan ataupun antara sumber dengan *hop* terdekat, dan juga dipengaruhi oleh jenis saluran yang dilewatinya. *Delay* propagasi akan menjadi masalah yang serius pada hubungan jarak jauh. Tabel di bawah menunjukkan standar dari *delay* propagasi.

Tabel. 2.4. Jenis Transmisi

Jenis Transmisi	*Delay* Maksimum Untuk *One Way*	Keterangan
Terrestrial coaxial cable atau *radio relay system* FDM dan transmisi digital	4 µs/km	Memungkinkan Untuk *Delay* di repeater dan regenerator
Optical Fibre cable system, transmisi digital	5 µs/km	
Submarine coaxial cable system	6 µs/km	
Submarine optical fibre system: ✓ Transmit Terminal ✓ *Receive* Terminal	 13 ms 10 ms	Kasus Terburuk
Satellite System: ✓ 400 km *altitude*	 12 ms	Propagasi Melalui Udara

✓ 14.000 km *altitude*	110 ms	
✓ 36.000 km *altitude*	260 ms	

Sumber : ITU-T G.114

Delay Propagasi dapat dihitung dengan persamaan (Kwang-Cheng Chen, 2008):

$$t_{prop} = \frac{D_{max}}{C} \quad (2.14)$$

Keterangan :

t_{prop} : *Delay* Propagasi (ms)

D_{max} : Jarak Maksimum Pemancar dan Penerima (m)

C : Kecepatan Cahaya ($3x10^8$ m/s)

2.7.2.4 *Delay* Transmisi

Delay switching adalah *delay* total yang diperlukan sebuah sel untuk melalui perangkat *switching*, yaitu sejak sel masuk ke *inlet switching* hingga berada di *outlet* perangkat *switching* tersebut. Kecepatannya bergantung pada kecepatan *internal switch* dan proses-proses penambahan *bit* informasi yang diperlukan.

Delay transmisi dapat dihitung dengan persamaan (Kwang-Cheng Chen , 2008):

$$t_{trans} = \frac{W_{frame\ \ total}}{n\ x\ C_{trans}}\ x\ 8\ byte \quad (2.15)$$

Keterangan :

T_{trans} : *Delay* Tansmisi (ms)

$W_{frame\ total}$: Panjang total frame yang dikirimkan (bit)

C_{trans} : Kecepatan Transmisi Kanal *Wireless*

n : Jumlah Slot tiap MS

2.7.2.5 *Delay* Paketisasi dan *Delay* Depaketisasi

Delay paketisasi adalah waktu yang dibutuhkan untuk memaketkan data dan hanya terjadi sekali pada *source* informasi. Sedangkan *delay* depaketisasi adalah waktu yang dibutuhkan oleh penerima untuk mengubah paket-paket yang

diterima menjadi data yang bisa dibaca. *Delay* paketisasi dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$t_{paketisasi} = L_{paket}/C_{trans}$ (2.16)

Keterangan:

$t_{paketisasi}$: *Delay* Paketisasi (s)

L_{paket} : Panjang Paket yang Dikirimkan (bit)

C_{trans} : Kecepatan Transmisi Kanal *Wireless* (bps)

2.7.2.6 *Delay* Antrian

Delay antrian adalah waktu yang dibutuhkan paket data selama berada dalam antrian untuk ditransmisikan. Selama waktu itu, paket data menunggu hingga paket yang lain selesai ditransmisikan. *Delay* antrian dapat dihitung menggunakan model antrian M/M/I, M pertama menunjukkan kedatangan *Poisson*, M kedua berarti distribusi waktu pelayanan eksponensial, dan I menunjukkan jumlah *server* yang akan melayani pelanggan. Disiplin antrian yang digunakan adalah FIFO (*First In First Out*).

Model antrian M/M/I dapat dengan persamaan (Kershenbaum: 1993):

Waktu Pelayanan rata-rata:

$$\bar{X} = E\{X\} = \frac{1}{\pi}$$

Momen kedua dari waktu pelayanan :

$$\overline{X^2} = E\{X^2\} = \frac{1}{\pi^2}$$

Waktu tunggu dalam antrian :

$$W = \frac{\lambda \overline{X^2}}{2(1-\rho)}$$

Faktor Utilisasi :

$$\rho = \frac{\lambda_W}{\mu} = \lambda_W \bar{X}$$

Kecepatan pelayanan pada BTS :

$$\mu = \frac{C}{L}$$

Sehingga *delay* antrian dan pelayanan dapat ditulis dengan persamaan :

$$t_W = \bar{X} + W = \frac{1}{\mu} + \frac{\lambda_W \overline{X^2}}{2(1-\rho)}$$

Sehingga menjadi :

$$t_W = \frac{1}{\mu} + \frac{\lambda_W}{\mu^2(1-\rho)} \quad (2.17)$$

Keterangan:

t_W : *Delay* antrian (ms)

X : Waktu Rata-rata Pelayanan (ms)

C : Kecepatan Transmisi *Wireless* (bps)

λ_W : Kecepatan Kedatangan (paket/s)

μ : Kecepatan pelayanan (paket/s)

ρ : Faktor Utilitas Sistem *wireless*

2.7.3 *Throughput*

Throughput yaitu kecepatan (*rate*) transfer data efektif, yang diukur dalam bps. *Troughput* merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui jumlah data yang diterima dalam keadaan baik terhadap waktu total transmisi yang dibutuhkan dari sumber data ke penerima. Pengiriman data pada jaringan Packet Switching antara 2 stasiun yang melalui beberapa lapisan protokol mempunyai batas kemampuan kapasitas yang bisa dikeluarkan oleh jaringan tersebut. Pada keadaan saturasi, yaitu dimana selalu tersedia frame yang menunggu untuk ditransmisikan, t_w (waktu total) merepresentasikan sebagai waktu transmisi rata-rata frame yang diterima dengan benar (Mischa Schwartz, 1987 : 129)

Besarnya troughput maksimum untuk jaringan dapat dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$\lambda = \frac{1}{t_w} \quad (2.18)$$

Karena nilai troughput akan berbeda – beda untuk panjang paket nilai headernya, maka untuk paket data dengan panjang data x, persamaan diatas dapat diubah menjadi :

$$\lambda = \frac{x}{t_w} \quad (2.19)$$

Keterangan:

λ : Troughput (bps)

x : Panjang paket data yang diterima (bit)

t_w : Delay total yang terjadi untuk pengiriman paket (ms)