

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengenalan WiMAX

WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*, IEEE.802.16) dikembangkan secara khusus dari teknologi OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) untuk mencapai *coverage area* yang luas (beberapa mil/sekitar 50-an kilometer) dengan kecepatan tinggi (sekitar 70 Mbps) [2] dan tambahan *multiple access* yang mungkin bisa diaplikasikan untuk sistem komunikasi seluler masa depan. Tambahan *multiple access* ini dengan performansi yang baik bisa jadi akan menjadi kompetitor baru bagi jaringan telepon seluler yang sudah ada.

Teknologi pendahulunya, yaitu WiFi (IEEE.802.11) yang sekarang masih dipakai di laboratorium, kampus, airport, ruang konferensi sampai *coffee shop* dan supermarket, hanya mampu menjangkau 20-100 meter dengan kecepatan beberapa puluh Mbps. Karena itulah WiMAX lebih menjanjikan untuk memperluas jaringan yang murah di pedesaan dibandingkan pembangunan infrastruktur dengan kabel yang cukup mahal. Inilah yang mendasari komentar para pakar WiMAX internasional, bahwa teknologi WiMAX adalah vital dan sangat cocok untuk diaplikasikan di negara-negara berkembang seperti Indonesia, dimana biaya investasi *fixed communication* masih tinggi.

B. Fase Pengembangan dan Implementasi

Untuk awal implementasi, sebut saja misal Fase I, mungkin WiMAX masih memerlukan antena di atas rumah. Namun pada Fase II, diharapkan antena dalam rumah (*indoor*) pun sudah mampu menerima sinyal dengan baik. Dan Fase III, diharapkan chip WiMAX bisa tertanam dalam semua laptop komputer dan telepon seluler.

Sebuah chip WiMAX pertama “Rosedale” PRO/Wireless 5116 dikembangkan dari IEEE.802.16-2004 berisi OFDM 256-*subcarrier*. Menyusul kemudian Chip MB87M3400 (Fujitsu, 2005) juga telah dijual seharga 40 dollar, bisa digunakan menjadi *base station* dan *subscriber station* untuk komunikasi *Non Line of Site* (NLOS), menggunakan OFDM 256-*subcarrier* pula.

1. Masalah Alokasi Frekuensi

Sebuah organisasi non-profit yaitu WiMAX Forum, yang memiliki lebih 300 anggota yang terdiri industri dan organisasi, merekomendasikan tiga alokasi frekuensi yaitu; 2.5GHz, 3.5GHz, dan 5.8 GHz.

Sayangnya, alokasi frekuensi kerja ini seringkali bermasalah hampir di seluruh negara di dunia, tidak hanya di negara-negara berkembang. Sebagai contoh Jepang, di Jepang ternyata 2.5GHz sudah dipakai untuk komunikasi seluler, 3.5GHz dipakai untuk *broadcasting* dan 5.8GHz telah dipakai untuk sistem navigasi transportasi ITS (*Intelligent Transportation System*).

Jika kita teliti kembali, masalah alokasi frekuensi yang sesungguhnya adalah pada masalah power dan *interferensi*. Jika terpaksa, WiMAX bisa

dialokasikan pada frekuensi yang tidak terdaftar (*unlicensed band*). Namun, jika WiMAX ini bekerja di frekuensi yang *unlicensed*, maka powernya harus dibatasi dan tidak boleh mengganggu (menimbulkan *interferensi*) terhadap teknologi lainnya pada frekuensi yang terdaftar. Itulah kendala utama yang dikhawatirkan berpengaruh dalam performansi dan mungkin juga bisnis.

Beberapa negara yang telah memutuskan alokasi frekuensi ini misalnya: Eropa pada 3.4–3.6GHz, Korea dengan WiBro-nya pada 2.3-2.4GHz, China 3.3-3.4GHz, USA pada 2.5-2.7GHz dan 3.65-3.70GHz, Malaysia (*tentative*) 3.4-4.2GHz. Dan untuk Indonesia, WiMAX akan dialokasikan pada 2.3GHz dengan lebar pita 90MHz (dengan 6 blok, masing-masing 15MHz, $6 \times 15\text{MHz} = 90\text{MHz}$). [3].

2. WiMAX Forum

Untuk mempercepat penerapan dan sosialisasi standar ini di masyarakat dan kalangan industri, pada bulan April 2001, dibentuklah sebuah forum yang diberi nama WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) Forum. Tujuan pembentukan WiMAX Forum ini adalah untuk mempromosikan dan melakukan sertifikasi terhadap *kompatibilitas* dan *interoperabilitas* perangkat berbasis standar 802.16 dan standar turunannya.

Disamping itu, forum ini bertujuan mengembangkan perangkat-perangkat tersebut agar bisa memenuhi kebutuhan pasar. Forum ini beranggotakan berbagai organisasi dan perusahaan seperti Airspan, Alvarion, Analog

Devices, Aperto Networks, Ensemble Communications, Fujitsu, Intel, Nokia, OFDM Forum, Proxim, dan Wi-LAN.

C. Karakteristik WiMAX

WiMAX merupakan standar IEEE 802.16 yang membawahi aneka standar turunannya. Standar ini mengatur penggunaan perangkat nirkabel untuk keperluan jaringan perkotaan (*Metropolitan Area Network/MAN*). Standar ini khususnya dirancang untuk memenuhi kebutuhan jaringan akan akses nirkabel berkecepatan tinggi atau BWA (*Broadband Wireless Access*). Kehadiran teknologi ini diharapkan akan memungkinkan akses terhadap aneka aplikasi *multimedia* via koneksi nirkabel dengan jarak antar perangkat yang lebih jauh. Standar 802.16 (dan turunannya) beroperasi pada pita frekuensi radio antara 2GHz sampai 11GHz. Standar ini memiliki *transfer rate* 70 Mbit per detik dengan tingkat *latency* yang rendah, dan penggunaan ruang spektrum frekuensi yang efisien.

Untuk mengamankan koneksi yang terjadi, standar ini juga telah mendukung feature enkripsi data, dengan pengaturan kesalahan bertipe *Forward Error Correction* (FEC). Jarak yang bisa dijangkau oleh standar ini dapat diperluas sampai sekitar 30 mil, atau sekitar 48 kilometer dengan tingkat *throughput* yang masih memadai untuk mentransfer data.

WiMAX terbagi menjadi dua model pemanfaatan yang masing-masing diwakili oleh dua standar IEEE yang berbeda. Model pemanfaatan pertama adalah pemanfaatan *fixed access*, atau sambungan tetap yang menggunakan standar IEEE 802.16-2004 (sebagai hasil revisi atas standar IEEE 802.16a).

Standar ini termasuk dalam golongan layanan *fixed wireless* karena menggunakan antena yang dipasang di lokasi pelanggan. Antena ini dapat dipasang di atap atau tiang tinggi persis seperti cakram parabola untuk TV. Teknologi dari standar inilah yang menjadi substitusi dari teknologi-teknologi seperti *cable modem*, berbagai macam *digital subscriber line* (DSL), *sirkuit transmit/exchange* (Tx/Ex), dan *sirkuit optical carrier* (Oc-x).

Sementara model pemanfaatan kedua, sering disebut 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*).

D. Keuntungan dan Kekurangan WiMAX

Banyak keuntungan yang didapatkan dari terciptanya standardisasi industri ini. Para operator telekomunikasi dapat menghemat investasi perangkat, karena kemampuan WiMAX dapat melayani pelanggannya dengan area yang lebih luas dan tingkat *kompatibilitas* lebih tinggi. Selain itu, pasarnya juga lebih meluas karena WiMAX dapat mengisi celah *broadband* yang selama ini tidak terjangkau oleh teknologi kabel dan DSL (*Digital Subscriber Line*).

WiMAX merupakan salah satu solusi teknologi yang memudahkan pelanggan untuk mendapatkan koneksi internet yang berkualitas dan melakukan aktivitas. Selain itu media wireless selama ini sudah terkenal sebagai media yang paling ekonomis dalam mendapatkan koneksi internet. Area *coveragenya* sejauh 50 km dan kemampuannya menghantarkan data dengan *transfer rate* yang tinggi dalam jarak jauh, sehingga memberikan kontribusi

sangat besar bagi keberadaan wireless MAN dan dapat menutup semua celah *broadband* yang ada saat ini. Dari segi kondisi saat proses komunikasinya, teknologi WiMAX dapat melayani para *subscriber*, baik yang berada dalam posisi *Line of Sight* (posisi dimana perjalanan sinyal tidak terhalang dari pemancar ke penerima), maupun yang tidak memungkinkan untuk itu (*Non Line of Sight*). Jadi dimana pun para penggunanya berada, selama masih masuk dalam area *coverage* sebuah BTS (*Base Transceiver Stations*), mereka mungkin masih dapat menikmati koneksi yang dihantarkan oleh BTS tersebut. Sistem kerja MAC (*Media Access Control*) yang ada pada data *link layer* adalah *connection oriented*, sehingga memungkinkan penggunanya melakukan komunikasi berbentuk video dan suara. Untuk berinternet murah, mudah, dan nyaman dengan kualitas *broadband*. Pelanggan hanya tinggal memasang PCI card yang kompatibel dengan standar WiMAX, atau tinggal membeli PCMCIA (*Personal Computer Memory Card International Association*) yang telah mendukung komunikasi dengan WiMAX.

Adapun kekurangan dari WiMAX:

- Harga peralatan infrastruktur yang masih sangat mahal.
- Teknologinya masih terus berkembang, sehingga mengakibatkan bisa salah investasi.
- Terlalu banyak jenis perangkat yang tidak saling kompatibel.
- Dibutuhkan pengalaman untuk memasang perangkatnya.

E. Error Rate

Error Rate merupakan rasio antara jumlah informasi yang diterima yang mengalami kesalahan dibandingkan dengan jumlah total informasi yang diterima selama periode waktu. *Error rate* dapat dinyatakan dalam jumlah bit yang diterima dalam kesalahan pada jumlah blok data (paket) yang hilang selama periode waktu. *Error rate* WiMAX dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk kualitas sinyal dan konfigurasi sistem. Beberapa *error rate* yang umum terdapat pada WiMAX yaitu *Bit Error Rate* (BER) dan *Packet Loss Rate* (PLR).

1. *Bit Error Rate* (BER)

BER dihitung dengan membagi jumlah bit yang diterima yang mengalami kesalahan dengan total jumlah bit yang ditransmisikan. Hal ini umumnya digunakan untuk menunjukkan kualitas saluran *transmisi* digital. Kesalahan dapat terjadi secara acak dari waktu ke waktu (*random error*) atau dalam grup (*error burst*).

Random error adalah bit dalam sinyal digital yang diterima dalam kondisi kesalahan yang terjadi sedemikian rupa sehingga setiap kesalahan statistik dapat dianggap independen dari error lain.

Perhitungan teoritis dari BER untuk masing-masing skema modulasi dilakukan menggunakan persamaan:

$$P_B \approx \left(\frac{1}{2^m - 1} \sum_{j=t+1}^{2^m - 1} \binom{2^m - 1}{j} P_{e_{cc}}^j (1 - P_{e_{cc}})^{2^m - 1 - j} \right) \log_2 M \quad \dots (1)$$

Atau

$$P_B = 0,5 \cdot \left[1 - \sqrt{\frac{\text{SNR}}{1 + \text{SNR}}} \right] \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

m = banyaknya bit dalam satu simbol

M = nilai dari orde modulasi

$P_{e_{cc}}$ = probabilitas simbol salah setelah koding konvolusional

SNR = *Signal to Noise Ratio*

2. *Packet Loss Rate (PLR)*

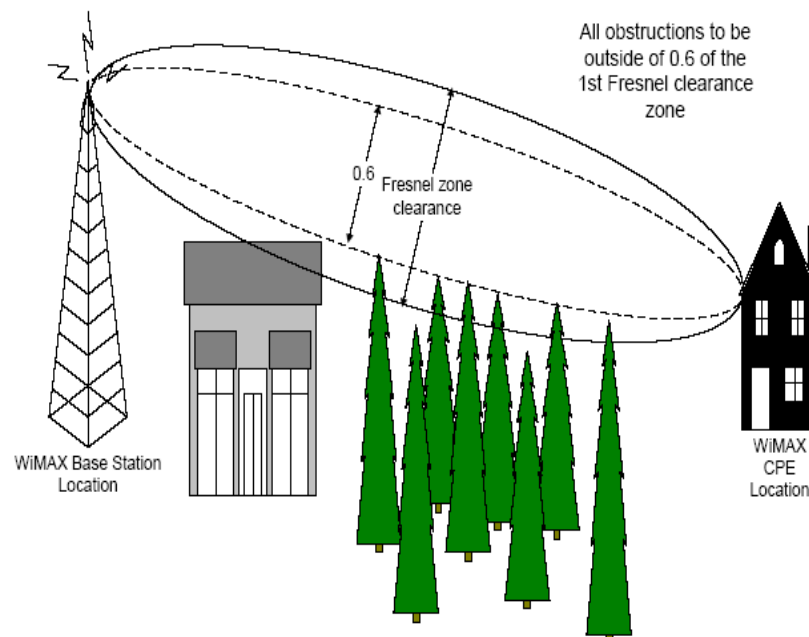
Packet Loss Rate adalah rasio jumlah paket data yang telah hilang dalam transmisi dibandingkan dengan total jumlah paket yang telah dikirimkan. Beberapa aplikasi (seperti digital television) lebih sensitif terhadap hilangnya paket *Bit Error Rate*.

F. Propagasi NLOS dan LOS

Dalam link LOS, sebuah perjalanan sinyal tidak terhalang dari pemancar ke penerima. Sebuah link LOS memerlukan sebagian besar *fresnel zone* pertama bebas dari segala halangan,[4] jika kriteria seperti yang ditunjukkan pada gambar 1 tidak terpenuhi maka akan terjadi pengurangan yang signifikan terhadap power sinyal. *Fresnel clearance* yang diperlukan tergantung pada frekuensi operasi dan jarak antara lokasi pemancar dan penerima.

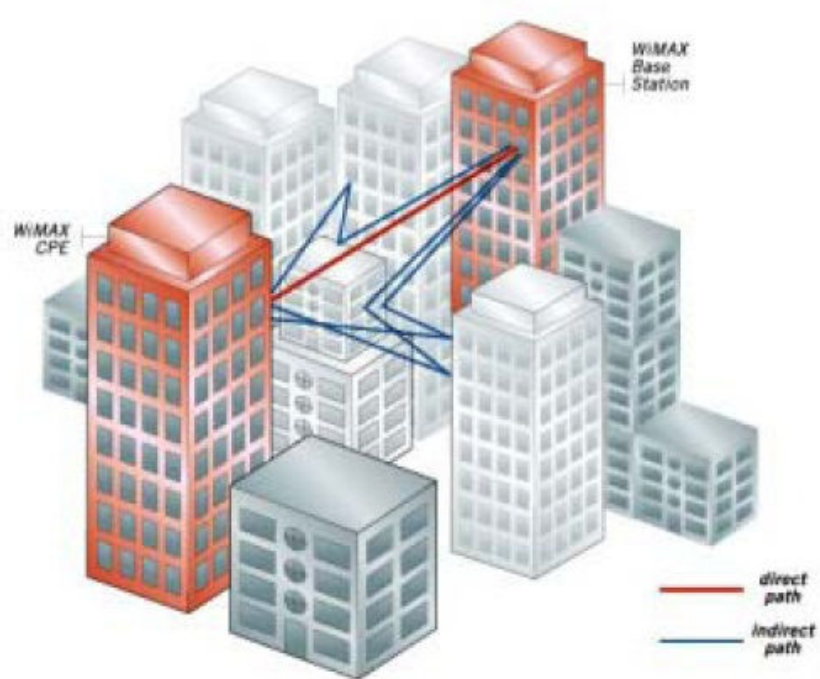
Dalam link NLOS, suatu sinyal menjangkau penerima melalui *reflections*, *scattering*, dan *diffractions*. Sinyal yang tiba di penerima terdiri dari komponen-komponen dari *multiple reflected paths*, *scattered energy*, dan *diffracted propagation paths*.

Fenomena *multipath* juga dapat menyebabkan perubahan pada polarisasi sinyal. Jadi menggunakan polarisasi sebagai sarana untuk menggunakan kembali frekuensi, seperti yang biasanya dilakukan dalam propagasi LOS tidak dapat digunakan dalam aplikasi NLOS[5].



Gambar 1 LOS *Fresnel Zone*

Ada beberapa keuntungan yang membuat penyebaran NLOS diinginkan. Sebagai contoh, persyaratan perencanaan yang ketat dan pembatasan tinggi antena sering tidak memungkinkan antena diposisikan untuk LOS. Untuk sistem selular skala besar, dimana penggunaan kembali frekuensi sangat penting, maka dengan menurunkan antena cukup menguntungkan untuk mengurangi *interferensi* antara sel yang berdekatan. Hal ini sering memaksa BTS untuk beroperasi dalam kondisi NLOS.



Gambar 2 NLOS propagasi

G. Standar WiMAX

Tabel di bawah ini menunjukkan perbandingan antara standar Fixed WiMAX dan standar WiMAX yang digunakan untuk *mobile* dan *portabel*. Tabel ini menunjukkan bahwa standar 802,16 dirilis pada tahun 2004 hanya mampu menyediakan layanan data nirkabel tetap. *Modulasi* OFDM dapat digunakan pada format TDD atau FDD. Standar 802.16e yang dirilis pada tahun 2005 ini dirancang untuk operasi *fixed*, *mobile* dan *portabel*. Serta menggunakan *modulasi* OFDMA TDD dan FDD duplexing.

Tabel 1 Standar WiMAX

Characteristic	Fixed WiMAX	Mobile WiMAX
Industry Standard	802.16-2004	802.16e-2005
Access Type	Fixed	Fixed, Portable and Mobile
Modulation	OFDM	OFDMA
Duplexing	TDD, FDD	TDD, FDD Optional
Handoffs	No	Yes
Type of Service Providers	DSL, Cable Modems and Competitive Access Providers (CAPs)	Mobile Operators, DSL, Cable Modems, Wireless and Wired ISPs
Subscriber Unit	High Performance Outdoor and Indoor CPE	Low Cost Consumer Electronics CPE and Embedded Modules
Preferred Frequency Bands	2.5 GHz, 3.4-3.6 GHz, 5.8 GHz	2.3-2.4 GHz, 2.5-2.7GHz, 3.3-3.4 GHz, 3.4-3.8 GHz

H. Teknik yang Digunakan dalam 802.16

802.16 menggunakan sejumlah teknik yang cukup baik untuk meningkatkan keandalan dan kecepatan transmisi data pada saluran yang buruk. Fenomena *multipath* juga dapat menyebabkan polarisasi sinyal akan berubah. Jadi menggunakan polarisasi sebagai sarana untuk menggunakan kembali frekuensi, seperti yang biasanya dilakukan dalam penyebaran LOS dapat menjadi masalah dalam aplikasi NLOS [5].

1. OFDM dalam WiMAX

OFDM bukanlah barang baru karena sebenarnya sudah ramai diteliti sejak tahun 60-an meskipun baru booming setelah dipicu dengan penemuan FFT (*Fast Fourier Transform*) sekitar tahun 70-an. OFDM juga terkenal karena diaplikasikan dalam DSL, *cable modem*, WiFi, televisi digital dan WiMAX itu sendiri. OFDM mampu melayani

data kecepatan tinggi karena efisiensinya yaitu dengan frekuensi *overlapping*.

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) merupakan kasus khusus dari FDM (*Frequency Division Multiplexing*). Pada FDM, suatu *bandwidth* dibagi menjadi beberapa kanal tersendiri. Agar tidak saling menginterferensi satu sama lain maka diberi jarak antar kanal (*guardband*) yang cukup boros dalam penggunaan *bandwidth*. Sedangkan dalam OFDM, kanal-kanal dalam satu *bandwidth* seakan-akan ditumpang tindihkan menjadi satu. Sehingga OFDM sangat efisien dalam penggunaan *bandwidth* [6]. Spektrum frekuensi kanal pada OFDM dapat ditumpangtindihkan dan tidak terjadi saling *interferensi* antar kanal, sebab *null* dari setiap kanal yang berdekatan jatuh tepat pada titik tengah spektrum yang membawa informasi (spektrum yang memiliki power tertinggi). Untuk mengatur supaya setiap *null* dari kanal spektrum tetangga jatuh tepat pada titik tengah spektrum yang membawa informasi, setiap sinyal transmisi pada setiap kanal harus bersifat saling *orthogonal* dan saling *harmonic* [7]

Secara matematis, untuk membuat setiap sinyal *orthogonal* adalah dengan membuat luas area positif sama dengan luas area negatif atau hasil integral dari sinyal tersebut adalah nol. Selanjutnya untuk *harmonic*, misalkan c adalah frekuensi pembawa dalam suatu *bandwidth* dengan persamaan $c_n = n \times c_1$, maka frekuensi c_n dikatakan *harmonic* dengan c_1 , jika n adalah integer. Jika sinyal-sinyal tersebut saling *orthogonal*, maka ketika digabungkan, mereka tidak saling menginterferensi [7].

OFDM dengan modulasi adaptif dapat digunakan untuk sistem komunikasi dari *base station* ke user (*downlink*) dengan menggunakan *bandwidth* yang tersedia untuk dibagi-bagi menjadi independent subchannel. Dengan karakter dasar OFDM di atas, dalam standard WiMAX OFDM akan mampu mencapai 70Mbps (data bersih) atau sampai 100Mbps (data plus bit untuk *error correction coding*) dalam spektrum 20MHz. Artinya, OFDM dalam WiMAX mampu mengirimkan 3.5 bps. Misalnya untuk alokasi *bandwidth* 100MHz, dan akan diimplementasikan pada frekuensi 5.8GHz (yaitu misal 5.725-5.825GHz), maka akan diperoleh 5 blok band (yaitu $5 \times 20\text{MHz} = 100\text{MHz}$), sehingga kapasitas yang diperoleh adalah $5 \times 70\text{Mbps} = 350\text{Mbps}$.

Salah satu pengembangan teknik OFDM yaitu Scalable OFDM dan sudah diterapkan dalam sistem akses jamak pada WiMAX standar 802.16e. SOFDM merupakan sistem OFDM yang terskalakan cacah titik N pada struktur FFT.

Dalam sistem transmisi OFDM, simbol OFDM masing-masing data set diubah menjadi bilangan kompleks dari penurunan amplitudo dan fase pada *subcarrier* serta bilangan kompleks diubah menjadi amplitudo kompleks yang sesuai *subcarrier*[8]. Invers FFT mengkonversi spektrum frekuensi menjadi urutan sampel waktu. Bilangan kompleks untuk sinyal terhadap waktu akan diubah menjadi tegangan oleh ADC.

2. Teknik MIMO dalam WiMAX

Penggunaan teknologi MIMO pada jaringan telekomunikasi WiMAX meningkatkan kualitas penerimaan dan memungkinkan untuk mencapai laju transmisi yang lebih baik. Penggunaan WiMAX MIMO juga memberikan peningkatan yang signifikan dalam efisiensi spektrum. MIMO memanfaatkan gelombang radio yang bersifat *multipath*[9], pentransmisi informasi dapat dilakukan dengan cara dipantulkan melalui dinding, pintu, dan objek-objek lain guna mencapai antena dengan melalui beberapa rute. MIMO memanfaatkan teknik *multipath* yang disebut *space-division multiplexing*.

3. Adaptive Modulation and Coding (AMC)

Penggunaan skema AMC pada WiMAX memungkinkan penggunaan *modulasi* dan *encoding* yang berbeda untuk pelanggan yang berada di tempat dan lingkungan yang berbeda. *Modulasi* yang digunakan WiMAX adalah QPSK, 16 QAM dan 64 QAM. Serta *coding rate* yang digunakan yaitu $1/2$, $2/3$ dan $3/4$ [11].

Dengan menggunakan teknologi antena cerdas, WiMAX dapat menentukan *modulasi* dan *coding rate* yang sesuai untuk *mobile station* yang berada dalam cakupan *base station* tersebut. Penentuan tersebut ditentukan berdasarkan kondisi *air interface* antara pengguna dengan pemancar.

Untuk menghadapi *air interface* yang buruk, diterapkan teknik *modulasi* yang lebih tahan gangguan dan *coding rate* yang lebih tinggi sehingga

transfer rate lebih rendah. Sebaliknya untuk kondisi *air interface* yang baik, digunakan teknik *modulasi* yang mengandung informasi lebih banyak dan *coding rate* yang lebih rendah sehingga *transfer rate* lebih cepat[12].

Teknik *modulasi* order tinggi 64 *Quadratur Amplitude Modulation* (QAM) misalnya, penggunaan spektrum radio lebih efisien karena lebih banyak data bit yang ditransmisikan dikemas dalam masing-masing simbol. Namun, ketika *Signal to Noise Ratio* (SNR) buruk, maka akan dapat mengurangi *throughput* saluran. Skema yang lebih rendah, seperti *Binary Phase Shift Keying* (BPSK), diperlukan untuk mempertahankan *throughput* yang lebih rendah dengan *bit error* yang dapat diterima. Dengan *modulasi adaptif*, dapat dilakukan perubahan skema *modulasi* terus-menerus sesuai dengan SNR dari saluran. *Modulasi* yang sesuai dapat mendukung *Bit Error Rate* yang baik ketika digunakan.

Dengan *error control coding*, *error control* yang lebih kuat diperoleh dengan sedikit *redundansi*. Sebagai contoh, *code rate* 5/6 akan mengirimkan 6 bit untuk setiap 5 data bit, Ini diperlukan untuk mencapai *Bit Error Rate* yang dapat diterima. Tetapi jika OFDM *subcarrier* SNR baik, *less error control* diperlukan, sebuah *code rate* 1/2 akan mengirimkan 2 bit untuk setiap 1 data bit, sehingga efisiensi spektrum dipotong setengah.

Dengan *adaptif coding*, kekuatan kode disesuaikan untuk mendapatkan kinerja yang baik. Sebuah kombinasi dari *modulasi adaptive* dan *coding*

adaptive dilakukan untuk setiap OFDM *subcarrier*, sehingga sistem dapat beradaptasi dengan kondisi SNR pada setiap *subcarrier*.

4. Phase Shift Keying

Pada modulasi *Binary Phase Shift Keying* (BPSK), sinyal yang dipancarkan merupakan dua sinyal yang berbeda. Jika sinyal *baseband* adalah suatu biner 0, maka yang dipancarkan:

$$A \cos(2\pi ft + \pi) = -A \cos(2\pi ft) \dots\dots\dots(3)$$

dan untuk biner 1, yang dipancarkan:

$$A \cos(2\pi ft) \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan persamaan:

A = amplitudo

f = frekuensi

t = waktu

Jarak kesalahan dari suatu sistem PSK dengan M Phase adalah $A \sin(\pi/M)$.

Suatu kesalahan detektor terjadi jika *noise* dari polaritas terdapat pada salah satu dari kedua *phase detector*.

5. Quadrature Amplitude Modulation

QAM dapat dikatakan sebagai modulasi PSK *multi phase* dimana 2 sinyal *baseband* dibangkitkan secara bebas pada masing-masing channel. Dua *independent (quadrature) channel* ditempatkan meliputi *baseband coding* dan *detection proses*. Pada kasus tertentu, 2 level pada masing-masing

channel, sistem tersebut identik dengan 4 PSK dan sering sekali direpresentasikan sebagai 4 PSK.

Sinyal QAM level tinggi jelas berbeda dengan sistem PSK level tinggi. Sebagai catatan bahwa sinyal QAM tidak memiliki *envelope* yang konstant seperti pada PSK. Pada modulasi PSK, *envelope* yang konstan dibatasi kombinasi level pada *quadrature channel*. Sebuah sistem QAM tidak dibatasi kombinasi tersebut karena level pada masing-masing channel dipilih secara bebas. Spektrum QAM dapat dihitung dengan spektrum sinyal *baseband* yang dipakai pada *quadrature channel* karena sinyal tersebut memiliki struktur basic yang sama seperti sinyal PSK, misal 16-QAM memiliki bentuk yang sama dengan 16-PSK dan 64-QAM sama dengan 64-PSK.

6. *Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ)*

HARQ adalah pilihan untuk *Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)*. *Ordinary Automatic Repeat Request (HARQ)* digunakan untuk meminta transmisi ulang sebuah protokol data unit (PDU - MAC layer data paket) jika paket ini ditemukan rusak (menurut *the cyclic redundancy check- CRC*). Hybrid ARQ (HARQ), *physical layer error control coding* (seperti *Reed-Solomon*, atau *turbo codes*) digunakan untuk menentukan apakah paket tersebut dapat dipulihkan. Jika tidak, mekanisme HARQ akan meminta transmisi ulang. Hal ini memberikan kinerja yang lebih baik dalam *error control* pada saluran nirkabel.

7. *Cyclic Prefix*

Salah satu keuntungan dari OFDM adalah kemampuannya dalam mengatasi *interferensi* antar simbol (*intersymbol interference*, ISI) karena adanya pengaruh kanal *multipath* dan *delay spread*. Teknik yang digunakan dalam mengatasi efek ISI yaitu dengan menambahkan interval pengaman (*Guard Interval*, GI) antara dua simbol OFDM. Interval pengaman yang dipilih adalah beberapa data simbol terakhir dari satu simbol OFDM. Interval pengaman yang dipilih, diduplikat menjadi awalan satu simbol OFDM, dan hal ini disebut *cyclic prefix*. Untuk menghindari ISI dalam sistem OFDM, *cyclic prefix* harus lebih besar dari pada *delay spread* maksimum saluran. *Cyclic prefix* sering digunakan bersamaan dengan *modulasi* untuk mempertahankan sinusoid properti pada *multipath channel*. *Cyclic prefix* juga digunakan dalam OFDM untuk memerangi *multipath* dengan membuat saluran estimasi sederhana. Dengan demikian, sebuah saluran *multipath* diubah menjadi paralel skalar sub-saluran dalam domain frekuensi, sehingga menyederhanakan desain *receiver*.

8. **Kanal Transmisi (*Air Interface*).**

Karakteristik propagasi pada kanal transmisi *mobile wireless* memiliki beberapa gangguan yang sangat merusak. Perusakan ini dapat menyebabkan sinyal yang diterima berbeda dengan sinyal yang dikirim, sehingga bisa menyebabkan terjadinya kesalahan informasi yang diterima.

Pada kanal transmisi selalu terdapat penambahan derau yang timbul karena akumulasi derau termal dari perangkat pemancar, kanal transmisi, dan perangkat penerima. Derau yang menyertai sinyal pada sisi penerima dapat didekati dengan model matematis statistik AWGN. Derau AWGN merupakan gangguan yang bersifat Additive terhadap sinyal transmisi, dimodelkan dalam pola distribusi acak Gaussian dengan rata-rata (mean) nol, standar deviasi 1, dan mempunyai rapat spektral daya yang tersebar merata pada lebar pita frekuensi tak berhingga. AWGN mempunyai distribusi derau dengan rumus sebagai berikut :

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-(x-m)^2 / 2\sigma^2\right] \dots\dots\dots(5)$$

dimana :

- p(x) = probabilitas kemunculan derau
- σ = standar deviasi
- m = rata-rata (mean)
- x = variabel (tegangan atau daya sinyal)

Additive White Gaussian Noise (AWGN) merupakan model kanal sederhana dan umum dalam suatu sistem komunikasi. Perusakan dari gangguan AWGN tidak terlalu berpengaruh karena dapat ditangani dengan baik oleh teknik *Forward Error Correction* (FEC).

Keadaan *multipath* dalam komunikasi bergerak menyebabkan penghamburan dan pemantulan sinyal transmisi menjadi beberapa sinyal lain. Beberapa sinyal lain ini melalui lintasan yang berbeda-beda. Sehingga kuat sinyal dan waktu tiba di penerima berbeda-beda. Hal ini menyebabkan masalah *multipath fading* dan *delay spread*.

Panjang lintasan dan perlakuan perlambatan gelombang yang berbeda-beda mengakibatkan sinyal-sinyal *multipath* sampai pada penerima dengan waktu tunda yang bervariasi. Sebuah impuls yang dikirimkan oleh pemancar akan diterima oleh penerima bukan lagi sebagai impuls melainkan pulsa dengan lebar penyebaran yang disebut *delay spread*.

Delay spread ini dapat menimbulkan *interferensi* antar simbol (ISI), karena setiap simbol akan saling bertumbukan dengan simbol sebelum dan sesudahnya. Pergeseran frekuensi Doppler disebabkan oleh pergerakan relatif dari *mobile station* terhadap *base station*. Pergeseran frekuensi tergantung pada kecepatan dan arah gerak *mobile station*. Persamaan untuk menentukan besarnya pergeseran frekuensi adalah:

$$F_{\text{doppler}} = (v / \lambda) \cdot \cos \phi \dots\dots\dots (6)$$

dimana F_{doppler} adalah besarnya pergeseran frekuensi pembawa, v adalah kecepatan gerak relative *mobile station* terhadap *base station*, λ merupakan panjang gelombang dari frekuensi pemancar dan ϕ adalah sudut datang yang dibentuk antara path tersebut dengan arah gerak *mobile station*.

I *Signal to Noise Ratio*

Signal to Noise Ratio adalah perbandingan antara daya sinyal yang diinginkan terhadap daya *noise* yang diterima pada suatu titik pengukuran. SNR ini adalah suatu parameter untuk menunjukkan tingkat kualitas sinyal penerimaan pada sistem komunikasi analog, dimana semakin besar harga SNR maka kualitas akan semakin baik, dan satuan dari SNR ini adalah dalam

dB. Pengukuran S/N ini biasanya dilakukan pada sistem komunikasi analog pada bagian penerima untuk menunjukkan kualitas sinyal terima dibandingkan dengan noisenya. S/N juga digunakan sebagai patokan batas ambang sinyal informasi analog yang masih dapat diterima dengan baik. Nilai S/N dapat diperoleh dengan rumus.

$$\text{SNR} = \frac{P_s}{P_N} \dots\dots\dots(7)$$

Dimana :

P_s : Daya Sinyal

P_N : Daya *Noise*

J. Parameter Physical Layer (PHY) dalam WiMAX

Ada tiga *variant WiMAX PHY* yaitu : OFDM 256-carrier (wajib), *single carrier* (opsional) dan 2048 OFDMA (opsional). OFDM 256 dipilih untuk diimplementasikan, yaitu dengan 256 FFT point, *guard interval (GI)* sebesar = 1/4, 1/8, 1/16, 1/32 dan error koreksinya menggunakan *convolutional coding (CC)*. Teknik modulasinya adalah adaptif (*adaptif modulation*) untuk BPSK, QPSK, 16QAM dan 64QAM. Jika lingkungan jelek atau jauh dari *base station*, modulasi yang dipakai BPSK, sedangkan jika lingkungan baik dipakai 64QAM. Dan untuk menjaga level *Bit Error Rate (BER)* digunakan teknik ARQ (*automatic repeat request*).