



UNIVERSITAS INDONESIA

**REDUKSI EFEK INTERFERENSI COCHANNEL PADA
DOWNLINK MIMO-OFDM UNTUK SISTEM MOBILE
WIMAX**

SKRIPSI

ARYA PANJI PAMUNCAK

04 05 03 0141

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA

DEPOK

Juni 2009



UNIVERSITAS INDONESIA

**REDUKSI EFEK INTERFERENSI COCHANNEL PADA
DOWNLINK MIMO-OFDM UNTUK SISTEM MOBILE
WIMAX**

SKRIPSI

**Diajukan untuk melengkapi
sebagian persyaratan menjadi sarjana teknik**

ARYA PANJI PAMUNCAK

04 05 03 0141

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA**

DEPOK

Juni 2009

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Arya Panji Pamuncak

NPM : 0405030141

Tanda Tangan :

Tanggal : 1 Juli 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Arya Panji Pamuncak
NPM : 0405030141
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Reduksi Efek Interferensi Cochannel pada Downlink
MIMO-OFDM Untuk Sistem Mobile WiMAX

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Muhamad Asvial, M.Eng., PhD (.....
Penguji : Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo M.Sc (.....
Penguji : Ir. Arifin Djauhari MT (.....

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 1 Juli 2009

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis sampaikan kepada Allah SWT atas segala Karunia dan Rahmat-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

Dr. Ir. Muhamad Asvial, M.Eng., PhD

Sebagai dosen pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan arahan, bimbingan dan diskusi sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak, ibu, kakak, adik-adik dan seluruh keluarga penulis atas segala dukungan moril dan materiil yang telah diberikan.
2. Natalia Maria yang selalu mendukung penulis agar dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Terima kasih atas dukungan yang diberikan selama ini.
3. Datong Yudistira, Indra Kusuma, Agus Setiawan, Andhika Bayu Wijaya, Rukdas Imam Faisal sebagai teman penulis selama 4 tahun penulis menuntut ilmu di Universitas Indonesia. Terima kasih atas kebersamaan dan kerjasama selama 4 tahun ini.
4. Taufiq Nugroho, Haris Setiawan, Suwardjono Adiputro, Welman Hasilholan dan Wahyu Adiguna sebagai teman-teman bimbingan penulis yang sudah bersama-sama berusaha menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Rekan-rekan elektro angkatan 2005 yang selalu memberikan semangat dan dukungan dalam menyusun tugas akhir.
6. Keluarga Besar Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia, baik mahasiswa, dosen, staff dan staff pendukung lainnya.
7. Aryo Waskito, Norman Noordin, Dori Kurniawan, dan Eka Suryaning O yang sudah memberikan dukungan selama pembuatan tugas akhir ini.

8. Seluruh pihak-pihak lain yang tidak mungkin dapat disebutkan namanya satu persatu di halaman ini.

Akhir kata, penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Juni 2009

Penulis

ABSTRAK

Nama : Arya Panji Pamuncak
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Reduksi Interferensi Cochannel pada Downlink MIMO-OFDM
Multisel Untuk Sistem Mobile WiMAX

Mobile WiMAX, yang dipandang sebagai pemimpin generasi keempat sebagai akses wireless, membutuhkan skema *frequency reuse* agar dapat menghasilkan jangkauan layanan yang luas. Namun, dengan adanya penggunaan skema *frequency reuse*, maka terdapat masalah berupa interferensi cochannel. Skripsi ini membahas tentang perancangan metode untuk mereduksi interferensi cochannel pada sistem Mobile WiMAX yang menggunakan prinsip MIMO-OFDM. Metode penanganan interferensi cochannel dilakukan dengan menggunakan metode *adaptive beamforming* dengan algoritma MMSE. Metode ini digabungkan dengan teknik *Adaptive Modulation and Coding* dimana dihasilkan *throughput* yang besar dengan tetap menjaga nilai error yang dihasilkan. Dari simulasi yang dilakukan, terlihat bahwa metode *beamforming* dapat menangani masalah interferensi cochannel.

Kata kunci:

WiMAX, 802.16e, MIMO-OFDM, interferensi cochannel dan AMC.

ABSTRACT

Name : Arya Panji Pamuncak
Study Program : Teknik Elektro
Title : Co-channel Inteference Reduction of Downlink MIMO OFDM
for Mobile WiMAX System

Mobile WiMAX, which will lead the 4-th generation wireless technology, needs frequency reuse scheme to give a wide coverage service. But, the use of frequency reuse scheme provides a problem called cochannel interference. The thesis describes about a method which is designed to reduce co-channel interference on Mobile WiMAX system which uses a MIMO-OFDM system. Interference rejection is done by using adaptive beamforming method that based on MMSE algorithm. The method is combined with Adaptive Modulation and coding technique that gives high throughput while minimizing the error. From the simulation, it is obtain that beamforming method can be used to reduce the cochannel interference.

Key Word:

WIMAX, 802.16e, MIMO-OFDM, co-channel interference and AMC.

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Arya Panji Pamuncak
NPM : 0405030141
Program studi : S1 Reguler Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

“Reduksi Interferensi Cochannel pada Downlink MIMO-OFDM Multisel Untuk Sistem Mobile WiMAX”

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih-mediakan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 17 Juni 2009
Yang menyatakan

(Arya Panji Pamuncak)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT	vii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Tujuan Penulisan	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 Mobile WiMAX dan Interferensi Cochannel.....	4
2.1 Mobile WiMAX	4
2.1.1 Arsitektur Mobile WiMAX	6
2.1.2 Alokasi Frekuensi	7
2.2 Deskripsi Physical Layer Mobile WiMAX.....	8
2.2.1 OFDMA	8
2.2.1.1 OFDMA Symbol Structure dan Sub-Channelization	13

2.2.2 Struktur Frame TDD	14
2.2.3 Fractional Frequency Reuse	16
2.3 Teknologi Smart Antenna	17
2.3.1 Multiple-Input Multiple-Output (MIMO)	18
2.3.1.1 MIMO Matriks A	20
2.3.1.2 MIMO Matriks B	24
2.3.1.3 Sistem Adaptive MIMO	25
2.3.1.4 Beamforming	26
2.3.1.5 Algoritma Least Mean Square (LMS)	27
2.4 Adaptive Modulation and Coding (AMC)	29
2.5 Interferensi	30
2.5.1 Reduksi Co-Channel Interference	31
2.5.2 C/I dari kasus normal pada sistem Antena Omnidirectional	32
2.5.3 C/I dari kasus terburuk pada sistem Antena Omnidirectional	34
BAB 3 Pemodelan Simulasi	37
3.1 Transmitter	37
3.1.1 Data Generator	37
3.1.2 Encoder	38
3.1.3 Modulator	39
3.1.4 Pemberian Pilot Subcarrier	40
3.1.5 Space Time Diversity Encoder	41
3.1.6 Pemberian Simbol Training	42
3.1.7 Pemberian Guard Band	43
3.1.8 IFFT	44
3.1.9 Cyclic Prefix	45

3.2 Kanal.....	45
3.2.1 Multipath Rayleigh.....	46
3.2.2 Kanal AWGN.....	47
3.2.3 Interferensi.....	47
3.2.4 Beamforming.....	47
3.3 Receiver.....	48
3.3.1 Pelepasan CP.....	49
3.3.2 FFT.....	49
3.3.3 Pelepasan Guard Band.....	49
3.3.5 Pelepasan Simbol Training.....	49
3.3.6 Pelepasan Pilot Subcarrier.....	50
3.3.7 Demodulator.....	51
3.3.8 Decoder.....	51
3.4 Adaptive Modulation and Coding.....	52
BAB 4 Simulasi dan Analisa.....	42
4.1 Perbandingan Kinerja Sistem Dengan dan Tanpa Interferensi.....	54
4.2 Kinerja Sistem AMC pada Kondisi Tanpa Interferensi.....	57
4.3 Kinerja Sistem AMC pada Sistem Dengan Interferensi.....	60
4.4 Kinerja Sistem Beamforming Dengan Interferensi.....	63
4.5 Sistem AMC Beamforming.....	65
BAB 5 Kesimpulan.....	68
REFERENSI.....	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sistem Duplexing TDD	14
Tabel 2. 2 Harga C/I kasus normal	34
Tabel 2. 3 C/I Untuk Kasus Terburuk dan Kasus Khusus	35
Tabel 3. 1 Modulasi dan skema coding.....	38
Tabel 3. 2 Modulasi dan Normalisasi Daya	39
Tabel 3. 3 Symbol Alphabet Modulasi	40
Tabel 3. 4 AMC pada Simulasi	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Profil Sistem Mobile WIMAX	4
Gambar 2. 1 Profil Sistem Mobile WIMAX	4
Gambar 2. 2 Arsitektur Mobile WiMAX	6
Gambar 2. 3 Konfigurasi Jaringan Mobile WiMAX	7
Gambar 2. 4 Bagan Dasar OFDM	8
Gambar 2. 5 Pembagian Subcarrier pada OFDM	10
Gambar 2. 6 Efek Penyisipan Guard Interval	11
Gambar 2. 7 Transmisi Gelombang Radio	12
Gambar 2. 8 Struktur simbol OFDMA	13
Gambar 2. 9 struktur frame OFDM dengan pengimplementasian TDD	15
Gambar 2. 10 Fractional Frequency Reuse	17
Gambar 2. 11 Perbandingan SISO, SIMO, MISO dan MIMO	18
Gambar 2. 12 Prinsip Penggunaan MIMO	19
Gambar 2. 13 Pembagian MIMO pada WiMAX	19
Gambar 2. 14 MIMO Matriks $A 2 \times 2$	21
Gambar 2. 15 Kerja MIMO Matriks A	22
Gambar 2. 16 Kerja MIMO Matriks B	24
Gambar 2. 17 Sistem Adaptive MIMO	25
Gambar 2. 18 Prinsip Dasar Beamforming	26
Gambar 2. 19 Prinsip algoritma Least Mean Square	27
Gambar 2. 20 Adaptive Modulation and Coding	30
Gambar 2. 21 Bentuk Interferensi	31
Gambar 2. 22 Pemodelan sitem komunikasi sel	31
Gambar 2. 23 Interferensi Cochannel dari 6 Sel 1stier	33

Gambar 2. 24. (a). Interferensi Kasus Terburuk, (b). Interferensi kasus Khusus.....	34
Gambar 3. 1 Gambar Tiap-tiap bagian.....	36
Gambar 3. 2 Isi Blok Bernoulli Binary Generator.....	38
Gambar 3. 3 Proses Encoding	38
Gambar 3. 4 Diagram Konstelasi BPSK, QPSK dan 16 QAM.....	39
Gambar 3. 5 Pemasukan Pilot Subcarrier	41
Gambar 3. 6 STBC Encoder pada Simulasi	41
Gambar 3. 7. (a). Preamble untuk Tx1 dan (b). Preamble untuk Tx2	42
Gambar 3. 8 Subcarrier Sebelum Diberi Guard Band	43
Gambar 3. 9 Subcarrier Setelah Pemberian Guard Band.....	43
Gambar 3. 10 Pemberian Guard Band	44
Gambar 3. 11 Urutan Subcarrier Setelah Disusun Ulang	45
Gambar 3. 12 Model Kanal Pada Simulasi	46
Gambar 3. 13 Blok Multipath Rayleigh Fading	46
Gambar 3. 14 Blok AWGN Channel	47
Gambar 3. 15 Beamforming Pada Receiver.....	48
Gambar 3. 16 Proses Pada Receiver	49
Gambar 3. 17 STBC combiner	50
Gambar 3. 18 Pelepasan Pilot Subcarrier.....	50
Gambar 3. 19 Decoder pada Simulasi.....	51
Gambar 3. 20 AMC Untuk Encoder dan Modulator	53
Gambar 3. 21 AMC Untuk Decoder dan Demodulator	53
Gambar 4. 1 Perbandingan BER VS SNR Antara Sistem Tanpa Interferensi dengan Sistem yang Terkena Interferensi	54

Gambar 4. 2 Perbandingan Throughput VS SNR Antara Sistem Tanpa Interferensi dengan Sistem yang Terkena Interferensi	55
Gambar 4. 3. (a). Konstelasi Sistem Tanpa Interferensi dan (b). Konstelasi Akibat Interferensi.....	56
Gambar 4. 4 Perbandingan BER VS SNR Untuk Sistem dengan AMC dan Sistem Tanpa AMC Tanpa Pengaruh Interferensi	57
Gambar 4. 5 Perbandingan Throughput VS SNR Untuk Sistem dengan AMC dan Sistem Tanpa AMC Tanpa Pengaruh Interferensi.....	57
Gambar 4. 6. (a). Konstelasi pada Saat SNR Bernilai 27 dB, (b). SNR Bernilai 20 dB, (c). SNR Bernilai 11 dB dan (e). SNR Bernilai 3dB.....	58
Gambar 4. 7 Perbandingan BER VS SNR Untuk Sistem dengan AMC dan Sistem Tanpa AMC pada Pengaruh Interferensi.....	60
Gambar 4. 8 Perbandingan Throughput VS SNR Untuk Sistem dengan AMC dan Sistem Tanpa AMC pada Pengaruh Interferensi	60
Gambar 4. 9. (a). Konstelasi pada Saat SNR Bernilai 27 dB, (b). SNR Bernilai 20 dB, (c). SNR Bernilai 11 dB dan (e). SNR Bernilai 3dB Kondisi Interferensi	61
Gambar 4. 10 Perbandingan BER VS SNR Sistem 16-QAM Beamforming dengan Sistem 16-QAM.....	63
Gambar 4. 11 Perbandingan Throughput VS SNR Sistem 16-QAM Beamforming dengan Sistem 16-QAM.....	64
Gambar 4. 12 Perbandingan BER VS SNR Untuk Sistem AMC Beamforming, Sistem 16-QAM beamforming, Sistem AMC dan Sistem 16-QAM pada Pengaruh Interferensi.....	65
Gambar 4. 13 Perbandingan Throughput VS SNR Untuk Sistem AMC Beamforming dan Sistem Tanpa Beamforming pada Pengaruh Interferensi.....	66

BAB 1

Pendahuluan

1.1 Latar Belakang Masalah

Pada saat ini, kebutuhan masyarakat terhadap teknologi telekomunikasi semakin besar. Perkembangan teknologi telekomunikasi telah membantu masyarakat dalam memenuhi kebutuhan mereka. Dengan teknologi telekomunikasi, sekarang masyarakat dapat mengakses data dengan kecepatan tinggi dan menggunakan pelayanan yang dapat memenuhi kebutuhan mereka. Pemenuhan kebutuhan pun dapat dilakukan dengan menggunakan sistem komunikasi *wireless* yang memberikan mobilitas lebih tinggi daripada sistem komunikasi *fixed*. Karena itu, peningkatan kebutuhan masyarakat harus dihadapi dengan penggunaan teknologi yang maju.

Mobile WiMAX dipandang sebagai teknologi yang akan memimpin generasi keempat untuk sistem komunikasi wireless. Mobile WiMAX memberikan kemampuan teknologi untuk transfer data pada jumlah besar dengan *throughput* yang besar sehingga banyak aplikasi yang dapat diberikan oleh Mobile WiMAX yang dapat memenuhi kebutuhan dari masyarakat. Karena itu, Mobile WiMAX akan berkembang sehingga dapat memenuhi kebutuhan masyarakat.

Salah satu hambatan utama dari teknologi berbasis WLAN atau WMAN sebagai akses *wireless* adalah jangkauan terbatas yang dihasilkan. Pada radio *mobile*, layout seluler dapat memberikan jangkauan area yang luas dengan menggunakan *frequency reuse*. Namun, penggunaan skema *frequency reuse* dapat menghasilkan masalah berupa interferensi cochannel [1] [2] dimana penerima menerima sinyal yang mendapat gangguan dari pemancar yang menggunakan frekuensi yang sama sehingga design dari sistem harus dialokasikan untuk mengatasi interferensi cochannel untuk mendapatkan *spectral efficiency* link yang besar.

Terdapat beberapa metode yang digunakan untuk mengatasi interferensi cochannel. Pada [3], metode penanganan interferensi dilakukan dengan

melakukan koordinasi antar BS dengan penggunaan SFBC [4]. Pada [5] metode penanganan interferensi dilakukan dengan menggunakan *cyclic prefix*, namun penggunaan *cyclic prefix* dapat menurunkan efisiensi sistem karena selanjutnya *cyclic prefix* tidak digunakan.

Karena itu, pada skripsi ini akan dibahas suatu skema *downlink* suatu sistem MIMO-OFDM yang dapat mempertahankan *peak rate* yang dicapai pada satu sel tunggal dengan menggunakan *beamforming* yang dapat digunakan untuk mengantisipasi interferensi cochannel. Dari simulasi yang dilakukan, didapatkan bahwa sistem AMC *beamforming* dapat menangani masalah interferensi dengan memberi throughput yang besar dengan tetap menjaga error yang dihasilkan.

1.2 Tujuan Penulisan

Tujuan penelitian tugas akhir yang dilakukan oleh penulis adalah sebagai berikut.

- Membuat rancangan suatu sistem komunikasi MIMO-OFDM.
- Melihat pengaruh interferensi cochannel terhadap kinerja sistem.
- Mengaplikasikan sistem yang digunakan dalam menangani interferensi cochannel.

1.3 Batasan Masalah

Penulisan yang dilakukan oleh penulis dibatasi dalam batasan sebagai berikut.

- penanganan interferensi cochannel pada sistem MIMO-OFDM dimana digunakan teknik *beamforming* dalam mengatasi masalah interferensi cochannel.
- Sistem hanya bersifat *downlink* saja dimana BS memberikan informasi terhadap MS.
- Sistem bersifat *point-to-point* sehingga terdapat sebuah sumber yang mengirim kepada sebuah penerima dimana baik sumber maupun penerima menggunakan 2 buah antenna.

1.4 Sistematika Penulisan

Pembahasan yang dilakukan pada skripsi ini terbagi menjadi empat (4) bab yaitu:

Bab 1. Pendahuluan

Bab ini terdiri dari latar belakang masalah, tujuan penulisan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

Bab 2. Mobile WiMAX dan Interferensi Cochannel

Bab ini berisi tentang teori dasar dari Mobile WiMAX dimana dijelaskan arsitektur Mobile WiMAX, *physical layer* dari Mobile WiMAX, sistem duplexing pada mobile WiMAX, *frequency reuse* pada Mobile WiMAX, teknologi antenna yang terdapat pada sistem Mobile WiMAX, *Adaptive Modulation and Coding* dan interferensi cochannel.

Bab 3. Pemodelan Simulasi

Bab ini berisi perencanaan sistem dimana digambarkan pemodelan dari simulasi yang dibuat mulai dari pemodelan transmitter, pemodelan kanal dan pemodelan receiver.

Bab 4. Simulasi dan Analisa

Bab ini memberikan hasil simulasi yang telah dilakukan dan analisa terhadap hasil simulasi yang didapat.

Bab 5. Kesimpulan

Bab ini berisi kesimpulan yang merupakan penutup pada skripsi ini.

BAB 2

Mobile WiMAX dan Interferensi Cochannel

2.1 Mobile WIMAX

Mobile WiMAX merupakan suatu teknologi yang dapat memberikan konvergensi jaringan *mobile* dan *fixed broadband* dengan menggunakan teknologi akses radio yang luas dan arsitektur jaringan yang fleksibel [6]. *Interface* udara pada Mobile WIMAX menggunakan prinsip *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) untuk mengatasi *multipath* pada kondisi non-line-of-sight. Agar dapat memaksimalkan penggunaan kanal bandwidth maka diperkenalkan *Scalable OFDMA* (SOFDMA) pada amandemen IEEE 802.16e. *Mobile Technical Group* (MTG) pada WiMAX Forum mengembangkan profil sistem Mobile WiMAX yang memungkinkan sistem *mobile* dikonfigurasi

Profil sistem untuk Mobile WIMAX sudah ditetapkan sebagai standard IEEE dimana terdapat fitur wajib dan tambahan untuk sistem Mobile WIMAX. Profil sistem Mobile WIMAX dapat membuat sistem dapat dikonfigurasi dengan tetap menjaga fungsi dari *baseline* dan *base station* agar tetap *interoperable*. Beberapa elemen dari *base station* merupakan elemen tambahan yang berguna untuk memberikan fleksibilitas pada saat pengaplikasian. Hal ini disesuaikan dengan keadaan dimana setiap wilayah membutuhkan konfigurasi yang berbeda. Konfigurasi bisa dibuat untuk mengoptimasikan kapasitas ataupun mengoptimasikan daerah cakupan. Gambar 2.1 menunjukkan Profil dasar dari Mobile WiMAX.



Gambar 2. 1 Profil Sistem Mobile WIMAX

Pada forum WIMAX, *Network Working Group* (NWG) mengembangkan spesifikasi jaringan untuk sistem Mobile WIMAX yang tidak terdapat pada standar IEEE 802.16. Penggabungan hasil dari standar IEEE 802.16 dan Forum WIMAX membantu menentukan solusi untuk sistem end-to-end jaringan Mobile WIMAX.

Sistem Mobile WiMAX memberikan skalabilitas baik untuk teknologi akses radio maupun untuk arsitektur jaringan, sehingga menghasilkan fleksibilitas pada pemilihan spesifikasi untuk pengaplikasian Mobile WiMAX dan juga fleksibilitas pada servis yang dapat diberikan. Beberapa fitur menonjol yang diberikan Mobile WiMAX di antaranya:

- **High Data Rates:** Penggunaan dari teknik MIMO pada antena disatukan dengan skema *sub-channelization* yang fleksibel, teknik pengkodean dan modulasi yang lebih canggih membuat sistem Mobile WiMAX dapat menangani *data rate* untuk DL sebesar 63 Mbps per sektor dan *data rate* untuk UL sebesar 28 Mbps per sektor pada kanal 10 MHz.
- **Quality of Service (QoS):** Dasar pemikiran utama pada arsitektur MAC dalam standar IEEE 802.16 terletak pada QoS. Pada standar didefinisikan *service flows* yang dapat berkaitan dengan *DiffServ code points* atau *MPLS flow labels* yang merupakan QoS untuk jaringan berbasis IP. Kemudian, *sub-channelization* dan skema pensinyalan berbasis MAP memberikan mekanisme fleksibel untuk penetapan sumber daya berupa ruang, frekuensi dan waktu yang optimal.
- **Scalability:** Spektrum yang dibutuhkan untuk *wireless broadband* masih berbeda dalam pengalokasiannya. Untuk itu, teknologi Mobile WiMAX didesain untuk dapat menyesuaikan sendiri agar dapat bekerja pada kanal yang berbeda yaitu dari 1.25 hingga 20 MHz agar dapat memenuhi kebutuhan yang tentunya berbeda pada tiap tempat di dunia. Hal ini merupakan suatu cara yang dibutuhkan dalam mencapai keharmonisan spektrum pada waktu yang lama. Selain itu, penerapan sistem Mobile WiMAX juga memberi keuntungan geografis kepada suatu negara yaitu dengan memberikan akses internet di area rural.

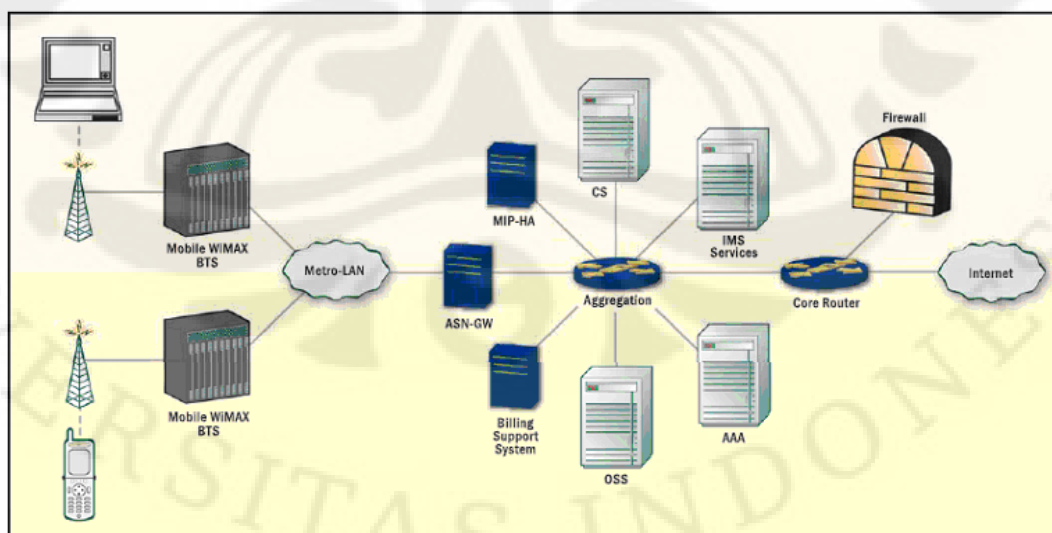
- **Security:** Fitur yang diberikan untuk aspek keamanan dari Mobile WiMAX merupakan yang terbaik di kelasnya dengan terdapatnya *EAP-based authentication*, *AES-CCM-based authenticated encryption*, dan CMAC dan HMAC berbasis skema *control message protection*.
- **Mobility:** Mobile WiMAX dapat mengoptimasi skema handover dengan besar latency kurang dari 50 milisekon untuk memastikan aplikasi real-time seperti VoIP tanpa adanya degradasi servis. Skema Flexible key management memastikan bahwa keamanan terjaga ketika terjadi handover.

2.1.1 Arsitektur Mobile WiMAX

Menurut WiMAX Forum, arsitektur Mobile WiMAX terdiri dari 3 bagian pokok, yaitu:

- User Terminal yang merupakan end-user untuk mengakses jaringan.
- Access Service Network (ASN) yang terdiri dari satu atau lebih BS dan satu atau lebih ASN gateway yang membentuk jaringan akses radio.
- Connectivity Service Network (CSN) yang menyediakan konektivitas IP dan semua fungsi core Network Internet Protocol.

Arsitektur Mobile WiMAX terdapat pada gambar 2.2 :

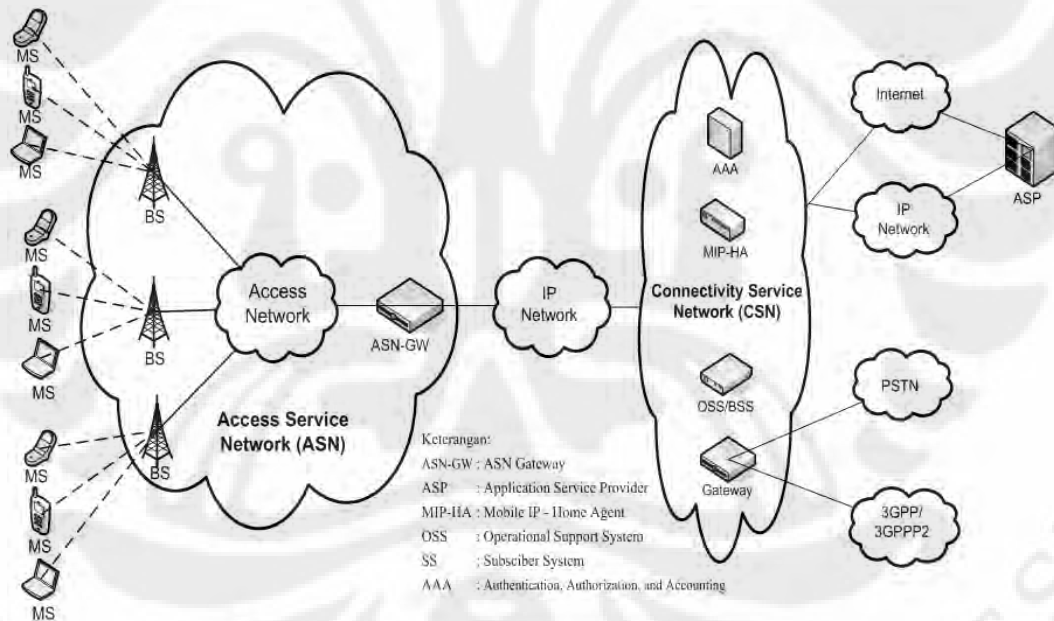


Gambar 2. 2 Arsitektur Mobile WiMAX

WiMAX NGW mendefinisikan beberapa entity dalam jaringan Mobile WiMAX:

- *Base Station (BS)*
Base Station memiliki fungsi utama yaitu membangun hubungan dengan *mobile station*. BS juga memiliki fungsi lain yaitu mengatur *micromobility management* seperti proses *handover*, *radio resource management*.
- Access Service Network - Gateway (ASN-GW)
ASN-GW berfungsi untuk mengatur *location management* dan *paging* intra-ASN, mengatur AAA pelanggan, serta menjalankan fungsi *mobile IP*.
- Connectivity Service Network (CSN)
Berfungsi menyediakan konektivitas ke internet, ASP dan fungsi jaringan umum lainnya.

Gambar 2.3 menunjukkan konfigurasi jaringan Mobile WiMAX :



Gambar 2. 3 Konfigurasi Jaringan Mobile WiMAX

2.1.2 Alokasi Frekuensi

Dalam teknologi WiMAX ada beberapa spektrum frekuensi yang disediakan antara lain 2.3 GHz, 2.5 GHz, 3.3 GHz, 3.5 GHz, 5.8 GHz dan 10.5 GHz. Penggunaan spektrum ini berbeda untuk tiap negara sesuai dengan regulasi

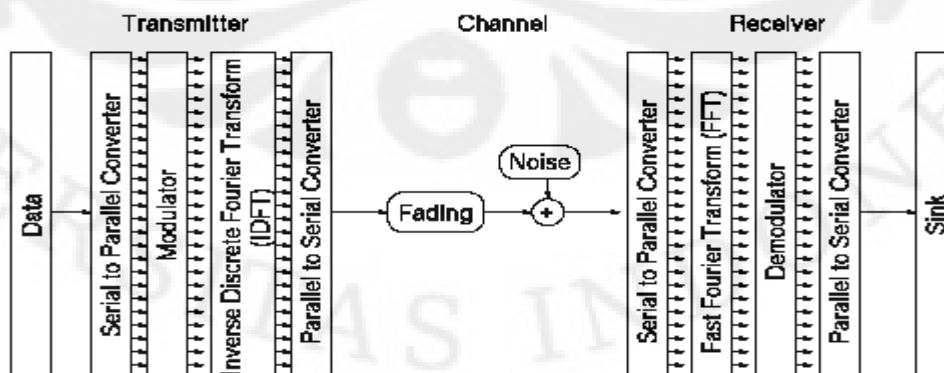
yang berlaku pada masing-masing negara. Pada regulasi yang berlaku di Indonesia, spektrum frekuensi yang digunakan di Indonesia adalah spektrum frekuensi 2.3 GHz. Frekuensi ini dipilih karena pemerintah Indonesia merencanakan akan mengalokasikan spektrum frekuensi 2.3 GHz untuk jaringan Mobile WiMAX (IEEE 802.16e) dengan bandwidth kanal yang digunakan masing-masing 15 MHz. Hingga saat ini, WiMAX di Indonesia sedang memasuki pelelangan frekuensi dimana terdapat 22 peserta yang terdaftar untuk mengikuti seleksi *tender* WiMAX [7].

2.2 Deskripsi *Physical Layer* Mobile WiMAX

2.2.1 OFDMA

Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) adalah teknologi *multiple access* dari Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM). Teknologi OFDM sudah dikenal cukup lama dan sudah digunakan pada ADSL, Wi-Fi (802.11a/g), DVB-H dan sistem transmisi digital berkecepatan tinggi lainnya. Salah satu penggunaan OFDM pada transmisi nirkabel merupakan standar WiMAX 802.16d. Standar ini sudah digunakan untuk menghasilkan kemampuan akses internet berkecepatan tinggi baik sebagai pengganti teknologi lain seperti ADSL atau teknologi dengan kabel ataupun untuk menghasilkan servis pada wilayah yang belum memiliki teknologi akses.

Gambar 2.4 menunjukkan bagan dasar teknologi OFDM:



Gambar 2. 4 Bagan Dasar OFDM

Prinsip kerjanya adalah sebagai berikut. Deretan data informasi yang akan dikirim dikonversikan kedalam bentuk parallel, sehingga bila bit rate semula adalah R , maka bit rate di tiap-tiap jalur parallel adalah R/M dimana M adalah jumlah jalur parallel (sama dengan jumlah sub-carrier). Setelah itu, modulasi dilakukan pada tiap-tiap sub-carrier. Modulasi ini bisa berupa BPSK, QPSK, QAM atau yang lain, tapi ketiga teknik tersebut sering digunakan pada OFDM. 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 (*orthogonal*). Setelah itu simbol-simbol OFDM dikonversikan lagi kedalam bentuk serial, dan kemudian sinyal dikirim [8].

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.

Sinyal yang terkirim tersebut, dalam persamaan matematik bisa diekspresikan sebagai berikut,

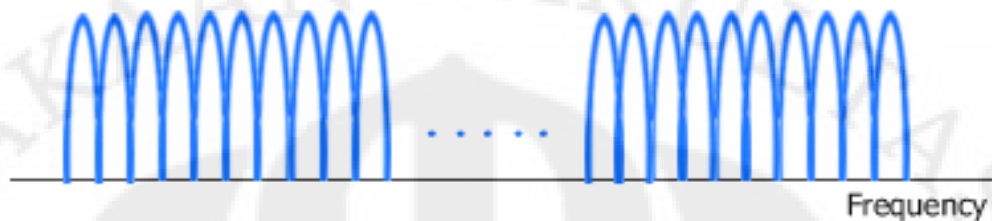
$$s(t) = \text{Re} \left\{ \sum_{n=-\infty}^{+\infty} b_n f(t - nT) e^{j(\omega_0 t + \varphi)} \right\} \quad (2.1)$$

Dimana $\text{Re}(\cdot)$ adalah bagian real dari persamaan, $f(t)$ adalah respons impuls dari filter transmisi, T adalah periode simbol, ω_0 adalah frekuensi pembawa (*carrier frequency*) dalam bentuk radian, φ adalah fase pembawa (*carrier phase*), dan b_n adalah data informasi yang telah termodulasi yang menjadi input dari IDFT.

Pada stasiun penerima, dilakukan operasi yang berkebalikan dengan apa yang dilakukan di stasiun pengirim. Mulai dari konversi dari serial ke parallel, kemudian konversi sinyal parallel dengan *Fast Fourier Transform* (FFT), setelah itu demodulasi, konversi parallel 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. Pemakaian frekuensi yang saling orthogonal pada

OFDM memungkinkan overlap antar frekuensi tanpa menimbulkan interferensi satu sama lain sehingga dapat meningkatkan efisiensi. Gambar 2.5 menunjukkan pembagian sub-channel pada OFDM.



Gambar 2. 5 Pembagian Subcarrier pada OFDM

Istilah *orthogonal* dalam *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) mengandung makna hubungan matematis antara frekuensi-frekuensi yang digunakan. Dengan persamaan matematika bisa diekspresikan sebagai berikut, dua buah kumpulan sinyal dikatakan orthogonal bila,

$$\int_a^b \psi_p(t) \psi_q^*(t) dt = \begin{cases} k & \text{untuk } p = q \\ 0 & \text{untuk } p \neq q \end{cases} \quad (2.2)$$

Satu prinsip kunci dari OFDM adalah dimana skema modulasinya dengan rasio symbol yang rendah sehingga hanya mendapat sedikit pengaruh *intersymbol interference* dari *multipath fading*. Oleh karena itu, maka dapat ditransmisikan sejumlah aliran *low-rate* dalam paralel, bukan aliran *high-rate* tunggal. Karena durasi dari tiap simbol panjang, maka memungkinkan untuk penyisipan guard interval di antara simbol-simbol OFDM, sehingga dapat menghilangkan *intersymbol interference*.

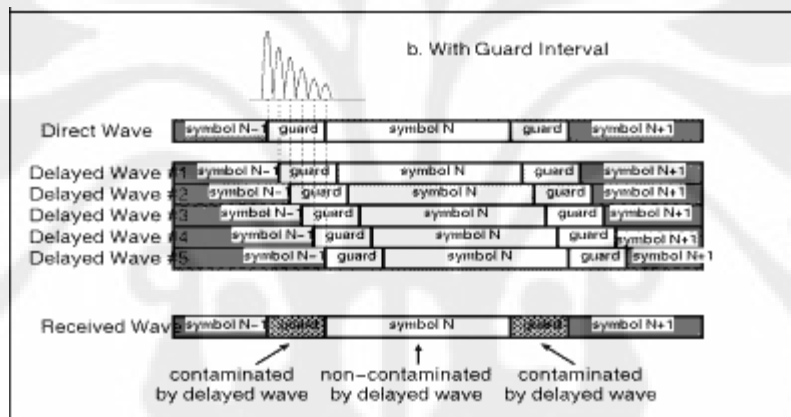
Pada OFDM, sinyal didesain sedemikian rupa agar orthogonal, sehingga bila tidak ada distorsi pada jalur komunikasi yang menyebabkan ISI (*intersymbol interference*) dan ICI (*intercarrier interference*), maka setiap *subchannel* akan bisa dipisahkan stasiun penerima dengan menggunakan DFT. Tetapi pada kenyataannya tidak semudah itu. Karena pembatasan spektrum dari sinyal OFDM tidak *strict*, sehingga terjadi distorsi linear yang mengakibatkan energi pada tiap-tiap *subchannel* menyebar ke *subchannel* di sekitarnya, dan pada akhirnya ini

akan menyebabkan interferensi antar simbol (ISI). Solusi yang termudah adalah dengan menambah jumlah *subchannel* sehingga periode simbol menjadi lebih panjang, dan distorsi bisa diabaikan bila dibandingkan dengan periode simbol. Tetapi cara diatas tidak aplikatif, karena sulit mempertahankan stabilitas carrier dan juga menghadapi *Doppler Shift*. Selain itu, kemampuan FFT juga ada batasnya.

Pendekatan yang relatif sering digunakan untuk memecahkan masalah ini adalah dengan menyisipkan guard interval (interval penghalang) secara periodik pada tiap simbol OFDM. Sehingga total dari periode simbol menjadi :

$$\mathbf{T\ total = T\ guard + T\ symbol} \quad (2.3)$$

Efek dari penyisipan tersebut dapat digambarkan pada gambar 2.6 :



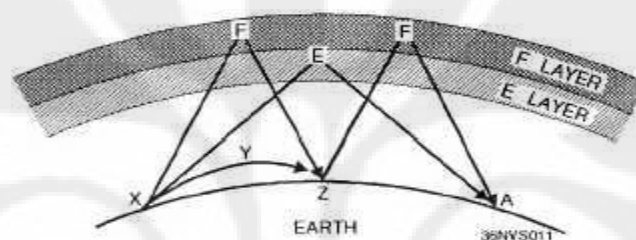
Gambar 2.6 Efek Penyisipan Guard Interval

Cyclic prefix yang ditransmisikan selama guard interval, terdiri dari akhir dari simbol OFDM yang dikopi ke *guard interval*, dan *guard interval* ditransmisikan diikuti dengan simbol OFDM. Alasan guard interval terdiri dari kopi dari akhir simbol OFDM adalah agar receiver nantinya mengintegrasikan masing-masing multipath melalui angka integer dari siklus sinusoid ketika proses demodulasi OFDM dengan FFT.

Salah satu keuntungan dari teknik OFDM adalah memudahkan adaptasi pada penggunaan bandwidth yang berbeda. Ukuran bandwidth yang lebih kecil dapat dipertahankan walaupun total penggunaan bandwidth diubah. Sebagai contoh, alokasi bandwidth 10-MHz dapat dibagi menjadi 1024 *band* yang lebih kecil, seperti pada alokasi bandwidth 5-MHz yang dibagi menjadi 512 *band* yang

lebih kecil. *Band* yang lebih kecil ini disebut sebagai *subcarriers* dan biasanya memiliki ukuran sebesar kelipatan 10 kHz.

Salah satu kelebihan dari OFDM adalah kemampuan dalam mengatasi suatu efek yang disebut “*multipath*”. *Multipath* merupakan suatu sebutan yang menggambarkan adanya lebih dari satu jalur yang ditempuh suatu gelombang radio antara *transmitter* dan *receiver* [9]. Jalur propagasi tersebut termasuk di dalamnya *ground wave*, refraksi ionosfer, radiasi lapisan ionosfer, refleksi dari permukaan bumi atau lebih dari satu lapisan ionosfer, dan yang lainnya.



Gambar 2.7 Transmisi Gelombang Radio

Gambar 2.7 menunjukkan sejumlah jalur yang dapat ditempuh sinyal antara 2 titik pada kondisi saluran yang sama. Satu jalur, XYZ, merupakan *ground wave*. Jalur yang lain, XFZ, merefraksi gelombang pada lapisan F dan memantulkannya ke *receiver* pada titik, sinyal yang diterima merupakan kombinasi dari *ground wave* dengan *sky wave*. Kedua sinyal tersebut menempuh jalur yang berbeda dan sampai pada titik Z pada waktu yang berbeda. Karena itu, kedua gelombang yang sampai memiliki kemungkinan berbeda fasa satu sama lain. Hal yang sama terjadi pada titik A. sebuah jalur XFZFA dihasilkan dari 2 kali refraksi oleh lapisan F. Gelombang yang melewati jalur tersebut dengan gelombang yang melewati jalur XEA memiliki kemungkinan berbeda fasa satu sama lain ketika kedua gelombang itu sampai pada titik A. Gelombang-gelombang radio yang sampai pada titik penerima dengan kondisi sefasa satu sama lain akan bergabung satu sama lain dan menghasilkan sinyal yang kuat pada penerima. Sedangkan jika gelombang-gelombang yang sampai pada penerima berbeda fasa, maka sinyal yang dihasilkan pada penerima hanya sinyal yang lemah.

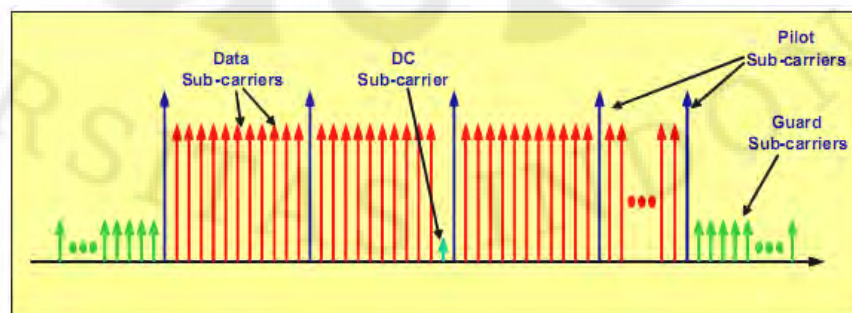
Pada efek *multipath* ini, besar waktu antara refleksi-refleksi yang terjadi disebut sebagai *delay spread*. Interferensi *multipath* akan terasa ketika *delay spread* memiliki besar yang dekat dengan besar dari simbol transmisi. Besar *delay spread* memiliki ukuran panjang periode dalam mikrosekon yang berarti dekat dengan besar periode simbol waktu pada CDMA. Periode Simbol dari OFDMA memiliki besar kelipatan dari 100 mikrosekon, yang membuat *multipath* tidak terlalu memberikan masalah. Untuk mengurangi efek dari *multipath*, suatu *guardband* yang memiliki besar periode kira-kira sebesar 10 mikrosekon, disebut juga sebagai *cyclic prefix*, diselipkan pada tiap simbol. Semakin besar *guardband* maka akan menurunkan efisiensi namun memperbaiki kemampuan dalam menangani *multipath*.

Pada saat ini, OFDM sudah digunakan untuk aplikasi WLAN yang membutuhkan *data rate* yang tinggi. Walaupun OFDM memberikan skema transmisi yang efisien untuk *data rate* yang tinggi, OFDM tidak memiliki kemampuan akses multi-user.

2.2.1.1 OFDMA Symbol Structure dan Sub-Channelization

Symbol structure dari OFDMA terdiri dari 3 tipe sub-carrier seperti yang terdapat pada gambar 2.8:

1. Data sub-carriers untuk transmisi data
2. Pilot sub-carriers untuk estimasi dan sinkronisasi
3. Null sub-carriers yang tidak digunakan pada transmisi; digunakan sebagai *guard band* dan DC carriers



Gambar 2. 8 Struktur simbol OFDMA

Sub-carrier aktif (data dan pilot) digabung menjadi kumpulan sub-carrier yang disebut sebagai sub-channel [6]. WiMAX OFDMA PHY dapat melakukan sub- *channelization* baik pada DL maupun pada UL. Besar minimum unit untuk sub-*channelization* sebesar satu slot, yaitu sebesar 48 *data tone*.

Terdapat 2 tipe permutasi sub-carrier yang digunakan untuk sub-*channelization*; *diversity* dan *contiguous*. Pada permutasi *diversity*, sub-carrier diambil secara acak untuk membentuk sebuah sub-*channel*. Permutasi *diversity* terdiri dari DL FUSC (Fully Used Sub-Carrier), DL PUSC (Partially Used Sub-Carrier) dan UL PUSC serta permutasi tambahan yang bersifat optional.

2.2.2 Struktur Frame TDD

Sistem *duplexing* yang digunakan pada Mobile WiMAX adalah TDD (*time division duplex*). TDD menggunakan frekuensi *single channel* yang digunakan sebagai *transmitter* dan *receiver* tetapi terjadi dalam waktu yang berbeda. Akibatnya TDD dibagi menjadi *data stream frame* dan setiap frame dibagi menjadi time slot untuk mengirim dan menerima. Hal ini mengijinkan transmisi data dalam satu frekuensi saja [6].

Tabel 2. 1 Sistem Duplexing TDD

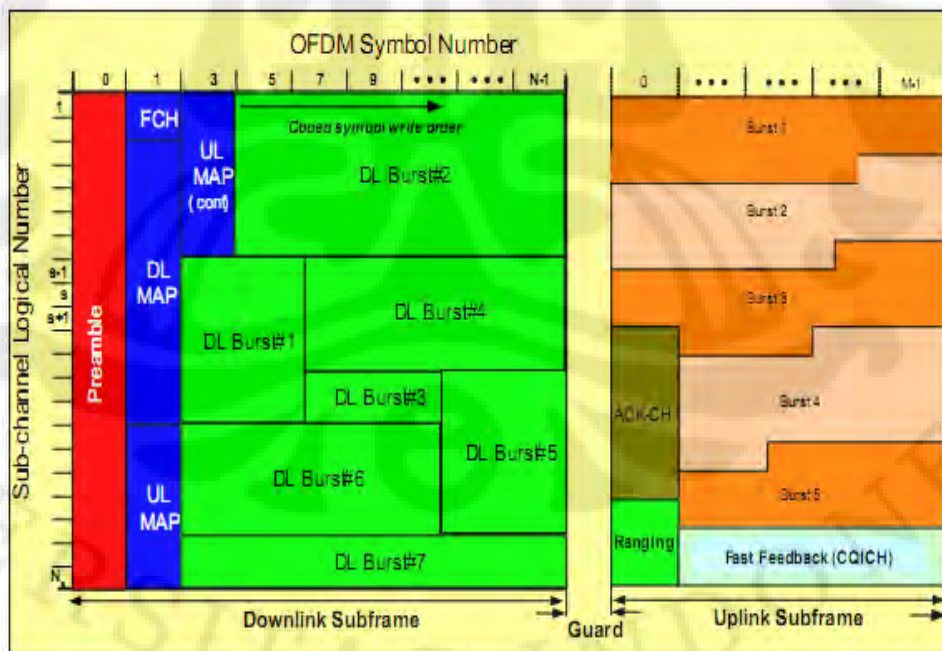
Channel BW	FFT Size	Other bands TDD	2.3-2.4 GHz	2.495-2.57, 2.495-2.56 GHz	2.496-2.60 GHz	3.444 GHz	3.438 GHz
1.25 MHz	128						
5.0 MHz	512		TDD	TDD	TDD	TDD	TDD
7.0 MHz	1024					TDD	TDD
8.75 MHz	1024		TDD				
10 MHz	1024		TDD	TDD	TDD	TDD	TDD
20 MHz	2048						

802.16e PHY mengharuskan kemampuan TDD dan operasi Full dan Half-Duplex FDD [6]; Namun rilis awal dari profil sistem Mobile WiMAX hanya mencakup TDD saja. Pada keluaran selanjutnya, FDD akan menjadi pertimbangan bagi forum WiMAX untuk dapat digunakan sesuai dengan kebutuhan. Baik pada wilayah dimana TDD dilarang untuk digunakan atau pada tempat dimana FDD

lebih cocok untuk digunakan. Untuk menangani masalah interferensi, TDD membutuhkan *system-wide synchronization*; walaupun begitu, TDD lebih dipilih sebagai mode duplexing karena hal-hal berikut:

- TDD dapat melakukan pengaturan dari rasio downlink/uplink sehingga dapat secara efisien menghadapi traffic downlink/uplink yang asimetris, dimana pada FDD rasio tersebut bersifat tetap dan tidak bisa diubah.
- TDD memberikan reciprocity kanal untuk memberikan bantuan pada *link adaptation*, MIMO dan teknologi antena lainnya.
- Tidak seperti FDD yang membutuhkan sepasang kanal, TDD hanya membutuhkan kanal tunggal baik untuk downlink maupun untuk uplink sehingga memberikan fleksibilitas yang lebih besar untuk adaptasi terhadap alokasi spektrum global yang bervariasi.
- desain Transceiver untuk implementasi TDD lebih sederhana sehingga lebih murah.

Gambar 2.9 menunjukkan struktur frame OFDM dengan pengimplementasian TDD.



Gambar 2.9 struktur frame OFDM dengan pengimplementasian TDD

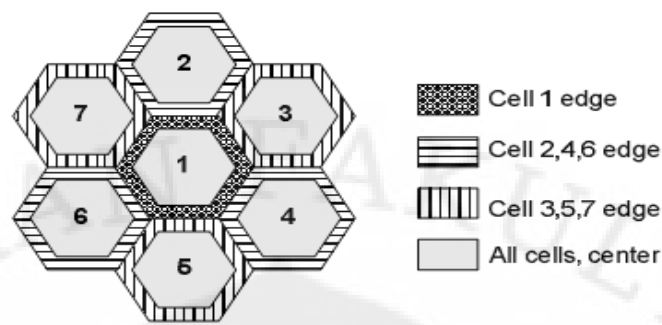
Tiap frame dibagi menjadi sub-frame DL dan UL yang dipisahkan oleh Transmit/Receive Transition Gaps dan Receive/Transmit Transition Gaps (TTG

dan RTG) untuk mencegah terjadinya tabrakan pada transmisi DL dan UL. Pada suatu frame, informasi kontrol berikut digunakan untuk memastikan operasi sistem yang optimal:

- Preamble: Preamble digunakan untuk sinkronisasi dan merupakan simbol OFDM pertama yang terdapat pada frame.
- Frame Control Header (FCH): FCH terletak setelah preamble. FCH memberikan informasi untuk konfigurasi pada frame seperti MAP dan skema pengkodean dan sub-channel yang dapat digunakan.
- DL-MAP dan UL-MAP: DL-MAP dan UL-MAP memberikan alokasi sub-channel dan informasi kontrol lainnya kepada sub-frame DL dan UL.
- UL Ranging: sub-channel UL ranging dialokasi pada Mobile stations (MS) untuk melakukan pengaturan waktu, frekuensi dan daya sesuai dengan permintaan pada bandwidth.
- UL CQICH: kanal UL CQICH dialokasi pada MS untuk memberi *feedback* terhadap informasi keadaan kanal.
- UL ACK: UL ACK dialokasi pada MS untuk memberi *feedback* terhadap DL HARQ.

2.2.3 Fractional Frequency Reuse

Mobile WiMAX mendukung *frequency reuse* sehingga frekuensi yang sama dapat digunakan pada sektor lain untuk memaksimalkan spectral efficiency [6]. Namun, karena adanya interferensi cochannel yang besar pada penggunaan *frequency reuse*, pengguna pada sisi cell mengalami degradasi pada kualitas koneksi. Pada Mobile WiMAX, masalah interferensi pada sisi cell dapat diatasi dengan *Fractional Frequency Reuse*.



Gambar 2.10 Fractional Frequency Reuse

Seperti terlihat pada gambar 2.10, ide fundamental dari FFR adalah sebagai berikut : Seluruh *band* frekuensi dibagi menjadi dua grup yang melayani bagian tengah cell dan cell bagian luar pada tiap-tiap cell. *Band* sub frekuensi pada pengguna di cell bagian luar tetap dijaga ortogonal dengan faktor reuse 3. Pengguna pada cell bagian tengah menggunakan faktor reuse 1 karena seluruh band frekuensi digunakan pada cell bagian tengah. Dengan *frequency planning* yang dinamis ini, penggunaan daya dilakukan untuk memperkecil interferensi cochannel pada cell bagian luar. Karena pengguna pada bagian tengah cell memiliki SINR kanal yang lebih baik dibandingkan dengan pengguna pada bagian luar cell, maka daya yang dibutuhkan untuk mencapai performa link yang sama menjadi lebih kecil. Karena itu, daya pada pengguna di bagian tengah cell akan lebih kecil dibanding daya pada pengguna di bagian luar cell [6].

2.3 Teknologi *Smart Antenna*

Teknologi *smart antenna* biasanya terdiri dari vektor dan operasi matriks yang kompleks pada sinyal untuk antenna *multiple*. OFDMA membuat operasi dari *smart antenna* bekerja pada sub-carrier yang *vector-flat* [6]. Persamaan yang rumit tidak dibutuhkan untuk mengkompensasi *selective fading*. OFDMA juga cocok digunakan untuk mendukung penggunaan teknologi *smart antenna*. MIMO-OFDM/OFDMA juga dianggap sebagai prinsip dasar pada sistem komunikasi broadband masa depan. Mobile WiMAX menggunakan teknologi *smart antenna* untuk meningkatkan performa sistem. Teknologi *smart antenna* yang digunakan meliputi:

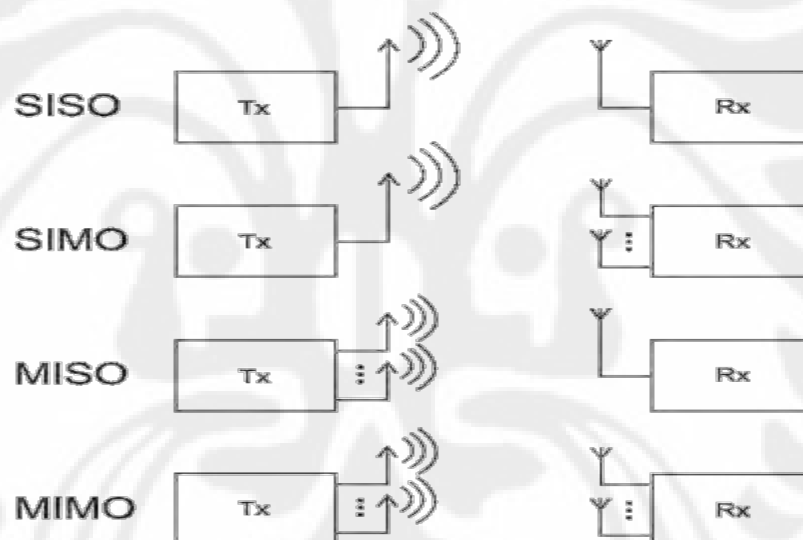
- Space-Time Block Coding (STBC)

- Spatial Multiplexing (SM)
- Beamforming

Teknologi antenna pada Mobile WiMAX menggunakan teknologi Multiple-Input Multiple-Output (MIMO).

2.3.1 Multiple-Input Multiple-Output (MIMO)

MIMO mendeskripsikan suatu sistem yang menggunakan lebih dari satu antenna baik pada pemancar maupun pada penerima. Pada masa lalu, dibutuhkan biaya yang besar untuk menggunakan lebih dari satu antenna pada terminal pengguna [10]. Namun, dengan perkembangan teknologi dapat digunakan lebih dari satu antenna pada terminal pengguna tanpa membutuhkan biaya yang besar.



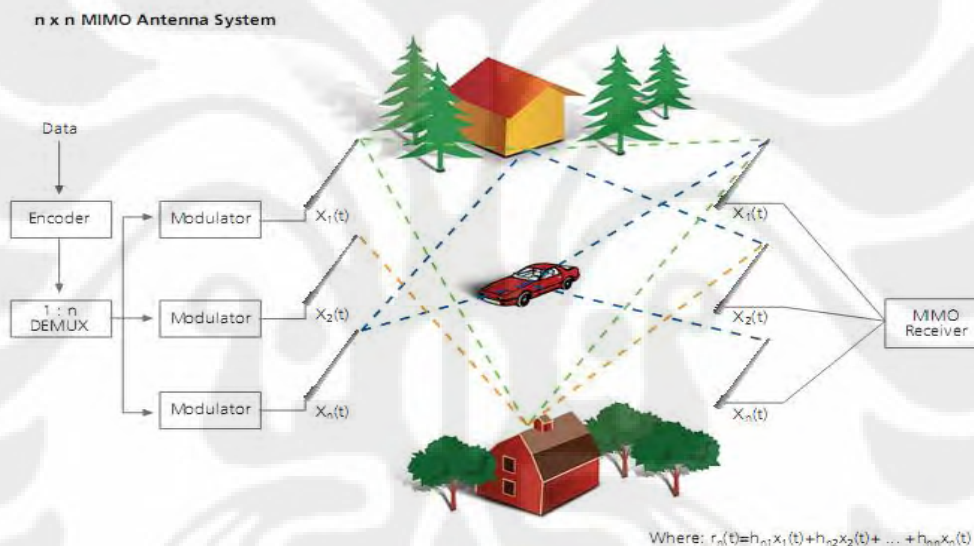
Gambar 2. 11 Perbandingan SISO, SIMO, MISO dan MIMO

Gambar 2.11 memberikan perbedaan sistem MIMO dengan sistem lainnya. Dengan menggabungkan dua atau lebih sinyal yang diterima dapat memberikan keuntungan langsung pada peningkatan kekuatan sinyal. Selain itu, MIMO juga dapat menjalankan transmisi data paralel sehingga menghasilkan *throughput* yang lebih besar. Contohnya pada 2 x 2 MIMO (2 antenna pengirim dan penerima) frekuensi carrier yang dialokasi dapat digunakan dua kali sehingga secara efektif meningkatkan *throughput* [11].

MIMO sistem berbasis sistem (N,M) N jumlah antenna transmitter dan M jumlah antenna receiver. Sistem MIMO dapat berjalan jika $M > N$.

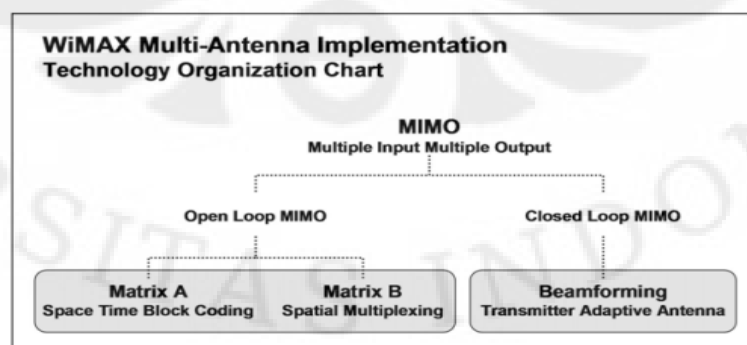
MIMO mengambil keuntungan pada propagasi multipath untuk menambah throughput, range atau jangkauan, dan reliabilitas. MIMO tidak menjadikan sinyal multipath sebagai gangguan melainkan sebagai pembawa lebih banyak informasi. Peningkatan throughput secara linear dapat dicapai dengan penambahan jumlah pasangan antena [11].

Pada sistem yang menggunakan MIMO, tiap antena base station mentransmisikan data yang berbeda dan tiap terminal pengguna menerima beragam komponen dari data yang ditransmisikan seperti terlihat pada gambar 2.12. Dengan menggunakan algoritma yang sesuai, terminal pengguna dapat memisahkan dan mendekodekan data paralel yang didapat.



Gambar 2. 12 Prinsip Penggunaan MIMO

Pada WiMAX, konfigurasi MIMO direpresentasikan sebagai “open loop” atau “closed loop” [12]. Hal ini seperti pada gambar 2.13:



Gambar 2. 13 Pembagian MIMO pada WiMAX

Pada *Open Loop* MIMO, kanal komunikasi tidak menggunakan informasi eksplisit dari kanal propagasi. Teknik *Open Loop* MIMO yang umum di antaranya Space Time Block Coding (STBC) dan Spatial Multiplexing (SM), serta *collaborative Uplink* MIMO. Pada WiMAX, teknik STBC disebut sebagai MIMO Matriks A dan teknik SM disebut sebagai MIMO Matriks B.

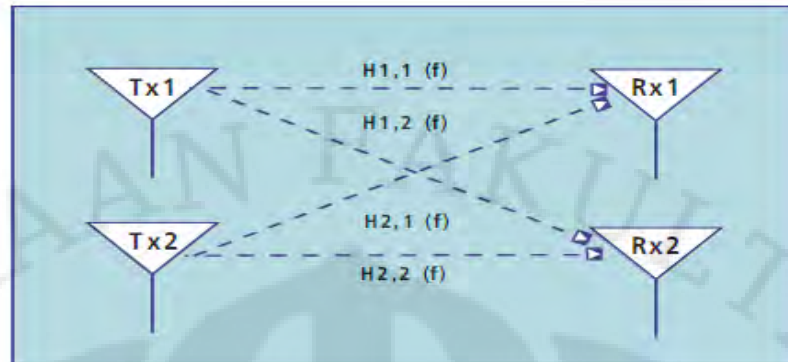
Pada *Closed Loop* MIMO, antenna pengirim mengumpulkan informasi kanal untuk mengoptimasikan komunikasi kepada antenna penerima yang diinginkan. Biasanya, *Closed Loop* MIMO menggunakan teknik *Maximum Ratio Transmission* (MRT) atau *Statistical Eigen Beamforming* (EBF) yang juga disebut sebagai *beamforming*.

2.3.1.1 MIMO Matriks A

MIMO Matriks A menggunakan skema Alamouti [13]. Teknik ini mendapatkan gain diversitas dengan mengirim aliran data tunggal menjadi 2 bagian dengan 2 antena, di-*interleave* dengan versi konjugasi dari informasi yang sama, sehingga antena penerima memiliki probabilitas lebih tinggi dalam mengambil sinyal yang diinginkan. Matriks A mendapat diversitas spasial tapi tidak digunakan untuk mengurangi interferensi atau mendapat gain *spatial multiplexing*.

MIMO Matriks A memiliki *link* yang kuat, mengurangi *fade margin* sebesar 5 hingga 6 dB, dengan atau tanpa degradasi yang lebih kecil saat mobilitas dari pengguna meningkat. Efek pada *data rate* end-user kecil; pengurangan *fade margin* dapat membuat dapat digunakannya modulasi yang lebih tinggi, tapi tidak dapat dibandingkan dengan gain sebesar 2 kali lipat pada *throughput* yang didapat dengan menggunakan MIMO Matriks B. MIMO Matriks A berguna pada jaringan yang bebannya tidak banyak dan jaringan yang penggunaannya memiliki mobilitas yang tinggi.

Gambar 2.14 menunjukkan suatu sistem MIMO Matriks A yang terdiri dari 2 antena pengirim dan penerima.



Gambar 2. 14 MIMO Matriks A 2 x 2

Sinyal yang diterima oleh satu antena penerima merupakan gabungan dari sinyal yang ditransmisikan oleh kedua antena pengirim. Sinyal yang diterima dapat diekspresikan dengan persamaan berikut:

$$R_{x1}(f) = (H_{1,1}(f) \times T_{x1}) + (H_{2,1}(f) \times T_{x2}) \quad (2.4)$$

$$R_{x2}(f) = (H_{1,2}(f) \times T_{x1}) + (H_{2,2}(f) \times T_{x2}) \quad (2.5)$$

Pada antena penerima terdapat kombinasi dari 2 antena pengirim dan antena penerima harus dapat mengambil kembali sinyal yang ditransmisikan. Sistem MIMO mendapatkannya dengan menggunakan skema *coding* yang mendefinisikan sinyal mana yang harus ditransmisikan dan kapan harus mentransmisikan. Hal ini bertujuan agar sinyal original dapat di-*recover*. Skema *coding* ini disebut *Space-Time code* karena skema tersebut mendefinisikan *code* antara ruang dan waktu.

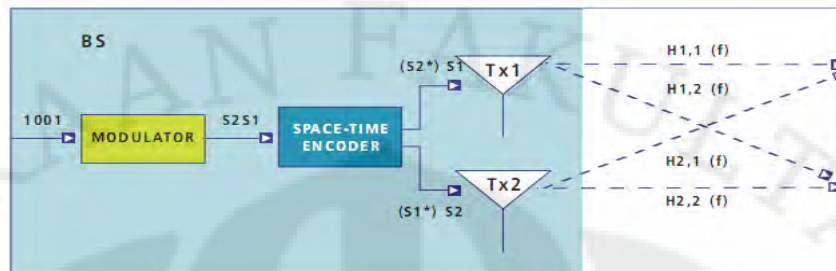
MIMO Matriks A merupakan *Space-Time Block Code*, dikatakan demikian karena *code* bekerja pada blok data. *Block code* membutuhkan daya proses yang lebih kecil untuk men-*decode* dibanding *code* konvolusi.

Matriks berikut mendefinisikan bagaimana kerja dari *code*:

$$X = \begin{matrix} \text{Time} & \begin{matrix} \rightarrow & \square & \rightarrow \\ \downarrow & \begin{matrix} S1 - S2^* \\ S2 - S1^* \end{matrix} & \downarrow \\ \text{Tx Antennas} \end{matrix} \end{matrix}$$

X adalah output dari encoder. S1 dan S2 merupakan simbol input yang masuk ke encoder. Tanda „*’ menunjukkan konjugasi dari simbol. Baris pada matriks merepresentasikan antena pengirim dan kolom matriks merepresentasikan waktu. Tiap elemen pada matriks menunjukkan simbol mana yang harus

ditransmisikan dari tiap antenna dan kapan transmisi dilakukan. Gambar 2.15 memberikan gambaran kerja dari matriks.



Gambar 2. 15 Kerja MIMO Matriks A

Pada gambar terlihat bahwa bit biner memasuki modulator, yang mengubah bit-bit biner menjadi simbol sesuai dengan skema modulasi. Simbol-simbol kompleks tersebut memasuki encoder, yang memetakan simbol ke antenna pengirim sesuai dengan matriks. Berikut penjelasan lebih lanjut tentang alamouti encoder.

Jika simbol yang ditransmisikan adalah x_1 dan x_2 , maka setelah x_1 dan x_2 di transmisikan dan tercampur dengan noise maka persamaan sinyal yang diterima adalah sebagai berikut [14]:

$$\begin{bmatrix} y_1^1 \\ y_2^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1^1 \\ n_2^1 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

$$\begin{bmatrix} y_1^2 \\ y_2^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -x_2^* \\ x_1^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1^2 \\ n_2^2 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Dimana Y adalah matriks pada sinyal yang diterima pada receiver, sedangkan matriks H adalah matriks kanal MIMO, n adalah noise yang terjadi akibat kanal wireless dan x adalah informasi yang dikirimkan. Persamaan 2.6, adalah sinyal yang diterima pada time slot pertama, dan persamaan 2.7 untuk time slot yang kedua. Pada sisi penerima, untuk mendapatkan kembali sinyal yang asli, diperlukan decoder STBC. Adanya matriks H yang dibentuk dari estimasi nilai h_{ij} pada kanal transmisi untuk mendapatkan kembali sinyal independent sebagaimana yang dikirim dari sisi pengirim. Dengan demikian, sinyal transmisi (x) didapatkan dengan mengalikan *inverse* H dengan sinyal pada sisi penerima (y). Jika pada transmitter $[Y]=[H]*[X]$, maka pada receiver $[X]=(INV[H])*[Y]$.

Jika persamaan 2.2 dan 2.3 untuk timeslot 1 dan 2 digabungkan, maka persamaannya akan menjadi :

$$\begin{bmatrix} y_1^1 \\ y_2^1 \\ y_1^{2*} \\ y_2^{2*} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \\ h_{12}^* & -h_{11}^* \\ h_{22}^* & -h_{21}^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1^1 \\ n_2^1 \\ n_1^{2*} \\ n_2^{2*} \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Dengan mendefinisikan matriks channel MIMO H adalah :

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \\ h_{12}^* & -h_{11}^* \\ h_{22}^* & -h_{21}^* \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Untuk mencari $\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$, harus dicari terlebih dahulu invers dari H. Dengan pseudo invers dapat didefinisikan sebagai :

$$\mathbf{H}^+ = (\mathbf{H}^H \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^H \quad (2.10)$$

Dengan definisi bahwa,

$$(\mathbf{H}^H \mathbf{H}) = \begin{bmatrix} |h_{11}|^2 + |h_{21}|^2 + |h_{12}|^2 + |h_{22}|^2 & 0 \\ 0 & |h_{11}|^2 + |h_{21}|^2 + |h_{12}|^2 + |h_{22}|^2 \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

Karena matriks diatas merupakan matriks diagonal, maka jika di invers, menjadi :

$$(\mathbf{H}^H \mathbf{H})^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{|h_{11}|^2 + |h_{21}|^2 + |h_{12}|^2 + |h_{22}|^2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{|h_{11}|^2 + |h_{21}|^2 + |h_{12}|^2 + |h_{22}|^2} \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

Estimasi simbol yang ditransmisikan dapat di tuliskan dengan :

$$\begin{bmatrix} \hat{x}_1 \\ \hat{x}_2 \end{bmatrix} = (\mathbf{H}^H \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^H \begin{bmatrix} y_1^1 \\ y_2^1 \\ y_1^{2*} \\ y_2^{2*} \end{bmatrix} \quad [18] \quad (2.13)$$

Pada MIMO Matriks A, Code bekerja dengan sepasang simbol pada satu waktu dan membutuhkan 2 periode waktu untuk mentransmisikan 2 simbol. Sehingga besar *data rate* yang dihasilkan sama dengan data yang memasuki encoder namun performa error sistem meningkat.

Pada sistem dengan performa SNR yang tinggi, peningkatan pada *error rate* didapat sebagai hasil dari penggunaan *Space-Time code* dapat ditukar dengan kapasitas lebih besar dengan penggunaan modulasi dengan orde lebih tinggi.

2.3.1.2 MIMO Matriks B

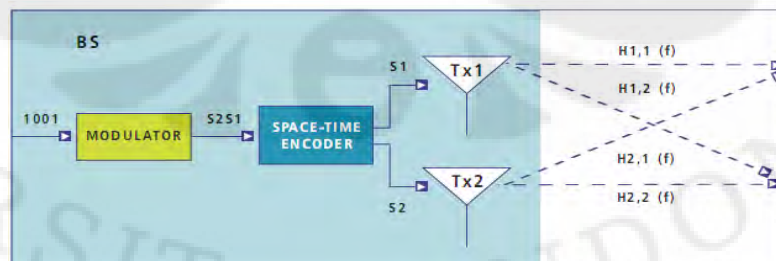
Pada kanal dengan lingkungan yang sangat dipengaruhi multipath, dimungkinkan peningkatan dari *data rate* dengan mentransmisikan informasi terpisah pada tiap antenna pada saat DL [13]. Dengan menggunakan teknologi antenna penerima yang sudah maju, aliran data dapat dipisahkan dan di-*decode*. Contohnya dengan menggunakan 2 antenna pengirim dan 2 antenna penerima, peningkatan kapasitas sebesar 2 kali lipat dari kapasitas pada antenna tunggal dapat dicapai. Hal ini berguna pada penerapan di area urban dimana jangkauan *coverage* tidak lebih penting dibanding *data rate* yang tinggi pada pengguna. Pada WiMAX, *spatial multiplexing* pada DL dapat dimungkinkan dengan menggunakan MIMO Matriks B.

Matriks berikut mendefinisikan bagaimana *code* bekerja:

$$X = \begin{bmatrix} S1 \\ S2 \end{bmatrix} \quad \downarrow \quad \text{Tx Antennas}$$

X merupakan output dari encoder dan S1 dan S2 merupakan input yang memasuki encoder. Baris dari matriks merepresentasikan antenna pengirim; tidak ada elemen waktu karena MIMO matriks B bekerja pada satu interval waktu. Tiap elemen pada matriks menindikasi simbol mana yang harus ditransmisikan oleh antenna. Pada sistem ini, 2 simbol ditransmisikan pada 1 periode waktu dari 1 simbol sehingga menghasilkan peningkatan kapasitas.

Gambar 2.16 menunjukkan operasi dari sistem MIMO Matriks B.



Gambar 2. 16 Kerja MIMO Matriks B

Secara teori peningkatan kapasitas yang didapat oleh sistem MIMO Matriks B sebanding dengan jumlah dari antenna pengirim dan penerima yang

digunakan. Sistem 4 x 4 akan memberikan peningkatan sebesar 4 kali lipat dibanding kapasitas pada penggunaan antenna tunggal.

Karena itu, gain kapasitas yang diberikan oleh sistem MIMO Matriks B bergantung dari jumlah antenna pengirim dan penerima dan dapat diekspresikan sebagai berikut:

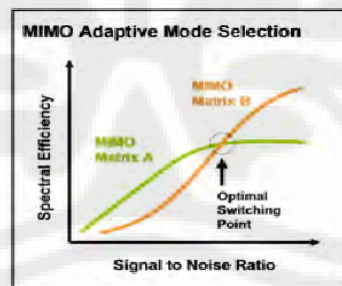
$$X = \min (\text{Tx Antennas}, \text{Rx Antennas}) \quad (2.14)$$

Namun, jumlah dari antenna yang dapat digunakan pada alat pengguna menjadi faktor pembatas di masa depan.

2.3.1.3 Sistem Adaptive MIMO

Adaptive MIMO dapat melakukan *switching* antara mode MIMO yang berbeda agar dapat memaksimalkan *spectral efficiency* dan *throughput* tanpa harus mengurangi jangkauan atau performa sistem. Parameter sistem seperti teknik *adaptive coding* dan modulasi secara dinamis dioptimasi agar dapat tetap beradaptasi terhadap kondisi kanal *wireless* yang berubah-ubah. Hal ini bertujuan untuk memaksimalkan kanal pada tiap waktu [13].

Gambar 2.17 memberikan gambaran tentang sistem *adaptive* MIMO :



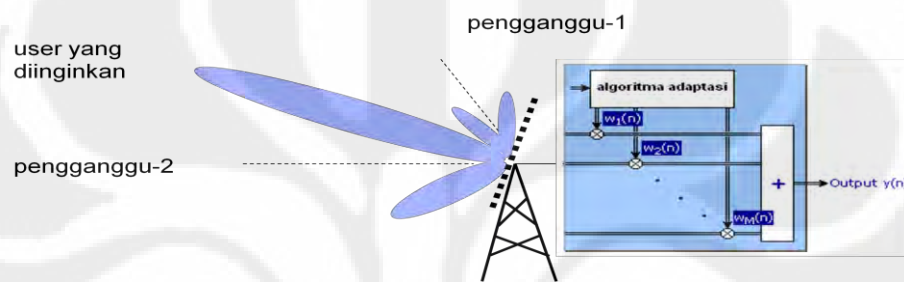
Gambar 2. 17 Sistem *Adaptive* MIMO

Pada lingkungan dimana besar dari SNR kecil, misalnya pada ujung sisi sel atau pada tempat yang mendapat sinyal lemah, MIMO Matriks A lebih baik digunakan dibanding MIMO Matriks B. Pada SNR yang besar, dimana sistem lebih membutuhkan bandwidth dibanding kekuatan sinyal, MIMO Matriks B lebih baik digunakan dibanding MIMO Matriks A. Suatu sistem WiMAX ideal yang menggunakan teknik MIMO akan dapat menggunakan Matriks A dan Matriks B. Sistem akan mengkalkulasi suatu poin yang menjadi batasan dan menukar mode

kerja yang digunakan secara dinamis untuk menghasilkan gain berupa *coverage* atau kapasitas yang dibutuhkan pada suatu waktu.

2.3.1.4 Beamforming

Beamforming adalah proses pembentukan beam menuju ke arah user yang diinginkan serta menekan sinyal pengganggu dari arah lain. Gambar 2.18 menunjukkan prinsip kerja dari *beamforming*.



Gambar 2. 178 Prinsip Dasar Beamforming

Suatu sistem WiMAX yang menggunakan *beamforming* sebagai teknik untuk meningkatkan *coverage* dan kapasitas sistem dapat menghasilkan kapabilitas yang lebih besar dibanding dengan penggunaan teknik MIMO [12]. Teknik *beamforming* merupakan fitur yang bersifat optional pada standar 802.16e.

Teknik *beamforming* mengatur suatu susunan dari antenna pengirim dan penerima sehingga arah dan bentuk dari pola radiasi yang dihasilkan dapat dikontrol. Elemen-elemen antenna terpisah secara spasial dan menggunakan teknik *signal processing*. Informasi kanal diberikan dari pengguna WiMAX menuju *base station* dengan menggunakan “*uplink sounding response*”. Berdasarkan pemahaman tentang karakteristik kanal, *base station* menggunakan teknik *signal processing* untuk menghitung bobot yang harus diberikan pada tiap *transmitter* untuk mengontrol fasa dan amplitudo relatif dari sinyal. Dengan melakukan penyesuaian terhadap interferensi, pola radiasi diatur dan dibentuk untuk menghasilkan pola radiasi yang optimal yang terfokus pada arah dari komunikasi.

Saat mentransmisikan sinyal, *beamforming* dapat menambah daya pada arah sinyal itu harus dikirim. Saat menerima sinyal, *beamforming* dapat

menambah sensitivitas penerima pada arah yang diinginkan dan mengurangi sensitivitas penerima dari arah interferensi dan *noise* [12].

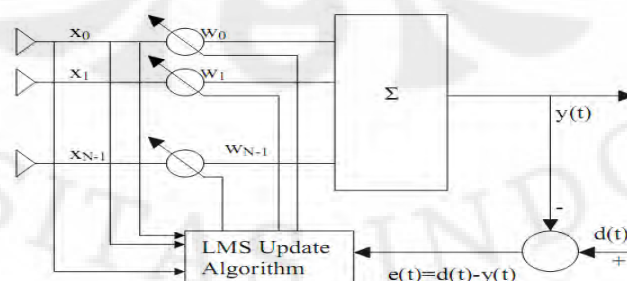
Teknik *beamforming* membuat sistem WiMAX mencapai peningkatan *coverage* dengan gain antena yang lebih besar pada arah yang diinginkan dan konektivitas yang lebih baik antara perangkat pengguna dengan *base station*. Dengan semakin lebarnya *bandwidth* dan pengurangan interferensi yang dihasilkan oleh penggunaan teknik *beamforming*, maka kapasitas dan *throughput* sistem yang dihasilkan akan meingkat.

Beamforming dibentuk oleh algoritma sehingga dapat menghasilkan sistem yang dapat memisahkan sinyal pengganggu dengan sinyal yang diharapkan. Salah satu algoritma yang dipakai dalam *beamforming* digital adalah algoritma *Least Mean Square* (LMS).

2.3.1.5 Algoritma Least Mean Square (LMS)

Algoritma LMS menggunakan estimasi vektor gradien dari data yang tersedia [15]. LMS terdiri dari prosedur iterasi yang membuat koreksi yang tepat pada vektor pembobot pada arah negatif dari vektor gradien yang selanjutnya menghasilkan minimum mean square error. Jika dibandingkan dengan algoritma lainnya, algoritma LMS tergolong sederhana dimana algoritma ini tidak membutuhkan perhitungan fungsi korelasi dan inversi matriks.

Gambar 2.19 mengilustrasikan suatu *Uniform Linear Array* (ULA) dengan elemen isotropik sebanyak N , yang membentuk bagian integral dari sistem *beamforming*.



Gambar 2. 19 Prinsip algoritma *Least Mean Square*

Output dari antena array $x(t)$ adalah:

$$x(t) = s(t)a(\theta_0) + \sum_{i=1}^{N_u} u_i(t)a(\theta_i) + n(t) \quad (2.15)$$

$s(t)$ merupakan sinyal yang diharapkan dan datang pada sudut θ_0 dan $u_i(t)$ merupakan sinyal pengganggu yang datang dengan sudut θ_i . $a(\theta_0)$ dan $a(\theta_i)$ merupakan vektor *steering* untuk sinyal yang diharapkan dan sinyal pengganggu. Sehingga sinyal yang diharapkan harus dapat dibentuk kembali dari sinyal yang diterima yang sudah bercampur dengan sinyal pengganggu dan noise tambahan $n(t)$.

Sebelumnya terlihat bahwa output dari sensor individu dikombinasikan secara linier setelah diskala dengan menggunakan pembobot yang sesuai sehingga pola antena array dapat dioptimalkan untuk mendapat gain maksimum pada arah sinyal yang diinginkan dan *null* pada arah sinyal-sinyal pengganggu. Pembobot akan dihitung dengan menggunakan algoritma LMS yang berdasarkan kriteria *Minimum Squared Error* (MSE). Untuk itu masalah *filtering* spasial melibatkan estimasi dari sinyal $s(t)$ dari sinyal yang didapat $x(t)$ dengan meminimasi error antara sinyal referensi $d(t)$, yang memiliki korelasi *extent* dengan estimasi sinyal yang diharapkan dan output dari *beamformer* $y(t)$.

Dari metode *steepest descent*, persamaan vektor pembobot diberikan sebagai berikut :

$$w(n+1) = w(n) + \frac{1}{2} \mu [-\nabla(E\{e^2(n)\})] \quad (2.16)$$

dimana μ merupakan parameter step-size dan mengontrol karakteristik konvergensi dari algoritma LMS. $e^2(n)$ merupakan *mean square error* antara output beamformer $y(n)$ dan sinyal referensi yang diberikan dengan persamaan berikut :

$$e^2(n) = [d^*(n) - w^h x(n)]^2 \quad (2.17)$$

Vektor gradien dari persamaan dapat dihitung dengan

$$\nabla_w(E\{e^2(n)\}) = -2r + 2Rw(n) \quad (2.18)$$

Pada metode *steepest descent*, masalah terbesar terletak pada perhitungan pada saat mencari nilai dari matriks r dan R pada kondisi *real time*. Untuk itu

algoritma LMS menyederhanakan masalah ini dengan menggunakan nilai pengganti kovarian matriks r dan R secara seketika dibanding dengan menggunakan nilai sesungguhnya.

$$R(n) = x(n)x^h(n) \quad (2.19)$$

$$r(n) = d^*(n)x(n) \quad (2.20)$$

Sehingga, pembobot dapat diberikan sesuai persamaan berikut :

$$\begin{aligned} w(n+1) &= w(n) + \mu x(n)[d^*(n) - x^h(n)w(n)] \\ &= w(n) + \mu x(n)e^*(n) \end{aligned} \quad (2.21)$$

Algoritma LMS diinisiasi dengan menggunakan nilai *arbitrary* $w(0)$ sebagai vektor pembobot pada $n=0$. Koreksi pada vektor pembobot selanjutnya akan menghasilkan nilai minimum untuk *mean squared error*.

Sehingga algoritma LMS dapat disimpulkan melalui persamaan berikut :

$$\text{Output, } y(n) = w^h x(n) \quad (2.22)$$

$$\text{Error, } e(n) = d^*(n) - y(n) \quad (2.23)$$

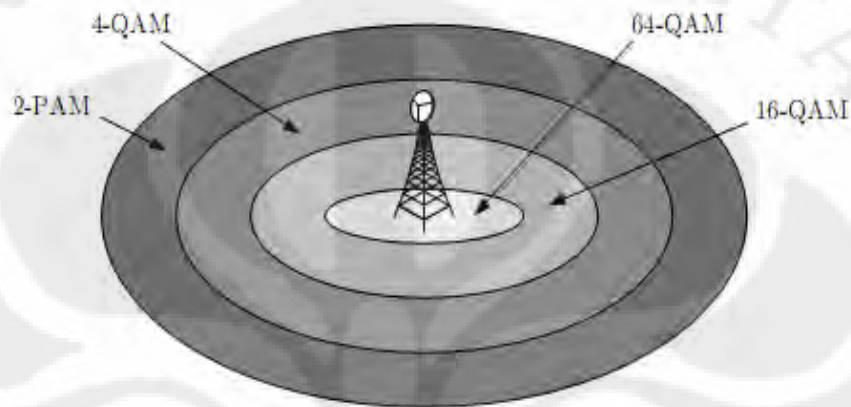
$$\text{Weight, } w(n+1) = w(n) + \mu x(n)e^*(n) \quad (2.24)$$

2.4 Adaptive Modulation and Coding (AMC)

Pertumbuhan kebutuhan dari semua servis, tidak hanya servis data dan suara tetapi juga servis multimedia, menyebabkan perlunya perancangan suatu sistem komunikasi yang jauh lebih pintar dan cepat, yang mampu menghasilkan akses data yang fleksibel dan efisien. Karena itu, terdapat suatu sistem AMC yang dapat beradaptasi dan mengatur parameter transmisi berdasarkan kualitas link yang dapat memberikan efisiensi spektrum terhadap sistem. AMC didesain untuk bekerja pada kanal yang bervariasi, dimana AMC dapat mengubah skema modulasi dan coding yang digunakan sehingga menghasilkan throughput yang lebih besar dengan mentransmisikan data dengan modulasi yang memberikan data

rate yang tinggi pada saat kondisi kanal transmisi sedang baik dan mentransmisikan data dengan modulasi yang menghasilkan error yang kecil pada saat kondisi kanal buruk.

Gambar menunjukkan gambaran sistem AMC.



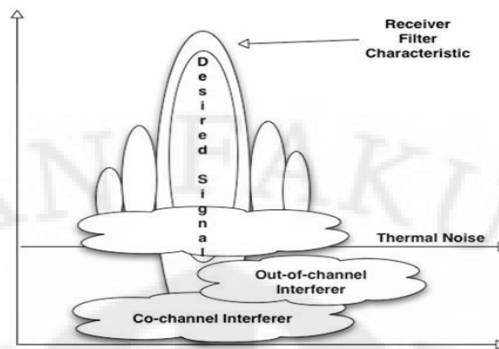
Gambar 2. 20 Adaptive Modulation and Coding

Pada gambar 2.20 terlihat bahwa pada wilayah yang jauh dari pemancar sehingga memiliki kualitas kanal yang buruk, digunakan modulasi yang menghasilkan error kecil. Namun, pada wilayah yang dekat dengan pemancar digunakan modulasi yang menghasilkan data rate yang tinggi.

2.5 Interferensi

Interferensi merupakan gangguan yang terjadi disebabkan adanya sinyal lain yang frekuensinya sama. Interferensi terjadi secara alami pada spektrum elektromagnetik. Secara garis besar, interferensi dapat dibagi menjadi 2 kategori besar yaitu :

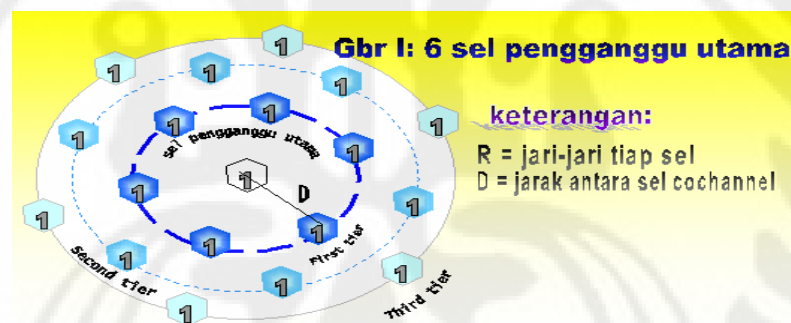
- *Co-Channel Interference* (interference cochannel)
- *Out-Of-Channel Interference*



Gambar 2. 21 Bentuk Interferensi

Pada gambar 2.21 terlihat *out-of-channel interference*, yang dihasilkan dari *transmitter* lain yang tidak berada pada frekuensi yang sama dengan radio yang digunakan. *Co-Channel Interference* dihasilkan oleh *transmitter* yang berada pada frekuensi sama dengan radio yang digunakan. Pada skripsi ini akan dibahas mengenai reduksi *Co-Channel Interference*.

2.5.1 Reduksi *Co-Channel Interference*



Gambar 2. 22 Pemodelan Sitem Komunikasi Sel

Pada gambar 2.22 dapat terdapat pemodelan sistem komunikasi sel dengan sel reusanya [16]. Diasumsikan ukuran sel semua sama, maka *Co-Channel Interference* adalah fungsi parameter q yang didefinisikan sebagai:

$$q = \frac{D}{R} \quad (2.25)$$

Parameter q disebut juga faktor reduksi *Co-Channel Interference*. Ketika perbandingan q naik maka *Co-Channel Interference* menurun. Lebih jauh lagi, jarak D dalam persamaan (2.25) adalah fungsi dari K_i dan C/I ,

$$D = f(k_i, C/I) \quad (2.26)$$

Dimana K_i adalah jumlah sel cochannel penyebab interferensi dari lingkaran utama (*first tier*) dan C/I adalah *carrier to Interference ratio* (perbandingan daya carrier terhadap daya interferensi) yang diterima pada penerima yang sedang dianalisa. Secara umum C/I dapat diturunkan sebagai berikut:

$$\frac{C}{I} = \frac{C}{\sum_{k=1}^{K_i} (I_k)} \quad (2.27)$$

$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-r}}{\sum_{k=1}^{K_i} (D_k^{-r})} \quad (2.28)$$

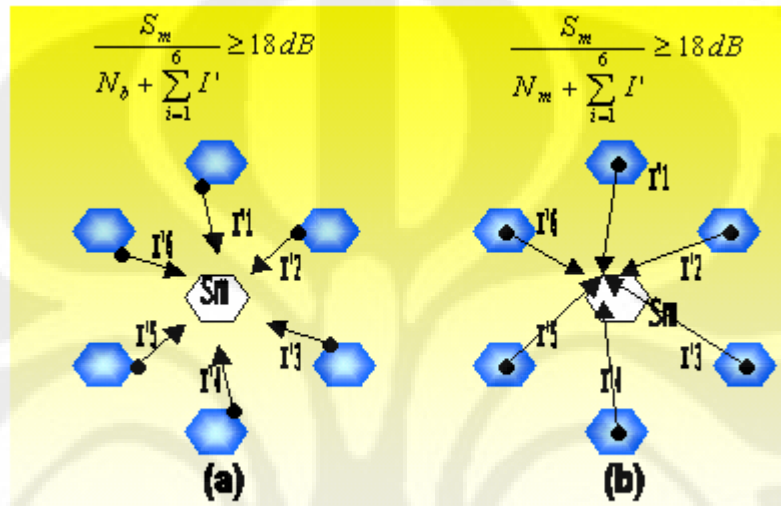
$$\frac{C}{I} = \frac{1}{\sum_{k=1}^{K_i} \left(\frac{D_k^{-r}}{R^{-r}} \right)} \quad (2.29)$$

$$\frac{C}{I} = \frac{1}{\sum_{k=1}^{K_i} (q_k)^{-r}} \quad (2.30)$$

Persamaan 2.27 menyatakan keadaan paling umum bahwa C/I adalah perbandingan antara daya carrier yang diterima dengan jumlah interferensi oleh sel-sel cochannel first tier, second, third, dan seterusnya. Sedangkan γ pada (2.28) adalah koefisien redaman propagasi (propagation path-loss slope) yang ditentukan berdasarkan kontur daerah yang dianalisa dan biasanya γ diasumsikan 4 untuk komunikasi bergerak. Pengaruh interferensi dari 6 sel cochannel di second tier, third, dan seterusnya jauh lebih lemah dari pengaruh first tier. Oleh karena itu untuk memudahkan perhitungan, hanya pengaruh dari first tier yang diperhitungkan seperti pada persamaan (2.29). karena $q_k = D_k/R$, dapat disimpulkan bahwa untuk menghitung baik kasus umum(normal), terburuk(worst) atau khusus (special), itu hanyalah masalah menghitung jarak (D_k) dari setiap sel cochannel first tier ke mobile receiver yang dianalisa. C/I diperhitungkan dengan melihat dari dua pertimbangan yaitu: C/I penerimaan antenna base di sel (cell site) dan yang kedua C/I penerimaan mobile unit.

2.5.2 C/I dari kasus normal pada sistem Antena Omnidirectional

Jika antenna isotropis adalah antenna yang memancar ke segala arah maka antenna omnidirectional adalah antenna yang memancar ke segala arah pada bidang horisontal saja atau vertikal saja. Interferensi cochannel akibat 6 sel firs tier terlihat pada gambar 2.23 :



Gambar 2. 18 Interferensi Cochannel dari 6 Sel Istier

Pengaruh N_m dan N_b biasanya sangat kecil dibandingkan dengan interferensi, oleh karena itu dapat diabaikan. Jika C/I penerimaan cell site dan mobile unit sama maka disebut sistem seimbang. Seperti disebutkan diatas, perhitungan yang kita lakukan adalah menghitung jarak dari setiap sel cochannel pada first tier ke cell site dan diperoleh jarak yang sama dari setiap sel yaitu D . Sehingga C/I menjadi :

$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-\alpha}}{6D^{-\alpha}} = \frac{q^{\alpha}}{6} \quad (2.31)$$

Untuk memperoleh C/I 18 dB, dengan perhitungan sederhana dapat diperoleh :

$$q = \sqrt[3]{6K} = 4.41 \quad (2.32)$$

$$K \approx 7 \quad (2.33)$$

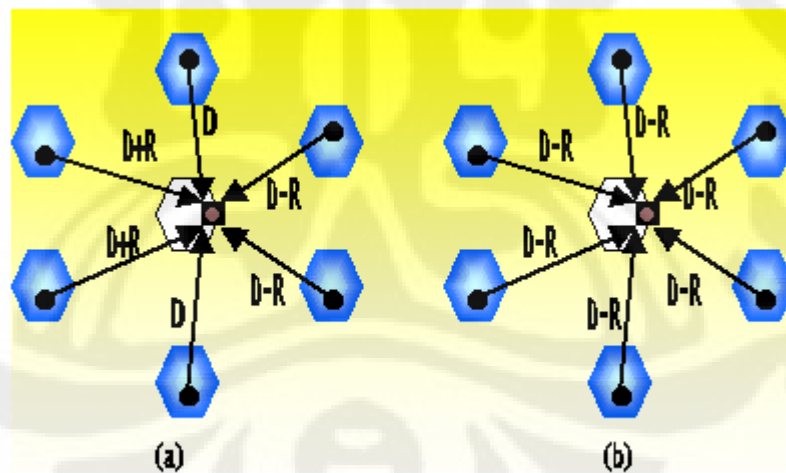
Berikut beberapa harga C/I untuk kasus normal sistem seimbang:

Tabel 2. 2 Harga C/I kasus normal

K	q=D/R	g	C/I (normal, omni)	C/I (dB)
4	3.46	4	$3.46^4/6=23.88$	13.78
7	4.6		$4.6^4/6=74.62$	18.72
9	5.2		$5.2^4/6=121.86$	20.86
12	6		$6^4/6=216$	23.34
19	7.55		$7.55^4/6=541.55$	27.33

2.5.3 C/I dari kasus terburuk pada sistem Antena Omnidirectional

Untuk kasus terburuk terjadi ketika mobile unit menerima sinyal yang paling lemah dari cell site-nya sendiri tapi mendapat interferensi yang kuat dari semua sel-sel cochannel. Hal ini terlihat pada gambar 2.24 (a) :



Gambar 2. 194. (a). Interferensi Kasus Terburuk, (b). Interferensi kasus Khusus

Dari gambar 2.24 (a) dapat dihitung C/I sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{C}{I} &= \frac{R^{-\gamma}}{2(D-R)^{-\gamma} + 2(D)^{-\gamma} + 2(D+R)^{-\gamma}} \\ &= \frac{R^{-\gamma}}{2(q-1)^{-\gamma} + 2(q)^{-\gamma} + 2(q+1)^{-\gamma}} \end{aligned} \quad (2.34)$$

Sedangkan untuk kasus khusus hal yang unik mungkin terjadi sedemikian sehingga semua sel cochannel first tier berjarak sangat dekat dengan penerima yaitu $D-R$, sehingga C/I untuk special case,

$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-\alpha}}{6(D-R)^{-\alpha}} = \frac{1}{6(q-1)^{-\alpha}} \quad (2.35)$$

Beberapa harga C/I untuk kasus terburuk dan kasus khusus antenna omni terdapat pada tabel 2.3:

Tabel 2. 3 C/I Untuk Kasus Terburuk dan Kasus Khusus

K	$q=D/R$	g	C/I (terburuk) (dB)	C/I (kasus khusus) (dB)
4	3.46	4	11.33	7.856
7	4.6		17.35	14.47
9	5.2		19.78	17.15
12	6		22.54	20.17
19	7.55		26.83	24.87

Dari perhitungan diatas, baik kasus normal atau terburuk, dapat disimpulkan bahwa cara yang paling sederhana untuk meningkatkan C/I adalah dengan memperbesar K yang berarti memperbanyak frequency reuse atau memperkecil jari-jari sel. Dari dua tabel diatas kondisi C/I 18 dB dipenuhi untuk K 7 (kasus normal), K 9 (kasus terburuk), K 12 (kasus khusus).

Dalam kenyataannya, karena ketidaksempurnaan lokasi site & peta kontur yang tidak rata, C/I penerimaan berharga lebih rendah dari hasil perhitungan. Hal ini terjadi juga di area dengan trafik yang tinggi; karena itu sistem harus didesain dengan mempertimbangkan kasus terburuk.

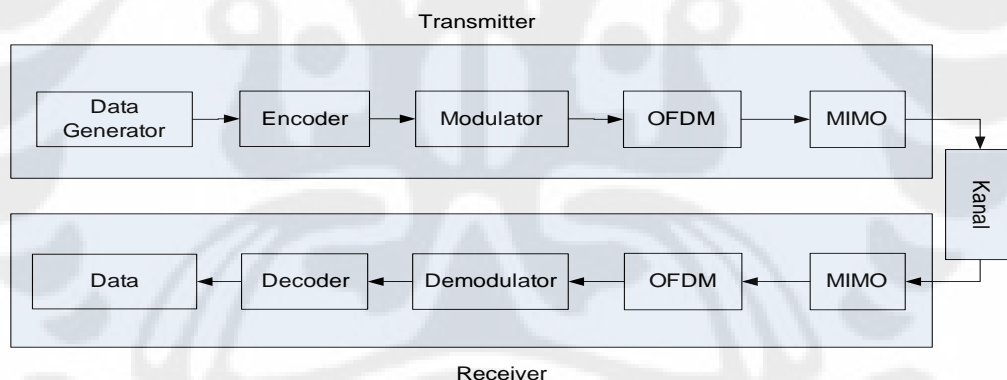
BAB 3

Pemodelan Simulasi

Simulasi ini dibuat dengan menggunakan perangkat lunak Simulink/MATLAB 7.4.0 (R2008a) dengan sistem operasi Windows XP Professional service pack 2.

Secara umum, simulasi terdiri dari 3 bagian yaitu bagian *transmitter* (antenna pengirim), kanal dan *receiver* (antenna penerima). Data dibangkitkan kemudian dikirim melalui antenna pengirim melewati kanal sehingga dapat diterima oleh antenna penerima. Setelah data diterima pada antenna penerima akan terjadi proses estimasi nilai dari kondisi kanal. Estimasi pada kondisi kanal akan menjadi *feedback* yang diberikan antenna penerima terhadap antenna pengirim yang selanjutnya akan digunakan sebagai parameter dari *adaptive modulation coding* (AMC).

Gambar 3.1 menunjukkan isi dari tiap-tiap bagian:



Gambar 3.1 Gambar Tiap-tiap bagian

Simulasi diawali dengan bekerjanya sebuah sumber data yaitu data generator. Data yang dihasilkan oleh data generator lalu dikodekan dengan menggunakan encoder. Setelah data tersebut dikodekan, data tersebut dimodulasi. Setelah dimodulasi, data termodulasi akan dibentuk menjadi OFDM frame. OFDM frame kemudian memasuki skema MIMO sehingga selanjutnya ditransmisikan dengan 2 antenna. Data yang ditransmisikan antenna pengirim memasuki kanal MIMO. Pada kanal ini sinyal bercampur dengan noise dan

interferensi dari sinyal lain sebelum sinyal sampai pada antenna penerima. Setelah sinyal diterima pada antenna penerima, sinyal memasuki skema MIMO untuk mendapatkan data OFDM frame kembali. Selanjutnya OFDM frame yang didapat memasuki OFDM demodulator sehingga didapatkan data hasil modulasi. Data termodulasi selanjutnya akan memasuki demodulator untuk selanjutnya didekodekan menjadi data yang dikirim.

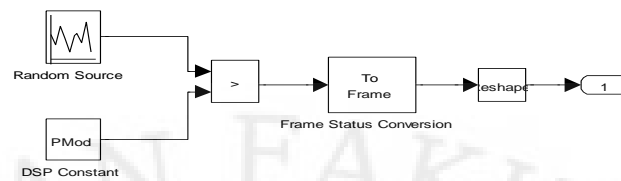
3.1 Transmitter

Transmitter merupakan bagian yang menghasilkan sinyal untuk dikirim melewati kanal. Sebelum sinyal tersebut dikirim, sinyal akan mengalami proses *encoding* dan modulasi yang bersifat adaptif sesuai dengan kondisi kanal. Karena data dikirim dengan menggunakan teknik transmisi OFDM, maka data harus diubah menjadi simbol OFDM dengan menggunakan operasi yang sesuai, dimana terdapat transformasi *frequency-time* dan penambahan *cyclic prefix*. Selanjutnya sinyal dikirim menuju kanal.

3.1.1 Data Generator

Sebagai data generator digunakan sebuah sumber bilangan biner yang menghasilkan bit-bit acak. Jumlah bit yang dihasilkan sumber harus sesuai dengan ukuran paket yang dibutuhkan. Ukuran paket ini sesuai dengan *code rate* dan modulasi yang digunakan yang berubah-ubah sesuai dengan kondisi kanal.

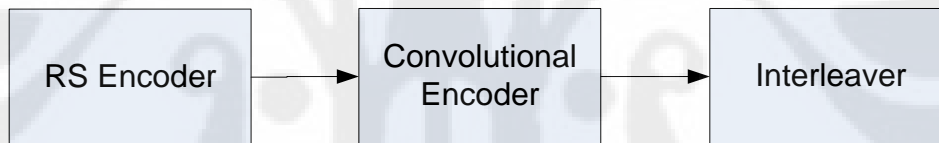
Pada simulasi, sumber data yang digunakan adalah Bernoulli random binary number. Blok Bernoulli Binary Generator menghasilkan nomor acak biner dengan parameter p yang merupakan probabilitas muncul 0 sehingga probabilitas muncul 1 bernilai $1-p$. Nilai p berkisar antara 0 hingga 1. Gambar 3.2 menunjukkan blok bernoulli Binary Generator.



Gambar 3. 2 Isi Blok Bernoulli Binary Generator

3.1.2 Encoder

Pada *encoder*, proses pengkodean data diawali dengan menggunakan pengkodean Reed-Solomon. setelah itu terdapat *Forward Error Corection* (FEC) dengan menggunakan *convolutional encoder*. selanjutnya, terjadi proses pengkodean dengan menggunakan *interleaver* untuk menghindari terjadinya error yang berdekatan. Gambar 3.3 menunjukkan proses *encoding* yang digunakan dalam simulasi :



Gambar 3. 3 Proses *Encoding*

Dengan adanya AMC maka *Encoder* yang digunakan disesuaikan dengan kondisi kanal. Hal ini untuk menjaga performa sistem dengan membuat nilai dari error tetap optimal. Ukuran dari blok pada *RS encoder* dan *code rate* untuk *Convolutional encoder* berpasangan dengan modulasi yang digunakan. Tabel 3.1 memberikan ukuran blok dan *code rate* untuk modulasi yang berbeda.

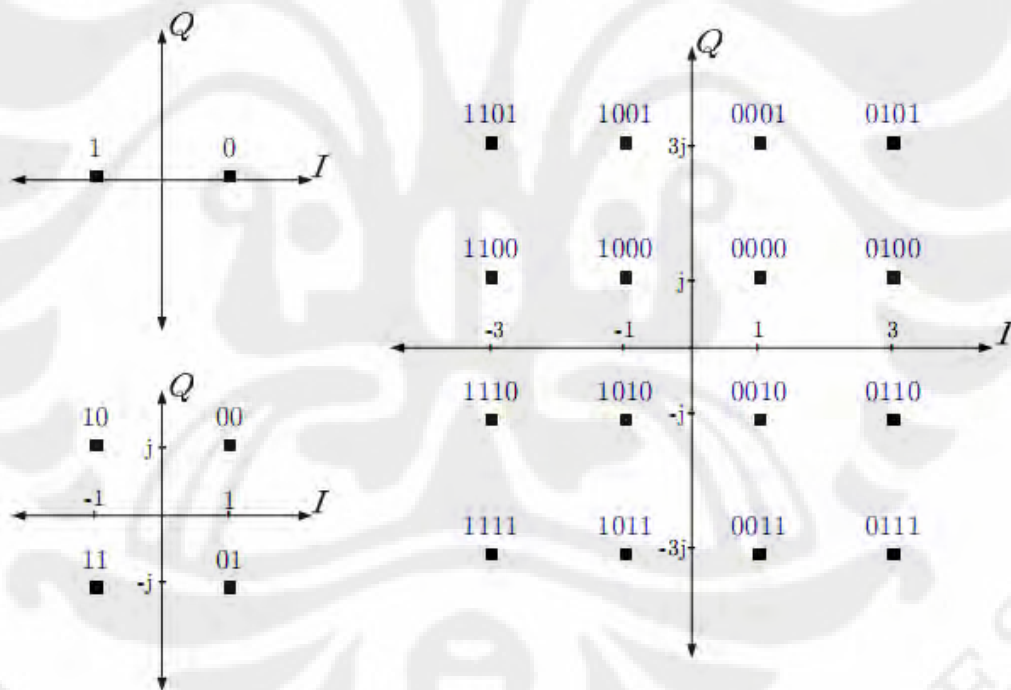
Tabel 3. 1 Modulasi dan skema coding

AMC	Modulasi	RS code	CC Code rate	Coding rate
1	BPSK	(12,12,0)	1/2	1/2
2	QPSK	(32,24,4)	2/3	1/2
3	QPSK	(40,36,2)	5/6	3/4
4	16-QAM	(64,48,4)	2/3	1/2
5	16-QAM	(80,72,4)	5/6	3/4
6	64-QAM	(108,96,6)	3/4	2/3
7	64-QAM	(120,108,6)	5/6	3/4

3.1.3 Modulator

Setelah data dikodekan, data tersebut memasuki proses modulasi. Skema modulasi digunakan untuk memetakan data yang sudah dikodekan menjadi suatu bentuk yang dapat ditransmisikan secara efektif lewat kanal komunikasi. *Gray coding* digunakan dalam modulator dalam memetakan data untuk modulasi sehingga pada konstelasi yang dihasilkan, titik-titik yang berdekatan hanya memiliki perbedaan 1 bit saja.

Pada simulasi digunakan 4 jenis modulasi yaitu BPSK, QPSK, 16-QAM dan 64-QAM. Gambar 3.4 menggambarkan diagram konstelasi untuk BPSK, QPSK dan 16-QAM.



Gambar 3. 4 Diagram Konstelasi BPSK, QPSK dan 16 QAM

Untuk mendapatkan power rata-rata dari simbol yang sama, maka konstelasi yang dihasilkan dinormalisasi dengan mengalikan semua titik dengan faktor C_m . Tabel 3.2 memberikan besar nilai C_m sesuai dengan skema modulasi yang digunakan.

Tabel 3. 2 Modulasi dan Normalisasi Daya

Modulasi	C_m
BPSK	1
QPSK	$1/\sqrt{2}$
16-QAM	$1/\sqrt{10}$
64-QAM	$1/\sqrt{42}$

Sedangkan, simbol dipetakan sesuai dengan *symbol alphabet* A_s dari modulasi. Tabel 3.4 memberikan nilai dari A_s .

Tabel 3. 3 Symbol Alphabet Modulasi

Modulasi	A_s
BPSK	$A_s = (1, -1)$
QPSK	$A_s = (1 + j, 1 - j, -1 + j, -1 - j)$
16-QAM	$A = (j, 3j, -j, -3j)$ $A_s = (A + 1, A + 3, A - 1, A - 3)$
64-QAM	$A = (j, 3j, 5j, 7j - j, -3j, -5j, -7j)$ $A_s = (A + 1, A + 3, A + 5, A + 7, A - 1, A - 3, A - 5, A - 7)$

Pada simulasi, modulasi dan encoder disatukan dalam satu blok. Hal ini dikarenakan adanya penggunaan AMC dimana untuk masing-masing AMC, modulasi dan coding memiliki pasangannya sendiri. Gambar 3.5 menunjukkan pasangan modulator dan encoder yang terdapat pada simulasi.

3.1.4 Pemberian Pilot Subcarrier

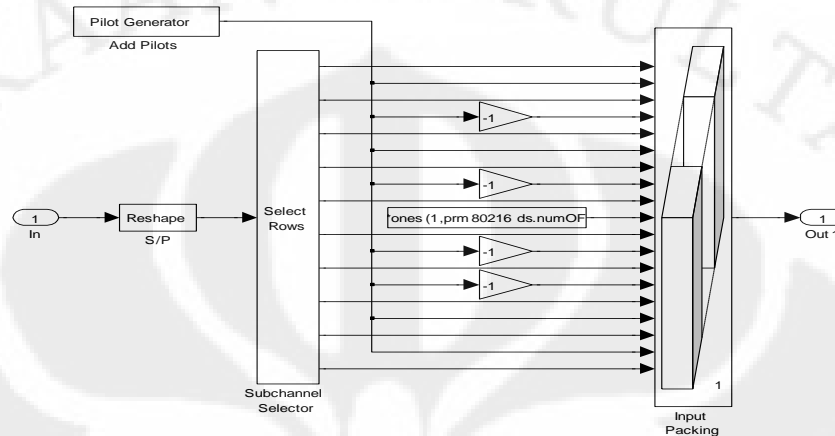
Setelah data dimodulasi, data-data tersebut digabungkan menjadi simbol OFDM. Data dimasukkan ke dalam data subcarrier pada simbol OFDM dimana pada simulasi ini terdapat 192 data subcarrier, 8 pilot subcarrier dan 1 DC carrier dalam satu simbol OFDM.

Pilot subcarrier didapatkan dengan menggunakan generator *pseudo-random binary sequence* (PBRs) yang berbasis polinomial $x^{11} + x^9 + 1$. Selanjutnya, terjadi modulasi terhadap keluaran dari generator yang merepresentasikan operasi $1 - 2wk$ dan $1 - 2wk'$. wk merupakan keluaran dari generator PBRs dan wk' merupakan invers dari wk . Selanjutnya, Pilot dimasukkan pada subcarrier dengan urutan berikut:

$$p_{-88} = p_{-38} = p_{63} = p_{88} = 1 - 2w_k,$$

$$p_{-63} = p_{-13} = p_{13} = p_{38} = 1 - 2\overline{w_k}.$$

Pada simulasi, pemasangan pilot ditunjukkan pada gambar 3.5.



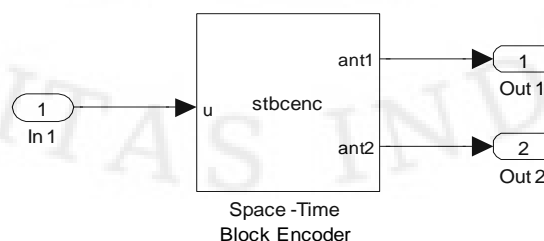
Gambar 3. 5 Pemasukan Pilot Subcarrier

Pada simulasi, pilot-pilot dimasukkan sesuai dengan ketentuan sebelumnya. Dan pada bagian tengah subcarrier dimasukkan Zero DC. Setelah itu simbol keluar menuju STBC encoder.

3.1.5 Space Time Diversity Encoder

Setelah simbol OFDM yang terdiri dari data subcarrier, pilot subcarrier dan DC carrier terbentuk, maka simbol akan memasuki *Space Time Diversity Encoder*. Pada *Space Time Diversity Encoder* terjadi pengkodean 2 simbol yang memasuki encoder untuk ditransmisikan antenna pengirim. Pada simulasi digunakan 2 buah antenna pengirim.

Gambar 3.6 memberikan gambaran *Space Time Diversity Encoder* yang digunakan pada simulasi.



Gambar 3. 6 STBC Encoder pada Simulasi

Pada simulasi simbol s_0 dan s_1 memasuki encoder, sehingga Tx1 akan mengirimkan s_0 pada waktu pertama dan $-s_1^*$ pada waktu selanjutnya. Tx2 akan mengirimkan s_1 pada waktu pertama dan s_0^* pada waktu selanjutnya.

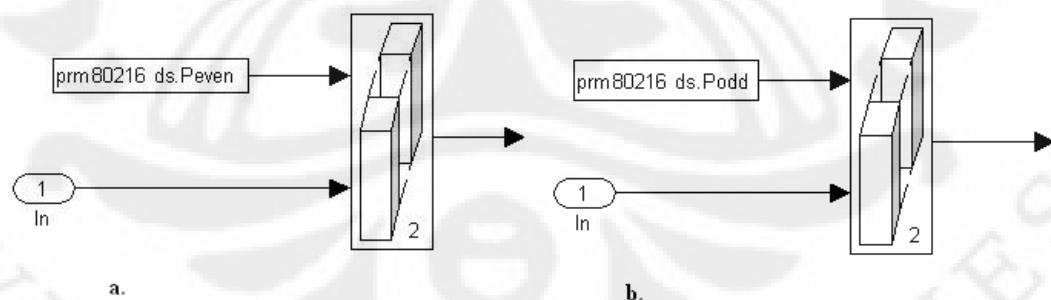
3.1.6 Pemberian Simbol Training

Setelah simbol-simbol dialokasikan untuk tiap-tiap antenna masing-masing antenna diberikan sebuah simbol training. Simbol training P_{EVEN} diberikan untuk Tx1 dan P_{ODD} untuk Tx2. Simbol training ini akan dikirim berbarengan dengan keluaran dari *Space Time Diversity Encoder* dan digunakan untuk estimasi kanal ketika sampai pada antenna penerima nanti. Besar nilai dari P_{EVEN} dan P_{ODD} tergantung nilai dari P_{ALL} yang merupakan suatu *sequence* yang berisi 201 subcarrier.

$$P_{EVEN}(k) = \begin{cases} \sqrt{2}\text{conj}(P_{ALL}(k)) & k \bmod 2 = 0 \\ 0 & k \bmod 2 \neq 0 \end{cases} \quad (3.1)$$

$$P_{ODD}(k) = \begin{cases} 0 & k \bmod 2 = 0 \\ \sqrt{2}\text{conj}(P_{ALL}(k)) & k \bmod 2 \neq 0 \end{cases} \quad (3.2)$$

Gambar 3.7 menunjukkan blok yang digunakan pada simulasi untuk memasukkan simbol training.



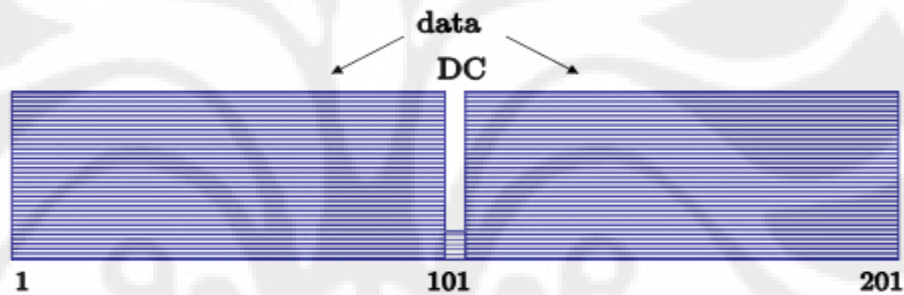
Gambar 3. 7. (a). Preamble untuk Tx1 dan (b). Preamble untuk Tx2

Pada simulasi, simbol training P_{EVEN} dimasukkan pada Tx1 dan simbol training P_{ODD} dimasukkan pada Tx2. Simbol training dimasukkan secara paralel dengan simbol-simbol yang merupakan hasil dari STBC encoder sehingga simbol training keluar terlebih dahulu sebelum simbol dari STBC.

3.1.7 Pemberian *Guard Band*

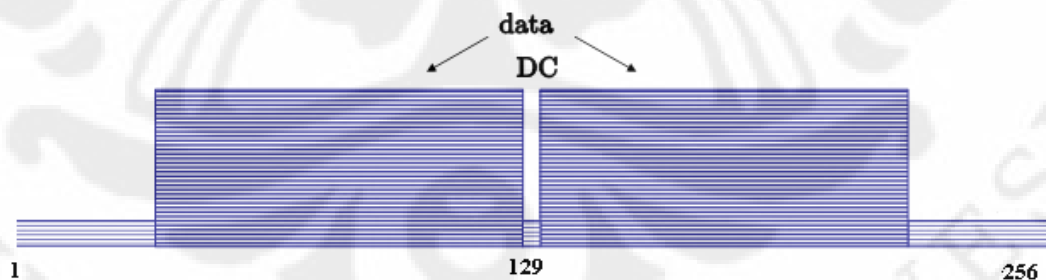
Sebelumnya, hanya digunakan 201 subcarrier dalam satu simbol OFDM. Namun, dibutuhkan sebanyak 256 subcarrier dalam melakukan transmisi agar dapat dilakukan proses IFFT. Sehingga, 55 subcarrier yang tidak digunakan akan dipakai sebagai *guard band*. *Guard band* dapat digunakan mengurangi emisi pada kanal frekuensi yang bersebelahan.

Pada simulasi 55 subcarrier yang digunakan sebagai *guard band* disisipkan sebanyak 28 subcarrier pada awal simbol dan sebanyak 27 subcarrier pada akhir simbol. Gambar 3.8 memberikan gambaran subcarrier sebelum diberikan *guard band*:



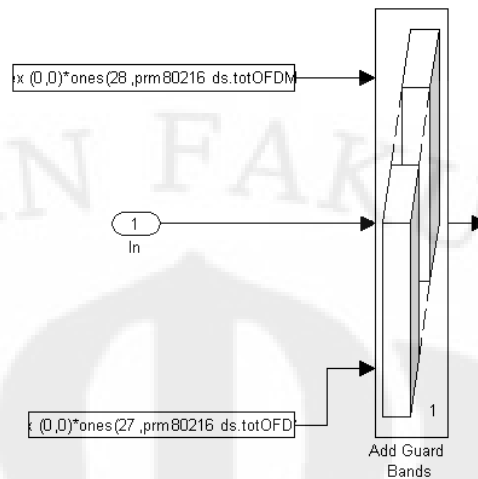
Gambar 3. 8 Subcarrier Sebelum Diberi Guard Band

Gambar 3.9 memberikan gambaran subcarrier setelah diberikan *guard band* :



Gambar 3. 9 Subcarrier Setelah Pemberian Guard Band

Pemberian *guard band* dilakukan dengan menggunakan blok yang terdapat pada gambar 3.10.



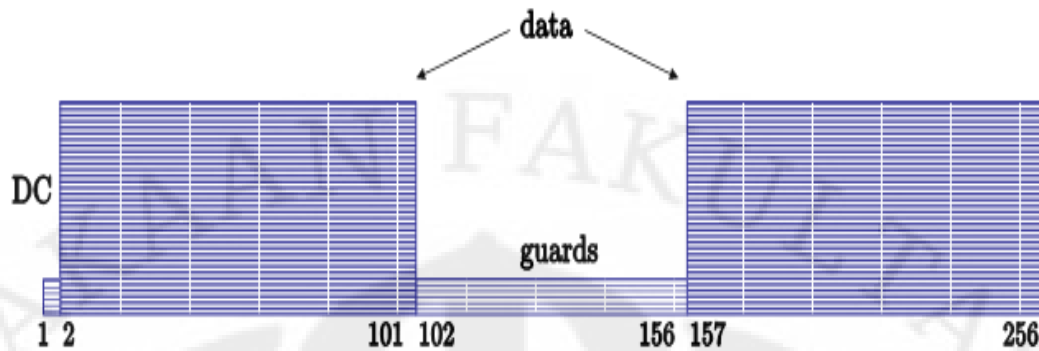
Gambar 3. 10 Pemberian Guard Band

Guard band diberikan pada urutan awal subcarrier sebanyak 28 buah dan pada urutan akhir subcarrier sebanyak 27 buah. Guard band ini diberikan untuk preamble dan 2 simbol yang dihasilkan STBC encoder.

3.1.8 IFFT

Proses IFFT dilakukan untuk menghasilkan sinyal dalam domain waktu. Selain memastikan subcarrier yang saling orthogonal, IFFT merepresentasikan sebuah cara cepat dalam memodulasikan subcarrier-subcarrier tersebut secara paralel sehingga dapat menghindari penggunaan *multiple* modulator dan demodulator.

Pada simulasi, setelah penyisipan *guard band* terjadi pengaturan kembali sub carrier sebelum proses IFFT dilaksanakan. Gambar 3.11 menggambarkan gambaran subcarrier setelah pengaturan ulang :



Gambar 3. 11 Urutan Subcarrier Setelah Disusun Ulang

Dari gambar 3.11 terlihat bahwa *guard interval* diletakkan pada bagian tengah dari struktur. IFFT harus memiliki ukuran 2^r (dimana r merupakan bilangan integer) untuk melakukan algoritma yang diharapkan. Untuk itu, ukuran dari FFT diberikan dengan persamaan berikut :

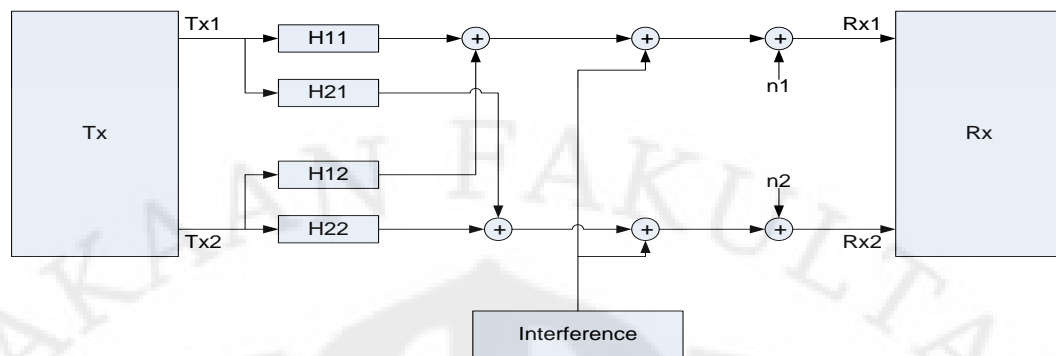
$$N_{\text{FFT}} = 2^{\lceil \log_2(N_{\text{data}}) \rceil}. \quad (3.3)$$

3.1.9 Cyclic Prefix

Setelah proses IFFT, terjadi penambahan *cyclic prefix* pada sinyal. Hal ini dilakukan dengan mengkopikan 32 bagian terakhir dari sinyal yang telah mengalami proses IFFT ke bagian awal sinyal. Setelah penambahan *cyclic prefix* sinyal dikirimkan melalui transmitter menuju kanal.

3.2 Kanal

Setelah sinyal dikirim melalui antenna pengirim, sinyal akan memasuki kanal sebelum sinyal tersebut sampai pada antenna penerima. Pada simulasi, digunakan kanal MIMO dengan 2 antenna pengirim dan 2 antenna penerima. Gambar 3.12 menggambarkan kanal yang digunakan pada simulasi.

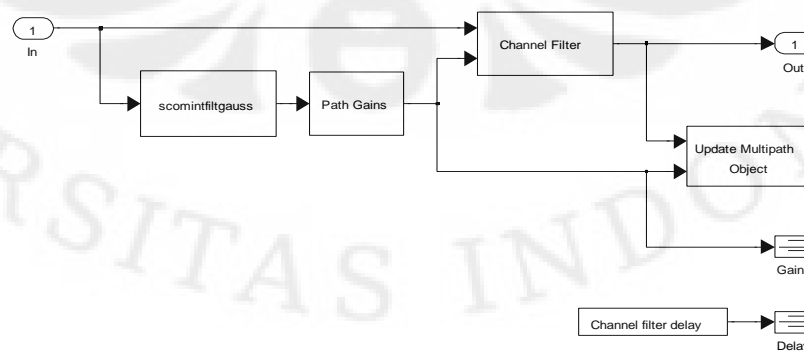


Gambar 3. 12 Model Kanal Pada Simulasi

Pada gambar 3.12 terlihat bahwa sinyal dari Tx1 diterima oleh Rx1 dan Rx2. Begitu pula dengan sinyal dari Tx2 yang diterima oleh Rx1 dan Rx2. Sinyal-sinyal yang dikirim oleh Tx melewati kanal H dan bercampur dengan sinyal interferensi dan noise sebelum sinyal tersebut diterima oleh Rx. Sehingga sinyal yang diterima oleh Rx tidak hanya berasal dari TX saja namun terdapat gangguan noise dan interferensi.

3.2.1 Multipath Rayleigh

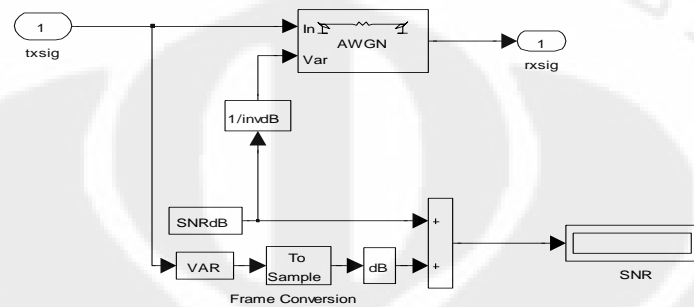
Pada simulasi sinyal informasi memasuki kanal Railegh fading. Kanal ini merupakan kanal yang merepresentasikan suatu keadaan multipath dimana tidak ada jalur langsung dari transmitter ke menuju receiver. Blok Multipath Rayleigh Fading Channel mengimplementasikan simulasi baseband dari channel propagasi multipath Rayleigh Fading. Blok ini berguna untuk pemodelan sistem komunikasi nirkabel bergerak. Gambar 3.13 menunjukkan blok Multipath Rayleigh Fading Channel.



Gambar 3. 13 Blok Multipath Rayleigh Fading

3.2.2 Kanal AWGN

Untuk penambahan noise, digunakan kanal AWGN. Pada simulasi, nilai SNR pada kanal AWGN dapat diubah dan noise terjadi pada tiap kanal MIMO. Gambar 3.14 menunjukkan Blok AWGN channel.



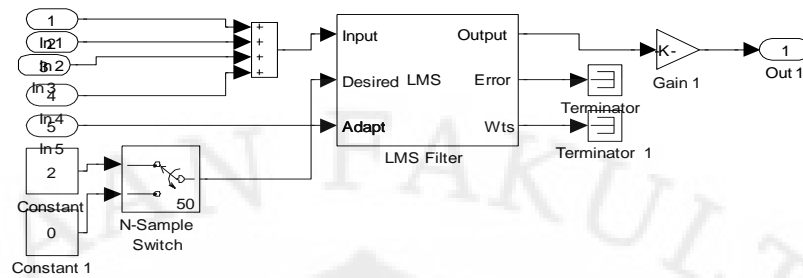
Gambar 3. 14 Blok AWGN Channel

3.2.3 Interferensi

Pada simulasi digunakan sebuah simulasi base station lain yang memberikan interferensi terhadap base station utama. Sebelum sinyal interferensi dijumlahkan dengan sinyal dari Tx, sinyal interferensi mengalami penurunan daya terlebih dahulu mengingat daya yang sampai pada Rx akan mengecil akibat jarak yang memisahkan BS interferensi dengan Rx.

3.2.4 Beamforming

Pada simulasi digunakan algoritma LMS yang membandingkan sinyal terkirim dengan sinyal yang diterima yang sudah bercampur dengan noise dan interferensi. Algoritma LMS berada pada receiver setelah sinyal yang diterima dibandingkan dengan sinyal yang diinginkan. Gambar 3.15 menunjukkan gambar beamforming yang dibuat pada simulasi.



Gambar 3. 15 Beamforming Pada Receiver

Pada simulasi digunakan blok LMS filter dimana terdapat algoritma LMS. Input blok merupakan sinyal yang sudah bercampur dengan noise dan interferensi. Sedangkan Desired dimasuki oleh sinyal yang diharapkan. Terdapat port adapt yang digunakan untuk mematikan blok pada saat sudah terjadi sinkronisasi sehingga w yang dihasilkan sudah tetap. Blok LMS akan berhenti berjalan pada saat sinkronisasi selesai sehingga LMS tidak berjalan lagi.

3.3 Receiver

Sinyal yang melewati kanal komunikasi akan sampai pada antenna penerima. Pada antenna penerima, terjadi serangkaian proses untuk mengubah kembali sinyal yang diterima menjadi data yang dibangkitkan. Pada dasarnya, proses-proses yang terjadi pada receiver merupakan kebalikan dari proses yang terjadi pada transmitter. Namun, terdapat estimasi kanal agar dapat mengestimasi nilai sinyal asli setelah melewati kanal.

Proses bermula dari pelepasan *cyclic prefix* yang dilanjutkan dengan proses FFT. Setelah mengalami FFT, sinyal akan disusun ulang kembali dimana *guard band* dihilangkan. Lalu terjadi pelepasan simbol training yang digunakan untuk estimasi kanal. Estimasi kanal ini akan menghasilkan simbol berupa data subcarrier dan pilot subcarrier. Simbol yang didapat akan memasuki proses pelepasan subcarrier sehingga hanya tersisa data subcarrier saja. Data subcarrier ini akan mengalami demodulasi untuk selanjutnya memasuki decoder sehingga didapat data yang dikirimkan.

3.3.1 Pelepasan CP

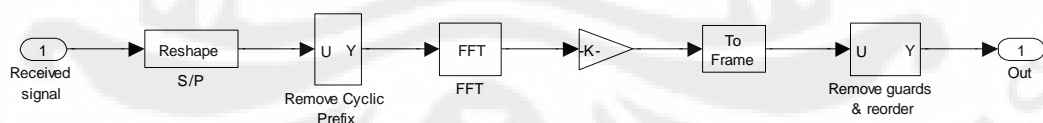
Proses yang terjadi pada receiver diawali dengan pelepasan *cyclic prefix*. Pada simulasi hal ini dilakukan dengan menghapus 32 bagian awal pada tiap-tiap simbol yang diterima. Dengan begitu, *cyclic prefix* yang sudah ditambahkan pada simbol akan menghilang.

3.3.2 FFT

Simbol yang sudah tidak memiliki *cyclic prefix* akan mengalami proses FFT. Jika pada transmitter digunakan IFFT maka pada receiver terjadi proses FFT. Jumlah subcarrier untuk melakukan operasi FFT juga sama dengan jumlah yang dibutuhkan untuk melakukan operasi IFFT.

3.3.3 Pelepasan Guard Band

Setelah sinyal memasuki proses FFT, sinyal tersebut memasuki proses pelepasan *guard band*. Hal ini dilakukan dengan menghapus 55 subcarrier yang terdapat bagian tengah simbol. Dengan begitu, 1 simbol akan kembali menjadi 201 subcarrier. Selain menghapus *guard band*, subcarrier-subcarrier juga mengalami penyusunan ulang. Proses pelepasan CP hingga pelepasan guard band pada simulasi terdapat pada gambar 3.16.



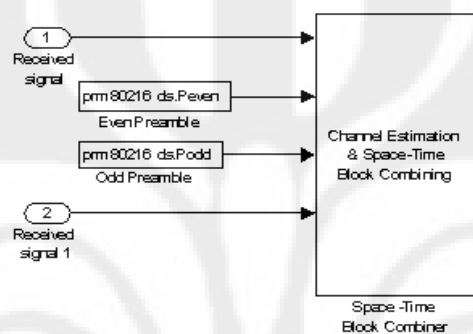
Gambar 3. 16 Proses Pada Receiver

3.3.5 Pelepasan Simbol Training

Pada proses pelepasan simbol training terjadi pelepasan simbol training dan juga proses *STBC* combiner. Pada proses ini juga terdapat proses estimasi

kanal sehingga estimasi kanal ini akan dapat digunakan sebagai parameter untuk STBC combiner.

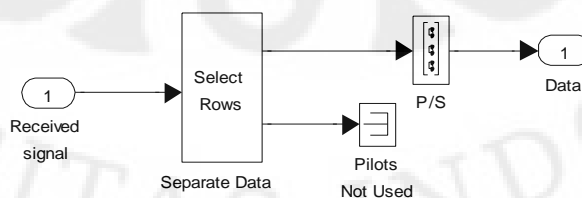
Dari simbol-simbol yang diterima receiver, Simbol training yang diterima receiver akan dibandingkan dengan P_{EVEN} dan P_{ODD} sehingga didapatkan estimasi kanal untuk tiap-tiap subcarrier. Selain itu terjadi proses pelepasan DC carrier pada saat terjadi proses estimasi kanal. Dari estimasi kanal yang didapat, maka nilai dari S0 dan S1 dapat diambil dengan menggunakan STBC combiner. STBC combiner pada simulasi ditunjukkan pada gambar 3.17.



Gambar 3. 17 STBC combiner

3.3.6 Pelepasan Pilot Subcarrier

Setelah S0 dan S1 didapat dari STBC combiner, maka terjadi proses pelepasan pilot subcarrier. Hal ini dilakukan dengan menghilangkan bagian ke 13, 38, 63, 88, 113, 138, 163, 188 dari simbol yang diterima. Dengan hilangnya Pilot subcarrier maka yang tersisa hanyalah data subcarrier yang selanjutnya akan memasuki demodulator. Pada simulasi, pelepasan pilot subcarrier ditunjukkan pada gambar 3.18.



Gambar 3. 18 Pelepasan Pilot Subcarrier

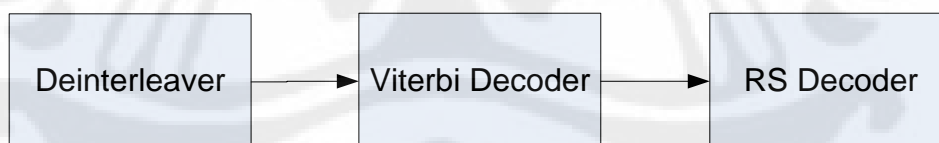
3.3.7 Demodulator

Setelah terjadinya pelepasan pilot subcarrier, data subcarrier memasuki demodulator. Pada simulasi, pasangan demodulator, Viterbi decoder dan RS decoder tergantung dengan modulator, Convolutional encoder dan RS encoder yang digunakan.

Demodulator berfungsi untuk melakukan *demapping* yang memberikan *interface* antara kanal transmisi dan fungsi yang dapat menghitung dan mengestimasi bit data agar sampai ke pengguna. Subcarrier yang memasuki demodulator akan mengalami proses demodulasi dimana akan didapat bit biner sebagai keluaran demodulator yang selanjutnya akan memasuki deinterleaver untuk pengurutan kembali dan viterbi decoder untuk proses koreksi.

3.3.8 Decoder

Proses pada decoder secara dasar merupakan kebalikan dari proses yang terjadi pada encoder. Jika pada encoder proses bermula dari RS encoder dan berakhir pada interleaver maka proses pada decoder bermula dari deinterleaver dan berakhir pada RS decoder. Proses yang terjadi pada decoder terlihat pada gambar 3.19.



Gambar 3. 5 Decoder pada Simulasi

Pada deinterleaver, bit-bit yang diacak disusun ke urutan awal kembali. Setelah urutan bit sudah kembali pada urutan yang sebenarnya, bit-bit akan memasuki viterbi decoder dan kemudian RS decoder untuk menghasilkan data yang dikirim.

Parameter-parameter yang digunakan pada decoder harus sesuai dengan parameter yang digunakan pada encoder. Pada simulasi terdapat 7 pasang demodulator dan decoder yang digunakan untuk AMC.

3.4 Adaptive Modulation and Coding

Pada simulasi, digunakan teknik Adaptive Modulation and Coding (AMC). Dengan penggunaan teknik AMC maka teknik coding dan modulasi yang digunakan ditentukan oleh kondisi kanal transmisi. Ketika kanal transmisi berada pada kondisi tidak baik maka teknik modulasi yang digunakan adalah teknik modulasi dengan error yang rendah. Namun, pada kanal yang berada pada kondisi baik digunakan teknik modulasi yang dapat memberikan data rate yang besar. Sehingga AMC dapat menjaga nilai BER agar tetap kecil dan throughput yang dihasilkan.

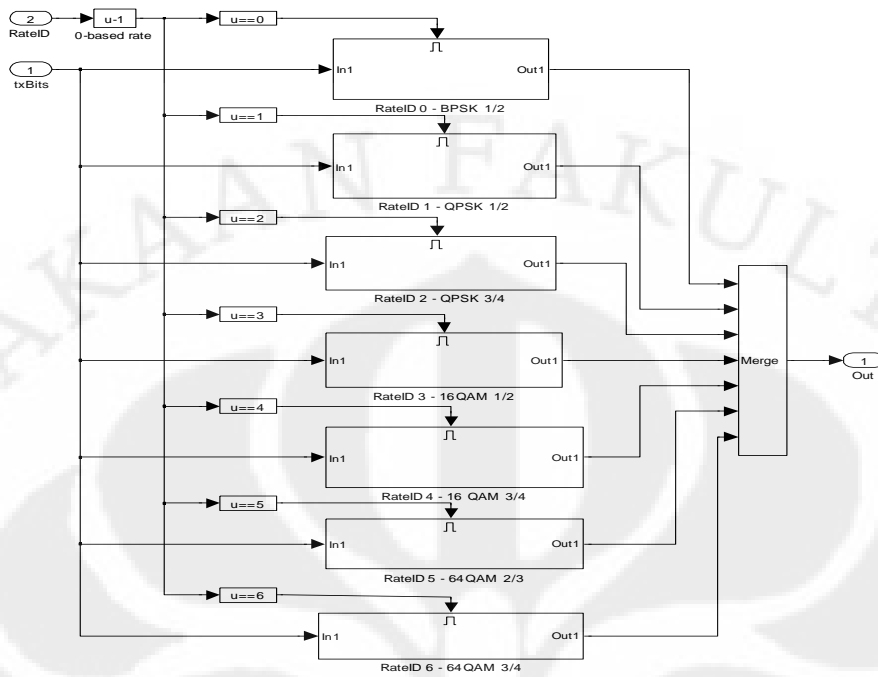
Pada simulasi digunakan AMC dimana pada receiver terdapat estimasi kanal. Informasi kanal ini diberikan kepada transmitter sehingga transmitter dapat memilih teknik coding dan modulasi mana yang harus digunakan. Selain kepada transmitter, informasi kanal juga diberikan kepada receiver untuk memilih decoder dan demodulator yang harus digunakan. Selain itu, pada perhitungan BER juga dibutuhkan informasi kanal. Hal ini untuk menghitung bit yang diterima karena bit yang diterima akan berbeda untuk teknik coding dan modulasi yang berbeda.

Tabel 3.4 memberikan data AMC yang digunakan berdasarkan kondisi kanal pada simulasi.

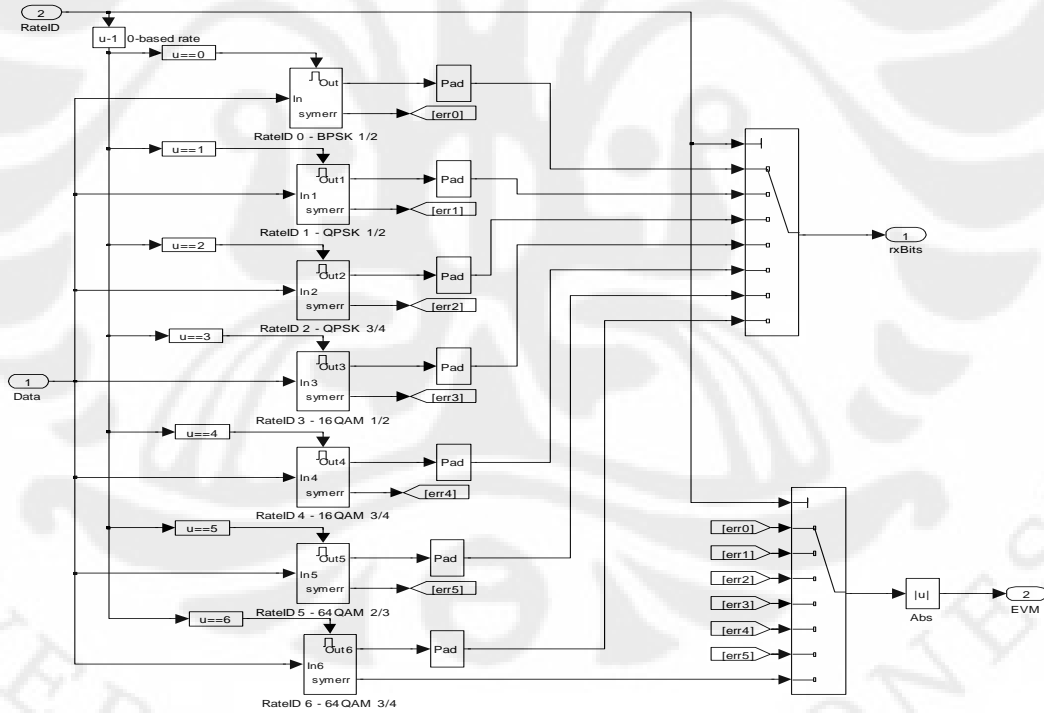
Tabel 3. 4 AMC pada Simulasi

AMC Mode	Modulation scheme	Overall coding rate	Batas SNR
AMC1	BPSK	1/2	SNR<4dB
AMC2	QPSK	1/2	4dB<SNR<10dB
AMC3	QPSK	3/4	10dB<SNR<14dB
AMC4	16-QAM	1/2	14dB<SNR<19dB
AMC5	16-QAM	3/4	19dB<SNR<22dB
AMC6	64-QAM	2/3	22dB<SNR<28dB
AMC7	64-QAM	3/4	SNR>28dB

Gambar 3.20 dan 3.21 menunjukkan AMC yang digunakan dalam simulasi.



Gambar 3. 20 AMC Untuk Encoder dan Modulator



Gambar 3. 21 AMC Untuk Decoder dan Demodulator

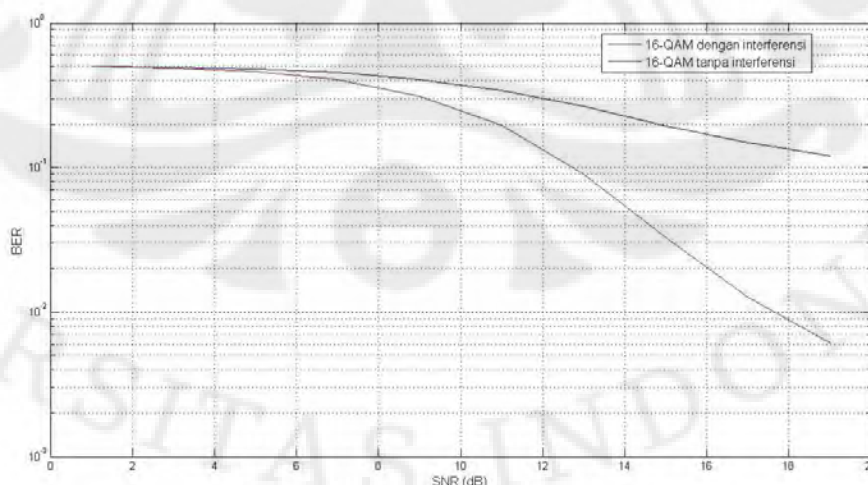
BAB 4 Simulasi dan Analisa

Dari hasil simulasi yang telah dibuat, didapatkan hasil-hasil yaitu perbandingan kinerja sistem dengan dan tanpa interferensi, kinerja sistem AMC pada kondisi tanpa interferensi, kinerja AMC pada sistem dengan interferensi, kinerja sistem beamforming pada sistem dengan interferensi dan sistem AMC beamforming. Analisa dilakukan dengan memperlihatkan parameter BER dan throughput yang dihasilkan sistem pada SNR yang berbeda-beda.

4.1 Perbandingan Kinerja Sistem Dengan dan Tanpa Interferensi

Analisa pertama dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi untuk kondisi tanpa interferensi dan hasil simulasi untuk kondisi dengan interferensi. Pada bagian ini akan dilihat pengaruh dari kehadiran interferensi terhadap performa sistem. Sistem yang digunakan adalah sistem MIMO OFDM dengan modulasi 16-QAM. Parameter yang dilihat adalah BER terhadap SNR dan throughput terhadap SNR yang dihasilkan kedua sistem.

Gambar 4.1 menunjukkan hasil simulasi yang membandingkan kinerja BER akibat SNR pada sistem yang terkena interferensi dan sistem yang tidak terkena interferensi :



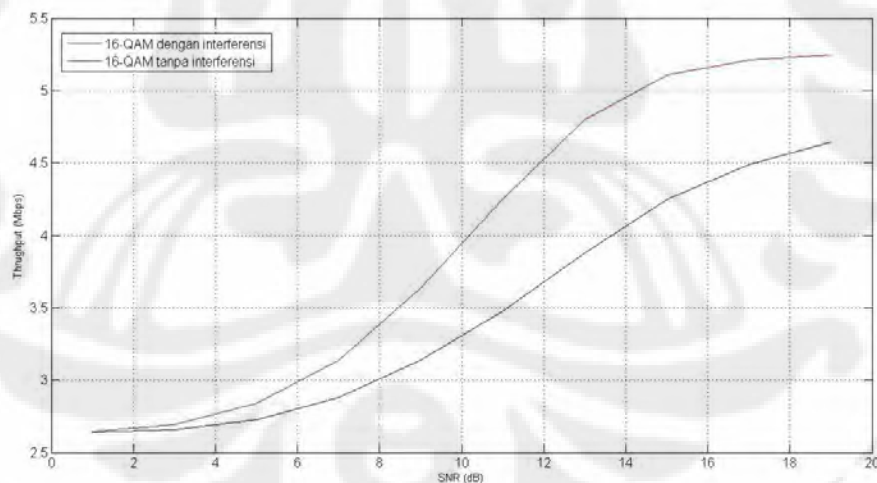
Gambar 4. 1 Perbandingan BER VS SNR Antara Sistem Tanpa Interferensi dengan Sistem yang Terkena Interferensi

Pada gambar 4.1 terlihat sekali bahwa interferensi sangat mempengaruhi kinerja sistem. Hal ini terlihat pada gambar 4.1 dimana sistem tanpa interferensi memiliki kinerja yang jauh lebih baik dibanding dengan sistem yang terkena interferensi.

Pada sistem yang terkena interferensi, BER bernilai 0,1 tidak dapat dicapai untuk kondisi kanal sampai dengan SNR bernilai 19 dB. Namun, pada sistem yang tidak terkena interferensi BER bernilai 0,1 sudah dapat dicapai pada saat SNR berada pada nilai 13 dB. Sehingga sudah terjadi penurunan kinerja yang diakibatkan oleh kehadiran interferensi.

Bahkan pada sistem yang terkena interferensi, BER maksimal yang dapat dicapai hingga SNR berada pada 19 dB tidak mencapai 10^{-1} . Hal ini tidak terjadi pada sistem tanpa interferensi dimana pada saat SNR bernilai 19 dB, nilai dari BER yang dihasilkan mendekati 0.06.

Selanjutnya, interferensi juga mempengaruhi throughput yang dihasilkan sistem. Gambar 4.2 menunjukkan Hasil simulasi yang menghasilkan throughput dari kedua sistem.



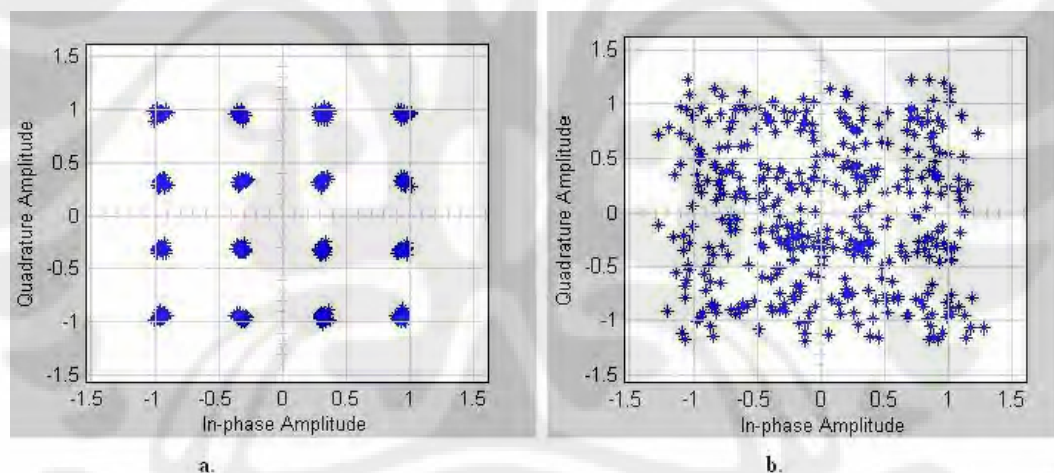
Gambar 4. 2 Perbandingan Throughput VS SNR Antara Sistem Tanpa Interferensi dengan Sistem yang Terkena Interferensi

Dari gambar 4.2 terlihat bahwa throughput yang dihasilkan meningkat dengan kenaikan SNR. Hal ini berhubungan dengan BER dimana dengan kenaikan SNR maka akan terjadi penurunan nilai BER. Penurunan nilai BER akan

menyebabkan jumlah bit yang berhasil dikirim semakin besar sehingga throughput akan semakin besar.

Pada awalnya, nilai dari throughput kedua sistem berdekatan. Hal ini karena error yang dihasilkan kedua sistem pada SNR kecil hampir bernilai sama. Namun, dengan kenaikan SNR, error yang dihasilkan sistem tanpa interferensi semakin kecil sehingga data yang berhasil dikirim semakin banyak. Sedangkan pada sistem dengan interferensi, dengan kenaikan SNR error yang dihasilkan tidak banyak berkurang seperti pada sistem tanpa interferensi. Akibatnya throughput yang dihasilkan tidak sebaik sistem tanpa interferensi.

Dari BER dan throughput yang dihasilkan, terlihat sekali bahwa interferensi sangat mempengaruhi sistem. Gambar 4.3 menunjukkan diagram konstelasi sinyal pada receiver untuk sistem tanpa interferensi dan sistem dengan interferensi pada kanal dengan SNR sebesar 27 dB.



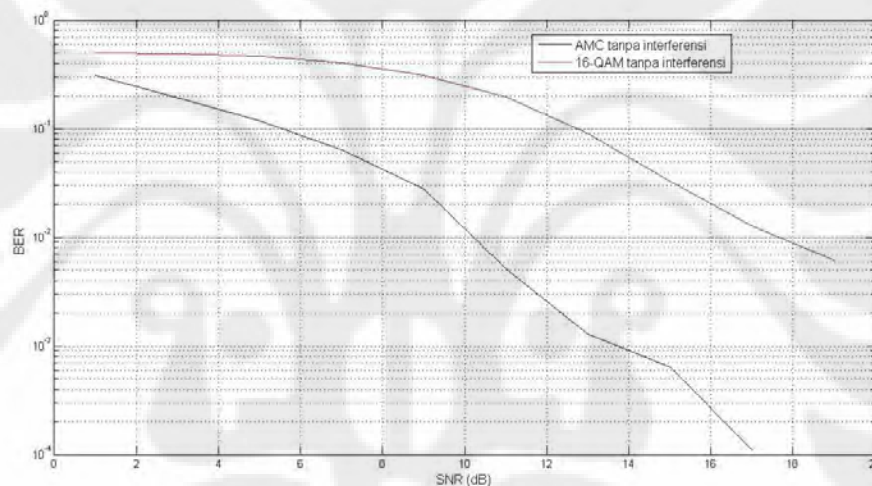
Gambar 4. 3. (a). Konstelasi Sistem Tanpa Interferensi dan (b). Konstelasi Akibat Interferensi

Dari gambar 4.3 terlihat bahwa pada SNR sebesar 27 dB, sinyal yang diterima receiver pada sistem dengan kondisi tanpa interferensi dapat dipetakan dengan baik pada diagram konstelasi. Hal ini berbeda pada sistem yang terkena interferensi dimana pada diagram konstelasi, terlihat sinyal masih memiliki error yang besar. Karena itu, interferensi sangat mempengaruhi kinerja sistem.

4.2 Kinerja Sistem AMC pada Kondisi Tanpa Interferensi

Pada simulasi digunakan sistem AMC (*adaptive Modulation and Coding*) yang memberikan efisiensi terhadap sistem. Hal ini dilakukan dengan mengubah-ubah skema coding dan modulasi sesuai dengan kondisi kanal. Pada bagian ini akan dilihat perbandingan antara sistem yang menggunakan AMC dengan sistem yang tidak menggunakan AMC pada kondisi tanpa interferensi.

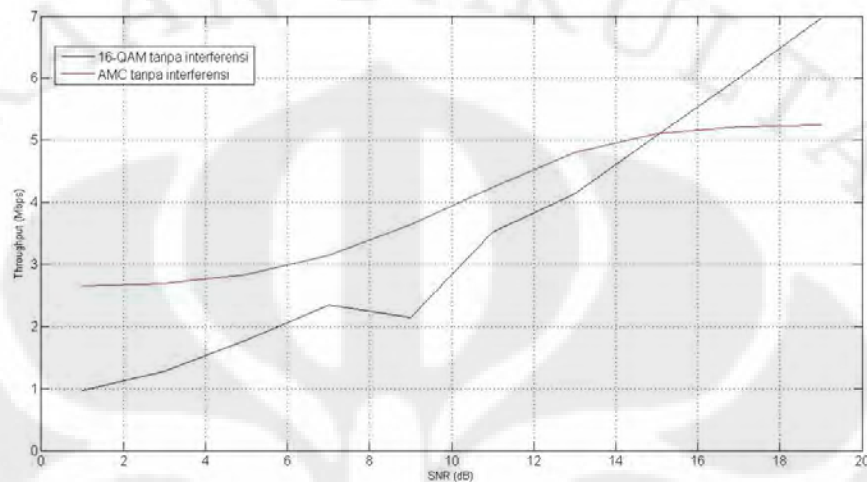
Gambar 4.4 menunjukkan perbandingan pada BER dengan SNR antara sistem yang menggunakan AMC dengan sistem yang tidak menggunakan AMC. Kedua sistem tidak mendapat pengaruh dari interferensi.



Gambar 4. 4 Perbandingan BER VS SNR Untuk Sistem dengan AMC dan Sistem Tanpa AMC Tanpa Pengaruh Interferensi

Dari gambar terlihat bahwa BER yang dihasilkan pada sistem yang menggunakan AMC lebih baik dibanding dengan BER pada sistem tanpa AMC. Pada sistem dengan AMC nilai BER 0,1 dapat dicapai pada SNR 6 dB sedangkan pada sistem yang tidak menggunakan AMC nilai BER 0,1 dicapai pada saat SNR mencapai 13 dB. Selanjutnya, nilai BER yang dihasilkan sistem yang menggunakan AMC semakin kecil dengan kenaikan SNR dan menjadi 0 pada saat SNR bernilai 19 dB.

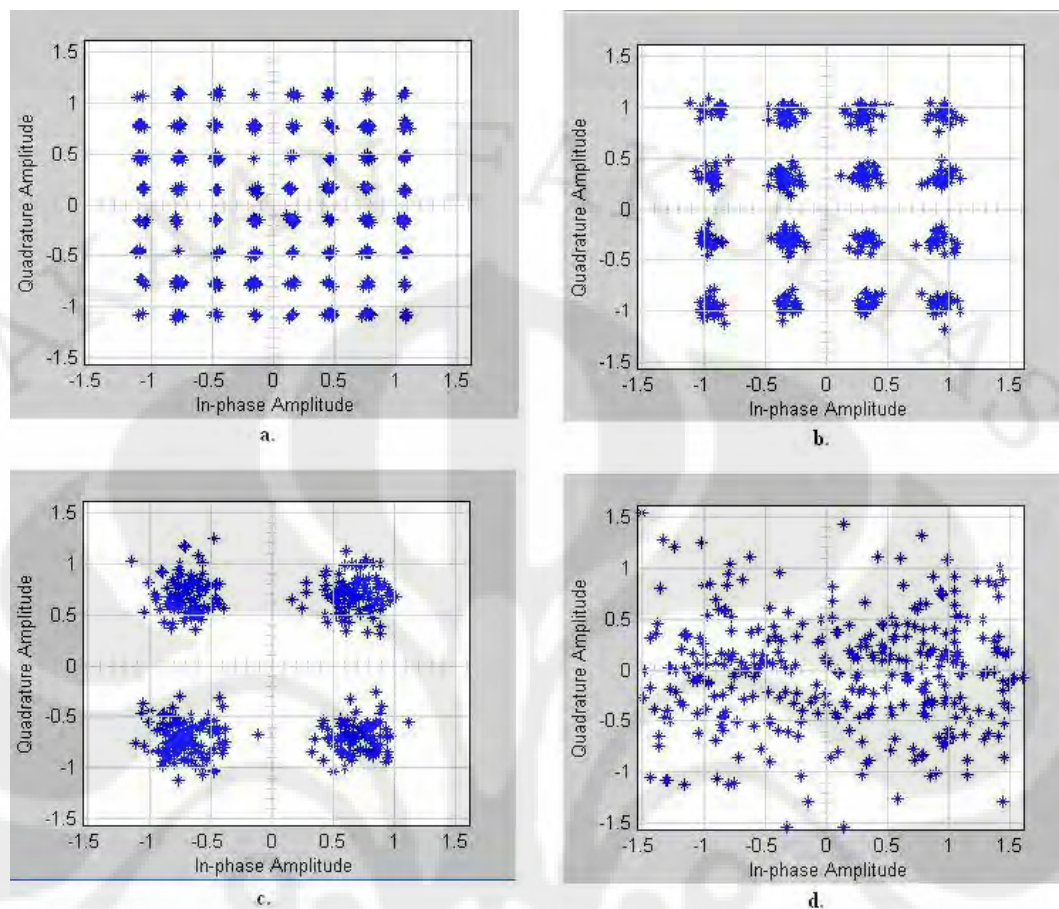
Gambar 4.5 menunjukkan perbandingan pada throughput dengan SNR antara sistem yang menggunakan AMC dengan sistem yang tidak menggunakan AMC.



Gambar 4. 5 Perbandingan Throughput VS SNR Untuk Sistem dengan AMC dan Sistem Tanpa AMC Tanpa Pengaruh Interferensi

Dari gambar 4.5 terlihat bahwa pada SNR kecil, throughput yang dihasilkan oleh sistem yang tidak menggunakan AMC memiliki nilai yang lebih baik dibandingkan dengan throughput yang dihasilkan oleh sistem yang menggunakan AMC. Throughput kedua sistem bernilai sama pada saat SNR mencapai 15 dB. Namun pada saat SNR bernilai > 15 dB throughput yang dihasilkan sistem yang menggunakan AMC memiliki nilai lebih besar dibanding dengan sistem yang tidak menggunakan AMC.

Gambar 4.6 menunjukkan diagram konstelasi sinyal yang diterima receiver pada sistem yang menggunakan AMC untuk nilai SNR yang berbeda-beda.



Gambar 4. 6. (a). Konstelasi pada Saat SNR Bernilai 27 dB, (b). SNR Bernilai 20 dB, (c). SNR Bernilai 11 dB dan (e). SNR Bernilai 3dB

Pada kedua sistem terdapat perbedaan dalam penggunaan teknik coding dan modulasi. Pada sistem yang tidak menggunakan AMC, teknik modulasi yang dipakai adalah 16-QAM dengan coding rate $\frac{1}{2}$. Teknik coding dan modulasi yang digunakan pada sistem ini tidak berubah untuk tiap SNR. Hal ini menyebabkan jumlah data yang dapat dikirim dalam 1 detik selalu bernilai sama untuk tiap SNR. Namun, jumlah data yang berhasil dikirim pada sistem ini berbeda untuk tiap SNR. Hal ini terjadi karena pada saat SNR kecil, error yang dihasilkan besar sehingga data yang gagal terkirim juga besar. Namun, dengan kenaikan SNR, error yang dihasilkan semakin kecil dan mendekati 0 sehingga jumlah data yang berhasil dikirim semakin mendekati jumlah data yang dikirim.

Pada sistem yang menggunakan AMC, saat SNR kecil digunakan teknik coding yang menghasilkan error kecil. Pada simulasi, untuk $SNR < 4$ dB,

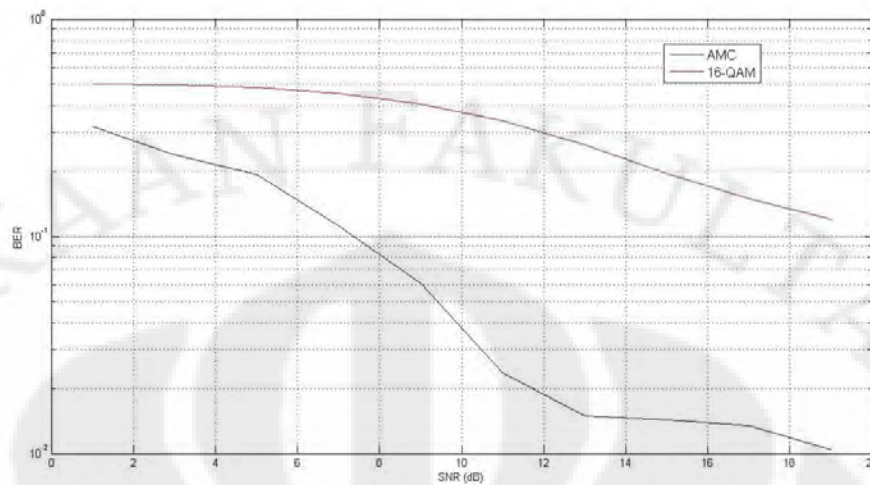
digunakan modulasi BPSK. Karena itu error yang dihasilkan menjadi kecil. Namun, dengan penggunaan modulasi BPSK, data yang dapat dikirim tidaklah banyak sehingga throughput sistem yang menggunakan AMC kecil pada saat SNR kecil. Namun sistem AMC lebih memberikan efisiensi sehingga dengan throughput yang kecil, error yang dihasilkan tidak besar. Misalnya, pada saat SNR bernilai 3 dB, sistem dengan AMC berhasil mengirimkan 1278200 bit dari total 1586000 bit data yang dikirim. Sedangkan pada sistem tanpa AMC, untuk SNR sebesar 3 dB data berhasil dikirim sebanyak 2694000 bit dari 5278000 data yang dikirim. Sehingga walaupun data yang terkirim lebih banyak namun error yang dihasilkan sangatlah besar.

Selain itu, pada saat SNR besar, sistem yang menggunakan AMC dapat menggunakan teknik modulasi dan coding yang dapat mengirimkan data lebih banyak lagi. Pada simulasi, sistem dapat menggunakan 16 QAM dengan coding rate $\frac{3}{4}$, 64 QAM dengan coding rate $\frac{2}{3}$ dan 64 QAM dengan coding rate $\frac{3}{4}$ pada SNR yang besar. Karena itu jumlah data yang dapat dikirim pada SNR besar akan semakin besar. Hal ini dapat memberikan throughput yang besar dengan tetap menjaga nilai dari error yang dihasilkan.

4.3 Kinerja Sistem AMC pada Sistem Dengan Interferensi

Selanjutnya, AMC digunakan pada sistem yang terpengaruh oleh interferensi untuk mengurangi error yang dihasilkan dan meningkatkan throughput sistem. Pada bagian ini, akan dilihat kinerja sistem yang menggunakan AMC pada pengaruh interferensi. Sistem ini dibandingkan dengan sistem yang menggunakan modulasi 16-QAM pada kondisi terinterferensi.

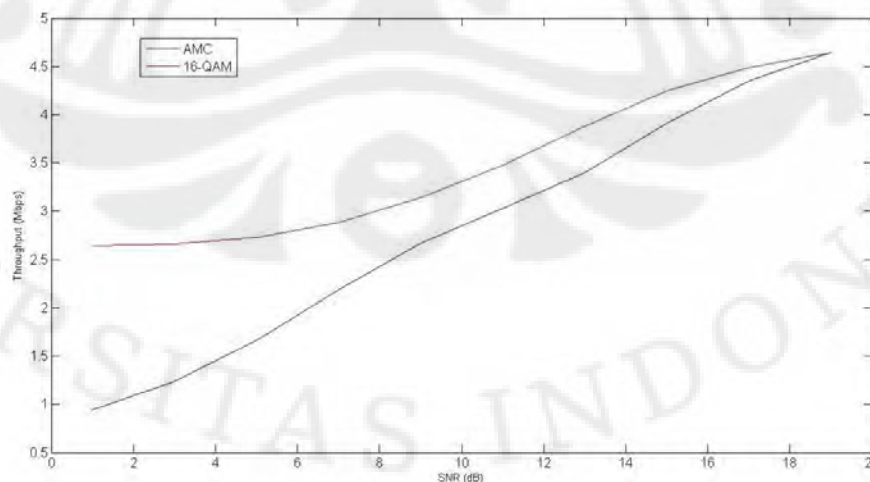
Gambar 4.7 menunjukkan perbandingan BER dengan SNR pada sistem yang menggunakan AMC dengan sistem yang tidak menggunakan AMC saat terdapat interferensi.



Gambar 4. 7 Perbandingan BER VS SNR Untuk Sistem dengan AMC dan Sistem Tanpa AMC pada Pengaruh Interferensi

Dari gambar 4.7 terlihat bahwa pada kondisi yang sama penggunaan AMC dapat menurunkan error yang terjadi. Walaupun berbeda dengan sistem yang menggunakan AMC tanpa interferensi, namun sistem ini dapat menghasilkan kinerja yang lebih baik dibanding sistem yang tidak menggunakan AMC.

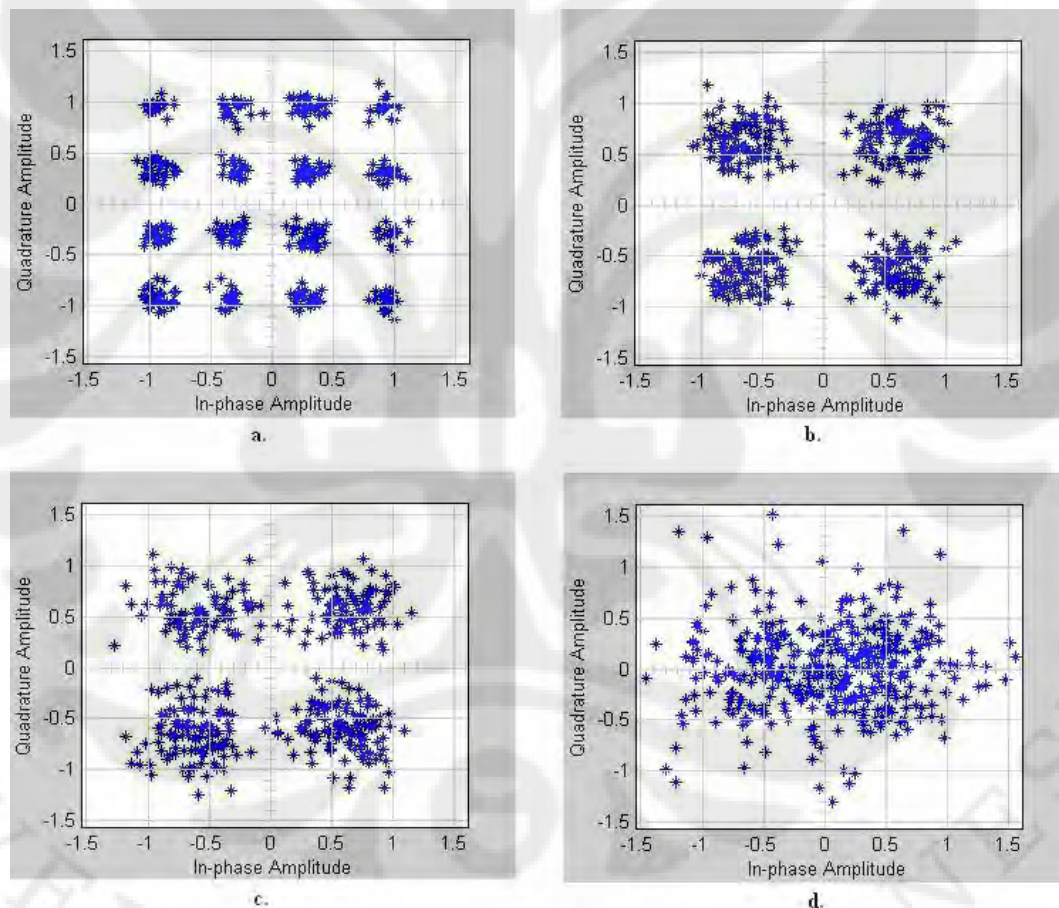
Gambar 4.8 menunjukkan perbandingan throughput pada sistem yang menggunakan AMC dengan sistem yang tidak menggunakan jika diberikan interferensi.



Gambar 4. 8 Perbandingan Throughput VS SNR Untuk Sistem dengan AMC dan Sistem Tanpa AMC pada Pengaruh Interferensi

Seperti pada sub bab sebelumnya, throughput yang dihasilkan oleh sistem yang menggunakan AMC akan bernilai kecil pada SNR yang kecil dan akan menjadi besar pada nilai SNR yang besar. Hal ini diakibatkan oleh penggunaan modulasi dan teknik coding yang memberikan data rate rendah pada SNR yang kecil dan penggunaan modulasi dan teknik coding yang memberikan data rate tinggi pada saat SNR bernilai tinggi. Namun, throughput yang dihasilkan berkurang akibat adanya interferensi.

Gambar 4.9 menunjukkan diagram konstelasi sinyal yang diterima receiver pada sistem yang menggunakan AMC yang terkena interferensi pada SNR yang berbeda-beda.



Gambar 4.9. (a). Konstelasi pada Saat SNR Bernilai 27 dB, (b). SNR Bernilai 20 dB, (c). SNR Bernilai 11 dB dan (e). SNR Bernilai 3dB pada Kondisi Interferensi

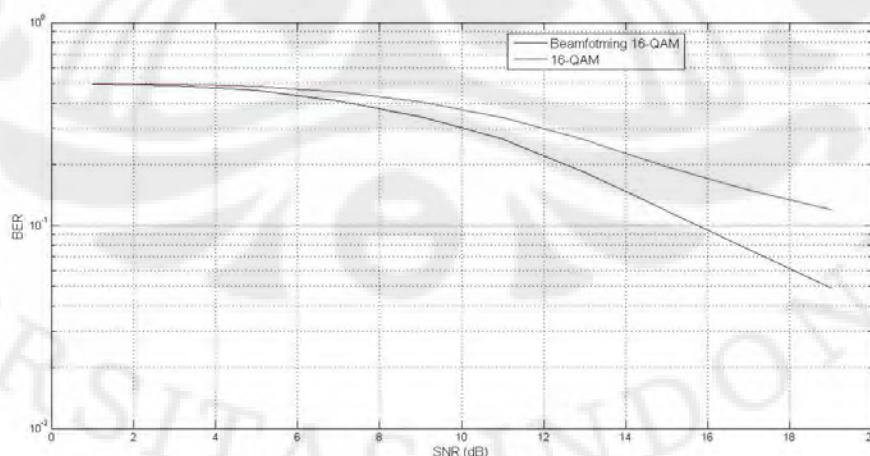
Gambar 4.9 memperlihatkan perbedaan hasil yang didapat sistem AMC pada kondisi kanal yang sama jika sistem dipengaruhi oleh interferensi dengan hasil yang didapat sistem yang menggunakan AMC tanpa pengaruh interferensi.

Pada sistem yang tidak terkena interferensi, saat SNR bernilai 27 dB modulasi 64 QAM dapat digunakan. Namun, pada sistem yang terkena interferensi, saat SNR bernilai 27 dB masih digunakan modulasi 16 QAM. Pada sistem yang terkena interferensi, nilai daya noise berkurang namun nilai daya interferer tidak berkurang. Karena perbandingan antara daya yang diharapkan dengan daya interferensi tetap, maka pada SNR yang besar, saat SNR bertambah besar turunnyanya daya noise tetap tidak terlalu mempengaruhi kinerja sistem.

4.4 Kinerja Sistem Beamforming Dengan Interferensi

Pada sub bab ini akan dilihat kinerja sistem beamforming pada kondisi terinterferensi. Pada simulasi, sistem ini dibuat dengan menambahkan algoritma LMS pada receiver dimana akan dihasilkan vektor pembobot w yang digunakan untuk beamforming. Setelah pengiriman beberapa simbol, maka nilai w akan tidak terupdate kembali. Pada sub bab ini akan dibandingkan kinerja sistem 16-QAM beamforming dengan kinerja sistem 16-QAM tanpa beamforming pada kondisi terinterferensi.

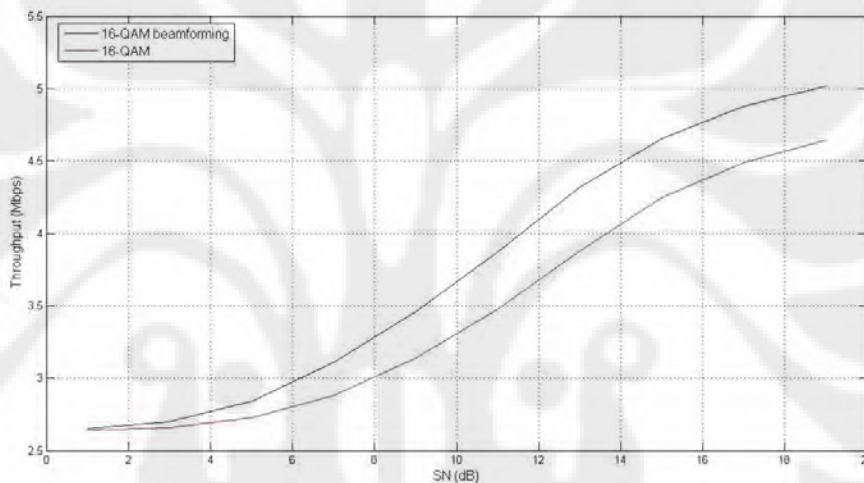
Gambar 4.10 menunjukkan perbandingan nilai BER dari sistem yang menggunakan beamforming dengan sistem yang tidak menggunakan beamforming.



Gambar 4. 10 Perbandingan BER VS SNR Sistem 16-QAM Beamforming dengan Sistem 16-QAM

Pada gambar terlihat bahwa beamforming dapat memperbaiki kinerja sistem dimana BER yang dihasilkan sistem 16-QAM beamforming lebih kecil dibanding dengan sistem 16-QAM tanpa beamforming. Pada saat SNR bernilai 19 dB, BER yang dihasilkan sistem 16-QAM beamforming mencapai 0.04 dimana pada kondisi kanal yang sama, sistem 16-QAM tidak dapat menghasilkan BER sebesar 0.1.

Gambar 4.11 menunjukkan perbandingan nilai throughput dari sistem yang menggunakan beamforming dengan sistem yang tidak menggunakan beamforming.



Gambar 4. 11 Perbandingan Throughput VS SNR Sistem 16-QAM Beamforming dengan Sistem 16-QAM

Pada gambar terlihat bahwa dengan meningkatnya nilai dari SNR, maka throughput yang dihasilkan sistem 16-QAM beamforming juga meningkat dan semakin menjauhi throughput yang dihasilkan sistem 16-QAM. Seperti pada peningkatan BER, sistem beamforming juga dapat meningkatkan throughput yang dihasilkan. Pada saat SNR bernilai 19 dB, sistem beamforming dapat menghasilkan throughput sebesar 5,1 Mbps sedangkan sistem 16-QAM hanya menghasilkan throughput sebesar 4,6 Mbps.

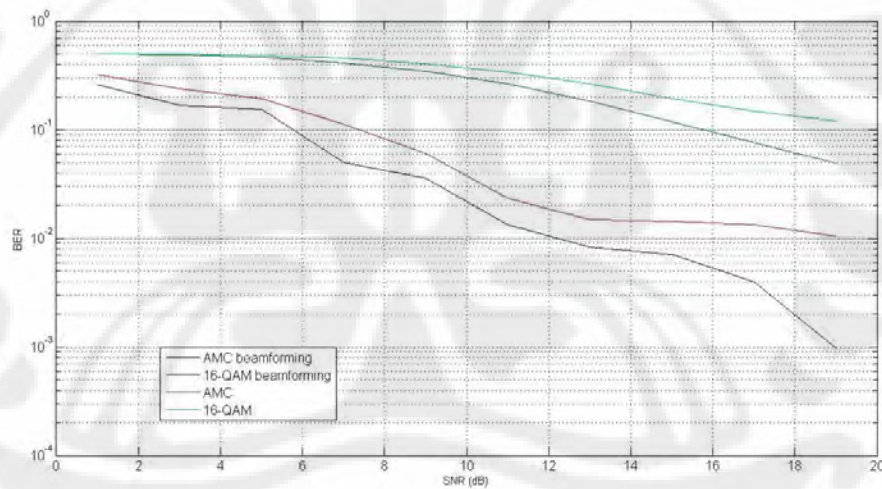
Jika dibandingkan dengan penggunaan AMC, pada kondisi terinterferensi sistem beamforming menghasilkan error yang lebih besar. Namun, throughput yang dihasilkan sistem beamforming lebih kecil dibanding dengan sistem AMC.

Karena itu, selanjutnya kedua sistem digabungkan agar dapat menghasilkan throughput yang besar dengan tetap menjaga nilai dari error.

4.5 Sistem AMC Beamforming

Pada skripsi ini, satu sistem yang diajukan untuk mengatasi interferensi adalah sistem AMC beamforming. Sistem ini dibuat dengan menggabungkan sistem beamforming dengan sistem AMC. Sistem ini diharapkan dapat mengatasi masalah interferensi sehingga dapat menjaga kinerja dari sistem. Pada sub bab ini, akan dilihat kinerja dari sistem AMC beamforming. Sistem ini akan dibandingkan dengan sistem 16-QAM beamforming, sistem AMC dan sistem 16-QAM.

Gambar 4.12 menunjukkan nilai BER yang dihasilkan oleh sistem AMC beamforming, sistem 16-QAM beamforming, sistem AMC dan sistem 16-QAM pada kondisi terinterferensi pada SNR yang berbeda-beda.

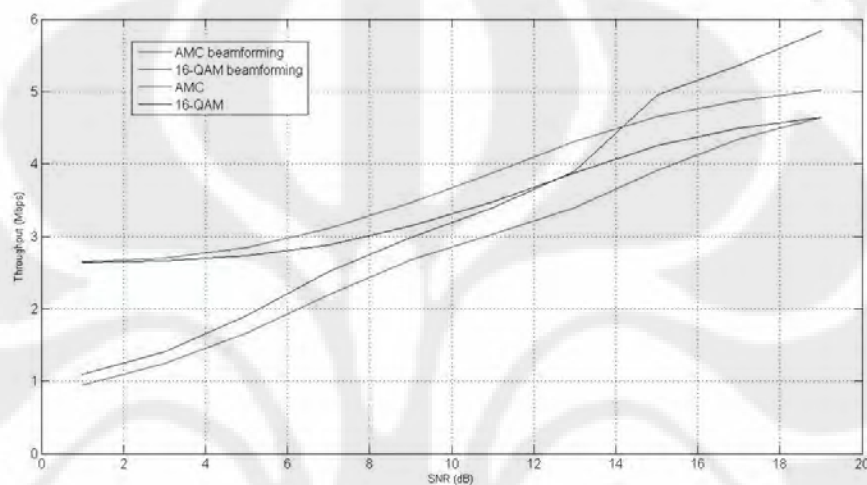


Gambar 4. 12 Perbandingan BER VS SNR Untuk Sistem AMC Beamforming, Sistem 16-QAM beamforming, Sistem AMC dan Sistem 16-QAM pada Pengaruh Interferensi

Dari hasil simulasi didapat bahwa sistem AMC beamforming dapat memberikan error yang terkecil di antara ke-3 sistem lainnya. Dengan penambahan beamforming pada sistem AMC, maka error yang dihasilkan menjadi lebih kecil dibanding dengan error pada sistem AMC saja. Jika dibandingkan dengan sistem 16-QAM beamforming, sistem AMC beamforming juga

menghasilkan BER yang kecil. Pada saat SNR bernilai 19 dB, BER yang dihasilkan sistem AMC beamforming mencapai 0,001 dan merupakan BER terkecil di antara ke-3 sistem.

Gambar 4.13 menunjukkan nilai throughput yang dihasilkan oleh sistem AMC beamforming, sistem 16-QAM beamforming, sistem AMC dan sistem 16-QAM pada kondisi terinterferensi pada SNR yang berbeda-beda.



Gambar 4. 13 Perbandingan Throughput VS SNR Untuk Sistem AMC Beamforming dan Sistem Tanpa Beamforming pada Pengaruh Interferensi

Pada hasil simulasi didapat bahwa throughput yang dihasilkan sistem AMC beamforming lebih kecil dibanding dengan sistem 16-QAM beamforming pada SNR yang kecil. Hal ini diakibatkan oleh penggunaan teknik modulasi yang menghasilkan data rate yang rendah pada sistem AMC beamforming pada saat SNR rendah. Karena itu, throughput yang dihasilkan sistem AMC beamforming lebih kecil pada saat SNR rendah, mendekati nilai throughput yang dihasilkan pada sistem AMC tanpa beamforming.

Namun, pada SNR besar nilai dari throughput yang dihasilkan oleh sistem AMC beamforming menjadi lebih besar dibanding dengan throughput yang dihasilkan oleh sistem 16-QAM beamforming. Hal ini karena untuk SNR besar, digunakan modulasi dan teknik coding yang menghasilkan data rate lebih besar sehingga nilai throughput yang dihasilkan sistem AMC beamforming menjadi lebih besar dibanding dengan throughput sistem 16-QAM beamforming. Pada

kondisi tanpa error, sistem 16-QAM beamforming hanya mampu menghasilkan throughput sebesar 5,2 Mbps. Sistem AMC beamforming dapat memberikan throughput lebih besar pada SNR yang besar dengan menggunakan modulasi dan teknik coding yang memberikan data rate yang tinggi.

Dari hasil simulasi yang sudah dilakukan maka dapat dilihat bahwa sistem AMC beamforming dapat memberikan kemampuan sistem dalam menangani interferensi cochannel. Hal ini dibuktikan pada error sistem yang kecil dan throughput sistem yang meningkat setelah penambahan beamforming pada sistem.



BAB 5

Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu :

- Interferensi mempengaruhi kinerja sistem dimana pada kondisi kanal yang sama, kinerja sistem yang terkena interferensi menjadi lebih buruk dibanding dengan kinerja sistem yang tidak terkena interferensi. Hal ini terlihat bahwa pada sistem yang terkena interferensi, BER bernilai 0,1 tidak dapat dicapai untuk kondisi kanal sampai dengan SNR bernilai 19 dB sedangkan tanpa interferensi BER bernilai 0,1 sudah dapat dicapai pada saat SNR berada pada nilai 13 dB.
- Sistem Adaptive Modulation and Coding (AMC) dapat memberikan transmisi data yang efisien dimana dihasilkan throughput yang besar dengan tetap menjaga error yang dihasilkan. Pada kondisi tanpa interferensi, error yang dihasilkan sudah mencapai 0 pada SNR 17 dB dengan throughput sebesar 6 Mbps yang sudah melebihi throughput yang dapat dicapai oleh sistem tanpa AMC yaitu sebesar 5,2 Mbps.
- Sistem beamforming dapat menghasilkan penurunan error dan kenaikan throughput dimana pada kondisi terinterferensi BER sebesar 0.1 dapat dicapai pada SNR sebesar 15 dB sedangkan BER yang dihasilkan oleh sistem tanpa beamforming tidak mencapai 0,1 hingga SNR sebesar 19 dB.
- Sistem AMC beamforming dapat mengatasi interferensi dimana error yang dihasilkan sistem dapat dikurangi dan throughput yang dihasilkan sistem meningkat dibanding dengan sistem tanpa beamforming.

REFERENSI

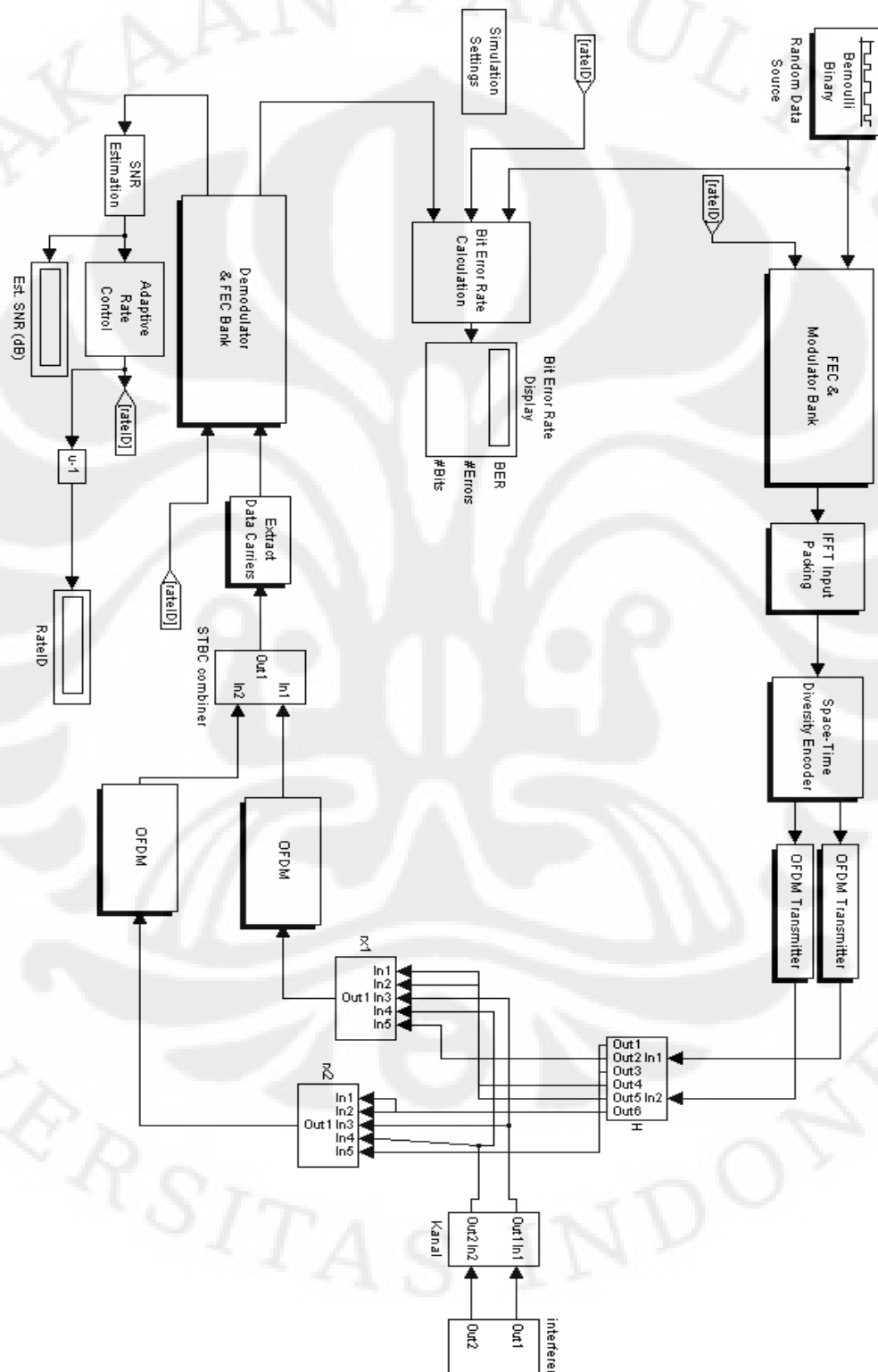
- [1] F.R. Farrokhi, A. Lozano, G.J. Foschini, R.A. Valenzuela, "Spectral efficiency of FDMA/TDMA wireless systems with transmit and receive antenna arrays," IEEE Transactions on Wireless Communications, Volume: 1 , Issue: 4 , Oct. 2002 Pages:591 – 599.
- [2] S. Catreux, P.F. Driessen, L.J. Greenstein, "Simulation results for an interference-limited multiple-input multiple-output cellular system," IEEE Communications Letters, Volume: 4 , Issue: 11 , Nov. 2000 Pages:334 – 336.
- [3] L. Shao and S. Roy, "Downlink Multicell MIMO-OFDM: An Architecture for Next Generation Wireless Networks," 2005
- [4] L. Shao, S. Roy and S. Sandhu, "Rate-one Space frequency block codes with maximum diversity gain for MIMO-OFDM," IEEE Global Telecommunications Conference, 2003.(GLOBECOM '03), Volume: 2 , 1-5 Dec.2003 Pages: 809 - 813.
- [5] K. Hayashi and H. Sakai, "Co-channel Interference Cancellation for Downlink Block Transmission with Cyclic Prefix," IEEE Volume , Issue , 11-14 Mei 2008 Page(s):703 – 707
- [6] Mobile WiMAX – Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation, WiMAX Forum, Agustus 2006
- [7] Depkominfo (25 Juni 2009). Siaran Pers No. 142/PIH/KOMINFO/6/2009 tentang 21 Peserta Seleksi Lulus Evaluasi Pra Kualifikasi Tender BWA Yang Diikuti Oleh 22 Calon Peserta Seleksi. 26 Juni 2009
<http://www.depkominfo.go.id/>
- [8] Sigit Puspito W.J., "Mengenal Teknologi Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) pada Komunikasi Wireless", Elektro Indonesia, Nomor 24, Tahun V, Januari 1999
- [9] Multipath fading. (n.d.). Januari 2009
http://www.tpub.com/content/et/14092/css/14092_19.htm
- [10] THE NON-ENGINEER'S INTRODUCTION TO MIMO AND MIMO-OFDM. (n.d.). 3 Mei 2009

<http://www.mimo.ucla.edu>

- [11] Understanding the Radio Technologies of Mobile WiMAX, Alvarion, 2006
<http://www.alvarion.com/>
- [12] white paper: A Practical Guide to WiMAX Antennas . motorola. 2007
- [13] Multiple Antenna System in WiMAX, Airspan. 2007
- [14] Krishna Pajai. Alamouti STBC 2 Receive antenna. 15 Maret 2009. 5 Juni 2009
<http://www.dsplog.com/2009/03/15/alamouti-stbc-2-receive-antenna/>
- [15] *Least mean square algorithm*. (n.d.). April 2009
- [16] ITB. (n.d.). *Reduksi Interferensi*. 23 Maret 2009
<http://radar.ee.itb.ac.id/>

LAMPIRAN

Model Simulink



Source Code STBC Encoder

```
function [ant1, ant2] = stbcenc(u)
% STBCENC Space-Time Block Encoder

N = 2;
ant1 = complex(zeros(size(u)));
ant2 = ant1;

% Alamouti Space-Time Block Encoder
% G2 = [s0 s1; -s1* s0*]
for i = 1:size(u,2)/2
    s0 = u(:, 2*i-1); s1 = u(:, 2*i);
    ant1(:, [2*i-1 2*i]) = [s0 -conj(s1)];
    ant2(:, [2*i-1 2*i]) = [s1 conj(s0)];
end
```