

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)*

Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) merupakan teknologi akses nirkabel pita lebar (*Broadband Wireless Access*) yang memiliki kecepatan tinggi serta jarak jangkauan yang luas. WiMAX terbagi menjadi dua model yang masing-masing diatur oleh dua standar IEEE yang berbeda. Model pertama adalah *fixed-access* atau sambungan tetap yang menggunakan standar IEEE 802.16rev 2004 atau 802.16d. Standar ini termasuk dalam golongan layanan *fixed wireless* karena menggunakan antena yang dipasang di lokasi pelanggan. Model kedua yaitu pemanfaatan *portable* atau *mobile* yang menggunakan standar IEEE 802.16e. Standar ini khususnya diimplementasikan untuk komunikasi data pada aneka perangkat genggam, atau perangkat bergerak (*mobile*) seperti *notebook*.

WiMAX memiliki jangkauan yang jauh lebih luas, mampu mencapai 50 km dan dapat didesain bukan hanya untuk kondisi LOS (*Line of Sight*) tetapi juga dalam kondisi NLOS (*Non Line of Sight*). Pada WiMAX ditunjang juga dengan penerapan beberapa inovasi teknologi antara lain:

1. Teknologi OFDM dan sub-kanalisasi (*Sub-Channelization*)
2. Antena directional (*directional antenna*)
3. Modulasi adaptif dan teknik *error correction*
4. Pengendalian daya (*power control*)
5. Diversitas pada *transmitter* dan *receiver*

2.1.1 Standar yang digunakan pada *Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)* IEEE 802.16d

Standar yang digunakan pada WiMAX IEEE 802.16d adalah standar IEEE 802.16. Proyek 802.16 dimulai pada tahun 1998 tujuannya adalah untuk membuat *broadband wireless access* tersedia lebih luas dan lebih murah melalui standar untuk WMAN. Pandangan keseluruhan untuk 802.16 adalah tentang pengaturan *base station* yang terhubung ke jaringan publik. Masing-masing *base station* akan mendukung ratusan *subscriber station* tetap.

Standar 802.16 versi d atau biasa disebut *Fixed* WiMAX dipublikasikan pada bulan Juni 2004. Standar ini mengatur pemanfaatan di pita frekuensi 2 GHz-11 GHz. Standar IEEE 802.16 memberikan tiga spesifikasi untuk *air interface*, yaitu:

1. *Wireless MAN-SC* : menggunakan format modulasi *single carrier*
2. *Wireless MAN-OFDM* : menggunakan OFDM dengan 256 poin FFT.
3. *Wireless MAN-OFDMA* : menggunakan OFDMA dengan 2048 poin FFT.

Skema *single carrier* memiliki kompleksitas yang rendah dan digunakan untuk band frekuensi 10 GHz-66 GHz yang mensyaratkan jalur LOS. Sedangkan skema OFDM dan OFDMA diperuntukkan pada pita frekuensi kurang dari 11 GHz, dan dapat beroperasi pada kondisi NLOS. Dalam hal ini WiMAX forum memilih untuk fokus di 256 *carrier* OFDM, dengan alasan sebagai berikut:

1. *Peak to average ratio* yang lebih rendah
2. Perhitungan FFT yang lebih cepat
3. Persyaratan yang lebih ringan untuk sinkronisasi frekuensi

Beberapa hal penting standar WiMAX adalah sebagai berikut:

1. WiMAX adalah standar teknologi yang memungkinkan penyaluran akses *broadband* melalui penggunaan *wireless* sebagai alternatif kabel dan DSL.
2. Secara umum standar WiMAX terdiri atas standar 802.16d untuk pelanggan *fixed* dan *nomadic* serta standar 802.16e untuk pelanggan *portable* dan *mobile*.
3. WiMAX merupakan sistem BWA yang memiliki kemampuan *interoperability* antar perangkat yang berbeda dan dapat dioperasikan untuk kondisi LOS maupun NLOS.
4. Dalam perkembangannya teknologi WiMAX didukung oleh dua badan standarisasi dunia yaitu ETSI dan IEEE. ETSI menyebut WiMAX sebagai BWA HIPERMAN, sementara pada standar IEEE WiMAX dikenal dengan IEEE 802.16 MAN. Tabel 2.1. merupakan perbandingan antara IEEE 802.16 dan 802.16d dengan beberapa parameter yang berbeda.

2.1.2 Topologi Jaringan WiMAX

Teknologi WiMAX mempunyai beberapa topologi jaringan, yaitu *point to point*, *point to multipoint* dan *mesh network*.

- a. *Point to Point*

Point to Point adalah jaringan yang menghubungkan antara dua terminal. Antara sisi pemancar dan sisi penerima terdapat satu perangkat pemancar dan satu perangkat penerima.

b. *Point to Multipoint*

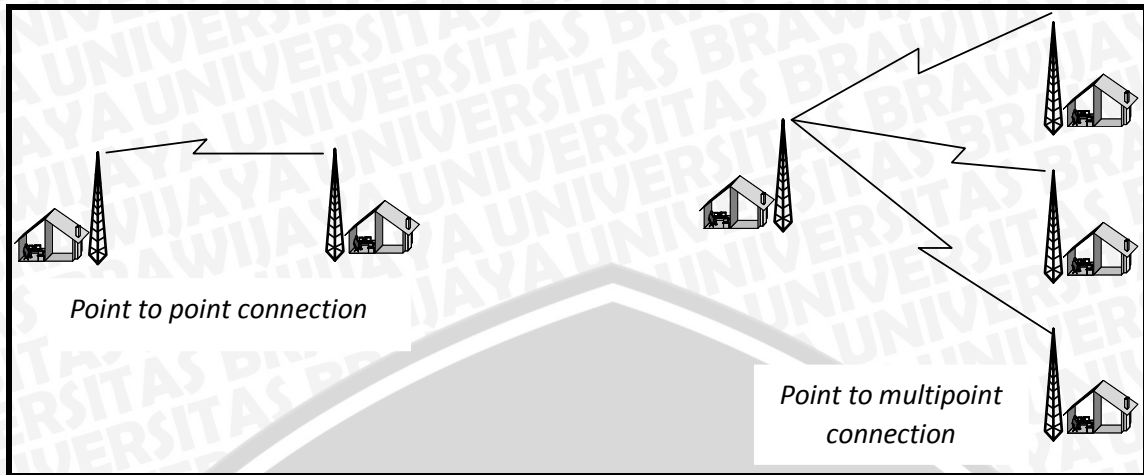
Point to Multipoint adalah jaringan yang menghubungkan antara sisi pemancar dan sisi penerima terdapat satu perangkat pemancar dan banyak perangkat penerima. Contohnya adalah hubungan antara BTS dengan pemakai.

Pada Gambar 2.1. gambar pertama menjelaskan metode *point to point* dan gambar kedua merupakan penjelasan tentang metode *point to multipoint*.

Tabel 2.1.Karakteristik dasar standar WiMAX

Parameter	802.16	802.16-2004
Status	Desember 2001	Juni 2004
Frekuensi kerja	10 GHz-66 GHz	2 GHz-11 GHz
Aplikasi	<i>Fixed</i> LOS	<i>Fixed</i> NLOS
Arsitektur MAC	<i>Point-to-multipoint, mesh</i>	<i>Point-to-multipoint, mesh</i>
Skema transmisi	<i>Single carrier</i>	<i>Single carrier</i> , 256 OFDM atau 2048 OFDM
Modulasi	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM
Laju data kotor	32 Mbps-134.4 Mbps	1 Mbps-75 Mbps
Multiplexing	<i>Burst</i> TDM/TDMA	<i>Burst</i> TDM/TDMA/OFDM
Duplexing	TDD dan FDD	TDD dan FDD
Channel Bandwidth	20 MHz, 25 MHz, 28 MHz	1.75 MHz, 3.5 MHz, 7 MHz, 14 MHz, 1.25 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 8.75 MHz

Sumber: Jeffrey G Andrews (2007: 36)

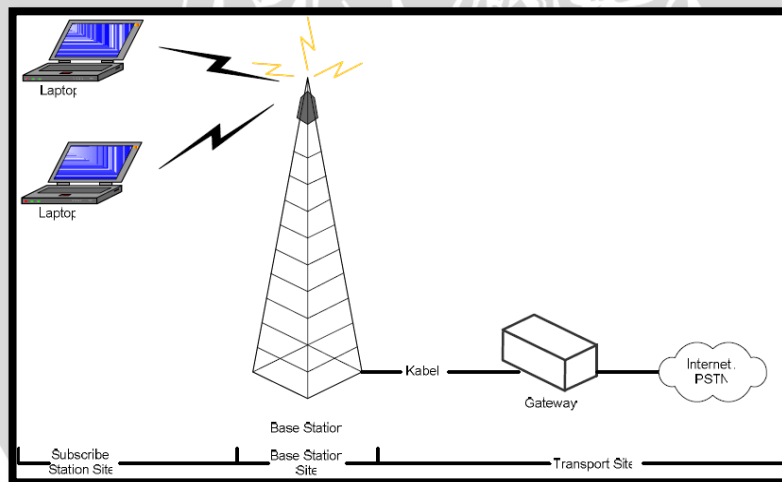


Gambar 2.1. Metode *Point to Point* dan *Point to Multipoint* pada WiMAX

(Sumber: www.wimaxforum.org/topologi)

2.1.3 Konfigurasi Jaringan WiMAX

Sistem WiMAX terdiri dari beberapa bagian, yaitu *Base Station* (BS) di sisi pusat dan *Subscriber Station* (SS) atau *Customer Premise Equipment* (CPE) di sisi pelanggan. Konfigurasi jaringan WiMAX dapat dilihat pada Gambar 2.2.berikut:



Gambar 2.2. Konfigurasi jaringan WiMAX.

(Sumber: Wibisono, 2009)

Dalam Gambar 2.2.digambarkan bahwa konfigurasi WiMAX terdiri dari:

- *subscriber station* (SS) site: bagian ini terdiri dari *Customer Premise Equipment* (CPE) atau dapat berupa laptop. Bagian ini berfungsi sebagai peralatan yang digunakan oleh user/pengguna.

- *base station (BS) site*: bagian ini terdiri dari *base station (BS)*. Bagian ini berfungsi untuk menghubungkan *subscriber station (SS) site* dengan *transport site*.
- *transport site* (bagian *backend*): bagian ini terdiri dari jaringan *internet/PSTN*. Bagian ini berfungsi untuk menghubungkan *base station* dengan *internet*.

2.2 Arsitektur WiMAX

2.2.1 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

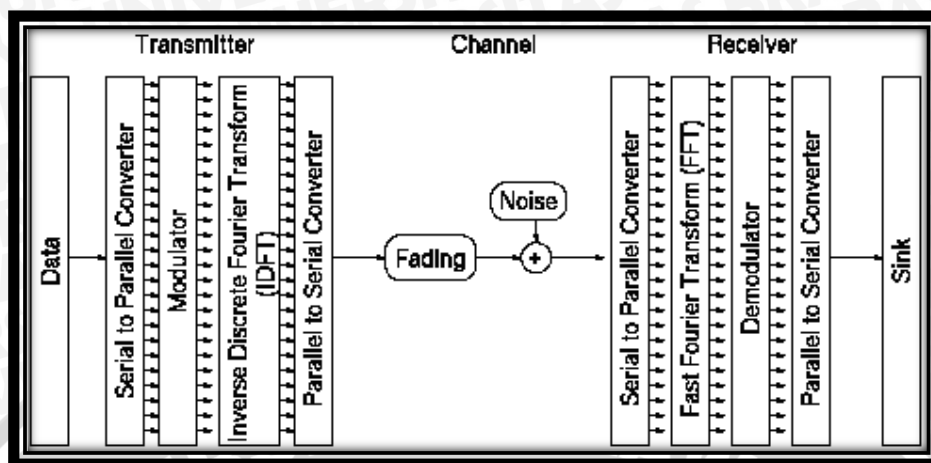
Teknik *multiplexing* digunakan untuk mengefisienkan proses penransmisian data. Salah satu teknik *multiplexing* adalah FDM (*Frequency Division Multiplexing*) yang menggunakan frekuensi sebagai parameter yang di-*multiplex*-kan.

OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) merupakan sebuah teknik transmisi yang menggunakan beberapa buah frekuensi (*muticarrier*) yang saling tegak lurus (*orthogonal*). Prinsip kerja OFDM adalah deretan data informasi yang akan dikirim dikonversikan ke dalam bentuk paralel, sehingga bila *bit rate* semula adalah R , maka *bit rate* di tiap-tiap jalur paralel adalah R/M dimana M adalah jumlah jalur paralel (sama dengan jumlah *sub-carrier*). Setelah itu, modulasi dilakukan pada tiap-tiap *sub-carrier*. Modulasi yang sering digunakan dalam OFDM adalah BPSK, QPSK, dan QAM. Kemudian sinyal yang telah termodulasi tersebut diaplikasikan ke dalam *Inverse Discrete Fourier Transform* (IDFT), untuk pembuatan simbol OFDM. Penggunaan IDFT ini memungkinkan pengalokasian frekuensi yang saling tegak lurus. Setelah itu simbol-simbol OFDM dikonversikan lagi ke dalam bentuk serial, dan kemudian sinyal dikirim.

Sinyal *carrier* dari OFDM merupakan penjumlahan dari banyaknya *sub-carriers* yang *orthogonal*, dengan data *baseband* pada masing-masing *sub-carriers* dimodulasikan secara bebas menggunakan teknik modulasi QAM atau PSK. Pada stasiun penerima, dilakukan operasi yang berkebalikan dengan apa yang dilakukan di stasiun pengirim. Mulai dari konversi dari serial ke paralel, kemudian konversi sinyal paralel dengan *Fast Fourier Transform* (FFT), setelah itu demodulasi, konversi paralel ke serial, dan akhirnya kembali menjadi bentuk data informasi.

Pada OFDM, frekuensi-frekuensi *multicarrier* tersebut saling tegak lurus, yang berarti bahwa *crosstalk* di antara *sub-channels* dihilangkan dan *inter-carrier guard*

bands tidak diperlukan. Pada gambar 2.3. menjelaskan teknik umum transmisi pada OFDM.



Gambar 2.3 Gambaran umum teknik transmisi OFDM

Pada OFDM, sinyal didesain sedemikian rupa agar *orthogonal*, sehingga jika tidak ada distorsi pada jalur komunikasi yang menyebabkan ISI (*intersymbol interference*) dan ICI (*intercarrier interference*), maka setiap *subchannel* akan bisa dipisahkan stasiun penerima dengan menggunakan DFT. Solusi yang termudah adalah dengan menambah jumlah *subchannel* sehingga periode simbol menjadi lebih panjang, dan distorsi bisa diabaikan jika dibandingkan dengan periode simbol. Keunggulan OFDM adalah tingginya tingkat efisiensi dalam pemakaian frekuensi, pada OFDM cukup menggunakan FFT saja. Keuntungan yang lainnya adalah, dengan rendahnya kecepatan transmisi di tiap *subcarrier* berarti periode simbolnya menjadi lebih panjang sehingga kesensitifan sistem terhadap *delay spread* (penyebaran sinyal-sinyal yang datang terlambat) menjadi relatif berkurang.

Karakter utama yang lain dari OFDM adalah kuat menghadapi *frequency selective fading*. Dengan menggunakan teknologi OFDM, meskipun jalur komunikasi yang digunakan memiliki karakteristik *frequency selective fading* (dimana *bandwidth* dari *channel* lebih sempit daripada *bandwidth* dari transmisi sehingga mengakibatkan pelemahan daya terima secara tidak seragam pada beberapa frekuensi tertentu), tetapi tiap *sub carrier* dari sistem OFDM hanya mengalami *flat fading* (pelemahan daya terima secara seragam). Pelemahan yang disebabkan oleh *flat fading* ini lebih mudah dikendalikan, sehingga performansi dari sistem mudah untuk ditingkatkan.

Teknologi OFDM bisa mengubah *frequency selective fading* menjadi *flat fading*, karena meskipun sistem secara keseluruhan memiliki kecepatan transmisi yang sangat tinggi sehingga mempunyai *bandwidth* yang lebar, karena transmisi menggunakan *subcarrier* (frekuensi pembawa) dengan jumlah yang sangat banyak, sehingga kecepatan transmisi di tiap *subcarrier* sangat rendah dan *bandwidth* dari tiap *subcarrier* sangat sempit, lebih sempit daripada *coherence bandwidth* (lebar daripada *bandwidth* yang memiliki karakteristik yang relatif sama).

Kelemahan OFDM:

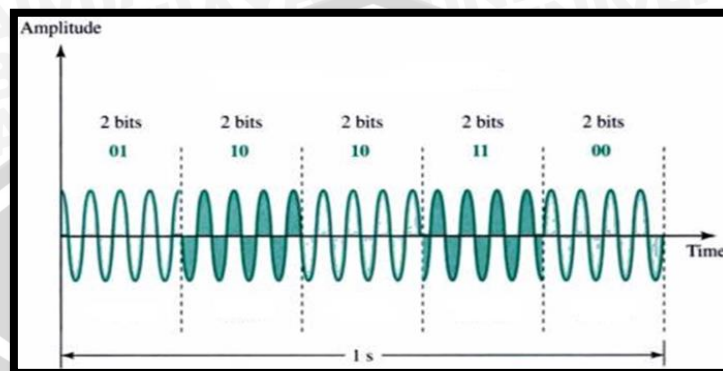
- **Frequency Offset**
Sistem ini sangat sensitif terhadap *carrier frequency offset* yang disebabkan oleh *jitter* pada gelombang pembawa (*carrier wave*) dan juga terhadap Efek Doppler yang disebabkan oleh pergerakan baik oleh stasiun pengirim maupun stasiun penerima.
- **Distorsi Non-linier**
Teknologi OFDM adalah sebuah sistem modulasi yang menggunakan multi-frekuensi dan multi-amplitudo, sehingga sistem ini mudah terkontaminasi oleh distorsi nonlinear yang terjadi pada *amplifier* dari daya transmisi.
- **Sinkronisasi sinyal**
Pada stasiun penerima, menentukan *start point* untuk memulai operasi *Fast Fourier Transform* (FFT) ketika sinyal OFDM tiba di stasiun penerima adalah hal yang relatif sulit.

2.2.2 Modulasi Adaptif (*Adaptive Modulation*)

WiMAX mendukung berbagai skema modulasi dan pengkodean yang memungkinkan skema untuk berubah pada setiap transmisi per *link* tergantung kondisi kanal. Kualitas kanal *downlink* dapat dideteksi dengan menggunakan indikator umpan balik kualitas kanal yang ada pada pelanggan (*mobile station*). Sedangkan untuk *uplink*, *base station* dapat memperkirakan kualitas kanal berdasarkan kualitas sinyal yang diterima. Modulasi adaptif dan pengkodean secara umum dapat meningkatkan kapasitas kanal karena memungkinkan pertukaran antara *throughput* dan *robustness* pada setiap *link* secara real-time.

2.2.2.1 Phase Shift Keying (PSK)

Pada *Phase Shift Keying* (PSK), *phase* sinyal *carrier* divariasikan untuk merepresentasikan biner 1 dan 0. Amplitudo dan frekuensi sinyal *carrier*-nya konstan, sedangkan perubahan *phase* sinyal *carrier*-nya berubah sesuai dengan perubahan amplitudo sinyal informasinya. Gambar 2.5. memperlihatkan konsep dari sinyal QPSK.

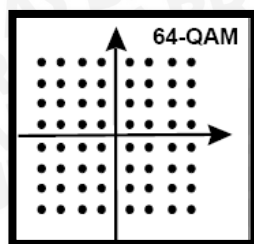


Gambar 2.4. Sinyal pada *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK).
(Sumber: Forouzan, 2000).

2.2.2.2 Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

Quadrature Amplitude Modulation (QAM) merupakan teknik yang mengkombinasikan antara teknik *Amplitude Shift Keying* (ASK) dan teknik *Phase Shift Keying* (PSK). Berarti pada QAM, amplitudo dan *phase* sinyal *carrier* berubah terhadap perubahan amplitudo sinyal informasi. Sehingga, sinyal direpresentasikan dalam besaran amplitudo dan pergeseran *phase*. Dikatakan *quadrature* karena jumlah minimum bit pada tiap simbolnya adalah 2 bit. Sehingga pada QAM dikenal teknik 4-QAM, 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM, 128-QAM, dan 256-QAM tergantung banyaknya jumlah bit dalam satu simbol. Tetapi sesuai standar yang telah diterapkan oleh IEEE 802.16d *fixed* WiMAX, teknik QAM yang digunakan pada teknologi *fixed* WiMAX adalah 16-QAM dan 64-QAM. [WiMAX Forum, 2006]

Untuk 16-QAM terdapat 4 bit setiap simbolnya, sehingga disebut juga dengan *quadbit*. Sedangkan untuk 64-QAM terdapat 6 bit pada tiap simbolnya, sehingga disebut juga dengan *hexabit*. Gambar 2.5. menjelaskan tentang diagram *Constellation* 64-QAM:

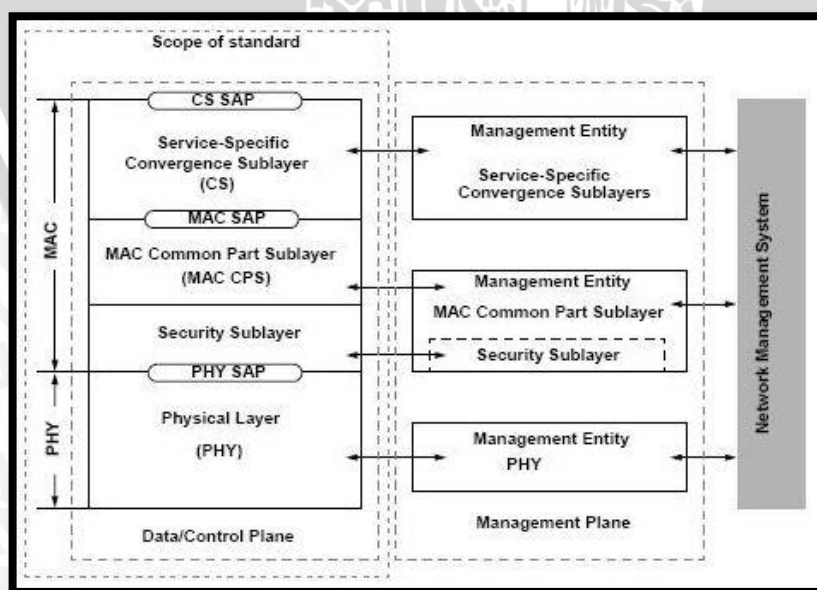


Gambar 2.5. 64-QAM Constellation.
(Sumber: Winch, 1998)

Gambar 2.5. menjelaskan hubungan antara amplitudo dan *phase* dengan bit pada 64-QAM. Gambar 2.5. juga disebut dengan *constellation* yang menunjukkan hubungan yang sama dengan mengilustrasikan amplitudo dan *phase*-nya. [Behrouz A. Forouzan, 2000].

2.3 Layer WiMAX

Karakteristik standar 802.16 ditentukan oleh spesifikasi teknis dari *Physical Layer (PHY layer)* dan *Medium Access Control (MAC)*. *Physical Layer* menjalankan fungsi mengalirkan data di level fisik. *MAC Layer* berfungsi sebagai penerjemah protokol – protokol yang ada di atasnya seperti ATM dan IP. *MAC Layer* dibagi menjadi tiga sub-layer yaitu: *Service-Specific Convergence Sublayer (SS-CS)*, *MAC Common Part Sublayer* dan *Security Sublayer*. Pada Gambar 2.6. menjelaskan tentang struktur layer pada WiMAX:



Gambar 2.6. Struktur layer WiMAX
(Sumber:IEEE standar 802.16)

2.3.1 PHY (*Physical Layer*)

Fungsi penting yang diatur PHY adalah *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM), *Duplex Sistem*, *Adaptive Modulation Variable Error Correction* dan *Adaptive Antenna Sistem* (AAS). Dengan teknologi OFDM memungkinkan komunikasi berlangsung dalam kondisi *multipath* LOS dan NLOS antara *Base Station* (BS) dan *Subscriber Station* (SS). Metode OFDM yang digunakan ialah FFT 256. Fitur PHY untuk sistem duplex pada standar WiMAX diterapkan pada *Frequency Division Duplexing* (FDD) dan *Time Division Duplexing* (TDD) atau keduanya.

2.3.2 MAC (*Medium Acces Control*) Layer

MAC menggunakan 2 jalur data berkecepatan tinggi untuk komunikasi dua arah antara BS dan SS. Untuk komunikasi dari SS ke BS disebut *Uplink* sedangkan untuk komunikasi dari BS ke SS disebut *Downlink*. Secara umum *Downlink* ditransmisikan secara *broadcast* dari BS dan semua SS menerima sinyal *downlink* tersebut tanpa koordinasi langsung antar SS yang ada. Pada penggunaan sistem TDD, ditentukan periode *transmit* untuk *downlink* dan *uplink*. MAC layer mempunyai karakteristik *connection-oriented* dan setiap sambungan diidentifikasi oleh 16-bit *connection identifiers* (CID). CID digunakan untuk membedakan kanal *Up Link* dan lainnya. Dalam mekanisme sambungan antar SS dan BS, terdapat tiga jenis *management connection* untuk setiap arah, yang masing-masing memerlukan tingkat penanganan QoS yang berbeda. Ketiga sambungan tersebut adalah:

1. *Basic Connection*, menjalankan transfer yang relatif singkat, melibatkan *Radio Link Control* (RLC), dan kritis terhadap waktu.
2. *Primary Management Connection*, menjalankan transfer relatif lama, lebih toleran terhadap *delay*, digunakan untuk proses *authentication* dan *connection setup*.
3. *Transport Connection*, digunakan untuk pengaturan layanan QoS dan parameter parameter trafik.

Medium Access Control (MAC) Layer pada IEEE802.16 sifatnya adalah *connected-oriented*, dimana komunikasi data terwujud dalam konteks koneksi. Koneksi disini terkait dengan manajemen koneksi antara dua *node*, misalnya antara *base station* dan *subscriber station* yang disesuaikan dengan *quality of service* (QoS) yang telah

disepakati, baik untuk *traffic* yang sifatnya *continuous* ataupun *bursty*. Pada MAC layer, koneksi dengan QoS yang telah ditetapkan ini disebut sebagai *service flow*.

Pengelolaan koneksi dilakukan dengan penjadwalan transmisi data (*scheduling*) dan koordinasi diantara terminal pengirim data. Standar IEEE802.16 memberikan spesifikasi untuk mekanisme *scheduling* bagi berbagai jenis *traffic* yang heterogen dan *bandwidth request-grant*. Tapi mekanisme *scheduling* itu tidak diberikan secara detail dan pengguna dapat merancang mekanisme *scheduling* yang lebih optimal untuk mendukung berbagai jenis layanan dengan QoS yang berbeda, namun tetap menjamin *faianess* dari setiap *service flow*.

IEEE 802.16 MAC layer juga dirancang untuk mendukung TDD dan FDD. TDD memisahkan *traffic uplink* dan *downlink* dari segi waktu, sedangkan FDD menggunakan frekuensi. Untuk TDD, tiap *traffic stream* dipecah menjadi beberapa *frames* yang dikirim pada *time slot* yang berbeda beda disesuaikan dengan transmisi *uplink* atau *downlink*. TDD memberikan efisiensi dalam penggunaan spectrum frekuensi dikarenakan setiap transmisi menggunakan frekuensi yang sama dan tidak diperlukan *guard band* untuk memisahkan *traffic uplink* dan *downlink*. Sedangkan pengalokasian *bandwidth* secara dinamis untuk tiap trafik dilakukan dengan pengalokasian *time slot*. Fitur ini cocok untuk aplikasi-aplikasi dengan *traffic* yang sifatnya asimetris, misalnya *traffic* internet pada koneksi *lost mile* dimana *traffic downlink* jauh lebih besar dari pada *traffic uplink*.

Pada FDD, pengalokasian *bandwidth* kurang fleksibel, dikarenakan *traffic uplink* dan *downlink* sudah ditetapkan pita frekuensi yang berbeda. Selain itu, biaya perangkat FDD juga dapat lebih mahal karena diperlukan *transmitter* dan *receiver* yang terpisah. Dikarenakan kanal *bandwidth* pada FDD sifatnya simetris (50% untuk *uplink* dan 50% untuk *downlink*), maka FDD cocok untuk aplikasi aplikasi yang sifatnya simetris.

Untuk mendukung penggunaan yang lebih luas, WiMAX forum menyertakan kedua teknik *duplexing* ini pada produk-produknya. Mode TDD cocok digunakan untuk *last mile access*, sedangkan FDD cocok digunakan untuk *cellular/TI backhaul*.

Dari segi protocol layering, MAC layer dibagi atas 3 sub layer sebagai berikut:

1. MAC Convergence sub-layer

MAC CS meliputi sejumlah *service-specific convergence sublayer* yang berfungsi sebagai *interface* bagi layer yang lebih tinggi. Layer CS ini membagi SDU (*service data unit*) eksternal dan menyatukan SDU tersebut ke dalam

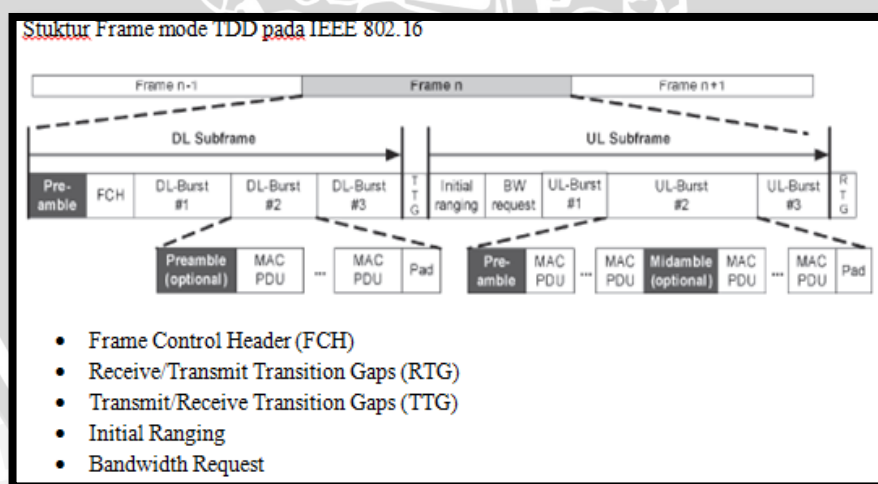
koneksi MAC yang seharusnya. CS juga dapat memproses SDU dengan tujuan untuk mengurangi *overhead* yang terdapat pada *Payload Header Suppression* (PHS). Selain itu fungsi CS yang lainnya adalah sebagai *interface* bagi ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), protokol berbasis paket seperti IP (*internet protocol*), PMP (*Point to Point protocol*), atau pun IEEE 802.3 (*Ethernet*).

2. MAC Common Part sub-layer

Layer MAC CPS melakukan sejumlah fungsi seperti sistem dan kanal akses, *connection management* dan aplikasi QoS. Beberapa fungsi tersebut meliputi sistem akses, alokasi *bandwidth*, pembangunan hubungan, dan perbaikan hubungan. MAC CPS menerima data dalam bentuk CID dari CS (*convergence sublayer*). QoS dari IEEE 802.16 terdapat dalam transmisi dan penjadwalan (*scheduling*) data melalui PHY (*physical layer*).

• Struktur Frame

IEEE 802.16 memiliki transmisi yang berdasarkan *frame*. Panjang *frame* MAC dapat bervariasi mulai dari 2,5 – 20 ms. Struktur *frame* dari OFDM (*orthogonal frequency division multiplexing*) dengan dasar MAC layer yang bekerja pada mode TDD ditunjukkan pada Gambar 2.7. di bawah ini.



Gambar 2.7. MAC dari IEEE 802.16 pada mode TDD
(Sumber: Hoymann, 2001)

Subframe DL selalu dikirim sebelum *subframe* UL. Kedua *subframe* dipisahkan oleh *Receive/Transmit Transition Gap* (RTG) dan *Transmit/Receive Transition*

Gap (TTG). Pada saat *gap* ini maka SS akan mengatur *processornya* untuk keadaan *transmit* atau *receive*.

3. MAC Security sub-layer

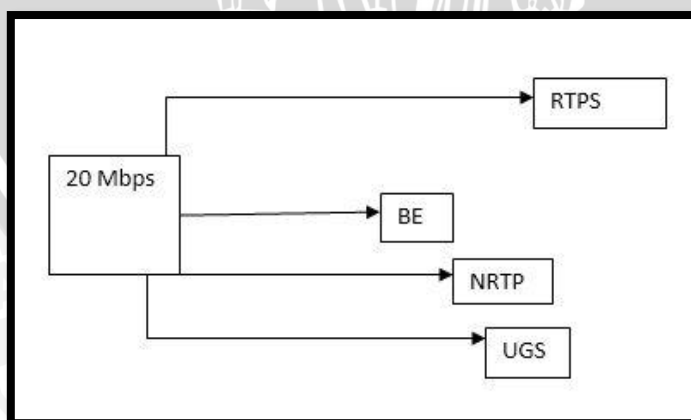
MAC security sublayer terdapat di dalam layer MAC CPS. Security sublayer ini berfungsi untuk menyediakan prosedur autentikasi, dan fungsi enkripsi. Security sublayer memberikan privacy bagi pelanggan/SS di jaringan IEEE 802.16 dengan cara melakukan enkripsi untuk hubungan antara SS dan BS. Enkripsi dilakukan pada *payload* PDU yang terdapat pada MAC header.

2.4 QoS (Quality of Service)

QoS adalah kemampuan suatu jaringan untuk menyediakan layanan yang lebih baik pada trafik data tertentu pada berbagai jenis *platform* teknologi. Pada kasus jaringan WiMAX terdapat bagian MAC layer yang berfungsi menjalankan QoS dengan berbagai kebutuhan *bandwidth* dan aplikasi.

2.4.1 Pemilihan Service pada WiMAX

QoS pada *standart* 802.16d dapat dikelompokkan menjadi empat jenis yaitu *Unsocialited Grant Service* (UGS), *real Time Polling Service* (rTPS), *non real Time Polling Service* (nrTPS), dan *Best Effort* (BE). Pemilihan tersebut berbeda penggunaan dan layanan yang ditawarkan. Seperti pada *real time polling service*, pengguna menginginkan data yang diakses detik itu juga sampai ke mereka, sehingga sistem akan mendahulukan layanan yang *real time* dari layanan yang lain. Pada Gambar 2.8 berikut proses pembagian QoS beserta macam-macam dari QoS pada WiMAX.



Gambar 2.8. Pembagian QoS menurut Layanan

(Sumber : Redline WiMAX AN-100U)

2.4.1.1 *Unsocialited Grant Service (UGS)*

Dirancang untuk mendukung layanan *constant bit rate* (CBR) yang dapat memberikan transfer data secara periodik dalam ukuran yang sama (*burst*), mentransmisikan suara yang tidak berkompresi, layanan ini mengirimkan sejumlah data yang telah ditentukan sebelumnya pada *interval* waktu yang juga telah ditentukan sebelumnya dengan cara mengalokasikan sejumlah *time slot* untuk setiap koneksi. UGS efektif untuk layanan sensitif terhadap *throughput* dan *jitter* seperti layanan TDM (*Time Devision Multiplexing*).

2.4.1.2 *real Time Polling Service (rTPS)*

Dirancang untuk mendukung *real-time service flow* yang meng-generate *variable size* paket data yang mempunyai periode basis, untuk layanan multimedia terkompresi dengan jumlah *bandwidth* yang dibutuhkan bisa bervariasi setiap saat. Memiliki garansi *rate* dan syarat *delay* pada layanan media *streaming*. Contoh layanan ini antara lain MPEG video, VoIP, *streaming audio*, dan *video*.

2.4.1.3 *non real Time Polling Service (nrTPS)*

Layanan nrTPS efektif untuk aplikasi yang membutuhkan *throughput* yang intensif dengan garansi minimal pada *latency*-nya. Layanan *non real time* dengan *regular variable size burst*. Layanan mungkin dapat di-expand sampai *full bandwidth* namun dibatasi pada kecepatan maksimum yang telah ditentukan. Garansi *rate* diperlukan namun *delay* tidak digaransi, contoh: FTP (*File Transfer Protocol*), *video*, dan *audio streaming*

2.4.1.4 *Best Effort (BE)*

Efektif untuk aplikasi yang membutuhkan *throughput Best Effort*. Contohnya aplikasi internet (*web browsing*), email dan FTP.

2.5 Parameter QoS

Parameter QoS menggolongkan kualitas transfer yang diberikan oleh suatu koneksi yang diperoleh dengan membandingkan unit data pada sisi masukan dan keluaran *interface*. Tiga diantara Parameter QoS adalah:

2.5.1 Delay

Delay atau keterlambatan adalah sebuah kondisi dimana terjadi selisih waktu antara waktu paket diterima dan waktu pengirimannya. *Delay* bisa disebabkan oleh berbagai hal baik karena proses pemaketan sebuah data, proses propagasi dan *delay* yang disebabkan banyaknya komponen yang mengakses. *Delay* dihitung dengan melihat total rata rata waktu terima dikurangi pengiriman dalam satu kali pengamatan dibagi jumlah usaha pengiriman. Kategori kinerja jaringan berdasarkan nilai *delay* dapat dilihat pada Tabel 2.2. berikut:

Tabel 2.2. Kategori kualitas *delay*

Kategori	<i>Delay</i>
Bagus	0 - 150 ms
Cukup, Dapat ditolerir	150 ms – 400 ms
Buruk	>400 ms

Sumber: ITU G.114, 2011

Berdasarkan tabel diatas, persamaan umum menghitung *delay* adalah sebagai berikut:

$$\text{Delay} = \frac{\text{Between First and Last Packet (sec)}}{\text{pakets}} \quad (2.1)$$

Between First and Last Packet : Durasi *live streaming* (sekon)

Packet : Total paket data (paket)

2.5.1.1 Delay End to End

Delay end to end pada WiMAX merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan paket data dari BS menuju SS. Total *delay end to end* pada WiMAX adalah :

$$t_{\text{end to end}} = t_{\text{codec}} + t_{\text{MAN}} \quad (2.2)$$

dengan :

$$t_{\text{end to end}} = \text{delay end to end}$$

$$t_{\text{codec}} = \text{delay codec}$$

$$t_{\text{MAN}} = \text{delay MAN}$$

2.5.1.2 Delay Codec

Delay codec merupakan *delay* yang terjadi pada sisi encoder. *Delay codec* adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengakumulasi *sample* suara ke dalam *frame* suara, waktu untuk mengkompresi paket suara, waktu untuk memuat *frame* suara ke dalam paket dan mentransfer paket tersebut ke jaringan *transport* dan *delay hardware* yang bersifat tetap. *Delay codec* pada aplikasi *live streaming* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

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

dengan:

t_a : *delay codec* audio AMR-WB+ (ms)

t_v : *delay codec* video H.264 (ms)

2.5.1.3 Delay MAN

Delay MAN merupakan *delay* total keseluruhan yang diperlukan untuk mengirimkan data dari sisi pelanggan ke pelanggan lain pada jaringan *fixed WIMAX*. *Delay MAN* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$t_{\text{MAN}} = t_{\text{proses}} + t_{\text{prop}} + t_{\text{trans}} + t_w \quad (2.4)$$

dengan :

t_{MAN} = *delay* total pada MAN (ms)

t_{proses} = *delay* proses (ms)

t_{prop} = *delay* propagasi (ms)

t_{trans} = *delay* transmisi (ms)

t_w = *delay* antrian (ms)

- *Delay* proses

Delay proses merupakan waktu yang dibutuhkan untuk memproses paket data dan menentukan kemana data tersebut akan diteruskan. *Delay* proses pada jaringan *fixed WIMAX* terdiri dari *delay* enkapsulasi dan *delay* dekapsulasi. *Delay* enkapsulasi adalah

waktu yang dibutuhkan untuk menambahkan *header* pada paket data, sehingga paket data tersebut dapat tepat sampai ke *host* tujuan. Sedangkan *delay* dekapsulasi adalah waktu yang dibutuhkan untuk melepaskan keseluruhan *header* dari sebuah paket data.

Delay enkapsulasi dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$t_{enc} = \frac{W_{frame\ total}}{c} \times 8 \quad (2.5)$$

dengan:

t_{enc} = *delay* enkapsulasi (ms)

$W_{frame\ total}$ = panjang *frame* (byte)

c = kecepatan transmisi kanal (bps)

Sedangkan *delay* dekapsulasi dirumuskan sebagai berikut:

$$t_{dec} = \frac{W_{frame\ total}}{c} \times 8 \quad (2.6)$$

sehingga *delay* proses dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$t_{proc} = t_{enc} + t_{dec} \quad (2.7)$$

- *Delay* propagasi

Delay propagasi adalah waktu yang dibutuhkan untuk merambatkan paket data melalui media transmisi. *Delay* propagasi dapat ditulis dengan persamaan:

$$t_{prop} = \frac{d_{max}}{v} \quad (2.8)$$

dengan:

d_{max} = jarak jangkauan *base station* dan *subscriber station* (m)

v = kecepatan sinyal pada media *wireless* (3×10^8 m/s)

- *Delay* transmisi

Delay transmisi adalah waktu yang dibutuhkan untuk meletakkan semua data pada media transmisi dan dipengaruhi oleh ukuran paket serta kapasitas media transmisi. *Delay* transmisi dapat ditentukan dengan persamaan (Mischa Schwartz, 1987):

$$t_{trans} = \frac{w}{c} \times 8 \quad (2.9)$$

dengan:

w = panjang total *frame* yang dikirimkan (byte)

c = kecepatan (bps)

- *Delay antrian*

Delay antrian adalah waktu yang dibutuhkan data selama berada dalam antrian untuk ditransmisikan. Selama waktu ini, paket data menunggu hingga paket yang lain selesai ditransmisikan. *Delay antrian* dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\mu = \frac{c}{w} \quad (2.10)$$

$$\lambda_w = \mu \rho \quad (2.11)$$

$$t_w = \frac{\lambda_w}{\mu(\mu - \lambda_w)} + \frac{1}{\mu} \quad (2.12)$$

dengan :

t_w = *delay antrian* (ms)

λ_w = kecepatan kedatangan (paket/s)

μ = waktu pelayanan (paket/s)

c = kapasitas kanal (bps)

ρ = faktor utilitasi sistem nirkabel

2.5.2 Throughput

Throughput didefinisikan sebagai ukuran yang menyatakan berapa banyak bit yang dapat ditransmisikan dan sukses diterima di tujuan per detik untuk lebar pita yang dialokasikan. *Throughput* ditunjukkan oleh persamaan (Scwartz, Mischa. 1987) :

$$\lambda = \frac{(1-\rho)}{t_1[1+(\alpha-1)\rho]} \quad (2.13)$$

Simbol α merupakan konstanta propagasi dengan persamaan sebagai berikut :

$$\alpha = \left(3 + \frac{2t_{prop}}{t_t} \right) \quad (2.14)$$

dengan :

α : konstanta propagasi

t_{prop} : *delay propagasi*(s)

t_t : *delay transmisi* (s)

2.5.3 Packet loss dan Probabilitas Packet loss

Probabilitas *Packet loss* menunjukkan banyaknya jumlah *packet* yang hilang setelah terjadi proses pentransmisian sesudah melewati sistem jaringan. Sedangkan untuk probabilitas *packet loss* sendiri adalah probabilitas yang menunjukkan kemungkinan adanya data yang hilang ketika proses pentransmisian selama berada dalam sistem.

Maka bisa diartikan *packet loss* menunjukkan juga banyak *packet* yang hilang dalam satu kali pengamatan atau simulasi. Rumusan penghitungan dengan melihat *packet loss* yang ada. *Packet loss* dilihat berdasarkan persentase nilai paket yang hilang/loss dalam satu jaringan. Secara umum terdapat empat kategori penurunan performansi jaringan berdasarkan nilai *packet loss* sesuai dengan versi *TIPHON-Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks*, yaitu seperti tampak pada tabel berikut:

Berdasarkan tabel 2.4 , persamaan umum untuk mendapatkan nilai probabilitas *packet loss* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

- Probabilitas *Packet loss live streaming*

Probabilitas *packet loss* pada *live streaming* dapat dihitung sesuai persamaan :

$$\rho_{\text{live streaming}} = P_{\text{va live streaming}} \times \rho_b \quad (2.14)$$

Probabilitas *packet loss* dengan besar paket yang terdiri atas *header* sebesar 64 byte serta besar *payload live streaming* sebesar 1500 byte.

- Probabilitas *packet loss* jaringan

Perhitungan *packet loss* jaringan WIMAX untuk tipe modulasi 64 QAM sesuai dengan persamaan berikut:

$$\rho_{\text{net}} = \frac{e^{-\frac{Eb}{No}}}{2\sqrt{3,14}\left(\frac{Eb}{No}\right)} \quad (2.15)$$

Maka probabilitas *packet loss* total untuk modulasi QAM adalah

$$\rho_{\text{total}} = 1 - [(1 - \rho_{\text{net}})(1 - \rho_{\text{vid}})] \quad (2.16)$$

Tabel 2.3. Tabel Kategori *Packet loss*

Kategori	<i>Packet loss</i>
Sangat Bagus	0 %
Bagus	0 % – 3 %
Sedang	3 % - 15 %
Buruk	15 % - 25 %

Sumber: TIPHON (2012)

2.6 Kapasitas Kanal

Kapasitas kanal merupakan jumlah kanal maksimum yang dapat terlayani oleh sebuah BS. Kapasitas kanal diperlukan untuk mengetahui kebutuhan BS untuk melayani pelanggan. Didalam WiMAX IEEE 802.16d pengaturan jumlah kanal diatur di MAC. Jumlah kapasitas maksimum pada WiMAX IEEE 802.16d yaitu 40 Mbps. Kapasitas kanal tersebut dapat diatur sesuai dengan jumlah pengguna. Pada penelitian ini besar kapasitas kanal yang digunakan yaitu 64 sampai 6000 Kbps. Kapasitas kanal inilah yang akan diberikan pada pengguna, untuk masing-masing pengguna pembagian kapasitas kanal dapat dilihat berdasarkan nilai *throughput* yang dihasilkan ketika proses pengamatan.

2.7 Jenis – Jenis Layanan

2.7.1 Video Streaming

Streaming adalah sebuah jenis layanan yang langsung mengolah data yang diterima tanpa menunggu seluruh data selesai terkirim. Layanan yang bersifat *streaming* saat ini adalah layanan audio dan video . Aplikasi *streaming* saat ini banyak digunakan untuk berbagai hal misalnya untuk pendidikan, konferensi, dan pertemuan organisasi.

Teknologi *streaming* dikenal juga sebagai *streaming media* adalah suatu teknologi untuk memainkan atau menjalankan *file* audio maupun video dari sebuah *server streaming (web page)* baik secara langsung maupun rekaman, dimana data tersebut harus dikodekan terlebih dahulu menggunakan *data rate* tertentu yang cocok untuk ditransmisikan melalui internet atau jaringan yang sesuai dengan kapasitas *bandwidth* dari pengguna. *Data rate* yang digunakan harus cocok dengan *data rate* pelanggan. Untuk itu harus dilakukan *encoding file* audio maupun video dengan bermacam macam kecepatan *data rate* kemudian pengguna dapat menyesuaikan dengan kecepatan jaringannya maupun kecepatan dari sistem akses datanya.

Live streaming adalah tayangan langsung yang disiarkan kepada banyak orang dalam waktu yang bersamaan dengan kejadian aslinya, melalui media data komunikasi (*network*) baik yang terhubung dengan kabel atau *wireless*. Kualitas audio/video yang diterima tergantung *bandwidth* klien. Jika *bitrate download* client berbeda jauh dengan *bitrate playback* maka media tidak akan tampil.

2.7.1.1 CODEC (Coder/Decoder)

Pada aplikasi multimedia baik untuk audio, video, maupun data, besarnya *bandwidth* tergantung dari *CODEC* yang digunakan. *CODEC* terdiri *encoder* yang digunakan untuk melakukan *encoding* pada *file* audio atau video sehingga memiliki ukuran yang lebih kecil dengan memperkecil *pixel* dan *frame* serta *Decoder* yang digunakan untuk membaca *file* yang telah dikodekan dan memainkannya di sisi *client*. *CODEC* sangat diperlukan dalam proses *live streaming*.

Terdapat dua jenis *CODEC* yang dapat digunakan dalam *live streaming*, yaitu (Andreas Handojo, dkk, 2009: 1):

- a. *Lossy CODEC*: *CODEC* ini akan mengurangi kualitas data dengan mengurangi ukuran data (kompresi). Pada umumnya, *CODEC* ini digunakan untuk menyimpan data pada media penyimpanan yang berukuran terbatas seperti CD-ROM dan DVD. *Lossy CODEC* ini biasanya digunakan untuk *streaming*, karena *bandwidth* jaringan yang terbatas.
- b. *Lossless CODEC*: Pada *lossless CODEC* ini, kualitas data yang dihasilkan tidak akan berkurang. Tetapi, ukuran data yang dihasilkan oleh *lossless CODEC* ini akan lebih besar dibandingkan dengan *lossy codec*. Pada umumnya, *lossless CODEC* ini digunakan pada video yang masih memerlukan *editing*, karena dalam proses *editing* dilakukan *encode-decode* berulang kali, sehingga jika menggunakan *lossy CODEC*, kualitas video akan jauh menurun dibandingkan dengan video aslinya.

Ada beberapa jenis audio dan video *CODEC* menurut ITU.T, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. 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)

2.7.1.2 Payload Live Streaming

a. Paket video

Besarnya paket video pada *live streaming* dapat dihitung dengan persamaan:

$$filesize_{video} = \frac{bitrate_{audio} \times length}{8} \quad (2.17)$$

dengan:

bitrate audio : *bitrate* pada CODEC AMR WB+ (bps)

length : waktu video

Pada saat melewati *codec* maka video tersebut akan mengalami komposisi data sesuai dengan rasio kompresinya yaitu dapat dihitung dengan persamaan:

$$filesize_{compressedvideo} = filesize_{video} \times rasio\ kompresi \quad (2.18)$$

b. Paket audio

Besarnya paket audio pada *live streaming* dapat dihitung dengan persamaan:

$$filesize_{audio} = \frac{bitrate_{audio} \times length}{8} \quad (2.19)$$

Dengan :

bitrate audio : *bitrate* pada CODEC H.264 (bps)

length : waktu audio (s)

Pada saat melewati *codec* maka video tersebut akan mengalami komposisi data sesuai dengan rasio kompresinya yaitu dapat dihitung dengan persamaan:

$$filesize_{compressedaudio} = filesize_{audio} \times rasio\ kompresi \quad (2.20)$$

Pada penelitian ini, standar protokol yang digunakan adalah Ethernet dengan MTU (*Maximum Transfer Unit*) Ethernet sebesar 1500 byte (RFC 895). Oleh karena itu, besar tiap paket data *live streaming* tidak boleh melebihi MTU sebesar 1500 byte.

Apabila panjang paket data *live streaming* melebihi *Maximum Transfer Unit* (MTU) Ethernet sebesar 1500 byte (RFC 895), maka paket data *live streaming* akan mengalami fragmentasi menjadi beberapa buah frame baru. Jika paket data *live streaming* tidak melebihi MTU Ethernet, maka paket data *live streaming* tidak akan mengalami fragmentasi. Sesuai dengan persamaan berikut :

$$N_{frame} = \frac{P_{va\ live\ streaming}}{MTU} \quad (2.21)$$

dengan :

$P_{va\ live\ streaming}$ = panjang paket data *live streaming* (byte)

MTU = *Maximum Transfer Unit* (MTU) Ethernet sebesar 1500 byte

Besarnya data *live streaming* setelah mengalami penambahan *header* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$W_{frametotal} = W_{data} + (N_{frame} \times header) \quad (2.22)$$

dengan

$W_{frametotal}$: panjang data *live streaming* setelah mengalami penambahan *header*

W_{data} : panjang data *live streaming*

2.8 Aplikasi Packet Analyzer Wireshark

Aplikasi *packet analyzer* Wireshark merupakan aplikasi yang dapat menangkap paket-paket jaringan pada sisi *client* yang berguna untuk menampilkan informasi secara detail pada paket tersebut. Aplikasi ini mempunyai banyak fitur dan kelebihan diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Aplikasi Wireshark bersifat *open source* untuk menganalisis paket jaringan.
2. Mampu menangkap paket data secara langsung dari sebuah *network interface*.
3. Mampu menampilkan informasi secara detail mengenai hasil *capture* pada sebuah jaringan.
4. Mampu menampilkan hasil statistika dari hasil *capture* pada sebuah jaringan.
5. Tersedia untuk Linux dan Windows.