



UNIVERSITAS INDONESIA

**SIMULASI DAN ANALISIS MIMO-OFDMA PADA MOBILE
WIMAX DENGAN PENGKANALAN ORTHOGONAL-STBC**

SKRIPSI

**HARIS SETIAWAN
0405030419**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JULI 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**SIMULASI DAN ANALISIS MIMO-OFDMA PADA MOBILE
WIMAX DENGAN PENGKANALAN ORTHOGONAL-STBC**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana

**HARIS SETIAWAN
0405030419**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JULI 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 : Haris Setiawan

NPM : 0405030419

Tanda Tangan :

Tanggal : 17 Juni 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Haris Setiawan
NPM : 0405030419
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Simulasi dan Analisis MIMO-OFDMA pada Mobile WiMax dengan Pengkanalan Orthogonal-STBC

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 : Ir. Muhamad Asvial M.Eng., PhD (.....)

Penguji : Dr. Fitri Yuli Zulkifli ST. M.Sc (.....)

Penguji : Prof. Dr. Ir. Dadang Gunawan M.Eng (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 6 Juli 2009

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Ir. Muhamad Asvial M.Eng., PhD selaku pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
- (3) teman-teman elektro 2005, IME, FUSI dan beasiswa KSE yang telah banyak memberikan support dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Juni 2009

Penulis

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

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

Nama : HARIS SETIAWAN
NPM : 0405030419
Program Studi : TEKNIK ELEKTRO
Departemen : 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 :

**SIMULASI DAN ANALISIS MIMO-OFDMA PADA MOBILE WIMAX
DENGAN PENKANALAN ORTHOGONAL-STBC**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia /formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan 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

(Haris Setiawan)

ABSTRAK

Nama : Haris Setiawan
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Simulasi dan Analisis MIMO-OFDMA pada Mobile WiMax dengan Pengkanalan Orthogonal-STBC

Skripsi ini membahas kemampuan WIMAX sebagai teknologi informasi yang saat ini sedang berkembang. Untuk memenuhi layanan data kecepatan tinggi secara realtime dengan performansi yang baik dan mampu bekerja pada kanal multipath fading, digunakan teknik MIMO OFDM (Multiple Input Multiple Output Orthogonal Frequency Division Multiplexing). AMC (Adaptive Modulation and Coding) digunakan untuk mendukung transmisi kecepatan beragam untuk tipe yang berbeda dari layanan multimedia. Dalam AMC, level modulasi dan kecepatan coding diatur menurut kondisi kanal. Skripsi ini menganalisa kinerja PHY layer mobile WIMAX menggunakan MIMO dan AMC yang akan dimodelkan pada kanal propagasi mobile yang berdistribusi *Rayleigh Fading* dalam menangani multi user.

Kata kunci:
WIMAX, 802.16e, MIMO, OFDMA, PHY layer

Name : Haris Setiawan
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Simulation and Analysis of MIMO-OFDMA for Mobile WiMAX with Orthogonal-STBC

This final project discusses the ability of WiMAX as a technology that is currently being developed. To meet the high-speed data services in realtime with the good performance and able to work on a multipath fading channel, MIMO OFDM technique is used (Multiple Input Multiple Output Orthogonal Frequency Division Multiplexing). AMC (adaptive Modulation and Coding) is used to support transmission speeds vary for different types of multimedia services. In AMC, modulation level and coding rate is set according to channel conditions. This final project was analyzes the performance of mobile WiMAX PHY layer uses MIMO and AMC that will be modeled on the mobile propagation with Rayleigh Fading distribution in handling multi-user.

keyword:
WIMAX, 802.16e, MIMO, OFDMA, PHY layer

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR SINGKATAN	xii
DAFTAR ISTILAH	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG.....	1
1.2. TUJUAN PENULISAN	2
1.3. BATASAN MASALAH	2
1.4. SISTEMATIKA PENULISAN	2
BAB 2 TEKNOLOGI STBC-OFDMA UNTUK MOBILE WIMAX.....	4
2.1 <i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>	4
2.1.1 Perkembangan WiMAX	4
2.1.2 Mobile WiMAX (802.16e 2005)	8
2.2 Mobile-WiMAX Physical Layer	10
2.2.1 <i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>	10
2.2.2 <i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i>	14
2.2.3 OFDMA Frame	18
2.2.4 Adaptive Modulation And Coding (AMC).....	20
2.2.5 Forward Error Correction (FEC).....	26
2.3 TEKNOLOGI MULTIPLE ANTENNA.....	27
2.3.1 Open Loop MIMO	29
2.3.2 Beamforming/Closed Loop MIMO	33
2.3.3 Channel Estimation dan Equalization	34
2.4 AIR INTERFACE	35
BAB 3 PERANCANGAN SIMULASI	38
3.1 GAMBARAN UMUM SIMULASI.....	38
3.2 PERANCANGAN SIMULASI.....	38
3.2.1 Transmitter WIMAX	39
3.2.2 Kanal Transmisi	44
3.2.3 Receiver WIMAX.....	44
3.3 PARAMETER UNJUK KERJA	45
3.3.1 Kapasitas kanal pada sistem MIMO-OFDM	45
3.3.2 Throughput	46
3.3.3 BER (Bit Error Rate)	46
3.3.4 Parameter Pada Kanal Transmisi.....	47
BAB 4 ANALISIS HASIL SIMULASI	49
4.1 PARAMETER SIMULASI.....	49

4.2 HASIL SIMULASI DAN ANALISIS	50
4.2.1 Kecepatan User, $v = 0$ m/s.....	50
4.2.2 Kecepatan User, $v = 2,7$ m/s.....	55
4.2.3 Kecepatan User, $v = 30$ m/s.....	59
BAB 5 KESIMPULAN	64
REFERENSI	66
LAMPIRAN.....	67



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Varian-varian standar IEEE 802.16 (WiMAX)	6
Tabel 2.2 Fitur-fitur physical layer teknologi IEEE 802.16 WiMAX	7
Tabel 2.3 Data rates in Mobile WiMAX environment [7].....	9
Tabel 2.4 Keadaan sinyal QPSK.....	21
Tabel 4.1 Parameter Sistem MIMO-OFDMA pada Mobile WiMAX.....	49



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mobile WiMAX OFDM parameters	8
Gambar 2.2 Subcarriers in OFDM	10
Gambar 2.3 Skema modulasi/demodulasi OFDM	12
Gambar 2.4 Perbandingan Single Carrier dengan Multicarrier	13
Gambar 2.5 Efek Fading Terhadap OFDM	14
Gambar 2.6 Perbandingan Subcarriers Allocation OFDM dan OFDMA	15
Gambar 2.7 Chanelisasi pada OFDM-TDMA dan OFDMA	16
Gambar 2.8 Struktur Frame TDD untuk Fixed WiMAX	16
Gambar 2.9 Struktur dasar downlink frame OFDMA	18
Gambar 2.10 Struktur Frame Mobile Wimax	19
Gambar 2.11 mapping downlink slot OFDMA kedalam data region	20
Gambar 2.12 Modulator QPSK	21
Gambar 2.13 Diagram konstelasi modulasi QPSK	22
Gambar 2.14 Demodulator QPSK	22
Gambar 2.15 Modulator QAM	23
Gambar 2.16 Demodulator QPSK	23
Gambar 2.17 Diagram konstelasi 16-QAM	24
Gambar 2.18 Diagram konstelasi 64-QAM	25
Gambar 2.19 Adaptive modulation schemes memaksimalkan bitrate pada P_e yang terkecil	26
Gambar 2.20 Bagan ilustrasi rangkaian <i>convolutional encoder</i> 3/2	27
Gambar 2.21 Sistem MIMO secara umum	28
Gambar 2.22 Pembagian/Pengelompokan Teknologi MIMO	28
Gambar 2.23 MIMO Matriks A	29
Gambar 2.24 Blok Diagram Alamouti Encoder	30
Gambar 2.25 kanal MIMO STBC	31
Gambar 2.26 Alamouty Receiver	32
Gambar 2.27 MIMO Matriks B	33
Gambar 2.28 MIMO Beamforming	34
Gambar 2.29 Ilustrasi efek pergeseran frekuensi <i>Doppler</i>	36
Gambar 3.1 Blok diagram simulasi	38
Gambar 3.2 OFDMA Sub-channel Permutation	41
Gambar 3.3 SFBC Encoder [20]	42
Gambar 3.4 Multicarrier STBC Encoder	42
Gambar 3.5 Skema <i>transmitter</i> sistem OFDM	43
Gambar 3.6 Insert Guard Interval	43
Gambar 4.1 Perbandingan SNR VS BER dan Throughput pada $v = 0$ m/s, $\text{ecc}=2/3$, 2,5 GHz	50
Gambar 4.2 Perbandingan SNR VS BER dan Throughput pada $v = 0$ m/s, $\text{ecc}=2/3$, 2,3 GHz	51
Gambar 4.3 Perbandingan SNR VS BER dan Throughput pada $v = 0$ m/s, $\text{ecc}=1/2$, 2,5 GHz	51
Gambar 4.4 Perbandingan SNR VS BER dan Throughput pada $v = 0$ m/s, $\text{ecc}=1/2$, 2,3 GHz	52
Gambar 4.5 Konstelasi dengan SNR=1dB pada $v = 0$ m/s, 2,5 GHz	53

Gambar 4.6	Konstelasi dengan SNR=21dB pada $v = 0$ m/s, 2,5 GHz.....	53
Gambar 4.7	Alokasi subcarrier untuk permintaan throughput yang sama, $v= 0$ m/s, 2,5 GHz	54
Gambar 4.8	Alokasi subcarrier untuk permintaan throughput yang sama, $v= 0$ m/s, 2,3 GHz	54
Gambar 4.9	Perbandingan SNR VS BER dan Throughput pada $v = 2,7$ m/s $ecc=2/3$, 2,5 GHz	55
Gambar 4.10	Perbandingan SNR VS BER dan Throughput pada $v = 2,7$ m/s $ecc=2/3$, 2,3 GHz	55
Gambar 4.11	Perbandingan SNR VS BER dan Throughput pada $v = 2,7$ m/s $ecc=1/2$, 2,5 GHz	56
Gambar 4.12	Perbandingan SNR VS BER dan Throughput pada $v = 2,7$ m/s $ecc=1/2$, 2,3 GHz	56
Gambar 4.13	Konstelasi dengan SNR=1dB pada $v = 2,7$ m/s, 2,5 GHz.....	57
Gambar 4.14	Konstelasi dengan SNR=21dB pada $v = 2,7$ m/s, 2,5 GHz.....	57
Gambar 4.15	Alokasi subcarrier untuk permintaan throughput yang sama, $v= 2,7$ m/s, 2,5 GHz	58
Gambar 4.16	Alokasi subcarrier untuk permintaan throughput yang sama, $v= 2,7$ m/s, 2,3 GHz	58
Gambar 4.17	Perbandingan SNR VS BER dan Throughput pada $v = 30$ m/s $ecc=2/3$, 2,5 GHz	59
Gambar 4.18	Perbandingan SNR VS BER dan Throughput pada $v = 30$ m/s $ecc=2/3$, 2,3 GHz	59
Gambar 4.19	Perbandingan SNR VS BER dan Throughput pada $v = 30$ m/s $ecc=1/2$, 2,5 GHz	60
Gambar 4.20	Perbandingan SNR VS BER dan Throughput pada $v = 30$ m/s $ecc=1/2$, 2,3 GHz	61
Gambar 4.21	Konstelasi dengan SNR=1dB pada $v = 30$ m/s, 2,5 GHz.....	61
Gambar 4.22	Konstelasi dengan SNR=21dB pada $v = 30$ m/s, 2,5 GHz.....	62
Gambar 4.23	Alokasi subcarrier untuk permintaan throughput yang sama, $v=30$ m/s, 2,5 GHz	62
Gambar 4.24	Alokasi subcarrier untuk permintaan throughput yang sama, $v=30$ m/s, 2,3 GHz	63

DAFTAR SINGKATAN

AMC	<i>Adaptive Modulation and Coding</i>
AWGN	<i>Additive white Gaussian Noise</i>
BER	<i>Bit Error Rate</i>
BS	<i>Base Station</i>
DFT	<i>Discrete Fourier Transform</i>
ECC	<i>Error Control Coding</i>
FDM	<i>Frequency Division Multiplexing</i>
FEC	<i>Forward Error Correction</i>
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i>
GI	<i>Guard Interval</i>
IDFT	<i>Inverse Discrete Fourier Transform</i>
IEEE	<i>Institute Electrical and Electronics Engineering</i>
IFFT	<i>Inverse Fast Fourier Transform</i>
ISI	<i>Inter Symbol Interference</i>
MIMO	<i>Multiple Input Multiple output</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
SM	<i>Spatial Multiplexing</i>
STBC	<i>Space Time Block Code</i>
TDM	<i>Time Division Multiplexing</i>
SNR	<i>Signal to Noise Ratio</i>
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
NLOS	<i>Non Line Of Sight</i>

DAFTAR ISTILAH

<i>Antenna Diversity</i>	Sistem antenna yang mempropagasikan sinyal pada beberapa arah yang berbeda.
<i>Bandwidth</i>	Lebar pita frekuensi yang digunakan dalam mengirimkan sinyal dalam sistem komunikasi nirkabel.
<i>Cyclic prefix</i>	Rangkaian <i>bit</i> ulangan dari akhir simbol yang ditempatkan pada awal simbol agar sinyal tetap terjaga pada kanal <i>multipath</i> .
<i>Data Region</i>	Alokasi resource dua dimensi dari sebuah group dari slot yang kontinu.
<i>Delay spread</i>	Jenis distorsi disebabkan oleh <i>multipath fading</i> yang menyebabkan sinyal sama sampai pada tujuan dalam waktu yang berbeda.
<i>Diversiti</i>	Metode untuk meningkatkan ketahanan pesan, mengatasi kanal fading dan co-channel interference dan menghindari burst error.
<i>Downlink</i>	Proses pengiriman sinyal dari <i>base station</i> ke terminal user.
<i>Error detection</i>	Kemampuan untuk dapat mendeteksi <i>error</i> yang disebabkan oleh <i>noise</i> atau yang lainnya selama proses transmisi.
<i>Guard interval</i>	<i>interval</i> waktu (pada TDM) atau frekuensi (pada FDM) untuk memastikan tidak ada interferensi antar sinyal pada sistem transmisi.
<i>Intercell interference</i>	Interferensi pada sinyal komunikasi yang disebabkan oleh terminal user yang berada di luar sel yang diinginkan.
<i>Multipath propagation</i>	Fenomena propagasi yang disebabkan oleh atmosfer, pembiasan dan pemantulan oleh ionosfer dan pemantulan oleh objek yang ada di daratan seperti bangunan dan gunung, yang membuat sinyal radio dapat mencapai antena dalam dua atau lebih path sehingga dapat menyebabkan interferensi yang destruktif dan pergeseran fasa dari sinyal.
<i>Othogonal</i>	Sifat tegaklurus dari dua vektor yang berbeda atau proyeksi dua vektor satu sama lain yang bernilai nol.
<i>Pilot simbol</i>	Simbol yang memfasilitasi sistem estimasi kanal yang dapat mengurangi energi transmisi data simbol.
<i>Slot</i>	Alokasi resource minimum pada domain frekuensi dan waktu yang dialokasikan pada WiMAX, satu slot terdiri dari satu subkanal dengan satu, dua atau tiga OFDM simbol

<i>Space time blok code</i>	Teknik yang digunakan dalam komunikasi nirkabel untuk mengirimkan data stream yang sama melalui sejumlah antena dan mengolah data yang telah diterima untuk meningkatkan reliabilitas data transfer.
<i>Space time transmit diversity</i>	Teknik transmisi yang menjaga keortogonalan sinyal dari 2 sistem transmisi tanpa penambahan daya transmisi yang hanya bisa diaplikasikan pada kondisi <i>flat fading</i> .
<i>Spatial multiplexing</i>	Teknik transmisi pada sistem MIMO untuk mentransmisikan stream data sinyal yang berbeda dari masing-masing <i>multiple</i> antena transmisi.
<i>Subcarrier</i>	Kanal frekuensi pembawa sebagai hasil pembagian pita frekuensi pada teknik OFDM untuk membawa sinyal dari sisi pengirim ke sisi penerima.
<i>Throughput</i>	Banyaknya <i>bit</i> data yang dapat dikirim dalam suatu selang waktu tertentu.
<i>Uplink</i>	Proses pengiriman sinyal dari terminal user ke <i>base station</i> .

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Perkembangan teknologi informasi saat ini telah berkembang dengan sangat pesat, terutama teknologi komunikasi *wireless*. Teknologi komunikasi yang sekarang kita gunakan adalah teknologi 2G yang merupakan teknologi GSM (*Global System for Mobile Communication*). Perkembangan teknologi komunikasi seluler dimulai dengan *First Generation / Advanced Mobile Phone Service* (AMPS), diteruskan dengan sekarang *Second Generation* dengan teknologi GSM, kemudian dilanjutkan dengan 2.5G dengan teknologi *General Packet Radio Service* (GPRS). dan *Enhanced Data Rate for GSM Evolution* (EDGE) Dilanjutkan *Third Generation* (3G) dengan teknologi *Wideband Code Division Multiple Access* (WCDMA) dan CDMA 2000 [1].

Kebutuhan datarate yang tinggi merupakan tuntutan dari adanya konten yang semakin beragam yang membutuhkan bandwidth lebar, seperti adanya VoIP, IPTV, Video Streaming, Video conferencing, Multiplayer interactive gaming, Web Browsing, mobile Instant messaging (IM) dan lainnya. Sistem komunikasi bergerak/mobile saat ini termasuk UMTS (3G) yang menyediakan kecepatan bit rate maksimum 384 Kbit/s untuk user yang bergerak dengan user kecepatan rendah, walaupun Wireless Local Area Networks (WLAN) menyediakan 100Mbit/s untuk lingkungan yang tidak bergerak (kantor) [2].

Sistem komunikasi bergerak masa depan (4G dan setelahnya) akan menyediakan reabilitas dan data rate yang lebih tinggi, tidak hanya untuk kecepatan user yang kecil, tetapi juga untuk kecepatan tinggi (seperti mobil). Sistem WiMAX yang saat ini sedang dalam proses riset, menjanjikan kecepatan hingga 70 Mbps dengan area coverage puluhan kilometer dan saat ini telah dirilis oleh IEEE dengan 802.16e. Sistem komunikasi yang memiliki data rate yang tinggi cenderung untuk menggunakan channel bandwidth yang lebih lebar dan menangani perpindahan user yang cepat, mengakibatkan adanya multi-path dan Doppler. Solusi yang ditawarkan dalam [14] adalah dengan menggunakan

teknologi MIMO OFDM dan *Adaptive Code Modulation*. Pada skripsi ini memaparkan tentang pengoptimalan teknik OFDMA sebagai Multiple Access dari OFDM dengan STBC dan AMC dalam menghadapi kanal multipath dan efek dopler berdasarkan standar yang telah ditetapkan oleh IEEE 802.16e.

1.2. TUJUAN PENULISAN

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah membuat rancangan sistem komunikasi Mobile WiMAX dan menganalisa tentang pengoptimalan teknik MIMO-OFDMA dan AMC dengan pemodelan kanal MIMO-STBC dalam menghadapi kanal multipath dan efek dopler dengan parameter pergerakan user terhadap grafik BER vs SNR serta Throughput

1.3. BATASAN MASALAH

Pada skripsi ini, masalah yang ada dibatasi pada : simulasi dibangun dengan menggunakan *function* yang merepresentasikan data *binary* yang dikirim dari *transmitter* kemudian melalui kanal transmisi dan diterima oleh *receiver*. Simulasi ini hanya menunjukkan proses-proses yang terjadi pada *layer* PHY (*Physical Layer*) pada MIMO mobile-WiMAX. Gangguan yang diberikan kepada simulasi hanya gangguan *multipath fading* dan *Additive White Gaussian Noise* (AWGN).

1.4. SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan pada skripsi ini disusun sebagai berikut :

BAB1 PENDAHULUAN

Menjelaskan latar belakang, tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB 2 TEKNOLOGI STBC-OFDMA UNTUK MOBILE WIMAX

Menjelaskan pandangan umum terhadap teknologi dan perkembangan WiMAX dan Physical Layer pada mobile Wimax, yakni penjelasan mengenai OFDM/ OFDMA, modulasi adaptif dan pengkoreksi kesalahan. Serta pembagian teknologi MIMO dan penjelasan singkat terhadap MIMO alamuti dan estimasi kanal.

BAB 3 PERANCANGAN SIMULASI

Memberikan penjelasan mengenai alur dari proses simulasi beserta parameter-parameter yang digunakan dengan memodelkan sistem sebagai multi user, multicarrier dan multi antena. Kemudian pembahasan mengenai parameter performansi yang berupa kapasitas kanal, *throughput* dan BER.

BAB 4 ANALISA HASIL SIMULASI

Merupakan hasil unjuk kerja sistem MIMO-OFDMA dalam sistem *mobile WiMAX* berdasarkan parameter *throughput* dan BER untuk setiap user-nya.

BAB 5 KESIMPULAN

Merupakan bagian akhir dari laporan ini yang memuat pernyataan singkat dan tepat yang dijabarkan dari hasil studi literatur dan teori serta kesimpulan hasil simulasi.

BAB 2

TEKNOLOGI STBC-OFDMA UNTUK MOBILE WIMAX

2.1 Worldwide Interoperability for Microwave Access

Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) merupakan teknologi akses nirkabel pita lebar (Broadband Wireless Access atau disingkat BWA) yang memiliki kecepatan akses yang tinggi dengan jangkauan yang luas. WiMAX merupakan evolusi dari teknologi BWA sebelumnya, dengan fitur-fitur yang lebih menarik. Dengan kecepatan data yang besar (sampai 70 Mbps), WiMAX dapat diaplikasikan untuk koneksi broadband '*last mile*', ataupun *backhaul*. Oleh IEEE, WiMAX dikenal dengan kode 802.16 dimana diawali dengan 802.16 (April 2002) kemudian direvisi lagi menjadi 802.16a, 802.16c dan menjadi 802.16d atau dikenal juga dengan 802.16-2004 yang lebih cocok untuk jaringan *backhaul* dan jaringan *fixed wireless*. Kemudian pada awal tahun 2005, diterbitkan standar yang mampu mendukung jaringan *mobile wireless* yang dikenal dengan nama 802.16e[3]. Saat ini sedang dikembangkan varian wimax yang lain yakni IEEE 802.16h (Coexistence mechanisms for license), IEEE 802.16j (Multihop Relay Specification) dan IEEE 802.16m (Advanced Air Interface)[4]. WiMAX memang dirancang untuk melayani baik para pengguna yang memakai antena tetap (*fixed wireless*) maupun untuk yang sering berpindah-pindah tempat (*nomadic*) tanpa perlu hubungan *Line Of Sight* (LOS) dengan *base station* pemancarnya.

2.1.1 Perkembangan WiMAX

WiMAX merupakan penggabungan antara standar IEEE 802.16 dengan ETSI HiperMAN. Standar keluaran IEEE banyak digunakan secara luas di daerah asalnya, yaitu Eropa dan sekitarnya. Untuk dapat membuat teknologi ini digunakan secara global, maka diciptakan WiMAX. Kedua standar yang disatukan ini, merupakan standar teknis yang memiliki spesifikasi yang sangat cocok untuk

menyediakan koneksi berjenis broadband melalui media wireless atau broadband wireless access (BWA)[5].

Perkembangan teknologi wimax terjadi secara evolutif dengan beberapa tahap, sesuai dengan standarisasinya IEEE 802.16. Pada awalnya standard IEEE 802.16 beroperasi dengan frekuensi 10-66 GHz dan memerlukan tower *line of sight* (LOS), tetapi pengembangan IEEE 802.16a yang disahkan pada bulan Maret 2004, menggunakan frekuensi yang lebih rendah yaitu sebesar 2-11 GHz, sehingga mudah diatur, dan tidak memerlukan *line-of-sight*. Radius sel pancaran dari satu base station adalah antara 3 hingga 10 kilometer. Kapasitas dari WiMAX diharapkan mampu mencapai 40 Mbps per *channel* untuk pengguna tetap (tidak bergerak), sehingga mampu melayani ribuan pelanggan rumah tinggal dan ratusan pelanggan perkantoran secara bersamaan. Sedangkan kapasitas untuk pengguna bergerak diharapkan mampu mencapai 15 Mbps dengan jangkauan hingga 3 kilometer dari *base station* pemancarnya[6]. Pengguna tidak akan kesulitan dalam mengulur berbagai macam kabel, karena WiMAX mampu menangani sampai ribuan pengguna sekaligus.

Varian-varian WiMAX dimaksudkan untuk mengembangkan performance dan kemampuan dari teknologi yang digunakannya, agar menjadi lebih hebat dan dapat meluas penggunaannya. Untuk mengembangkan jangkauan dan daya jualnya, maka standar IEEE 802.16 direvisi menjadi IEEE 802.16a. Standar teknis IEEE 802.16a inilah yang banyak digunakan oleh perangkat-perangkat dengan sertifikasi WiMAX.

Varian lainnya adalah IEEE 802.16b yang banyak menekankan segala keperluan dan permasalahan dengan *quality of service* (QoS), IEEE 802.16c banyak menekankan pada interoperability dengan protokol-protokol lain, IEEE 802.16d merupakan revisi dari IEEE 802.16c ditambah dengan kemampuan untuk *access point*, serta IEEE 802.16d menekankan pada masalah mobilitas. IEEE 802.16e menekankan pada mobilitas user dengan kecepatan yang tinggi. Varian-varian standar IEEE 802.16 dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Varian-varian standar IEEE 802.16 (WiMAX)

	IEEE 802.16	IEEE 802.16a	IEEE 802.16e
Terstandarisasi	Januari 2002	Januari 2003 (<i>IEEE</i> 802.16a)	Estimasi pertengahan 2004
Spektrum	10 – 66 GHz	2 – 11 GHz	< 6 GHz
Kondisi Kanal	<i>Line Of Sight</i>	<i>Non Line Of Sight</i>	<i>Non Line Of Sight</i>
Bit Rate	32 sampai 134 Mbps menggunakan frekuensi kanal 28 MHz	Hingga 70 Mbps menggunakan frekuensi kanal 20 Mhz	Hingga 15 Mbps menggunakan frekuensi kanal 5 MHz
Modulasi	<i>QPSK</i> , 16 QAM dan 64 QAM	<i>OFDM</i> 256 sub-carrier, <i>QPSK</i> , 16 QAM, 64 QAM	<i>OFDM</i> 256 sub-carrier, <i>QPSK</i> , 16 QAM, 64 QAM
Mobilitas	Perangkat <i>wireless</i> tetap	Perangkat <i>wireless</i> tetap dan portabel	<i>Nomadic Mobility</i>
Frekuensi Per Kanal	20, 25 dan 28 MHz	Mulai dari 1,5 hingga 20 MHz	Mulai dari 1,5 hingga 20 MHz
Radius Per Cell	2 sampai 5 Km	7 – 10 Km dengan kemampuan maksimal hingga 50 Km	2 – 5 Km

Perubahan yang cukup signifikan pada standar IEEE 802.16 untuk membentuk varian IEEE 802.16a, adalah lebar frekuensi operasinya. Perbedaan ini dimaksudkan untuk mendukung komunikasi dalam kondisi line of sight (LOS), dan non line of sight (NLOS). Dengan adanya sistem NLOS, keterbatasan yang ada pada WiFi dapat dikurangi.

Standar 802.16, beroperasi pada range 10-66 GHz, sedangkan 802.16e menggunakan frekuensi yang lebih rendah, yaitu kurang dari 6 GHz, sehingga memungkinkan komunikasi Non Line of Sight (NLOS). Kelemahan dari komunikasi dengan frekuensi rendah ini adalah semakin kecil kapasitas bandwidth dari koneksi yang dilakukannya.

Selain perubahan frekuensi operasi, pada layer physical dari standar IEEE 802.16e ditambahkan beberapa spesifikasi untuk mendukung fitur NLOS-nya ini, yaitu OFDMA PHY, ukuran FFT bernilai dari 128 hingga 2.048. Jika bandwidth yang tersedia meningkat, maka ukuran FFT juga akan meningkat, dengan subcarrier spacing yang tetap 10,94 kHz. Subcarrier spacing ini dipilih untuk mempertimbangkan delay spread dan doppler spread untuk kondisi mobile user dan tidak. Subcarrier spacing ini dapat membuat delay-spread mejadi 20 μ s dan kecepatan user sebesar 125 Kmph ketika beroperasi pada frekuensi 3,5GHz. Fitur-fitur physical layer (PHY) ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Fitur-fitur physical layer teknologi IEEE 802.16 WiMAX

No	Fitur	Keuntungan
1	Menggunakan sistem sinyaling 128 hingga 2.048 point FFT OFDM.	Mendukung sistem multipath untuk memungkinkan diaplikasikan pada area terbuka (outdoor) dengan kondisi LOS dan NLOS.
2	Ukuran kanal frekuensi yang fleksibel (misalnya 2,3, 2,5 dan 3,5 GHz)	Menyediakan fleksibilitas yang memungkinkan komunikasi beroperasi menggunakan kanal-kanal frekuensi yang bervariasi sesuai dengan kebutuhan.
3	Didesain untuk dapat mendukung sistem smart antenna	Dengan menggunakan smart antenna yang lebih nyaman digunakan sehari-hari, interferensi dapat ditekan dan gain dapat ditingkatkan.
4	Sistem modulasi yang fleksibel dengan sistem error correction yang bervariasi setiap RF burst	Memungkinkan terjalannya koneksi yang reliabel, memberikan transfer rate yang maksimal kepada setiap subscriber yang terkoneksi dengannya

WiMAX Forum menetapkan 2 band frekuensi utama pada certification profile untuk Fixed WiMAX (band 3,5 GHz dan 5,8 GHz), sementara untuk Mobile WiMAX ditetapkan 4 band frekuensi pada system profile release-1, yaitu band 2,3 GHz, 2,5 GHz, 3,3 GHz dan 3,5 GHz.

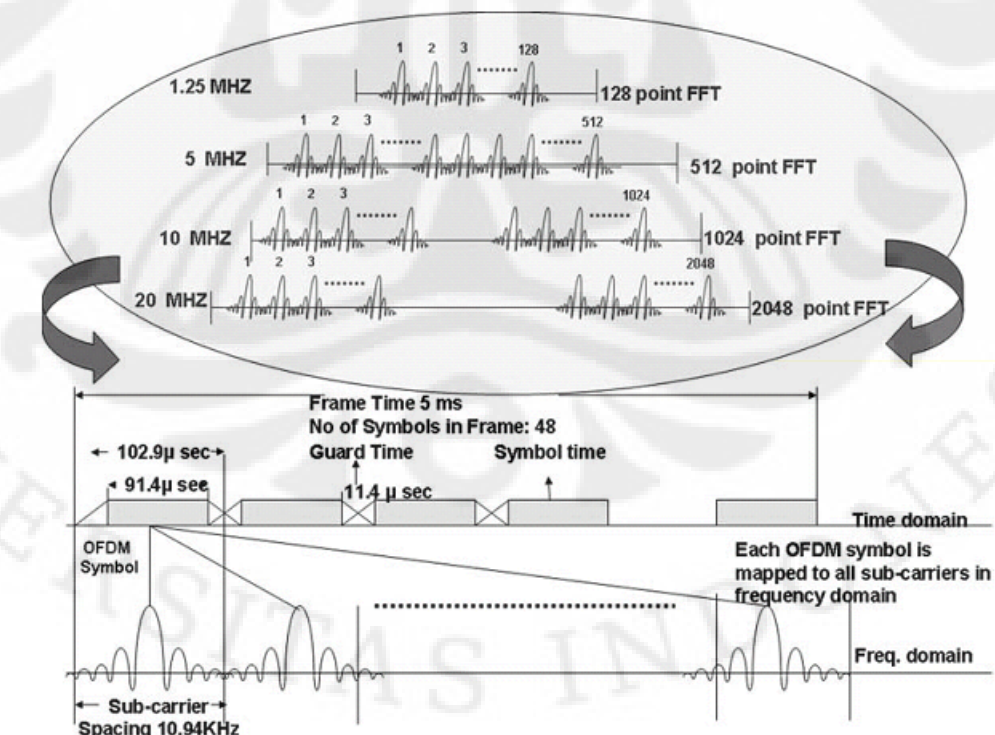
Secara umum terdapat beberapa alternatif frekuensi untuk teknologi WiMAX sesuai dengan peta frekuensi dunia. Dari alternatif tersebut band frekuensi 3,5 GHz menjadi frekuensi mayoritas Fixed WiMAX di beberapa negara, terutama untuk negara-negara di Eropa, Canada, Timur-Tengah, Australia dan sebagian Asia. Sementara frekuensi yang mayoritas digunakan untuk Mobile WiMAX adalah 2,5 GHz.

Isu frekuensi Fixed WiMAX di band 3,3 GHz ternyata hanya muncul di negara-negara Asia. Hal ini terkait dengan penggunaan band 3,5 GHz untuk komunikasi satelit, demikian juga dengan di Indonesia. Band 3,5 GHz di Indonesia digunakan oleh satelit Telkom dan PSN untuk memberikan layanan IDR dan broadcast TV. Dengan demikian penggunaan secara bersama antara satelit dan wireless terrestrial (BWA) di frekuensi 3,5 GHz akan menimbulkan potensi interferensi terutama di sisi satelit.

2.1.2 Mobile WiMAX (802.16e 2005)

Mobile WiMAX telah didesain untuk memberikan beberapa keistimewaan yang mana kedudukannya setara dengan wireless MAN. Standar IEEE 802.16 membawa beberapa fitur, seperti scalable OFDMA, mendukung mobilitas dan handover, Advanced Antenna System, beam-forming, Multiple Input Multiple Output antenna systems (MIMO), spatial multiplexing, encryption, authentication dan lainnya. Banyak perkembangan baru pada teknologi base station, CPE, dan service architectur yang ada pada Mobile WiMAX.

Mobile WiMAX PHY layer menggunakan *Scalable-OFDMA*, pada Gambar 2.1, ukuran FFT yang bervariasi dari 128 (bandwidth 1,25 MHz) hingga 2.048 (bandwidth 20 MHz) dengan carrier spacing yang tetap 10,94KHz. Dengan subcarrier spacing yang fix pada 10,94 KHz, waktu yang dimanfaatkan adalah 91,4 μ seconds, dengan guard band 1/8 (11,4 μ second), sehingga periode symbol OFDM adalah 102,9 μ second. Jumlah symbol OFDM dalam satu frame (5 msecond) adalah 48 simbol. Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.1 dibawah ini, channel bandwidth menentukan jumlah subcarrier OFDM yang digunakan [7].



Gambar 2.1 Mobile WiMAX OFDM parameters

Tabel 2.3 Data rates in Mobile WiMAX environment [7]

Parameter	1.25MHz Bandwidth	5MHz Bandwidth	10MHz Bandwidth	20MHz Bandwidth
No of subcarriers	128	512	1024	2048
No of data subcarriers	72	360	720	1440
Cyclical prefix	1/8	1/8	1/8	1/8
Guard interval	3/25	3/25	3/25	3/25
Oversampling factor	8/7	8/7	8/7	8/7
Sampling rate (BW × oversampling factor) Million per second	1.43	5.71	11.43	22.86
Subcarrier spacing (KHz)	10.94	10.94	10.94	10.94
Useful OFDM symbol width (μ) per second	91.4	91.4	91.40	91.4
Guard interval	11.4	11.4	11.4	11.4
Total symbol width (μ) per second	102.825	102.825	102.825	102.825
Frame length (typical)	5 ms	5 ms	5 ms	5 ms
Symbols per frame	48	48	48	48
Data symbols per frame	44	44	44	44
Symbol rate per second	9600	9600	9600	9600
Bits per symbol with 64QAM (before FEC)	432	2160	4320	8640
Data Bits per symbol with 5/6 FEC	360	1800	3600	7200
Maximum data rate with 64QAM and 5/6 FEC (Mbps)	3.2	15.8	31.7	63.4

Contoh perhitungan datarate pada mobile wimax dengan subcarrier dan periode symbol yang fix adalah sebagai berikut: untuk bandwidth 5MHz, mempunyai 512 subcarrier yang mana hanya dimanfaatkan 360 subcarrier. Jika modulasi 64 QAM yang digunakan (6 bit per simbol), jumlah bit yang dicode-kan per OFDM simbol adalah $360 \times 6 = 2160$ bit. Pada mibile wimax, periode satu frame adalah 5ms (200 frame/second) dan masing-masing frame mempunyai 48 *OFDM simbol* yang mana hanya 44 simbol yang dapat dipakai. Sehingga rate transmission simbol menjadi $200 \times 44 = 8800$ simbol/second. Dengan masing-masing simbol membawa 2160 bit, akan memiliki datarate $8800 \times 2160 = 19$ Mbps. Jika digunakan FEC dengan coding rate sebesar $\frac{3}{4}$, maka dataretnya menjadi $19 \times \frac{3}{4} = 14,25$ Mbps. Subcarrier yang tidak terpakai untuk data, digunakan sebagai *null subcarrier* dan *pilot subcarrier*, sedangkan *OFDM simbol* yang tidak terpakai untuk data, digunakan untuk sinkronisasi.

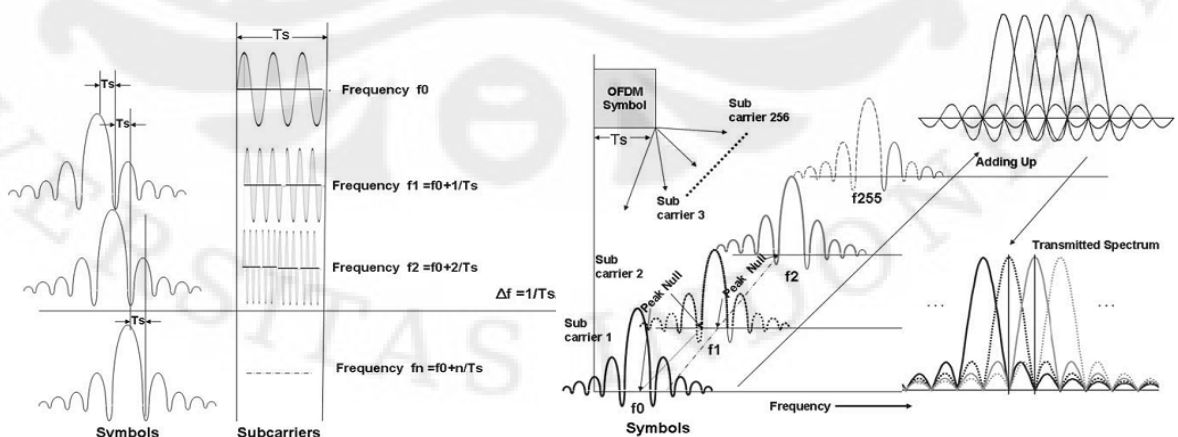
2.2 Mobile-WiMAX Physical Layer

OFDM/OFDMA merupakan teknologi utama yang digunakan pada sistem wimax dalam physical layer-nya. Tujuan digunakannya teknologi ini, untuk menerapkan bitrate yang besar dan mampu menghadapi kondisi NLOS.

Dalam keadaannya dilapangan, kanal multipath dan echo dari suatu objek akan mengakibatkan perbedaan antara sinyal yang dikirim dengan sinyal yang diterima. Signal ini akan mengalami *frekuensi selective fading* sebagai akibat dari kanal multipath. Ketika single carrier digunakan untuk mengirimkan datarate yang tinggi (periode simbol menjadi singkat), sinyal yang diterima mengalami delay spread yang cukup untuk mengakibatkan jatuhnya slot antar simbol menjadi saling tumpang tindih (intersymbol interference). Pada kasus ini, datarate modulasi single carrier yang digunakan dibatasi oleh tipe dari propagasi.

2.2.1 Orthogonal Frequency Division Multiplexing

Teknologi *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) menggunakan beberapa carrier (*multicarrer*) dalam bandwidth yang telah dialokasikan, masing-masing carrier membawa datarate yang lebih rendah dari single carrier. Teknologi penggunaan multicarrer akan membuat signal menjadi tahan terhadap kanal multipath. Bagaimanapun juga dalam implementasinya, harus ada hubungan yang spesial antara masing-masing subcarrier tersebut, hubungan tersebut disebut dengan *Orthogonal*. Suatu carrier dikatakan orthogonal dengan carrier yang lainnya apabila (pada domain frekuensi) sideband null jatuh tepat pada main lobe frekuensi carrier selanjutnya [7].



Gambar 2.2 Subcarriers in OFDM

Secara matematis dua buah signal dikatakan orthogonal apabila:

a. Untuk sinyal kontinu

$$\int_0^{T_s} \cos(2\pi n f_0 t) x \cos(2\pi m f_0 t) dt = 0 ; n \neq m \quad (2.1)$$

b. Untuk sinyal diskrit

$$I \sum_{k=0}^{N-1} \cos\left(\frac{2\pi k n}{N}\right) x \cos\left(\frac{2\pi k m}{N}\right) = 0 ; n \neq m \quad (2.2)$$

Dimana T_s adalah periode symbol dan N adalah jumlah subcarriernya. Besarnya frekuensi subcarrier yang digunakan dapat dinyatakan sebagai :

$$f_k = f_0 + \frac{k}{T_s} ; k = 0, 1, 2, \dots, N - 1 \quad (2.3)$$

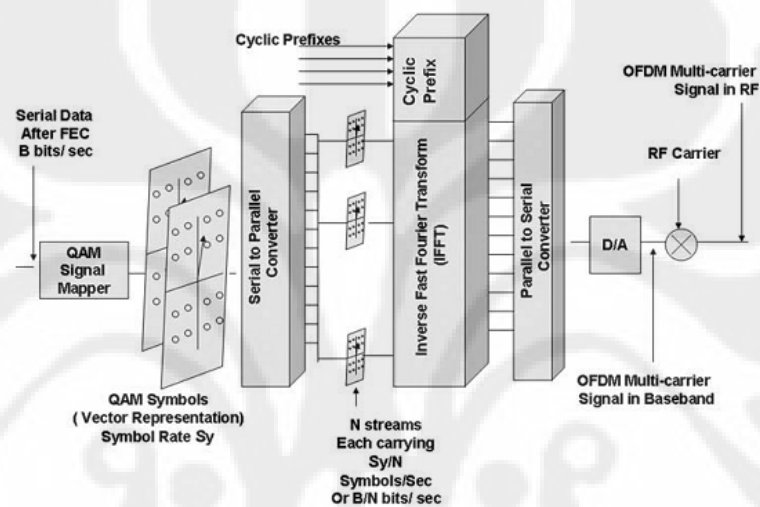
Dari persamaan diatas dapat diperoleh jarak setiap frekuensi subcarrier agar saling orthogonal adalah Δf :

$$\Delta f = \frac{1}{T_s} \quad (2.4)$$

Prinsip kerja OFDM adalah dengan membagi-bagi bandwidth menjadi sejumlah band yang lebih kecil, agar band-band kecil tersebut saling orthogonal maka digunakan teknik Fast Fourier Transforms (FFT). Rekonstruksi band-band tersebut dilakukan dengan menggunakan Inverse Fast Fourier Transforms (IFFT). Biasanya, ukuran FFT pada sistem OFDM adalah 128, 256, 512, 1024, dan 2048. Bandwidth yang dapat disupport oleh OFDM adalah 5, 10, dan 20 MHz. Salah satu kelebihan teknik ini adalah kemudahannya dalam beradaptasi pada bandwidth yang berbeda-beda. Misal alokasi bandwidth 10MHz dapat dibagi menjadi 1024 subcarrier, sedangkan 5MHz dapat dibagi menjadi 512 subcarrier [8].

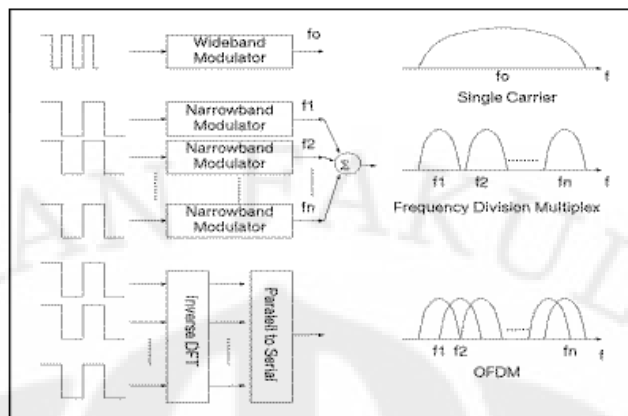
Pada Gambar 2.3 dibawah ini merupakan representasi dari modulasi OFDM. Pertama, deretan data informasi dimodulasi. Modulasi ini bisa berupa BPSK, QPSK, QAM atau yang lain, tapi ketiga teknik tersebut sering digunakan pada OFDM. Setelah itu, dikonversikan kedalam bentuk parallel, sehingga bila bit rate semula adalah R bit/sec, maka bit rate di tiap-tiap jalur parallel adalah R/N bit/sec, dimana N adalah jumlah jalur paralel (sama dengan jumlah sub-carrier).

Kemudian sinyal 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 dengan menambahkan cyclic prefix. Penambahan cyclic prefix (*guard band*) antara simbol OFDM berguna untuk mencegah ISI (inter symbol interference) yang terjadi akibat delay spread pada OFDM simbol. Kemudian sinyal tersebut dikirimkan.



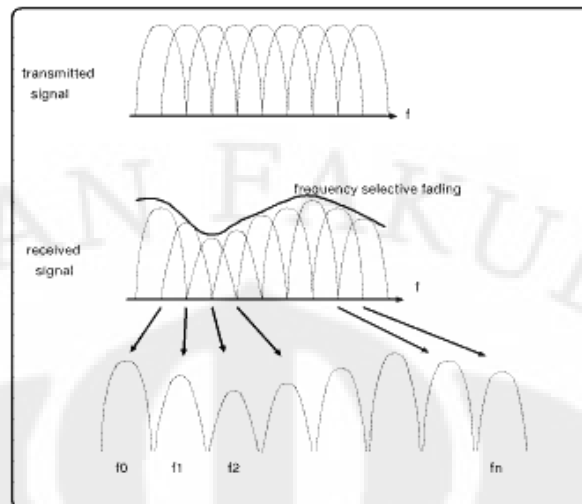
Gambar 2.3 Skema modulasi/demodulasi OFDM

Perbedaan OFDM dan sistem multicarrier konvensional, baik dalam operasi dasarnya maupun dalam segi efisiensi spektrumnya dengan sistem single carrier adalah OFDM merupakan jenis dari multicarrier (FDM), tetapi memiliki efisiensi pemakaian frekuensi yang jauh lebih baik. Pada OFDM overlap antar frekuensi yang bersebelahan diperbolehkan, karena masing-masing sudah saling orthogonal. Pada sistem multicarrier konvensional, untuk mencegah interferensi antar frekuensi yang bersebelahan perlu diselipkan frekuensi penghalang (*guard band frequency*), hal ini memiliki efek menurunkan kecepatan transmisi, sehingga salah satu karakteristik dari OFDM adalah tingginya tingkat efisiensi dalam pemakaian frekuensi. Selain itu pada multicarrier konvensional juga diperlukan band pass filter sebanyak frekuensi yang digunakan, sedangkan pada OFDM cukup menggunakan FFT saja, sehingga proses pembuatan modulator /demodulator OFDM menjadi lebih murah.



Gambar 2.4 Perbandingan Single Carrier dengan Multicarrier [9]

Karakter utama yang lain dari OFDM adalah kuat menghadapi *frequency selective fading*. Dengan menggunakan teknologi OFDM, meskipun jalur komunikasi yang digunakan memiliki karakteristik *frequency selective fading* (dimana bandwidth dari channel lebih sempit daripada bandwidth transmisi sehingga mengakibatkan pelemahan daya terima tidak seragam pada beberapa frekuensi tertentu), tetapi tiap sub carrier dari sistem OFDM hanya mengalami *flat fading* (pelemahan daya terima secara seragam). Pelemahan yang disebabkan oleh flat fading ini lebih mudah dikendalikan, sehingga performansi dari sistem mudah untuk ditingkatkan. Teknologi OFDM dapat mengubah *frequency selective fading* menjadi *flat fading*, kecepatan transmisi yang sangat tinggi membutuhkan bandwidth yang lebar, karena transmisi menggunakan *subcarrier* (frekuensi pembawa) dengan jumlah yang sangat banyak, mengakibatkan kecepatan transmisi di tiap *subcarrier* menjadi rendah dan bandwidth dari tiap *subcarrier* menjadi sempit, lebih sempit daripada *coherence bandwidth*. Perubahan dari *frequency selective fading* menjadi *flat fading* bisa diilustrasikan seperti Gambar 2.5 berikut : [9]



Gambar 2.5 Efek Fading Terhadap OFDM [9]

Keuntungan yang lainnya adalah kurang sensitif terhadap *delay spread*. Rendahnya kecepatan transmisi di tiap *subcarrier* berarti periode simbolnya menjadi lebih panjang sehingga kesensitifan sistem terhadap *delay spread* menjadi relatif berkurang. Misal, data rate yang ingin ditransmisikan adalah 10Mbps dengan coding QPSK (2 bits per symbol). Pada Single carrier, periode simbol dari 5 Msymbols/sec adalah 0,2 μ detik, sedangkan dengan Multicarrier (jika 1024 carriers digunakan) masing-masing carrier hanya membawa 5Ksymbols/sec dan period of symbol adalah 200 μ detik. Typical delay pada lingkungan urban adalah 6,6 μ detik. Periode simbol multi carrier jauh lebih besar dari delay yang dialaminya, sehingga lebih tahan terhadap delay spread.

2.2.2 Orthogonal Frequency Division Multiple Access

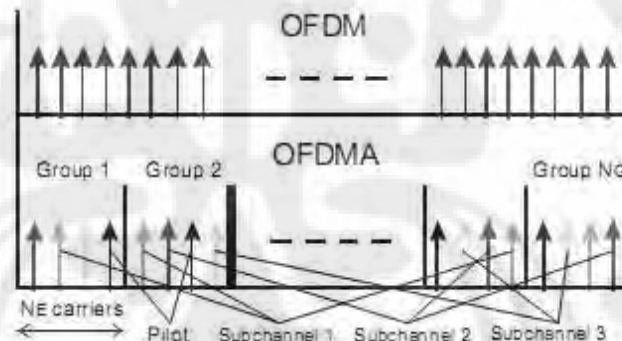
Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) merupakan skema yang baru dari OFDM [10]. OFDMA dikembangkan untuk memberikan kemampuan mobilitas pada OFDM (yang sebelumnya digunakan untuk fixed-wireless) sehingga dapat digunakan untuk sistem seluler. Teknologi ini telah lama digunakan pada ADSL, DVB-H dan beberapa sistem transmisi digital berkecepatan tinggi yang lain.

Pada komunikasi wireless, masalah yang dihadapi wimax adalah banyaknya pengguna pada daerah geografis yang sama meminta kecepatan data yang tinggi dengan bandwidth yang terbatas dan latensi yang rendah. Teknik multiple access memungkinkan user membagi bandwidth yang tersedia dengan

mengalokasikan beberapa bagian dari sumber daya yang tersedia kepada masing-masing user. Aspek lain yang juga menjadi tantangan yakni berupa mobilitas, sel tetangga dan efisiensi bandwidth, menyebabkan implementasi multiple access yang rumit. Implementasi dan strategi multiple access yang efisien dan fleksibel sangatlah penting untuk menjaga performansi sistem wimax[11].

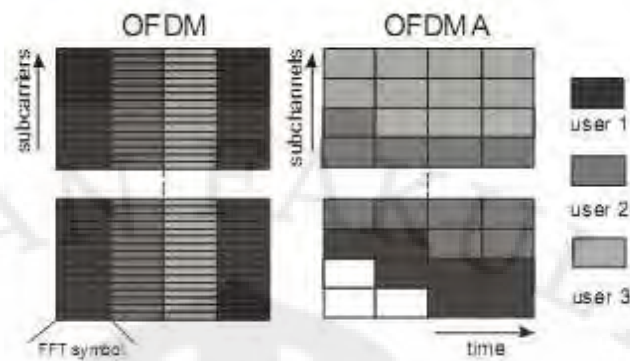
Sistem OFDMA didefinisikan sebagai sistem yang mana masing-masing user menempati sebuah subset (burst) dari traffic channel (subcarriers) dan masing-masing traffic channel ditandai secara eksklusif untuk satu user pada suatu waktu. Subchannelisasi ini dimaksudkan untuk men-support scalability dan multiple antenna[12].^[11]

Yang menjadi prinsip dari OFDMA adalah subchannelisasi. Subchannelisasi yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 2.6. Dari beberapa subcarriers (sebanyak N_E carrier) dikelompokkan menjadi unit yang lebih besar (subchannels) sebanyak N_G groups.



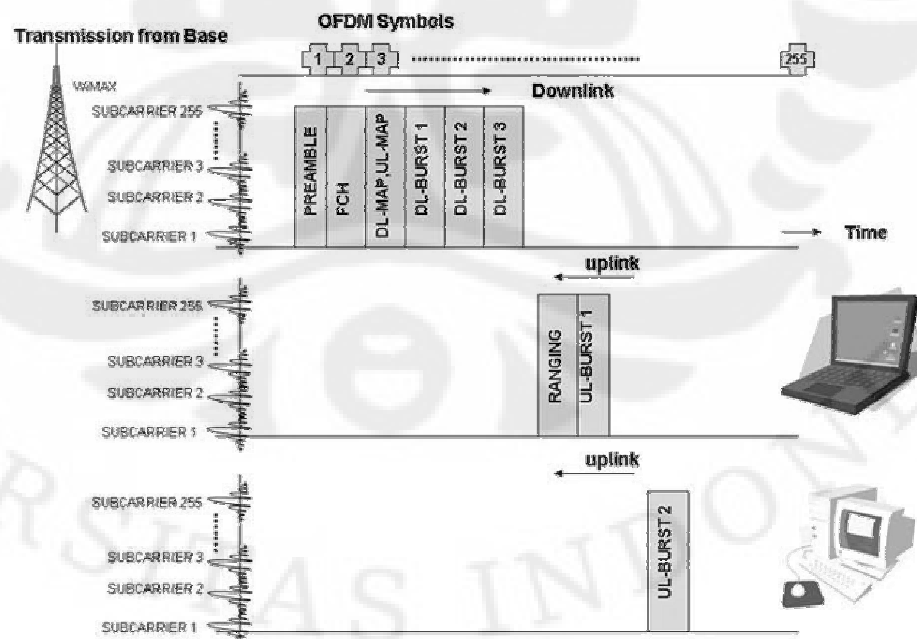
Gambar 2.6 Perbandingan Subcarriers Allocation OFDM dan OFDMA

Subchannel ini dikelompokkan lagi menjadi burst yang dapat dialokasikan untuk tiap user. Seperti pada Gambar 2.7, setiap alokasi burst dapat dirubah dari frame ke frame sesuai dengan orde modulasi yang dipakai. Hal ini memungkinkan Base Station untuk menambah penggunaan bandwidth secara dinamis sesuai dengan kebutuhan sistem.



Gambar 2.7 Chanelisasi pada OFDM-TDMA dan OFDMA

OFDMA berbeda dengan OFDM-TDMA. OFDM-TDMA bukanlah teknik multiple access, melainkan teknik modulasi yang menggunakan banyak aliran data yang bisa digunakan oleh user yang berbeda. System OFDM-TDMA diterapkan pada system telekomunikasi seperti DSL, 802.11 a/g dan versi wimax/802.16 yang pertama. Semua subcarrier digunakan oleh satu user untuk satu periode waktu tertentu. Sebagai contoh pada Gambar 2.8 : pada 802.16d, user yang berada pada daerah yang sama (menggunakan bandwidth 20 MHz) mengirimkan informasi pada periode waktu yang berbeda untuk mendapatkan hak penggunaan kanal. Sehingga OFDM symbol yang digunakan per periode waktu tertentu hanya untuk satu user, baik uplink maupun downlink.



Gambar 2.8 Struktur Frame TDD untuk Fixed WiMAX

OFDMA dapat juga direpresentasikan sebagai kombinasi dari domain frekuensi dan domain waktu dari multiple access, FDMA dan TDMA [4]. User secara dinamis dialokasikan dalam subcarrier (FDMA) pada slot waktu yang berbeda (TDMA). OFDMA merupakan akses jamak fleksibel yang bisa mengakomodasi beragam aplikasi yang luas, datarate dan QoS. Sistem akses ini diterapkan pada domain digital sebelum operasi IFFT (pembentukan OFDMA Frame), sehingga alokasi bandwidth yang dinamis dan efisien dapat dimungkinkan. Hal ini dilakukan dengan penerapan algoritma penjadwalan terhadap domain frekuensi dan waktu. Urutan jumlah subkanal yang berbeda dapat dialokasikan untuk pengguna yang berbeda, dengan tujuan mendukung QoS (Quality of service) yang berbeda, mengontrol data rate dan probabilitas error secara individu pada masing-masing user.

Pada system wimax spesifikasi metode algoritma tidak ditentukan, karena itu setiap developer wimax diberi kebebasan untuk membuat prosedur tersendiri. Ada beberapa jenis algoritma subchannelisasi OFDMA, yakni : [4] [11]

1. Maximum Sum Rate (MSR)

Algoritma maximum sum rate adalah memaksimumkan total rate dari seluruh pengguna. Algoritma ini optimal jika tujuannya adalah mendapatkan data sebanyak-banyaknya. Kelemahan dari algoritma ini adalah, user yang berlokasi dekat dengan Base Station (BS) akan memonopoli hampir seluruh bandwidth yang tersedia.

2. Maximum Fairness (MF)

Walaupun total throughput dimaksimalkan dengan algoritma MSR, ada beberapa user yang tidak akan mampu memenuhi kriteria penjadwalan MSR dikarenakan attenuasi pathloss yang bervariasi. Maximum fairness merupakan kebalikan dari MSR, algoritma ini bertujuan untuk mengalokasikan sumber daya bandwidth kepada user yang seharusnya mendapatkan bandwidth yang lebih kecil.

3. Proportional Rate Constrain (PRC)

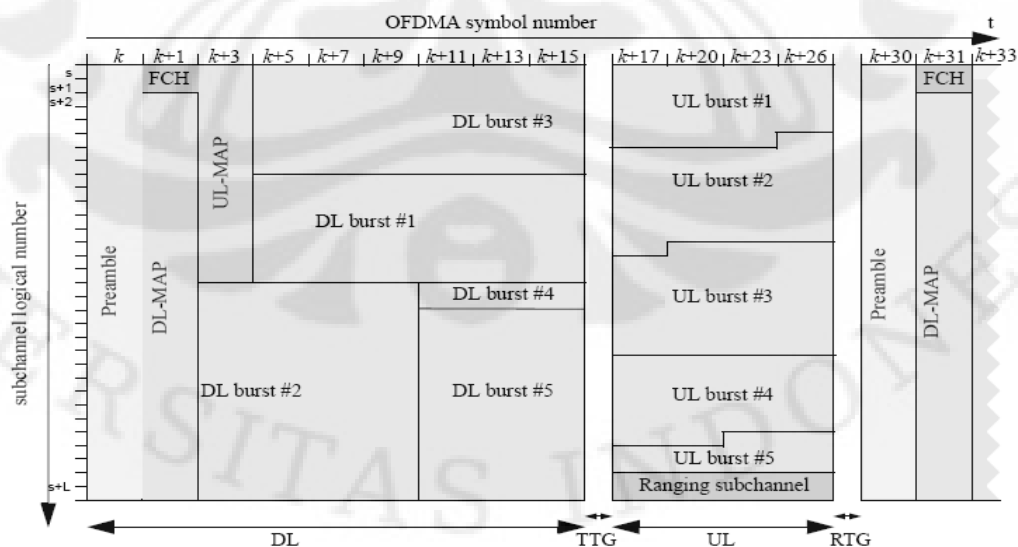
Kelemahan dari Maximum fairness adalah distribusi rate antar user yang tidak fleksibel dan throughput total yang sangat terbatas, karena memberikan sumberdaya kepada user yang berada dalam kondisi yang buruk. Algoritma Proportional Rate Constrain bertujuan untuk meningkatkan throughput total, namun tetap menyediakan pembagian sumber daya bandwidth yang adil.

4. Proportional Fairness scheduling

Algoritma Proportional Fairness scheduling mampu menyediakan fasilitas-fasilitas dari ketiga algoritma diatas, ditambah dengan mengatasi masalah latensi.

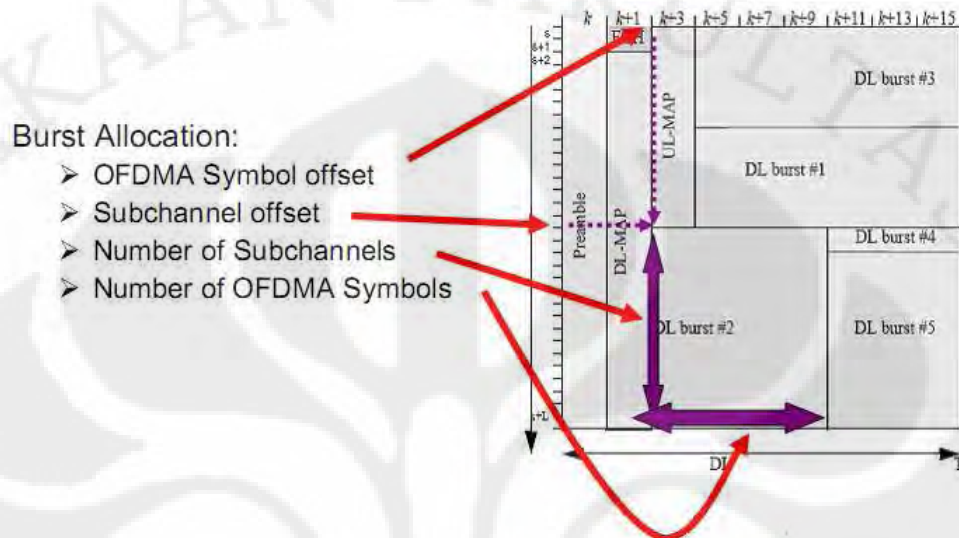
2.2.3 OFDMA Frame

Frame OFDMA direpresentasikan dengan matriks dua dimensi (perhatikan Gambar 2.9) : sumbu x, merepresentasikan OFDMA symbol (symbol offset) yang merupakan unit dalam domain waktu, sedangkan sumbu y, merepresentasikan subcarrier/subchannel (subchannel offset) yang berada dalam domain frekuensi. Base station (BS) bertanggung jawab untuk mengalokasikan data ke dalam MAC frame/ OFDMA frame, sehingga dapat memenuhi kualitas layanan (QoS) dari sambungan ke mobile user (MS).



Gambar 2.9 Struktur dasar downlink frame OFDMA

Struktur frame pada mobile-wimax terdiri dari frame TDD yang berisikan subframe downlink dan uplink. Subframe tersebut dipisahkan oleh *Transmit Receive Transition Gap* (TTG) atau *Receive Transition Gap* (RTG), ini berfungsi agar tidak terjadi overlap pada saat transmisi.



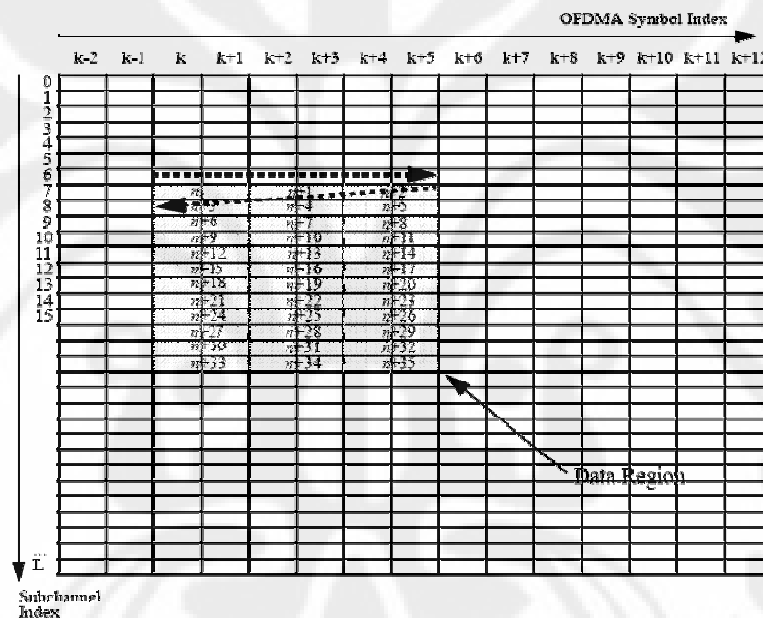
Gambar 2.10 Struktur Frame Mobile Wimax

Subframe downlink, dimulai dengan *downlink preamble* yang digunakan untuk sinkronisasi waktu dan frekuensi dan estimasi kanal. Kemudian diikuti dengan *Frame Control Header* (FCH), yang berisikan konfigurasi MAP message seperti *Coding Scheme*, *MAP message length* dan informasi subchannel yang dapat digunakan. *Frame Control Header* diikuti dengan Downlink MAP (DL-MAP) dan Uplink MAP (UL-MAP), yang berisikan symbol offset dan subchannel offset untuk setiap user. Pada downlink, alokasi setiap user didalam dataregion pada *subframe downlink*, dispesifikasikan pada DL-MAP. Karena pesan MAP ini meliputi profil burst masing-masing user, yang mana informasi tersebut sangat penting, maka MAP di kirimkan dengan menggunakan modulasi BPSK dengan coding rate $\frac{1}{2}$.

Subframe uplink pada mobile-wimax, berisikan burst yang berasal dari individual mobile device. Sedangkan Subframe downlink ditransmisikan seluruhnya oleh base station, tetapi berisikan subchannel yang telah dialokasikan untuk mobile user. Penempatan subchannel dan timeslot untuk individual subscriber sangat fleksibel dan bervariasi pada frame yang digunakan.

Prosedur untuk membentuk data mapping downlink OFDMA sebagai berikut: [14] (dapat dilihat pada Gambar 2.11)

- 1) Mengelompokkan data kedalam blok yang ukurannya tepat dalam satu OFDMA slot. Masing-masing slot akan menggunakan satu atau lebih subchannel (pada sumbu y) dan dua OFDMA symbols (dalam sumbu x).
- 2) Memetakan slot dari nomor slot yang terendah, yaitu menempati nomor subchannel terendah pada nomor OFDMA yang terendah
- 3) Melanjutkan mapping sehingga index simbol OFDMA meningkat. Ketika tiba diujung data region, lanjutkan mapping dari nomor OFDMA yang terendah pada subchannel selanjutnya.



Gambar 2.11 mapping downlink slot OFDMA kedalam data region

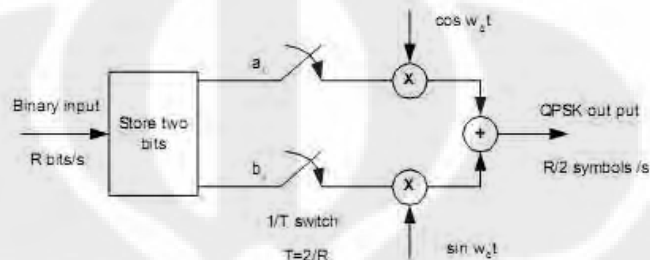
2.2.4 Adaptive Modulation And Coding (AMC)

Adaptive Modulation and Coding (AMC) adalah teknologi baru yang diterapkan pada jaringan komunikasi seluler. AMC memungkinkan penggunaan teknik modulasi dan *encoding* yang berbeda untuk user yang berada di tempat berbeda dengan lingkungan yang berbeda. Modulasi adalah pemetaan informasi yang berdasarkan perubahan fasa gelombang, frekuensi gelombang, amplitudo gelombang atau kombinasinya. Pemetaan ini dapat dilakukan pada domain waktu (pada *band* frekuensi pembawa) atau domain konstelasi (*baseband*).

Modulasi yang digunakan WiMAX adalah *Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)*, *16 Quadrature Amplitude Modulation (16 QAM)* dan *64 Quadrature*

Amplitude Modulation (64 QAM). Sedangkan pada teknik *encoding*, menggunakan *convolutional encoding* dengan *coding rate* antara lain 1/2, 2/3 dan 3/4. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan kualitas informasi yang baik. Berikut modulasi yang sering digunakan dalam sistem komunikasi nirkabel dan bergerak: [14]

A. Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)



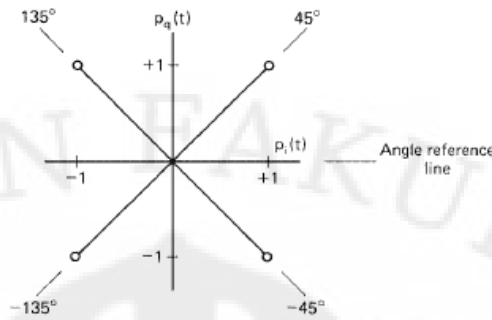
Gambar 2.12 Modulator QPSK

Merupakan modulasi dengan pemetaan fasa yang setiap simbolnya memiliki 2 *bit* informasi. Sehingga memiliki 4 kombinasi *symbol* yang dibedakan berdasarkan perbedaannya. Berdasarkan Gambar 2.12, QPSK dapat diperoleh dengan penggabungan 2 modulasi BPSK. *Bit* stream yang masuk pada modulator $p(t)$, dibagi menjadi 2 stream yaitu $p_i(t)$ dan $p_q(t)$. *Bit* stream $p_i(t)$ akan dimodulasikan dengan $\cos \omega_c t$ dan $p_q(t)$ akan dikombinasikan dengan $\sin \omega_c t$. Kemudian 2 *bit* stream ini akan digabungkan kembali menjadi stream QPSK dengan kondisi seperti yang ditunjukkan pada table 2.4:

Tabel 2.4 Keadaan sinyal QPSK

$p_i(t)$	$p_q(t)$	QPSK
1	1	$\cos \omega_c t - \sin \omega_c t = \sqrt{2} \cos (\omega_c t + 45^\circ)$
1	-1	$\cos \omega_c t + \sin \omega_c t = \sqrt{2} \cos (\omega_c t - 45^\circ)$
-1	1	$-\cos \omega_c t - \sin \omega_c t = \sqrt{2} \cos (\omega_c t + 135^\circ)$
-1	-1	$-\cos \omega_c t + \sin \omega_c t = \sqrt{2} \cos (\omega_c t - 135^\circ)$

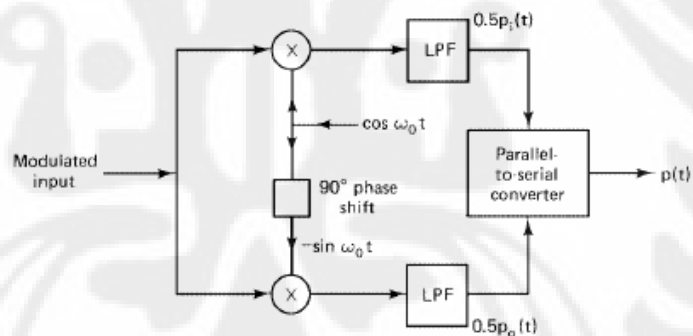
Gambar 2.13 memperlihatkan diagram konstelasi simbol QPSK yang menunjukkan terdapat 4 variasi simbol.



Gambar 2.13 Diagram konstelasi modulasi QPSK

Pada QPSK, setiap simbol memiliki 2 *bit* informasi yang sama dengan 2 kali durasi *bit* pada simbol BPSK. Dengan demikian, *bandwidth* yang diperlukan oleh QPSK adalah setengah kali *bandwidth* BPSK. Hal inilah yang menjadi keuntungan dari QPSK, namun juga memiliki kerugian berupa kompleksnya rangkaian yang diperlukan.

Pada proses demodulasi, dengan logika yang sama dari sistem modulasi dapat diperoleh *bit* informasi yang diperlukan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.14.



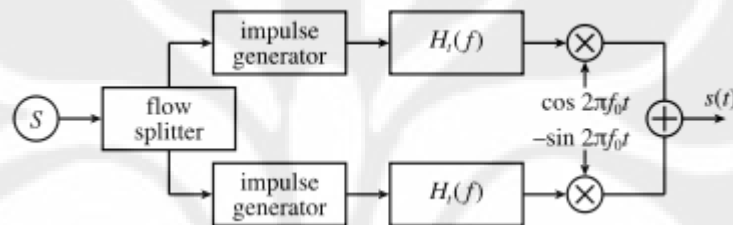
Gambar 2.14 Demodulator QPSK

B. Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

QAM merupakan modulasi dengan menggunakan kombinasi pemetaan fasa dan amplitudo. QAM memiliki beberapa orde berdasarkan banyaknya *bit* yang terdapat dalam 1 simbol QAM. Dalam bahasan ini hanya akan dibahas 2 bentuk QAM yaitu 16-QAM dan 64-QAM. Pada 16-QAM, setiap simbol mengandung 4 *bit* informasi sehingga terdapat 16 jenis variasi sinyal yang dihasilkan oleh modulator. Sedangkan pada 64-QAM, setiap simbol mengandung 6 *bit* informasi sehingga terdapat 64 jenis keluaran sinyal hasil modulasi.

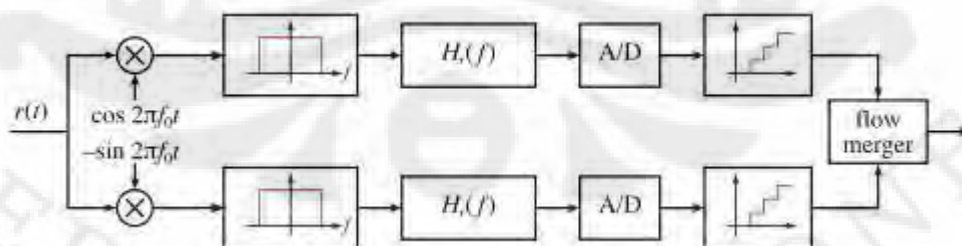
Semakin tinggi orde dari QAM, maka semakin banyak pula jumlah *bit* informasi yang terdapat dalam 1 simbol. Hal ini, dapat meningkatkan efisiensi *bandwidth* dan dapat meningkatkan kecepatan transmisi data. Namun terdapat beberapa kerugian, untuk membuat energi rata-rata kontelasi tetap sama, maka titik-titik kontelasi dibuat lebih berimpit sehingga sangat rentan terhadap *noise* atau gangguan lain yang dapat mengurangi kualitas sinyal. Kondisi seperti ini dapat meningkatkan nilai BER (*Bit Error Rate*) dan menyebabkan kehandalan (*reliability*) sinyal semakin berkurang.

Gambar 2.15 menunjukkan blok diagram modulasi dari QAM dengan frekuensi carrier f_0 dan H_t respon frekuensi dari filter transmisi.



Gambar 2.15 Modulator QAM

Sinyal yang akan dikirimkan dibagi menjadi 2 bagian sehingga terdapat 2 bagian *bit* stream. Keduanya di-*encode* secara terpisah seperti yang terjadi pada modulator ASK (*Amplitude Shift Keying*). Kemudian salah satu *bit* stream (yang disebut kanal *in phase*) dikalikan dengan sinyal kosinus dan yang lain (disebut kanal *quadrature*) dikalikan dengan sinyal sinus. Oleh karena itu, terdapat perbedaan fasa 90 di antara masing-masing kanal. Kemudian kedua *bit* stream tersebut digabung dan dikirimkan pada kanal transmisi.

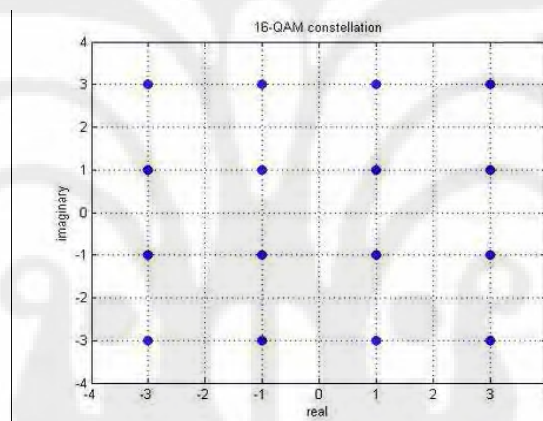


Gambar 2.16 Demodulator QPSK

Pada bagian *receiver* terdapat demodulator QPSK seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.16. Demodulator ini merupakan logika *inverse* dari modulator pada bagian transmitter. Dengan mengalikan dengan kosinus atau sinus dan

dengan filter *low pass*, akan didapat komponen konstelasi. Kemudian dilanjutkan dengan konsep demodulator ASK dan selanjutnya digabung kembali menjadi satu *bit stream* sinyal informasi. Pada praktiknya, terdapat *phase delay* antara *transmitter* dan *receiver* yang nantinya dapat diatasi dengan menggunakan sinkronisasi pada bagian *receiver*. Pada aplikasi mobile, terdapat efek *Doppler shift* yang menggeser nilai frekuensi asli pada *transmitter*, sehingga diperlukan adanya *tuning* pada komponen kosinus dan sinus yang memerlukan *phase reference* dengan menggunakan *Phase Locked*.

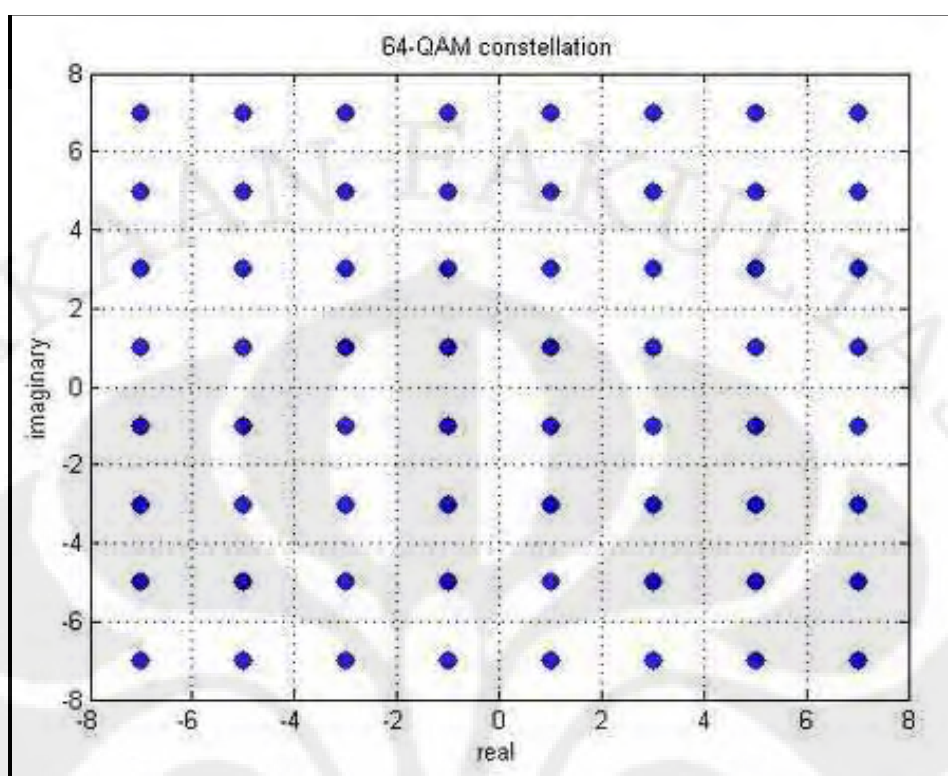
$$\alpha_{16QAM} = \left\{ \begin{array}{l} \pm 1 \pm \pm 1j, \pm 1 \pm \pm 3j, \\ \pm 3 \pm \pm 3j, \pm 3 \pm \pm 1j \end{array} \right\} \quad (2.5)$$



Gambar 2.17 Diagram konstelasi 16-QAM

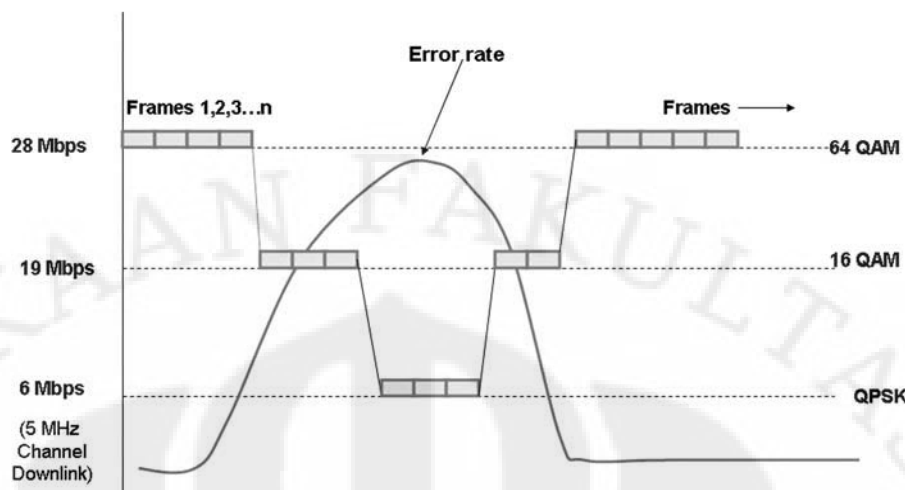
$$\alpha_{64QAM} = \left\{ \begin{array}{l} \pm 7 \pm \pm 7j, \pm 7 \pm \pm 5j, \pm 7 \pm \pm 3j, \pm 7 \pm \pm 1j, \\ \pm 5 \pm \pm 7j, \pm 5 \pm \pm 5j, \pm 5 \pm \pm 3j, \pm 5 \pm \pm 1j, \\ \pm 3 \pm \pm 7j, \pm 3 \pm \pm 5j, \pm 3 \pm \pm 3j, \pm 3 \pm \pm 1j, \\ \pm 1 \pm \pm 7j, \pm 1 \pm \pm 5j, \pm 1 \pm \pm 3j, \pm 1 \pm \pm 1j \end{array} \right\} \quad (2.6)$$

Gambar 2.17 memperlihatkan diagram konstelasi sinyal 16-QAM, di mana dalam setiap kuadran terdapat 4 simbol dengan koordinat yang berbeda sehingga amplitudo dan fasanya juga berbeda. Dengan demikian, simbol 16-QAM memiliki 16 simbol yang berbeda. Bentuk lain dari QAM adalah 64-QAM yang diagram konstelasinya ditunjukkan pada Gambar 2.18. Setiap kuadran memiliki 16 simbol dengan koordinat yang berbeda, sehingga simbol 64-QAM memiliki 64 variasi simbol yang berbeda.



Gambar 2.18 Diagram konstelasi 64-QAM

Jadi, setiap simbol hasil modulasi QPSK mengandung 2 *bit* informasi, setiap simbol hasil modulasi 16 QAM mengandung 4 *bit* informasi dan setiap simbol hasil modulasi 64 QAM mengandung 6 *bit* informasi. Untuk menghadapi *air interface* yang buruk, akan diterapkan teknik modulasi yang lebih tahan gangguan (informasi yang terkandung dalam sinyal hasil modulasi lebih sedikit) dan *coding rate* yang lebih tinggi sehingga *transfer rate* lebih rendah sehingga informasinya lebih aman. Sebaliknya untuk kondisi *air interface* yang baik, akan digunakan teknik modulasi yang mengandung informasi lebih banyak dan *coding rate* yang lebih rendah sehingga *transfer rate* lebih cepat. Teknik modulasi yang disebutkan diatas memiliki *trade-off*, dimana teknik modulasi QPSK mempunyai karakteristik lebih tahan gangguan tetapi kecepatan penyampaian informasi lebih lambat. Karena sinyal yang dibentuk mengandung lebih sedikit informasi. Begitu sebaliknya dengan teknik modulasi QAM, Inilah peran dari Adaptive modulation untuk memaksimalkan antara modulasi yang digunakan dengan error yang terjadi.

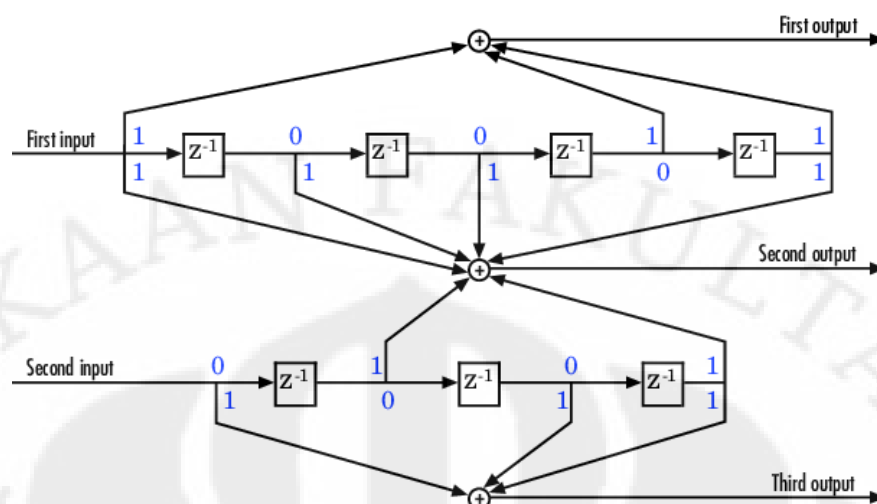


Gambar 2.19 Adaptive modulation schemes memaksimalkan bitrate pada P_e yang terkecil

2.2.5 Forward Error Correction (FEC)

Forward error correction (FEC) merupakan fitur umum dari semua transmisi digital dan aplikasi broadcast termasuk pula wimax, di mana kesalahan dapat dikoreksi oleh redundansi informasi yang dibawa dalam sinyal yang dikirimkan itu sendiri. Hal ini untuk menghindari kebutuhan untuk mengulang frame dan memelihara throughput. Bit yang berlebihan dapat dilakukan melalui berbagai cara mulai dari paritas bit ke repetisi sederhana yang dikirimkan sinyal. Namun, untuk efisiensi maksimum, bit FEC harus disesuaikan dengan karakteristik dari sistem transmisi. Convolutional coding dengan *Reed Solomon* (RS) memperbaiki kesalahan kode yang dilakukan skema coding untuk WiMAX.

Pada *convolutional encoding*, *bit* yang dihasilkan oleh *encoder* merupakan hasil sistem *xor* dari beberapa *bit* masukan sebelumnya dengan *bit input* pada saat itu. Sistem *xor* tersebut dapat dirancang sendiri. Sistem *xor* ini mencakup bagaimana alur operasi *xor* dan berapa lama suatu *bit* akan mempengaruhi keluaran *bit* lain. Keuntungan *convolutional encoder* adalah dapat didesain untuk mampu mendeteksi dan terutama memperbaiki *error* dengan lebih baik dibandingkan dengan *Linear Block Encoding*. *Convolutional encoder* dapat dirancang dengan menggunakan beberapa *shift register* sederhana. Gambar 2.20 menunjukkan contoh *Convolutional Encoder* dengan 7 *shift register* dengan *coding rate* 3/2.



Gambar 2.20 Bagan ilustrasi rangkaian *convolutional encoder 3/2*

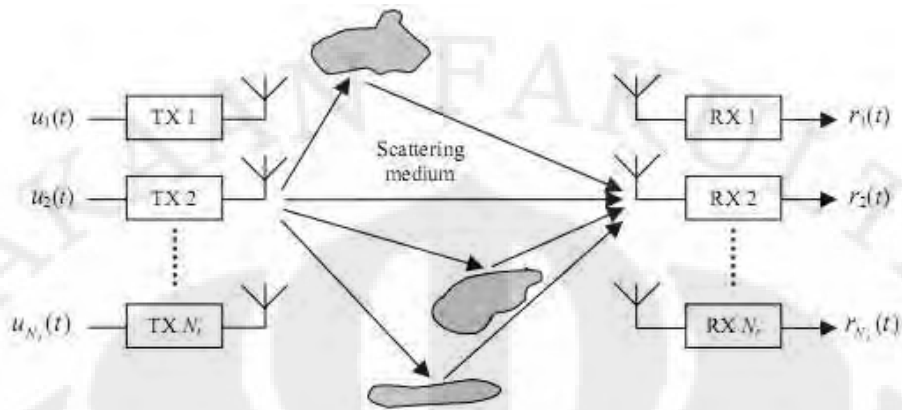
Coding rate pada *convolutional encoder* merupakan nilai perbandingan antara jumlah keluaran dengan jumlah masukan pada satu waktu yang bersamaan. Misalkan *coding rate 3/2* menyatakan jumlah masukan ke *encoder* untuk satu *clock* adalah 2 *bit* dan akan menghasilkan keluaran 3 *bit* pada satu *clock* yang sama. Nilai *coding rate* selalu di atas satu. Jika nilai *coding rate* semakin besar, performanya dalam mendeteksi dan memperbaiki *error* juga semakin baik tetapi sebagai konsekuensinya *encoder* semakin tidak efisien. Karena jumlah *bit* yang akan dikirimkan menjadi lebih banyak untuk jumlah *bit* informasi yang sama.

Decoding yang digunakan pada WiMAX adalah *Viterbi decoding*. *Viterbi decoding* merupakan pasangan *encode-decode* dari *Convolutional encoding* yang menggunakan algoritma *Viterbi* dalam melakukan *decoding* data. Untuk dapat mengekstrak data dengan benar, tentunya parameter pada *Viterbi decoding* harus sama dengan parameter pada *Convolutional Encoding*, seperti sistem *xor* dan *coding rate*. Karena *decoding* merupakan sistem *reversible* dari *encoding*.

2.3 TEKNOLOGI MULTIPLE ANTENNA

Sistem *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) merupakan sistem komunikasi nirkabel dengan menggunakan *multiple antenna* pada sisi pengirim dan sisi penerima untuk meningkatkan performansi sistem komunikasi. Sistem

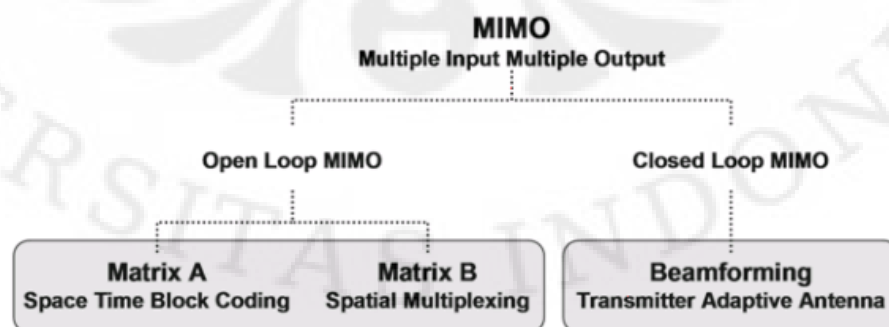
MIMO diharapkan dapat meningkatkan ketahanan sinyal terhadap efek dari *noise* dan *multipath* yang sering terjadi pada komunikasi nirkabel [15].



Gambar 2.21 Sistem MIMO secara umum

Gambar 2.21 menunjukkan penggunaan sistem MIMO komunikasi nirkabel. Sejumlah N antena sisi pengirim mengirimkan sinyal secara *independent* dan kemudian diterima oleh antena sisi penerima sejumlah M , dimana $M \geq N$.

Teknologi MIMO menarik perhatian riset internasional karena secara signifikan mampu meningkatkan throughput data dan range (jangkauan) komunikasi tanpa bandwidth frekuensi tanpa daya pancar tambahan. Peningkatan itu dicapai dengan efisiensi spektral yang lebih tinggi (bit/detik/Hz) dan reliabilitas link dengan diversitas. Kenaikan diversitas tersebut mengurangi efek fading kanal. MIMO menggunakan multipel antena pada transmitter (Tx) dan receiver (Rx) untuk meningkatkan kemampuan komunikasi. MIMO merupakan salah satu bentuk dari Smart Antenna (SA) dan merupakan seni dari teknologi SA. Berikut adalah ilustrasi jenis skema input-output antena pada komunikasi wireless.

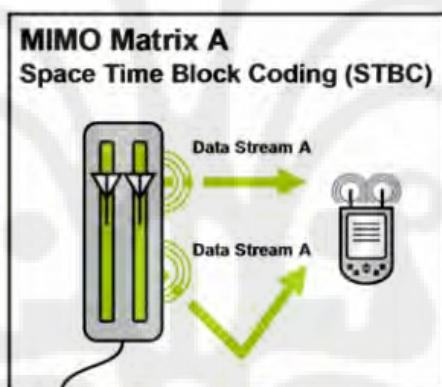


Gambar 2.22 Pembagian/Pengelompokan Teknologi MIMO

Tehnologi MIMO dibagi menjadi 2, yaitu: *Open Loop* dan *Close Loop*. Dalam aplikasinya, terminologi MIMO yang umum digunakan adalah teknik MIMO Open Loop. Standar WiMAX memasukkan 2 versi dari teknik Open Loop MIMO yakni Matrix A dan Matriks B. Teknik Close Loop MIMO, juga dikenal sebagai teknik *Transmitter Adaptive Antenna (Tx-AA)*, seringkali disebut juga sebagai *Beamforming*.

2.3.1 Open Loop MIMO

Dengan Open Loop MIMO, saluran komunikasi tidak memberikan informasi mengenai propagasi saluran. Open Loop termasuk teknik MIMO *Space Time Block Coding (STBC)*, *Spatial Multiplexing (SM-MIMO)* dan *Collaborative Uplink MIMO*. Dalam sistem MIMO WiMAX, Matrix A merujuk kepada teknik STBC dan MIMO Matrix B merujuk kepada teknik SM-MIMO.

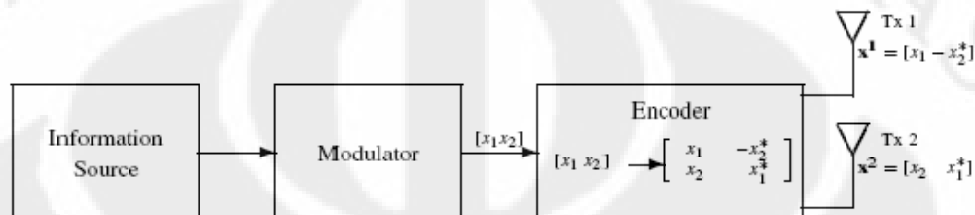


Gambar 2.23 MIMO Matriks A

Pada Gambar 2.23 diatas, MIMO Matrix A menggunakan *diversity spatial* yaitu suatu data stream direplikasi dan dikirim dengan beberapa aliran atau path. Redundant data stream di-encode menggunakan algoritma matematika yang dikenal sebagai *Space Time Block Code (STBC)*. Setiap sinyal yang dikirimkan adalah ortogonal sehingga mengurangi self-interference dan meningkatkan kemampuan penerima untuk membedakan beberapa sinyal yang diterimanya. Dengan multiple transmisi dari data stream yang telah di-encode, hal ini meningkat kemampuan penerima untuk meng-identifikasi kuat sinyal yang kurang baik oleh pengaruh oleh physical path (kanal). Pada penerima dapat menggunakan teknik *Maximal-Ratio Combining (MRC)* untuk menggabungkan beberapa sinyal

agar lebih kuat untuk diterima. MIMO Matrix A pada dasarnya digunakan untuk meningkatkan cakupan (coverage area) [16].

STBC (MIMO Matrix A) ini juga sering disebut *Alamouti's Code*. Code Alamouti merupakan bentuk sederhana STBC, yakni dengan matriknya berukuran 2×2 . Pada Gambar dibawah ini, merupakan blok diagram untuk encoder MIMO alamouti.

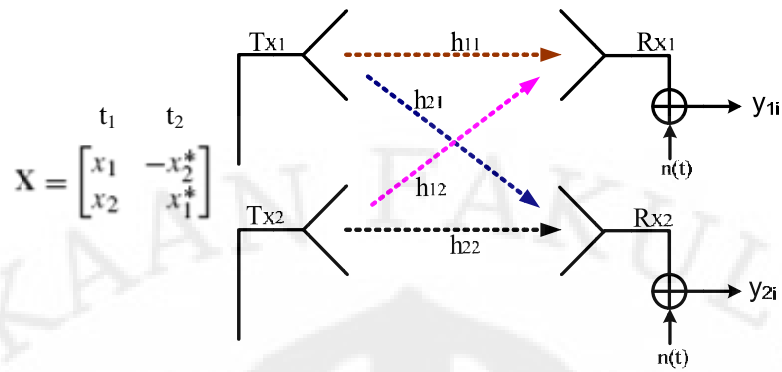


Gambar 2.24 Blok Diagram Alamouti Encoder

Dengan mengasumsikan M -array modulator. masing-masing dari m group informasi dimodulasi dahulu dimana $m = \log_2 M$. Kemudian symbol yang didapat ditransmisikan dengan dua periode transmisi yang berurutan pada kedua antenna tersebut. Selama periode transmisi yang pertama, dua buah signal, x_1 dan x_2 ditransmisikan secara berurutan dari antenna satu dan antenna dua. Pada periode transmisi yang kedua, signal $-x_2^*$ merupakan *complex conjugate* dari x_2 ditransmisikan oleh antenna pertama dan x_1^* ditransmisikan oleh antenna kedua, sehingga signal yang ditransmisikan oleh kedua antenna tersebut data di representasikan dengan persamaan

$$X = \begin{bmatrix} x_1 & -x_2^* \\ x_2 & x_1^* \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Pada Gambar dibawah ini merupakan skema transmisi informasi dari transmitter ke receiver dengan menggunakan kanal MIMO, yang pertama dikirimkan adalah untuk t_1 kemudian diikuti dengan t_2



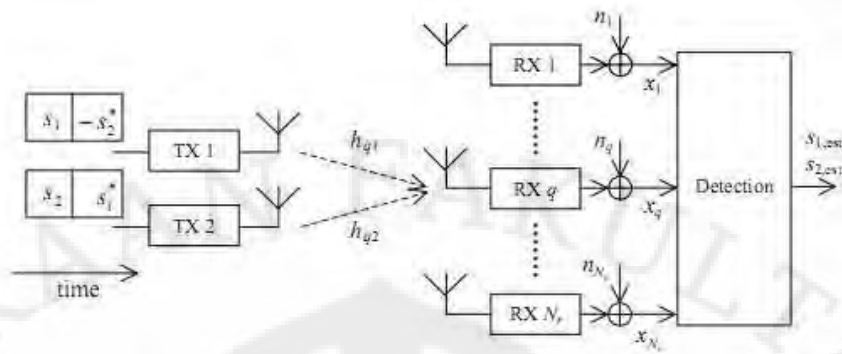
Gambar 2.25 kanal MIMO STBC

Setelah di transmisikan dan tercampur dengan noise maka persamaan sinyal yang diterima adalah sebagai berikut :

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

$$\begin{bmatrix} y_1^2 \\ y_2^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -x_2^* \\ x_1^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1^2 \\ n_2^2 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

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 2.8, adalah sinyal yang diterima pada time slot pertama, dan persamaan 2.9 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 $[X]=(INV[H])*[Y]$.



Gambar 2.26 Alamouty Receiver

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

$$\begin{bmatrix} y_1^1 \\ y_2^1 \\ y_1^{2*} \\ y_2^{2*} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \\ h_{12}^* & -h_{11}^* \\ h_{22}^* & -h_{21}^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1^1 \\ n_2^1 \\ n_1^{2*} \\ n_2^{2*} \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Dengan mendefinisikan matriks channel MIMO H adalah :

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \\ h_{12}^* & -h_{11}^* \\ h_{22}^* & -h_{21}^* \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

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

$$\mathbf{H}^+ = (\mathbf{H}^H \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^H \quad (2.12)$$

Dengan definisi bahwa,

$$(\mathbf{H}^H \mathbf{H}) = \begin{bmatrix} |h_{11}|^2 + |h_{21}|^2 + |h_{12}|^2 + |h_{22}|^2 & 0 \\ 0 & |h_{11}|^2 + |h_{21}|^2 + |h_{12}|^2 + |h_{22}|^2 \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

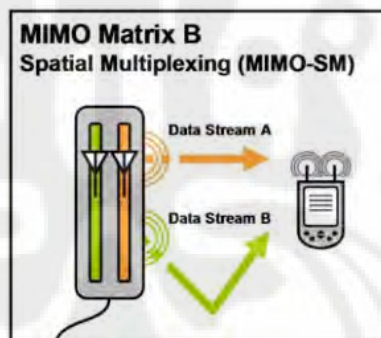
Karena matriks diatas merupakan matriks diagonal, maka jika di invers, menjadi :

$$(H^H H)^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{|h_{11}|^2 + |h_{21}|^2 + |h_{12}|^2 + |h_{22}|^2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{|h_{11}|^2 + |h_{21}|^2 + |h_{12}|^2 + |h_{22}|^2} \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

Estimasi simbol yang ditransmisikan dapat di tuliskan dengan :

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2^* \end{bmatrix} = (H^H H)^{-1} H^H \begin{bmatrix} y_1^1 \\ y_2^1 \\ y_2^{2*} \\ y_1^2 \\ y_2^{2*} \end{bmatrix} \quad [17] \quad (2.15)$$

MIMO Matriks B, sinyal yang akan dikirimkan adalah menjadi beberapa setiap aliran data dan aliran data yang dikirim dari dasar yang berbeda stasiun mengirimkan antenna yang beroperasi di waktu yang sama-frekuensi daya dialokasikan untuk penerima.



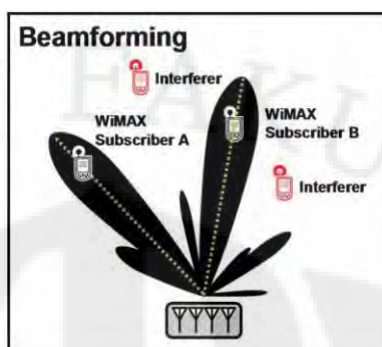
Gambar 2.27 MIMO Matriks B

Di hadapan suatu multipath lingkungan, maka beberapa sinyal akan tiba di penerima antenna array dengan cukup ruang tanda tangan yang berbeda memungkinkan penerima untuk melihat yang mudah beberapa data stream. Multiplexing menyediakan ruang yang sangat berarti mampu untuk meningkatkan kapasitas saluran

2.3.2 Beamforming/Closed Loop MIMO

Dengan MIMO Closed Loop, transmitter mengumpulkan informasi mengenai optimalisasi saluran komunikasi yang ditujukan ke penerima. Closed

Loop MIMO biasanya memanfaatkan Maximum Ratio Transmission (MRT) atau teknik Statistical Eigen Beamforming.



Gambar 2.28 MIMO Beamforming

Pengaruh teknik Beamforming pada antenna transmisi dan receiver adalah untuk mengontrol arah dan bentuk dari pola radiasi gelombang elektro magnetik. Elemen antenna mempunyai jarak khusus dengan *wavelength*/panjang gelombang transmisi dan memerlukan *signal processing* yang canggih.

2.3.3 Channel Estimation dan Equalization

Fungsi channel estimasi digunakan untuk membentuk perkiraan amplitudo dan pergeseran fasa yang disebabkan oleh saluran/kanal nirkabel (wireless channel). Equalization menghilangkan efek saluran nirkabel dan mengizinkan demodulasi simbol berikutnya. Ada beberapa algoritma yang dapat digunakan untuk modul ini. Terdapat dua jenis channel estimation, *pilot assisted* (non-blind) dan *blind estimation*. Dalam metode non-blind, data yang akan dikirim dan *training sequence*, terbentuk dalam sebuah frame kemudian dikirim melalui saluran, *training sequence* tersebut sudah diketahui oleh penerima sehingga mudah untuk mendapatkan datanya kembali. Keuntungan yang utama adalah kesederhanaan, dan kerugiannya adalah mengurangi throughput. Dalam metode blind, matematika atau statistik dari data yang dikirim akan digunakan. Keuntungannya adalah efisien bandwidth. Namun, metode ini cukup lambat untuk *converge* dan memerlukan komputasi dalam perhitungannya. Campuran keduanya, di mana *blind* dibatasi dengan metode simbol training yang digunakan, adalah teknik semi-blind. Metode Semi-blind menggunakan informasi dari urutan

training dan statistik dari sinyal yang dikirim, yang membuat mereka lebih robust dibandingkan dengan metode blind.

Adanya *Pilot insertion* dapat memperkirakan Respons frekuensi saluran menggunakan interpolasi linear dalam waktu dan frekuensi pada dasar *tile-by-tile* setiap subchannel. *Pilot assisted channel estimation* dapat dilakukan dengan memasukkan *pilot tone* ke dalam seluruh subcarriers dari simbol OFDM dengan periode tertentu yang telah dikembangkan dengan asumsi variasi saluran yang lambat, atau memasukkan *pilot tone* dalam setiap simbol OFDM (comb-type) yang telah diperkenalkan untuk memenuhi kebutuhan equalizing bila perubahan saluran terjadi dari satu OFDM blok ke subsequent. *Pilot comb-type channel estimation* terdiri algoritma untuk memperkirakan saluran, pada frekuensi pilot dan untuk interpolate saluran. Dengan chanel estimation, frekuensi pilot untuk comb-type berdasarkan jenis chanel estimation pada LS, MMSE-atau Least Mean Square (LMS). Interpolasi saluran untuk comb-type based channel estimation dapat tergantung interpolasi linear, second order interpolation, low-pass interpolasi, spline cubic interpolation, dan time domain interpolasi [18].

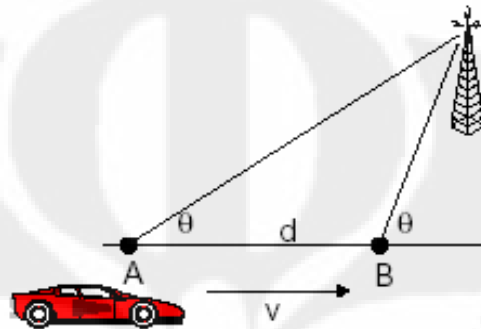
2.4 AIR INTERFACE

Karakteristik propagasi pada kanal transmisi *mobile wireless* memiliki beberapa tipe gangguan yang sangat merusak, yaitu atenuasi, *Additive White Gaussian Noise* (AWGN), *frequency selective fading*, keadaan *multipath* dan pergeseran frekuensi *Doppler*. Perusakan ini menyebabkan sinyal yang diterima berbeda dengan sinyal yang dikirim, sehingga dapat menyebabkan terjadinya kesalahan data yang diterima.

Pergeseran frekuensi *Doppler* disebabkan oleh pergerakan relatif dari *mobile station* terhadap *base station*. Pergerakan relatif ini menyebabkan terjadinya pergeseran frekuensi radio. Pergeseran frekuensi tergantung pada kecepatan dan arah gerak *mobile station*. Pada saat *mobile station* bergerak relatif terhadap *base station*, *mobile station* merasakan bergesernya frekuensi terima dari frekuensi pemancar. Persamaan untuk menentukan besarnya pergeseran frekuensi adalah : [19]

$$F \text{ doppler} = (v/\lambda) \times \cos \phi \quad (2.16)$$

Dimana $F_{doppler}$ adalah besarnya pergeseran frekuensi pembawa, v adalah kecepatan gerak relatif *mobile station* terhadap *base station*, λ merupakan panjang gelombang dari frekuensi pemancar dan ϕ adalah sudut datang yang dibentuk antara *path* tersebut dengan arah gerak *mobile station*. Pergeseran frekuensi *Doppler* dapat menyebabkan menurunnya kualitas data yang diterima, terutama untuk suara.



Gambar 2.29 Ilustrasi efek pergeseran frekuensi *Doppler*

Pada keadaan *multipath*, $r(t)$ menggambarkan sinyal *multipath* yang diterima dengan persamaan :

$$r(t) = \sum_n \alpha_n(t) S(t - \tau_n(t)) e^{-j\omega_c \tau_n(t)} \quad (2.17)$$

dimana $\alpha_n(t)$ menyatakan amplitudo dari setiap path yang diterima dalam fungsi waktu. Waktu tunda untuk setiap path juga dinyatakan dalam fungsi waktu. Dan persamaan $r(t)$ dapat dinyatakan dengan $R(t)$:

$$R(t) = \Re \left\{ \sum_n \alpha_n(t) S(t - \tau_n(t)) e^{j\omega_c(t - \tau_n(t))} \right\} \quad (2.18)$$

Pada kanal komunikasi bergerak, distribusi *Rayleigh* biasa digunakan untuk menjelaskan perubahan waktu dari selubung dari satu komponen *multipath*. Telah diketahui bahwa selubung dari jumlah antara dua sinyal derau *gaussian* membentuk distribusi *Rayleigh*.

Distribusi *Rayleigh* merupakan kasus khusus dari distribusi *Weibull*. Jika variabel A dan B adalah parameter dalam distribusi *Weibull*, maka distribusi *Rayleigh* menggunakan variabel b yang ekuivalen dengan dengan distribusi *Weibull* dengan persamaan $A = 1/(2.b^2)$ dan $B = 2$. Jika komponen kecepatan gerak pada sumbu x dan y merupakan variabel acak yang tidak saling

mempengaruhi dengan *mean* bernilai nol dan nilai *varians* yang sama, maka jarak yang ditempuh *mobile station* per satuan waktu adalah terdistribusi secara *Rayleigh*.



BAB 3

PERANCANGAN SIMULASI

3.1 GAMBARAN UMUM SIMULASI

Simulasi ini dibuat dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB 7.4.0 (R2007a) dengan sistem operasi *Windows XP Professional service pack 2*. Simulasi dilakukan menggunakan komputer dengan prosesor *Intel Atom CPU 330* 1,6 GHz serta memori *1GB PC 5300 (333MHz)*.

3.2 PERANCANGAN SIMULASI

Simulasi yang dibuat untuk sistem multi user OFDMA pada mobile-WiMAX dengan menggunakan MIMO. Berikut ini akan dijelaskan blok-blok /proses sesuai dengan alur sinyal /data. Simulasi MIMO OFDMA-WiMAX dapat digambarkan dalam blok diagram pada Gambar 3.1. Secara garis besar, keseluruhan blok ini menggambarkan pemrosesan sinyal yang terjadi pada *transmitter*, kanal transmisi dan *receiver*.



Gambar 3.1 Blok diagram simulasi

Lima blok pertama menggambarkan sistem dalam sebuah *transmitter* dan lima blok terakhir menggambarkan sistem dalam sebuah *receiver*. Pada simulasi ini, *input* (message) diberikan untuk 3 user yang berbeda, yakni User 1, User 2 dan User 3. Masing-masing user memiliki jumlah dan data yang berbeda. Nilai

elemen dari matriks *input* untuk masing-masing user, mengalami AMC sehingga convolutional encoder dan modulasi yang digunakan untuk setiap user bisa berbeda. Setelah itu masing-masing message yang telah di decoder akan dibentuk / dimapping menjadi data region kedalam OFDMA frame. Dilanjutkan dengan proses MIMO encoder dengan menggunakan 2 buah antenna pada transmitter dan 2 antenna pada receiver. Masing-masing antenna dilakukan proses modulasi secara OFDM, termasuk didalamnya menambahkan guard interval.

Pada channel, sinyal dari kedua antenna transmitter tersebut, masuk kedalam kanal MIMO dan mengalami noise. Kemudian diterima oleh dua antenna pada receiver. Sinyal tersebut mengalami kebalikan dari proses pada transmitter. Dan akan dibandingkan performansinya untuk setiap user.

3.2.1 Transmitter WIMAX

A. Bit Information

Pada Gambar 3.1, bit informasi di bangkitkan oleh permintaan masing-masing user, sehingga jumlah data/bit akan berbeda. Dengan menggunakan perintah pada MATLAB, bit tersebut diciptakan secara random untuk masing-masing usernya:

```
user_k = randint (1, jml_data_user_k);
```

nilai *k* bermulai dari 1 hingga *k*, sehingga nilai *k* merupakan jumlah user yang akan digunakan. Perintah **randint** diatas, digunakan mengenerate random integer yang bernilai 1 dan 0 sebanyak **jml_data_user_k** untuk masing-masing usernya. Sehingga akan terdapat *k*-user dengan masing-masing datanya.

B. Convolutional Encoder dan Modulasi

Encoder yang digunakan adalah *convolutional encoder* sesuai dengan yang telah dijelaskan sebelumnya. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan kapasitas dari kanal dengan menambahkan bit *redundant* pada data informasi yang ditransmisikan. Coding rate pada WiMAX adalah $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$ dan $\frac{3}{4}$. *Coding rate* yang dipakai pada simulasi ini adalah $\frac{1}{2}$ dan $\frac{2}{3}$. Pada simulasi ini digunakan syntax :

trel = poly2trellis (ConstraintLength,CodeGenerator)

code_k=convenc(user_k,trel);

yang pertama dilakukan ada membuat trellis vektor dengan *poly2trellis*, kemudian dengan perintah *convenc*, data pada *user_k* di *encode* menjadi variabel *code_k*.

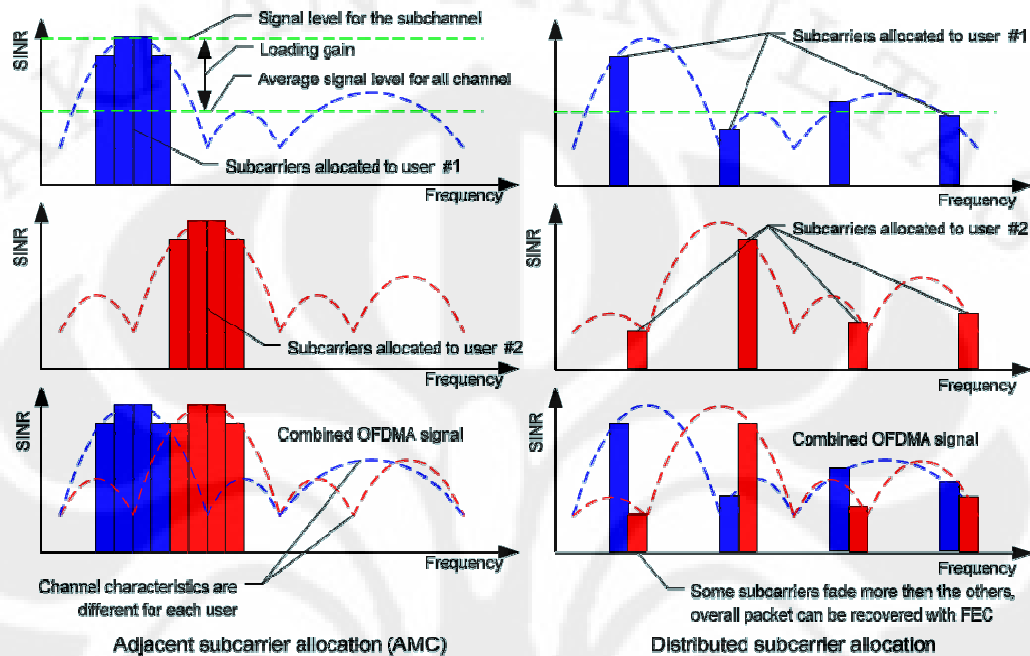
Selanjutnya dimodulasi, Modulasi yang digunakan oleh WiMAX ada 3 macam, yaitu modulasi QPSK, 16 QAM atau 64QAM. Untuk modulasi QPSK yang membawa 2 bit informasi untuk setiap simbol keluarannya, maka modulasi QPSK akan menghasilkan 2 bit/ simbol untuk setiap *subcarriernya*. Untuk modulasi 16 QAM yang membawa 4 bit informasi untuk setiap simbol keluarannya, maka modulasi 16 QAM akan menghasilkan 4bit/simbol untuk setiap *subcarrier* dan untuk modulasi 64 QAM yang membawa 6 bit informasi untuk setiap simbol keluarannya.

Masing-masing kombinasi antara *convolutional encoder* dengan *modulasi* yang digunakan, mempunyai index tersendiri, sehingga data setiap user yang telah di *encode* dan dimodulasi ditambahkan index yang menerangkan *coding scheme* yang digunakan dan jumlah simbol yang terpakai, untuk mempermudah setiap user mendecode data tersebut.

C. OFDMA framing/ Downlink Subchannelization

Wimax dianggap cukup fleksibel dalam hal menangani user yang berjumlah banyak, karena paket-paket dimultiplexing pada sebuah frame. Proses pembentukan frame adalah: data dari masing-masing user yang telah di *encode* dan dimodulasi dibentuk kedalam sebuah matriks yang disebut dengan *dataregion*, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, *dataregion* dari masing-masing user akan menempati alokasi burts tertentu dalam OFDMA frame, yang merepresentasikan pengiriman secara TDMA dan FDMA. Pada simulasi ini, ukuran matrik OFDMA frame ini adalah 1024×48. 1024 adalah jumlah subcarrier yang digunakan, sedangkan 48 adalah jumlah OFDM simbol dalam 1 frame tersebut. Dengan menggunakan *Partial Usage Of Subcarrier* (PUSC) sebagai alokasi subcarriernya, maka dari 1024 subcarrier tidak semuanya digunakan untuk mentransmisikan data tetapi hanya 720 untuk data, 184 untuk *null carrier* dan 120 untuk *pilot carrier*.

OFDMA Sub-channel Permutation yang digunakan adalah *Contiguous permutation/Adjacent Subcarrier Permutation (AMC)*, sehingga lebih ditekankan pada *Multiuser diversity*. Penggunaan Frequency yang berdekatan untuk masing-masing user, menyebabkan setiap user tidak akan saling meng-interference.

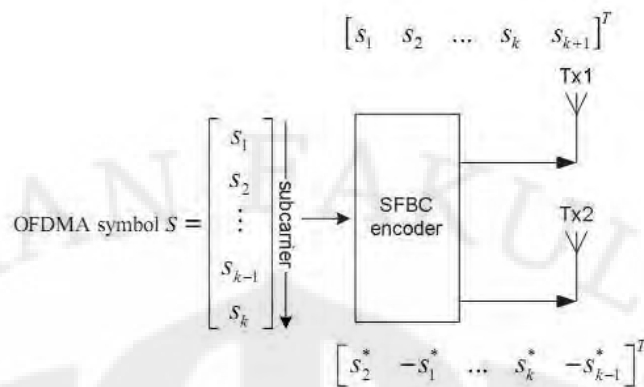


Gambar 3.2 OFDMA Sub-channel Permutation

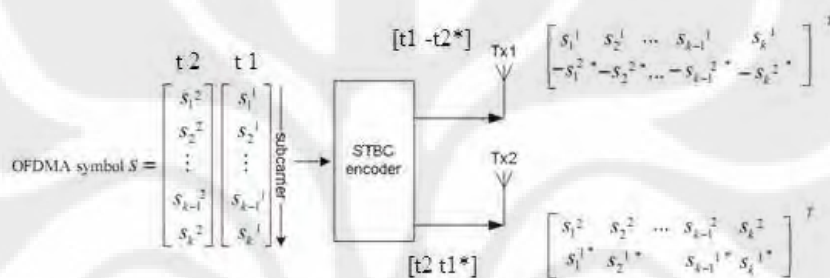
Ukuran frame pada wimax adalah 5ms, sehingga dalam 1 detik, terdapat 200 frame yang digunakan. Pada simulasi ini hanya akan digunakan 1 frame dari 200 yang tersedia dalam 1 detiknya.

D. MIMO Encoder

Setelah OFDMA frame terbentuk, langkah selanjutnya adalah MIMO encoder, Algoritma MIMO yang digunakan adalah alamouty encoder atau STBC. Algoritma STBC berbeda dengan SFBC. Pada SFBC yang di lakukan operasi konjugate adalah berdasarkan subcarriernya. Sedangkan STBC, berdasarkan waktu transmisinya. Seperti yang terlihat pada Gambar dibawah ini.



Gambar 3.3 SFBC Encoder [20]



Gambar 3.4 Multicarrier STBC Encoder

dengan menggunakan MATLAB, bisa digunakan syntax sebagai berikut :

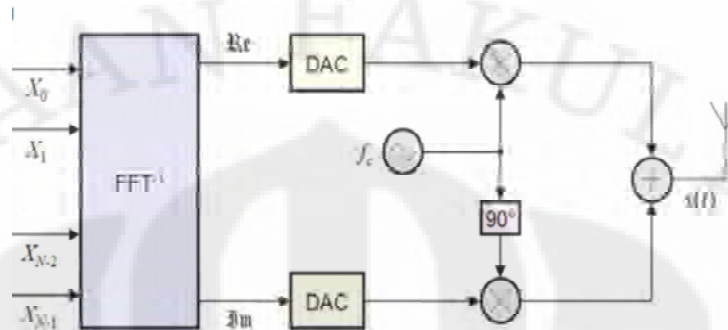
```
t1=ofdma_frame(:,i);
t2= ofdma_frame(:,i+1);
ant1=[t1 -(conj(t2))]; % [t1 -t2*]
ant2=[t2 conj(t1)]; % [t2 t1*]
```

t1, merupakan representasi pada domain waktu dalam OFDM simbol yang mempunyai nomor ganjil. Sedangkan t2, bernomor genap. Kemudian dipisahkan, untuk menuju antena1 adalah [t1 -t2*] dan untuk antena 2 menjadi [t2 t1*]. Sehingga setiap antena nantinya mengirimkan frame yang telah di encode dengan alamouty dengan ukuran setiap frame tetap yakni 1024×48.

E. pembentukan Simbol OFDM

Dalam membentuk simbol OFDM, setiap simbol dari setiap *subcarrier* diambil untuk disusun menjadi satu simbol OFDM. Dengan menggunakan *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT), hasil dari frame OFDM yang telah terbentuk pada masing-masing antena diambil per ofdm simbol, kemudian menjadi suatu sinyal

multi *subcarrier* OFDM. Proses yang terjadi pada sisi *transmitter* dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut. Nilai X_0, X_1 hingga X_{N-1} , merupakan nilai dari matriks kolom pada frame yang telah terbentuk sebelumnya pada saat t yang sama.

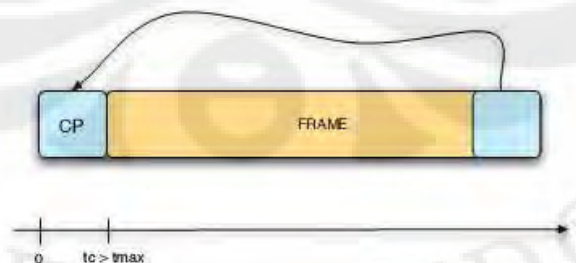


Gambar 3.5 Skema transmitter sistem OFDM

Skema diatas dapat di tuliskan dengan syntax pada matlab, maka :

```
for i=1:amount_ofdm_simbol
    stbciff1(:,i)=ifft(stbc1(:,i),1024); % ifft process
    stbciff2(:,i)=ifft(stbc2(:,i),1024);
end
```

hal yang penting setelah proses IFFT adalah penyisipan *guardtime*/*Guard interval* (*GI*), hal ini dilakukan untuk melindungi sinyal dari efek *multipath* fading. Seperti pada Gambar 3.6 dibawah ini, *Guardtime* berupa deretan pulsa yang mengkopi bit paling belakang dari frame dan disisipkan didepan frame tersebut. Panjang *guardtime* pada wimax adalah 12,5% dari panjang simbol OFDM yaitu 48 simbol. Sehingga kini panjang simbol OFDM menjadi $48 + 6 = 54$ simbol.



Gambar 3.6 Insert Guard Interval

dengan menggunakan MATLAB dapat direpresentasikan sebagai berikut :

```
gi_frame1=[ frame_ifft1(:,48-GI+1:end) frame_ifft1];
```

gi_frame2=[frame_ifft2(:,48-GI+1:end) frame_ifft2];

dimana *frame_ifft1*, merupakan frame pada antenna 1 yang sudah mengalami proses ifft. Sehingga ukuran **gi_frame1** dan **gi_frame1** adalah 1024×54 .

3.2.2 Kanal Transmisi

Untuk merepresentasikan kanal transmisi (*air interface*) yang sesuai dengan kanal transmisi sebenarnya, digunakan gangguan yang dibangkitkan oleh AWGN dan *rayleigh fading*. Gangguan AWGN divariasikan dengan parameter *Signal to Noise Ratio* (SNR) dan gangguan *rayleigh fading* divariasikan dengan parameter kecepatan gerak relatif *mobile station* dengan *base station* (v). Variasi kecepatan gerak juga merupakan variasi pergeseran maksimum frekuensi Doppler (*Doppler shift*). Nilai realistik untuk *Doppler Shift* adalah antara 4 Hz untuk gerak lambat (*pedestrian*) hingga 80 Hz untuk gerak sangat cepat (*full mobility*). Keadaan *multipath* juga direpresentasikan oleh gangguan *rayleigh fading*. Dengan menggunakan syntax: **Fdop=round((Fc*v/3e8));** untuk menghitung pergeseran frekuensi dopler dan dengan **ch = rayleighchan(tsymb,Fdop,1e-7*[0 0.2 0.4],[-3.98 -3.01 0]);** untuk membangkitkan kanal multipath. Pada simulasi ini akan digunakan 3 path dengan delay path = [0 0.2 0.4] dan gain setiap path = [-3.98 -3.01 0].

Kanal MIMO dibentuk dengan matriks H , yang berukuran 2×2 , karena pada simulasi ini jumlah Tx dan Rx yang digunakan adalah 2 buah. Maka matriks H dibuat dengan menggunakan fungsi *random kompleks crand* pada matlab.

3.2.3 Receiver WIMAX

Sinyal yang diterima pada antenna-antenna receiver adalah signal dari transmitter yang mengalami kanal MIMO ditambah dengan noise AWGN dan multipath serta efek dopler. Oleh karena itu diperlukan adanya *channel estimasi*, untuk mengurangi efek dari noise yang dialami oleh signal tersebut. Pada sisi penerima, diperlukan 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 (r).

Least square digunakan untuk mengestimasi respon kanal sistem. Estimasi kanal digunakan untuk mendapatkan nilai matriks respon kanal H . Estimasi kanal dilakukan pada frame pertama yang berisikan *simbol preamble*. Pada *transmitter*, dilakukan *frame packing* dimana frame pertama yang berisikan *preamble*, sedangkan frame selanjutnya berisikan data informasi beserta *guard interval* (*Cyclic prefix*). Penyusunan ini akan mempermudah pemrosesan data, dimana sebelum memproses data informasi, dilakukan estimasi kanal terlebih dahulu.

Sebelum diestimasi, sistem sudah mengetahui informasi pada *preamble* yang akan dikirimkan, sehingga pada transmitter hanya perlu membandingkan *preamble* yang dimilikinya dengan *preamble* yang diterima dari transmitter. Dengan menggunakan persamaan matematis yang tidak terlalu sulit, transmitter langsung dapat mengestimasi kanal tersebut. Dengan pseudoinvers akan didapat kanal estimasi H . $\mathbf{h_est} = \mathbf{receive} * \mathbf{pinv}(\mathbf{preamble});$

Setelah dilakukan estimasi kanal, proses yang terjadi pada receiver merupakan kebalikan dari transmitter. Yakni secara berturut-turut dilakukan proses menghilangkan *guard interval*, melewati proses FFT, MIMO decoder, menghilangkan pilot dan null carrier. Kemudian pemisahan rata region masing-masing user sesuai dengan index segmen dan modulasi serta error correction yang digunakan.

3.3 PARAMETER UNJUK KERJA

3.3.1 Kapasitas kanal pada sistem MIMO-OFDM

Kapasitas kanal yang digunakan pada simulasi ini memakai rumusan yang berdasar pada teori informasi Shannon, dimana persamaannya adalah :

$$C = \log_2 \left(\det \left(I_{R_o} + \frac{SNR}{T} HH^h \right) \right) \text{ bits / s / Hz.} \quad (3.1)$$

I_{R_o} adalah suatu matriks identitas berdimensi R_o yang dilihat dari sisi *receiver*, T adalah jumlah antena *transmitter*, SNR adalah rasio *signal to noise*, dan H adalah matriks respon kanal.

Pada sistem OFDM, dimana setiap sinyal berada dalam deretan waktu juga dapat dikembangkan sebagai sinyal *narrow-band* dalam domain frekuensi, yang mana karakteristik tiap subkanal dapat didefinisikan sebagai frekuensi gelombang

carrier yang berhubungan dengan sinyal tersebut. Oleh karena itu, persamaan kapasitas kanal diatas secara langsung dapat diterapkan untuk menganalisis metode transmisi informasi MIMO-OFDM dan karakteristik transmisinya yang relevan. Bila jumlah diskrit subkanal frekuensi *flat* dalam kanal sistem dinotasikan dengan N , maka kapasitas subkanalnya dapat ditulis

$$C = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-1} \log_2 \left(\det \left(I_{R_o} + \frac{SNR}{T} H(i)H(i)^h \right) \right) \text{ bits / s / Hz.} \quad (3.2)$$

Dimana C merupakan kapasitas kanal.

3.3.2 Throughput

Throughput merupakan suatu ukuran jumlah data *bit* informasi yang dapat dikirimkan dalam satu satuan waktu tertentu. *Throughput* dapat ditingkatkan dengan menggunakan teknik OFDM ataupun dengan teknik antenna MIMO *spatial multiplexing*. Besarnya *throughput* juga sangat dipengaruhi oleh besarnya BER dalam transmisi data. BER di sini akan mempengaruhi PER (*Packet Error Rate*) secara langsung. Besarnya *throughput* dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$\delta = R \times (1 - PER(\gamma)) \quad (3.3)$$

Dengan δ adalah besar nilai *throughput* dan R adalah *data rate* transmisi. Sedangkan PER adalah *packet error rate* pada nilai SNR γ .

3.3.3 BER (Bit Error Rate)

Pada simulasi ini, parameter yang digunakan untuk menilai unjuk kerja dari WiMAX adalah parameter *Bit Error Rate* (BER). BER merupakan perbandingan antara banyaknya jumlah *bit* yang salah yang diterima dengan jumlah keseluruhan *bit* yang dikirim. Untuk menghitung nilai BER, maka sinyal yang dikirim dan sinyal yang diterima terlebih dahulu harus dikonversikan ke dalam bilangan biner.

Selain itu, visualisasi bentuk sinyal dalam domain konstelasi juga akan ditampilkan. Hal ini untuk melihat proses-proses yang terjadi dalam sistem WiMAX, terutama sinyal keluaran dari *transmitter*, sinyal ketika menerima gangguan dari kanal transmisi dan sinyal ketika diterima/diperbaiki di *receiver*.

3.3.4 Parameter Pada Kanal Transmisi

Pada kanal transmisi, gangguan yang diberikan ada dua yaitu gangguan dari AWGN dan gangguan dari *Rayleigh fading*. Besarnya efek kedua gangguan dapat divariasikan dengan parameter tertentu. Parameter-parameter tersebut yaitu:

A. *Signal to Noise Ratio* (SNR)

SNR menunjukkan perbandingan antara daya dari sinyal masukan dengan daya dari *noise*. Secara matematis SNR dijabarkan sebagai berikut :

$$SNR = \frac{Eb}{No} + 10\log_{10}(k \times \text{coderate}) + 10\log_{10}(nsamp) \quad (3.4)$$

Dengan k adalah indeks modulasi yaitu k=2 untuk QPSK, k=4 untuk 16-QAM dan k=6 untuk 64-QAM. *Coderate* menyatakan orde dari *convolutional encoding* yang menyatakan perbandingan antara kode *input encoding* dan kode *output encoding*. Sedangkan *nsamp* merupakan banyak sample dari sinyal *symbol*. Sehingga dari persamaan di atas, nilai Eb/No cukup menggambarkan nilai SNR, karena nilai dari logaritmis *coderate* dengan *nsamp* relatif kecil, sehingga Pada simulasi ini besarnya SNR merepresentasikan nilai Eb/No, besaran SNR akan divariasikan dari 1 dB hingga 21 dB.

B. Kecepatan Gerak Relatif *Mobile Station* Terhadap *Base Station* (v)

Gerak *mobile station* terhadap *base station* akan menyebabkan terjadinya pergeseran frekuensi pembawa yang disebut dengan Efek *Doppler*. Efek *Doppler* akan mengakibatkan terganggunya frekuensi sinyal yang diterima. Besarnya efek *Doppler* tersebut ditentukan dari besarnya kecepatan gerak *mobile station* yang dirumuskan sebagai berikut :

$$f_d = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{v}{\lambda} \cdot \cos\theta \quad (3.5)$$

dimana λ : panjang gelombang dalam meter

v : kecepatan pergerakan penerima dalam km/jam

θ : sudut antara sinyal dari pengirim dengan permukaan bumi

Pada simulasi, besarnya kecepatan gerak relatif *mobile station* terhadap *base station* yang digunakan yaitu 0 m/s, 2.7 m/s (10 Km/jam) dan 30 m/s (108 Km/jam).



BAB 4

ANALISIS HASIL SIMULASI

4.1 PARAMETER SIMULASI

Tujuan utama dari simulasi ini adalah untuk mengetahui unjuk kerja dari downlink sistem MIMO-OFDMA dengan teknik *spatial diversity* yang didasarkan pada *Bit Error Rate* (BER) dan sistem *throughput*. Sistem pada simulasi memiliki parameter-parameter seperti diperlihatkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Parameter Sistem MIMO-OFDMA pada Mobile WiMAX

Sistem parameter	Nilai Parameter
Teknik Modulasi	QPSK, 16-QAM dan 64-QAM.
<i>Error Control Coding</i>	<i>Convolutional coderate 2/3 dan 1/2</i>
Jumlah <i>subcarrier</i>	1024
Jumlah <i>data subcarrier</i>	720
Jumlah <i>pilot subcarrier</i>	128
Jumlah <i>null subcarrier</i>	184
Symbol per frame	48
Data symbol per frame	44
Durasi <i>symbol OFDM</i>	91,4 (usefull) + 11,4 (GI) = 102,8 μ s
<i>Guard Interval</i>	11,4 μ s
Frekuensi pembawa	2,5 dan 2,3 GHz
Bandwidth	10 MHz
Jumlah user	3
Ukuran MIMO	2 \times 2

Table 4.1 menunjukkan bahwa teknik modulasi yang digunakan dalam sistem MIMO-OFDM memiliki 3 jenis yaitu QPSK, 16 QAM dan 64-QAM. *Error control coding* menggunakan *convolutional encoding* dengan *coderate 2/3* dan *1/2* yang menyatakan perbandingan jumlah *bit input* dengan jumlah *bit output*

pada proses *encoding*. Jumlah subcarrier sistem MIMO- OFDM adalah 1024 yang terdiri dari 720 data subcarrier yang mentransmisikan *bit* informasi dan 128 pilot subcarrier serta 184 null carrier yang tidak bernilai informasi.

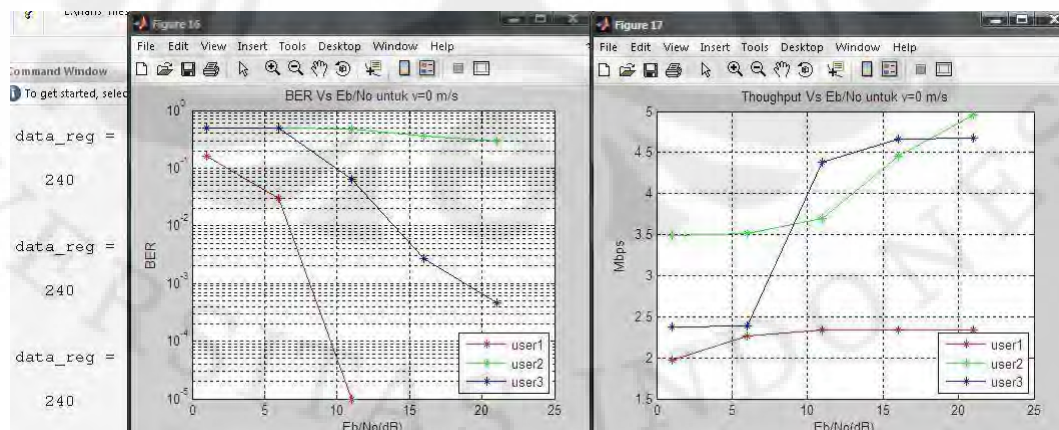
Pada simulasi ini masing-masing user akan menggunakan modulasi yang berbeda, karena diasumsikan kondisi/ lokasi mereka yang berbeda dari BTS. User 1 menggunakan QPSK, User 2 menggunakan 64 QAM dan User 3 menggunakan 16 QAM. Ketiga modulasi tersebut akan dikirimkan pada saat bersamaan dalam kondisi kanal yang sama yang dipetakan dalam OFDMA frame.

Yang akan ditampilkan adalah perbandingan penggunaan error corection 2/3 dan 1/2, kemudian pemetakan setiap user dengan fix subcarrier dan jumlah subcarrier *allocable* sesuai dengan permintaan throughput dan membandingkan performa untuk kecepatan diam dan bergerak

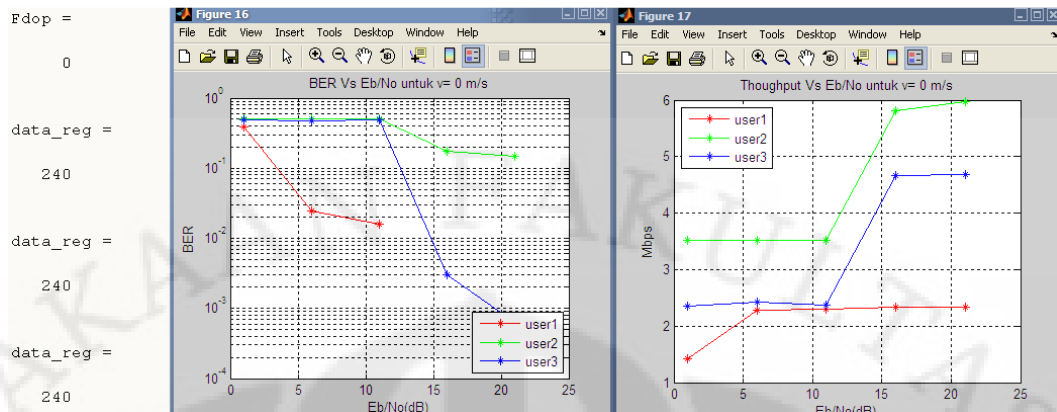
4.2 HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

4.2.1 Kecepatan User, $v = 0$ m/s

Untuk kecepatan masing-masing user adalah $v = 0$ m/s, dengan mengalokasikan masing-masing user pada convolusional code yang sama (2/3) dan fairness, jumlah subcarrier yang sama banyak yakni $720 / 3 = 240$ subcarrier. Dengan memvariasikan jenis modulasinya untuk masing-masing user, terlihat perbandingan Throughput dan grafik BER versus SNR seperti terlihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2:

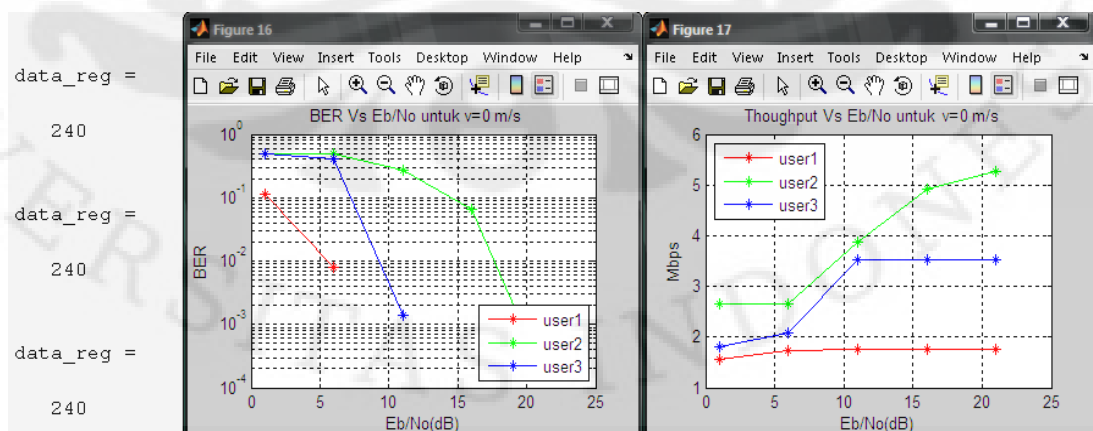


Gambar 4.1 Perbandingan SNR VS BER dan Throughput pada $v = 0$ m/s ecc=2/3, 2,5 GHz

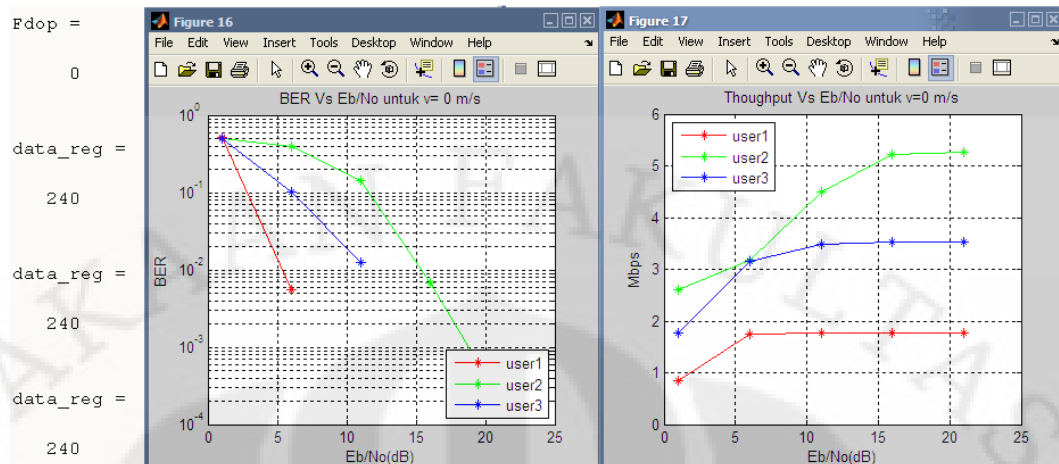


Gambar 4. 2 Perbandingan SNR VS BER dan Throughput pada $v = 0$ m/s, $\text{ecc}=2/3$, 2,3 GHz

User 1 menggunakan QPSK, User 2 menggunakan 64 QAM dan User 3 menggunakan 16 QAM. Pada kondisi seperti ini, yang berperan hanya kanal multipath dan AWGN, tampak pada grafik BER versus SNR, User 1 memiliki performa yang paling baik dari yang lainnya, tetapi jumlah simbol yang dihasilkan paling sedikit, sehingga throughput yang dihasilkan hanya mencapai sekitar 2,4 Mbps. Pada Gambar 4.1, User 2 dengan 64QAM, throughput yang dapat dicapai sebesar 5Mbps. User 3 dengan 16 QAM, hanya dapat mencapai sekitar 4,6 Mbps. Terlihat hal menarik pada grafik throughput, yakni pada saat SNR berkisar antara 9 hingga 17 dB, throughput User 3 paling besar, hal ini dikarenakan perbandingan error yang didapat User 3 lebih baik dari pada User 2, sehingga throughput yang dihasilkan juga sebanding dengan performa BER yang didapatkannya. Pada Gambar 4.2 dengan frekuensi yang lebih rendah dapat mencapai throughput yang lebih tinggi dibandingkan dengan frekuensi 2,5 GHz, hal ini dikarenakan pada frekuensi rendah dapat bekerja lebih baik pada kondisi NLOS.



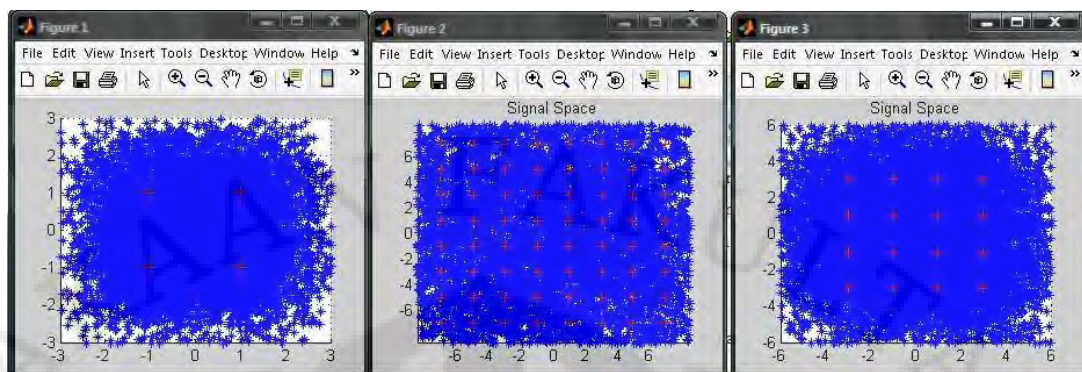
Gambar 4.3 Perbandingan SNR VS BER dan Throughput pada $v = 0$ m/s, $\text{ecc}=1/2$, 2,5 GHz



Gambar 4. 4 Perbandingan SNR VS BER dan Throughput pada $v = 0$ m/s, $\text{ecc} = 1/2$, 2,3 GHz

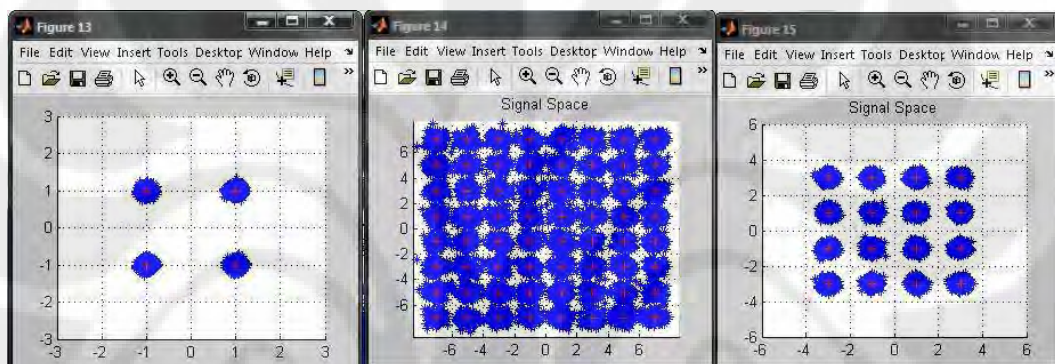
Pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4, User 1, User 2 dan User 3 masih menggunakan modulasi yang sama dan jumlah alokasi subcarrier yang sama untuk masing-masing usernya yakni $720 / 3 = 240$ subcarrier, tetapi menggunakan convolutional code sebesar $1/2$, terlihat perbandingan Throughput dan grafik BER versus SNR yang tidak jauh berbeda dengan Gambar 4.1. hanya saja performa BER-SNR menjadi sedikit lebih baik daripada menggunakan convolutional code $2/3$. Pada Gambar 4.3, convolutional code $2/3$, untuk mendapatkan nilai BER $10e-3$, User 1 memerlukan SNR sebesar 8dB, user2 memerlukan SNR yang lebih besar dari 21dB dan User 3 memerlukan 18dB. Namun dengan convolutional code $1/2$, User 1 tidak mendapatkan error pada 8dB, user2 cukup dengan SNR sebesar 19dB dan User 3 sebesar 11dB. Tetapi disini lain maksimum Throughput yang dihasilkan menjadi menurun, untuk User 1 sekitar 1,8 Mbps, 5,2 Mbps untuk User 2 dan 3,6 Mbps untuk User 3. Sedangkan pada Gambar 4.4 tidak jauh berbeda dengan Gambar 4.3.

Signal konstelasi masing-masing user baik frekuensi 2,5 maupun 2,3 (tidak jauh berbeda hasil konstelasinya) dengan SNR yang rendah ($\text{SNR} = 1\text{dB}$) baik dengan convolutional code $2/3$ maupun $1/2$ dapat dilihat pada Gambar 4.5, tampak sinyal konstelasi untuk masing-masing user yang berbeda, karena ketiga user tersebut menggunakan jenis modulasi yang berbeda.



Gambar 4.5 Konstelasi dengan SNR=1dB pada $v = 0$ m/s, 2,5 GHz

Dan untuk SNR yang tinggi (SNR = 21dB) dapat dilihat pada Gambar 4.6

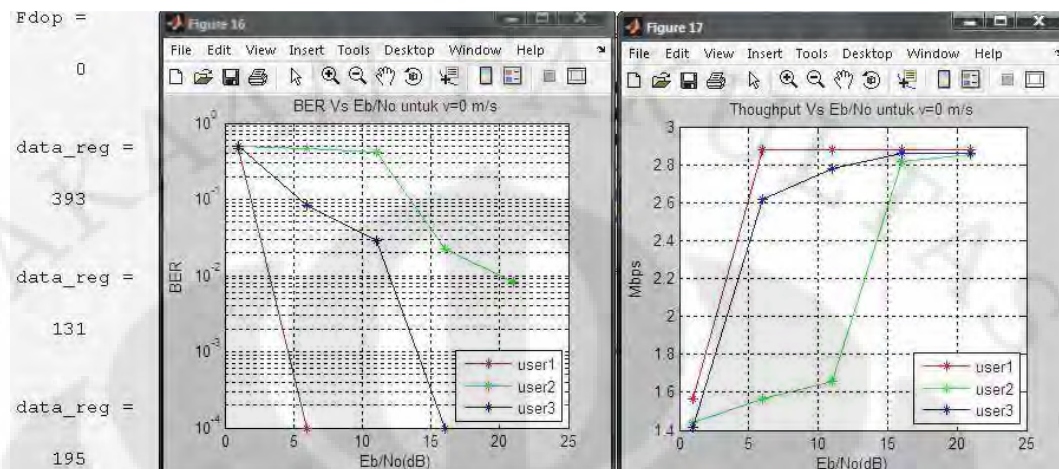


Gambar 4.6 Konstelasi dengan SNR=21dB pada $v = 0$ m/s, 2,5 GHz

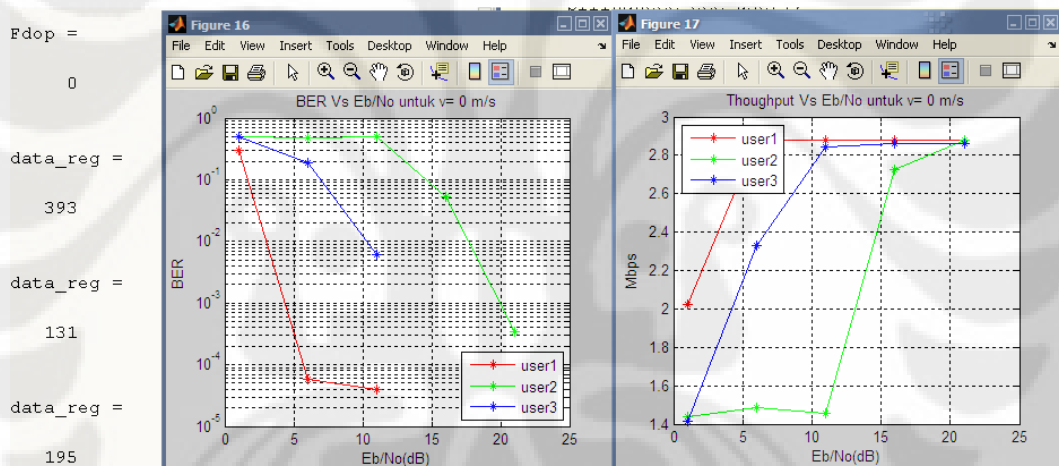
Salah satu alasan yang menjadikan performa BER-SNR pada User 1 paling baik adalah sinyal konstelasinya. Titik sinyal konstelasi yang diterima pada receiver digambarkan dengan titik biru dan sinyal konstelasi yang dikirimkan oleh transmitter dilambangkan dengan titik merah. Titik konstelasi yang diterima oleh User 1 tidak jauh dari titik konstelasi pada transmitter, sehingga memudahkan proses decoding modulasi yang digunakannya oleh User 1 tersebut. Untuk User 2, jarak antara titik konstelasi terlalu rapat, sehingga kemungkinan error pada proses decoding di receiver menjadi meningkat. Sedangkan untuk User 3, jarak antara titik konstelasi tidak terlalu rapat, sehingga masih memungkinkan proses decoding berjalan dengan baik tanpa error.

Dalam kenyataannya sering ditemukan antara User 1, User 2 and User 3 meminta kepada BTS jumlah data atau Throughput yang sama secara serentak, tetapi kondisi kanal mereka berbeda-beda, sehingga digunakan modulasi yang berbeda pula untuk setiap usernya, pada OFDMA hal ini dapat diatasi dengan

membuat alokasi subcarrier yang berbeda untuk setiap usernya sesuai dengan throughput yang diminta dan memetakannya kedalam subcarrier.



Gambar 4. 7 Alokasi subcarrier untuk permintaan throughput yang sama, $v=0$ m/s, 2,5 GHz



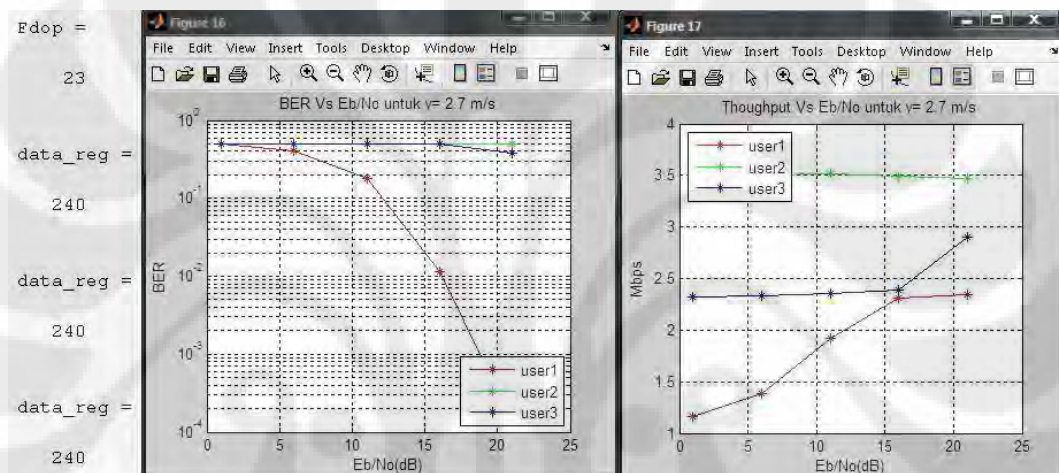
Gambar 4. 8 Alokasi subcarrier untuk permintaan throughput yang sama, $v=0$ m/s, 2,3 GHz

User 1 menempati alokasi subcarrier sebanyak 393 dari 720 *data subcarrier*, User 2 menempati alokasi subcarrier sebanyak 131 dan User 3 menempati alokasi subcarrier sebanyak 195. Pada Gambar 4.7, grafik keluaran throughput yang didapat, User 1 mencapai nilai throughput yang diinginkan (2,9Mbps) pada SNR=6dB, User 2 membutuhkan SNR=16dB dan User 3 mencapai nilai throughput yang diinginkan pada SNR=17dB. Berarti User 1, baik dalam hal pencapaian nilai SNR, tetapi User 1 memakan resource yang paling banyak diantara user yang lain. Oleh karena itu diperlukan adanya suatu algoritma yang mengatur agar permintaan User 1 memenuhi nilai throughput yang diinginkan tetapi juga memperhatikan alokasi resource untuk user yang lainnya. Sedangkan

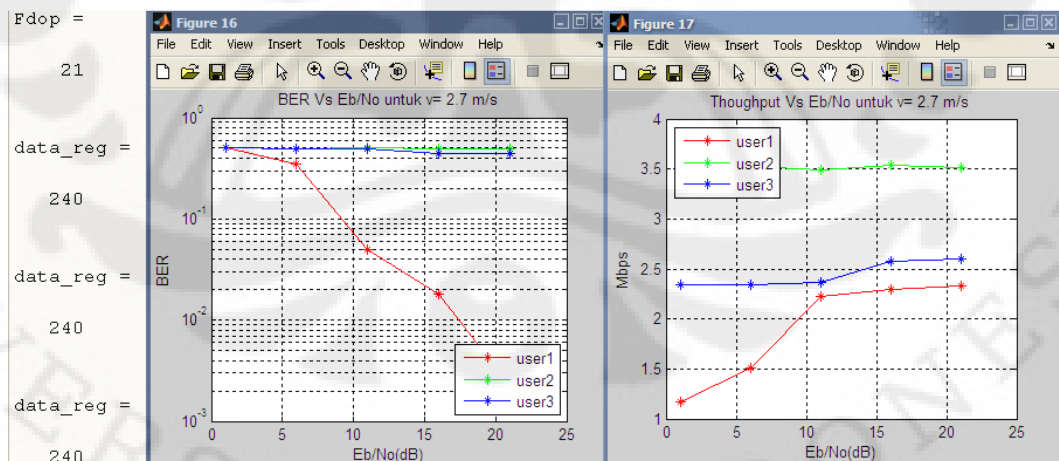
pada Gambar 4.8 dengan penggunaan frekuensi yang lebih rendah, secara keseluruhan hanya sedikit peningkatan performa yang didapat.

4.2.2 Kecepatan User, $v = 2,7$ m/s

Untuk kecepatan masing-masing user adalah $v = 2,7$ m/s (10 Km/jam), dengan mengalokasikan masing-masing user pada convolutional code yang sama (2/3) dan jumlah subcarrier yang sama banyak yakni $720 / 3 = 240$ subcarrier, dengan memvariasikan jenis modulasinya, terlihat perbandingan Throughput dan grafik BER versus SNR seperti terlihat pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10:



Gambar 4.9 Perbandingan SNR VS BER dan Throughput pada $v = 2,7$ m/s $ecc=2/3$, 2,5 GHz

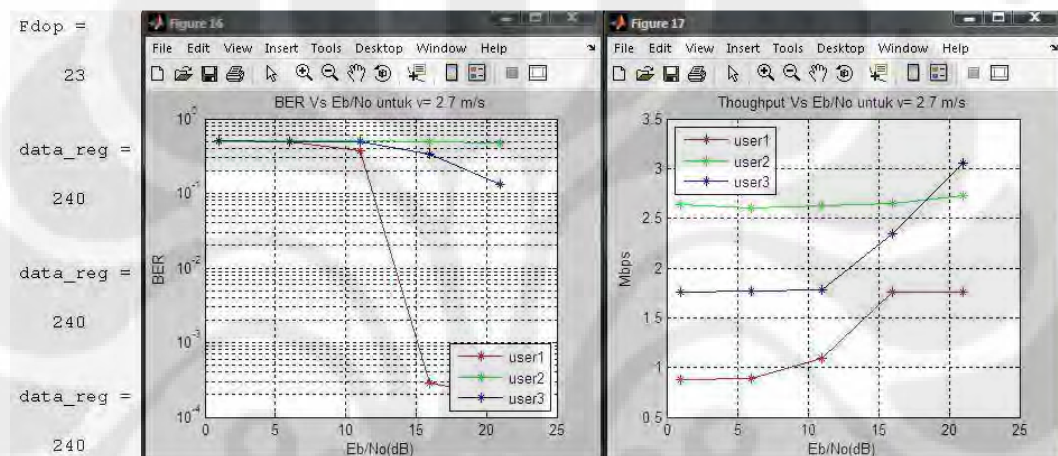


Gambar 4. 10 Perbandingan SNR VS BER dan Throughput pada $v = 2,7$ m/s $ecc=2/3$, 2,3 GHz

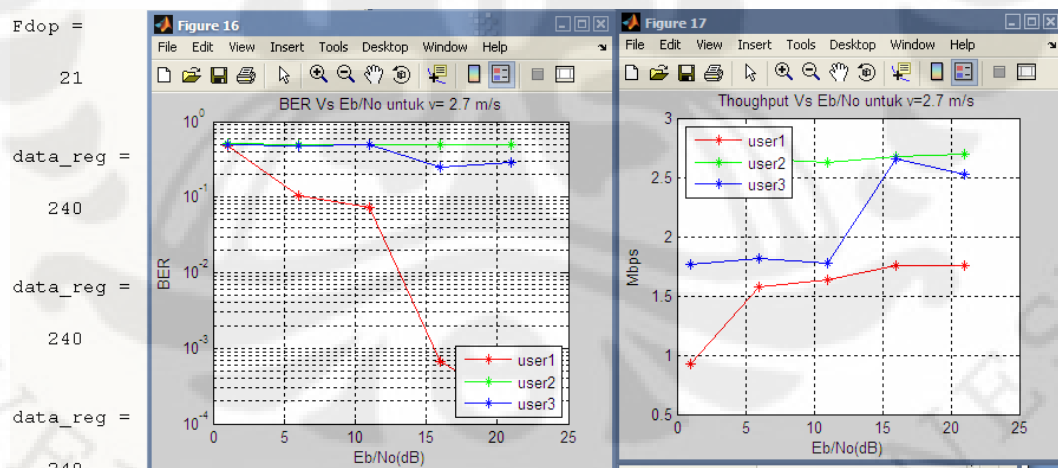
Pada kondisi seperti ini, yang berperan adalah kanal AWGN dan multipath dengan efek dopler, User 1 menggunakan QPSK, User 2 menggunakan 64 QAM dan User 3 menggunakan 16 QAM. Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 tampak grafik

BER-SNR, User 1 memiliki performa yang paling baik dari yang lainnya, tetapi jumlah simbol yang dihasilkan paling sedikit, sehingga throughput yang dihasilkan hanya mencapai sekitar 2,4 Mbps. Sedangkan User 2 dengan 64QAM, mencapai 3,6 Mbps dan User 3 hanya mencapai 2,6 Mbps.

Tampak bahwa dibandingkan dengan pergerakan User yang diam ($v = 0$ m/s), performa BER User 2 dan User 3 menurun, sehingga throughput yang dihasilkan lebih rendah. Tetapi untuk User 1, hal ini tidak memberikan pengaruh yang berarti, nilai throughput yang dihasilkan tetap sama dengan user yang diam.



Gambar 4.11 Perbandingan SNR VS BER dan Throughput pada $v = 2,7$ m/s ecc=1/2, 2,5 GHz

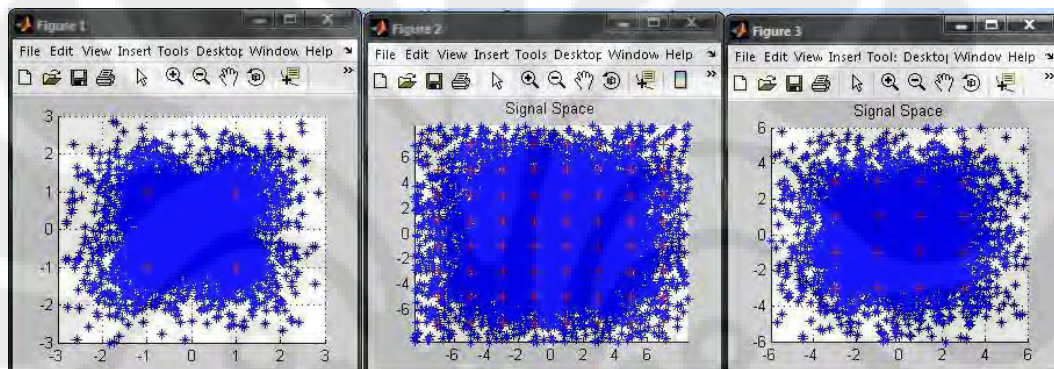


Gambar 4.12 Perbandingan SNR VS BER dan Throughput pada $v = 2,7$ m/s ecc=1/2, 2,3 GHz

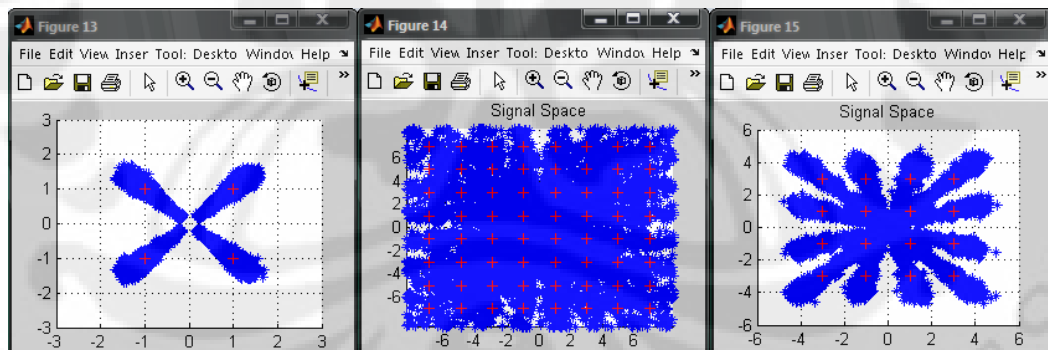
Pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12, yang menjadi analisis adalah pengaruh convolutional code yang digunakan, secara grafis performa BER-SNR setiap user meningkat dibandingkan dengan convolutional code 2/3. Hal ini dikarenakan jumlah bit reduksi yang digunakan pada convolutional code 1/2

lebih banyak daripada $2/3$. Sehingga secara teoritis performanya BER akan meningkat, tetapi throughput yang dihasilkan akan berkurang karena terbatasnya resource yang dialokasikan dan untuk penambahan bit redundansi, maka bitratanya akan menurun walaupun BER nya membaik.

Signal konstelasi masing-masing user dengan SNR yang rendah (SNR=1dB) baik dengan convolutional code $2/3$ maupun $1/2$ tidak jauh berbeda dan dapat dilihat pada Gambar 4.8, tampak sinyal konstelasi untuk masing-masing user yang berbeda, karena memang ketiga user tersebut menggunakan jenis modulasi yang berbeda.



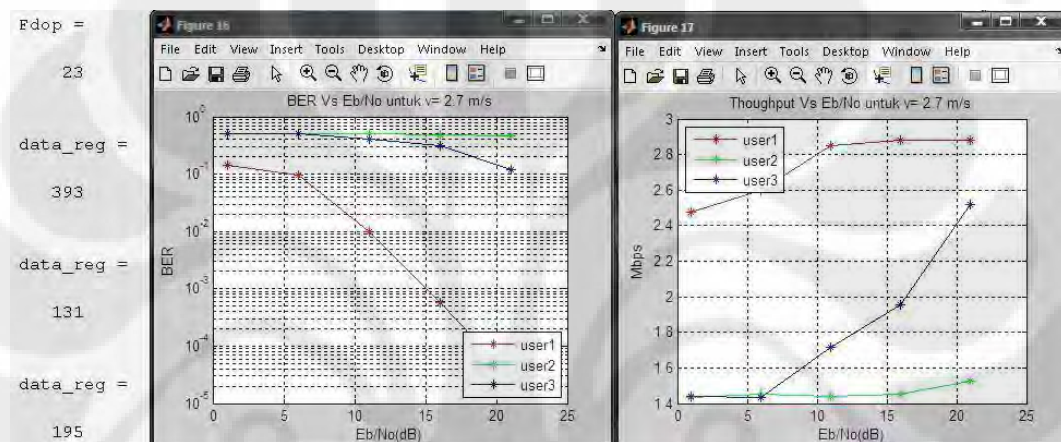
Gambar 4.13 Konstelasi dengan SNR=1dB pada $v = 2,7$ m/s, 2,5 GHz



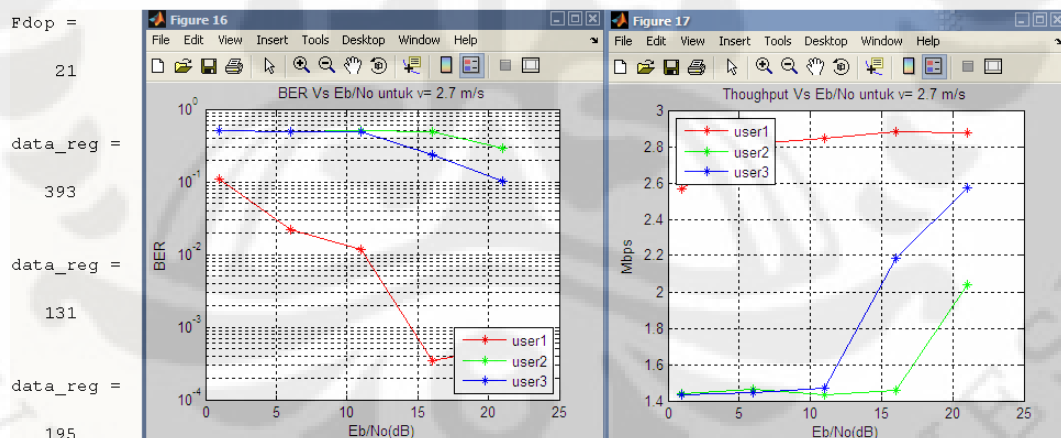
Gambar 4.14 Konstelasi dengan SNR=21dB pada $v = 2,7$ m/s, 2,5 GHz

Yang membedakan dengan user diam, terlihat titik konstelasi yang diterima oleh receiver merapat ketitik tengah/pusat dan merenggang pada titik yang jauh dari pusat koordinat konstelasi. Hal ini mengakibatkan proses decoding untuk sinyal yang dipetakan pada titik yang jauh dari pusat koordinat menjadikan nilai errornya meningkat.

Titik konstelasi yang diterima oleh User 1 pada nilai SNR yang cukup besar, terlihat dengan jelas mengalami pergeseran/polarisasi ke arah pusat. Hal ini juga dialami oleh User 2 dan User 3. Pada User 1, titik konstelasi pada receiver, masih dapat dibaca dengan jelas pada proses decodingnya, tetapi pada User 2 dan User 3 yang menggunakan QAM, akibat polarisasi ini akan menggeser simbol yang seharusnya berada di daerah tersebut menjadi pindah ke dalam ruang simbol yang lain, hal inilah yang menyebabkan performansi BER dan throughput menjadi kurang baik dibandingkan dengan user yang diam.



Gambar 4. 15 Alokasi subcarrier untuk permintaan throughput yang sama, $v= 2,7$ m/s, 2,5 GHz



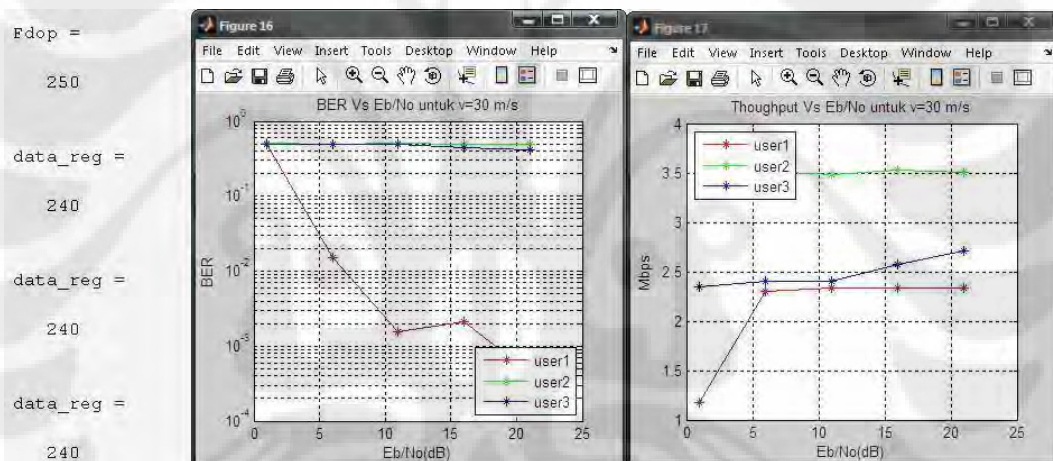
Gambar 4. 16 Alokasi subcarrier untuk permintaan throughput yang sama, $v= 2,7$ m/s, 2,3 GHz

Untuk pengalokasian subcarrier yang digunakan, terlihat pada Gambar 4.15, bahwa untuk User 1 nilai throughput nya terpenuhi yakni 2,9 Mbps tetapi untuk User 2 dan User 3, belum terpenuhi. Hal ini dikarenakan kondisi kanal untuk user tersebut yang kurang baik untuk memakai algoritma ini, sehingga kekurangan dari algoritma ini adalah '*pilih kasih*' terhadap user yang kondisi

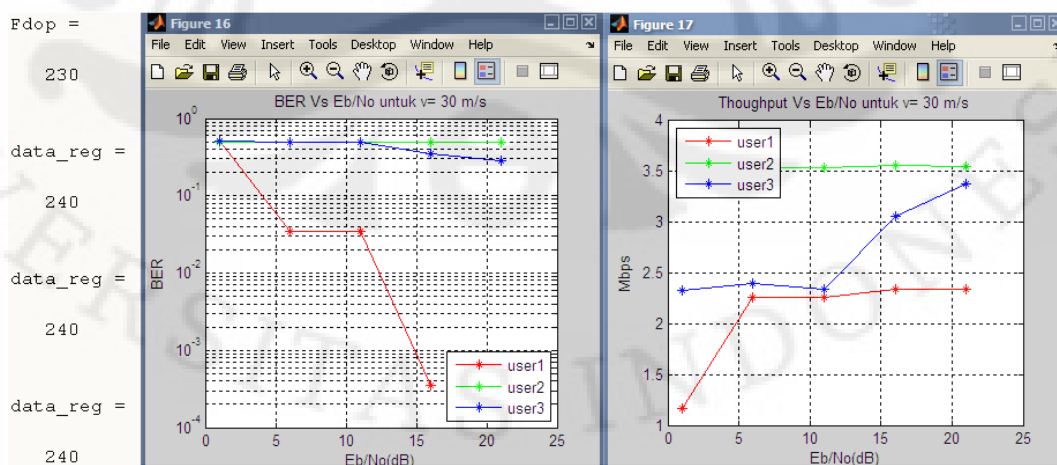
kanalnya kurang baik. Tetapi untuk penggunaan frekuensi 2,3 GHz, pada Gambar 4.16 terlihat perbaikan performa BER dan throughput, hal ini dikarenakan kanal doppler yang dialami frekuensi rendah lebih baik dibandingkan frekuensi yang lebih tinggi, yakni dengan pergeseran doppler sebesar 21Hz.

4.2.3 Kecepatan User, $v = 30$ m/s

Untuk kecepatan masing-masing user adalah $v = 30$ m/s, dengan mengalokasikan masing-masing user pada convolutional code yang sama (2/3) dan jumlah subcarrier yang sama banyak pula yakni $720 / 3 = 240$ subcarrier, dengan memvariasikan jenis modulasi setiap user, terlihat perbandingan Throughput dan grafik BER versus SNR seperti terlihat pada Gambar 4.17 dan Gambar 4.18:



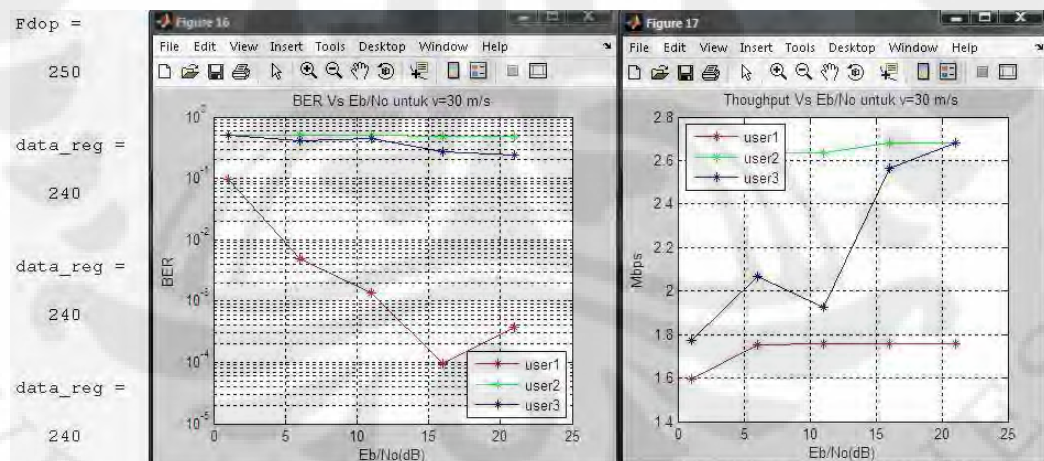
Gambar 4.17 Perbandingan SNR VS BER dan Throughput pada $v = 30$ m/s $ecc=2/3$, 2,5 GHz



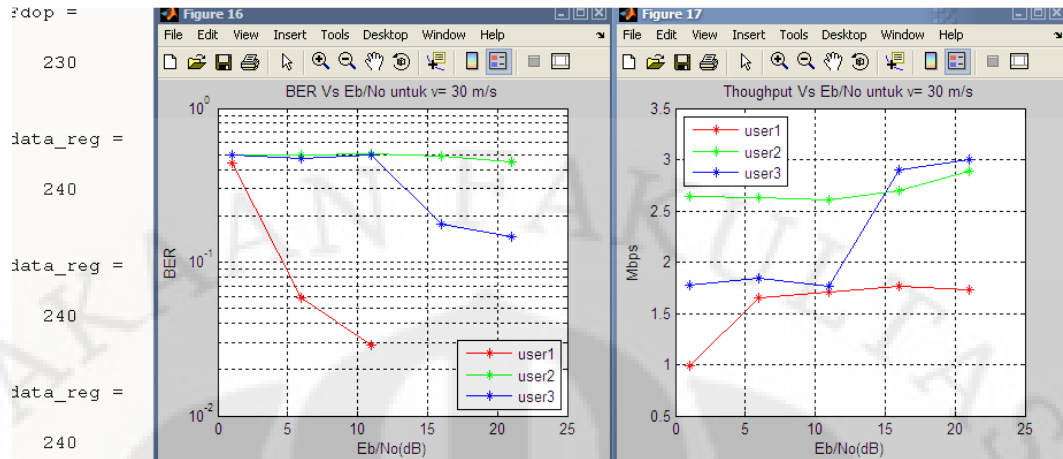
Gambar 4. 18 Perbandingan SNR VS BER dan Throughput pada $v = 30$ m/s $ecc=2/3$, 2,3 GHz

Pada kondisi seperti ini, yang berperan adalah kanal AWGN dan multipath dengan efek pergeseran frekuensi dopler sebesar 250Hz dan 230Hz. User 1 menggunakan QPSK, User 2 menggunakan 64 QAM dan User 3 menggunakan 16 QAM. Tampak pada grafik BER-SNR Gambar 4.17, User 1 memiliki performa yang paling baik dari user lain dan throughput yang dihasilkan hanya mencapai sekitar 2,4 Mbps. Sedangkan User 2 dengan 64QAM mencapai 3,5 Mbps dan User 3 hanya mencapai 2,7 Mbps. Pada Gambar 4.18, User 1 dapat mencapai sekitar 2,4 Mbps, User 2 dengan 64QAM mencapai 3,5 Mbps dan User 3 dapat mencapai 3,4 Mbps.

Tampak bahwa dibandingkan dengan pergerakan user yang diam ($v = 0$ m/s) dan user yang bergerak dengan kecepatan 10Km/jam, performa BER semua user menurun, sehingga throughput yang dihasilkan menjadi rendah. Tetapi untuk User 1, hal ini tidak memberikan pengaruh yang berarti, nilai throughput maksimal yang dihasilkan tetap sama dengan user yang diam. Inilah satu kelebihan dari modulasi QPSK yang dipakai User 1, mampu tahan terhadap kondisi yang buruk baik SNR yang kecil maupun efek pergeseran dopler yang besar.



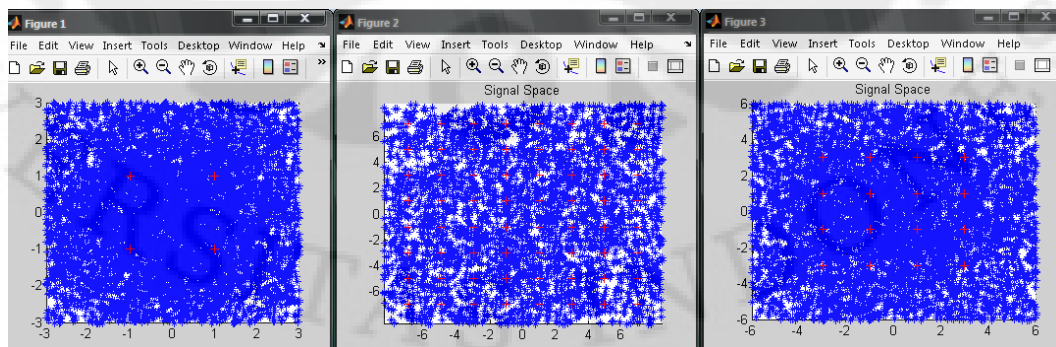
Gambar 4.19 Perbandingan SNR VS BER dan Throughput pada $v = 30$ m/s $\text{ecc}=1/2$, 2,5 GHz



Gambar 4. 20 Perbandingan SNR VS BER dan Throughput pada $v = 30$ m/s $\text{ecc}=1/2, 2,3$ GHz

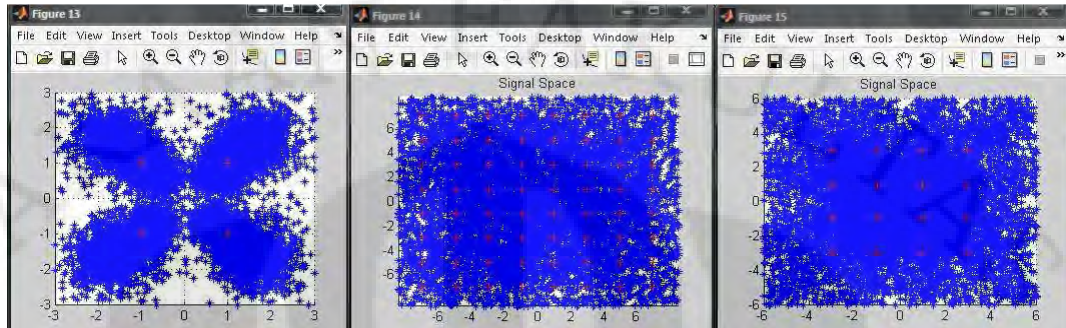
Jika dibandingkan dengan Gambar 4.17, Gambar 4.19 memperlihatkan perbaikan BER untuk User 1 dan User 3, yakni dengan turunnya kurva berwarna merah dan biru pada $\text{SNR}=16\text{dB}$. Sehingga throughput User 3 bisa menyamai throughput User 2, Begitu pula untuk Gambar 4.18 dan 4.20. Untuk Gambar 4.17 dengan 4.18, efek frekuensi 2,3 GHz adalah meningkatkan performa BER pada User 3 yakni 16QAM. Sama halnya dengan Gambar 4.20, nilai optimal yang didapatkan saat E_b/E_0 diatas 15dB adalah dengan menggunakan modulasi 16QAM.

Signal konstelasi masing-masing user dengan SNR yang rendah ($\text{SNR}=1\text{dB}$) baik dengan convolutional code 2/3 maupun 1/2 tidak jauh berbeda untuk user yang bergerak dengan kecepatan 30m/s. hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.21, tampak sinyal konstelasi untuk masing-masing user yang berbeda, karena memang ketiga user tersebut menggunakan jenis modulasi yang berbeda.



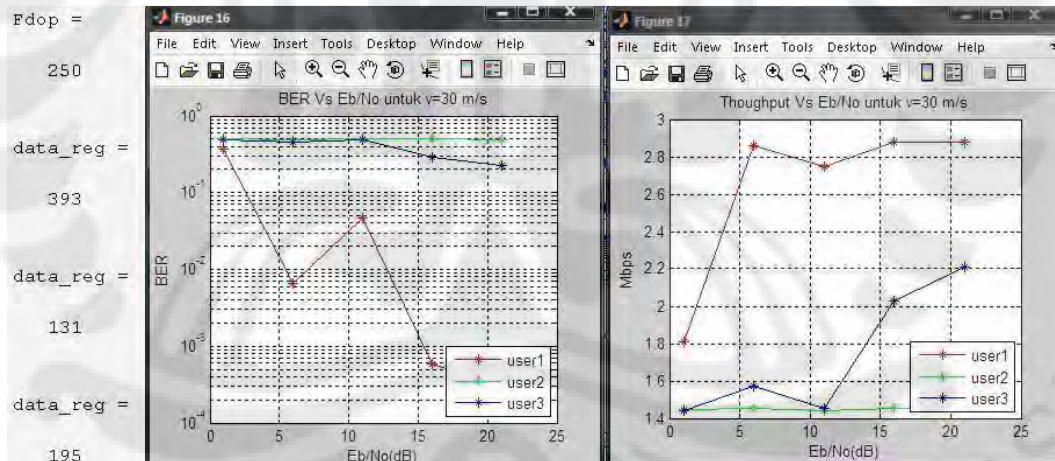
Gambar 4.21 Konstelasi dengan $\text{SNR}=1\text{dB}$ pada $v = 30$ m/s, 2,5 GHz

Berbeda dengan user diam dan user yang bergerak dengan kecepatan sedang, user yang bergerak dengan kecepatan tinggi akan menghadapi phase noise dari kanal multipath yang dilalui.

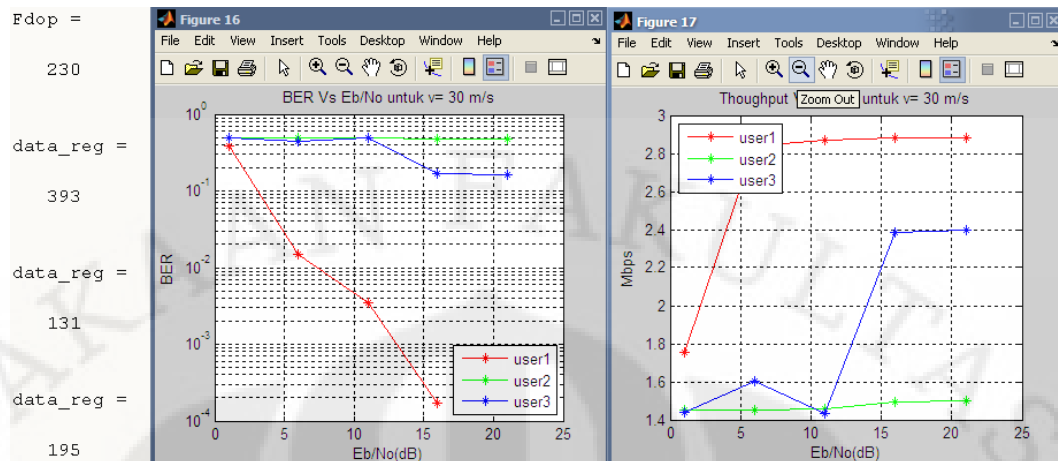


Gambar 4.22 Konstelasi dengan SNR=21dB pada $v = 30$ m/s, 2,5 GHz

Pada Gambar 4.22 titik konstelsi yang didapat berbeda dengan konstelasi pas user yang berkecepatan sedang. Titik konstelasi yang didapat tidak hanya memusat pada koordinat konstelasi tetapi juga agak melebar dibandingkan dengan Gambar 4.14. hal ini akan menyebabkan error yang terjadi akan semakin besar dari user dengan kecepatan 10Km/jam.



Gambar 4. 23 Alokasi subcarrier untuk permintaan throughput yang sama, $v=30$ m/s, 2,5 GHz



Gambar 4. 24 Alokasi subcarrier untuk permintaan throughput yang sama, $v=30$ m/s, 2,3 GHz

Pada Gambar 4.23, pengalokasian subcarrier berdasarkan permintaan throughput dari masing-masing user yakni sebesar 2,9 Mbps. Pada kondisi ini kanal yang dilalui masing masing user sangat buruk, hal ini dapat dilihat pada grafik BER-SNR. Karena grafik tersebut mencerminkan kondisi kanal yang dialami oleh user. Terlihat untuk grafik BER-SNR User 1 pada saat nilai SNR= 11dB mengalami frekuensi selective fading, sehingga titik nya menjadi naik, sedangkan user lainnya tidak. Akibat adanya frekuensi dopler, modulasi QAM tampak memiliki performa yang paling buruk saat menghadapi kondisi kanal seperti ini.

BAB 5

KESIMPULAN

Dari hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan, maka didapat beberapa kesimpulan yang berhubungan dengan performansi teknik 2x2 MIMO-OFDMA, di antaranya yaitu :

1. Perbaikan kualitas sinyal dan peningkatan performa serta efisiensi dapat diatasi dengan teknik AMC STBC-OFDMA
2. Pada kecepatan user diam, pengaruh error corection $\frac{1}{2}$ dibandingkan $\frac{2}{3}$ dapat meningkatkan performa BER-SNR : 1dB untuk QPSK, 6dB untuk 16QAM dan lebih dari 6dB untuk 64QAM
3. Pada kecepatan user diam, pengaruh error corection $\frac{1}{2}$ dibandingkan $\frac{2}{3}$ terhadap throughput adalah penurunan 25% untuk QPSK, penurunan 21,7% untuk 16QAM dan kenaikan 4% untuk 64QAM
4. Pada kecepatan User 2,7m/s, pengaruh error corection $\frac{1}{2}$ dibandingkan $\frac{2}{3}$ terhadap throughput adalah penurunan 25% untuk QPSK, penurunan 18,2% untuk 16QAM dan penurunan 19,4% untuk 64QAM
5. Pada kecepatan User 30m/s, pengaruh error corection $\frac{1}{2}$ dibandingkan $\frac{2}{3}$ terhadap throughput adalah penurunan 25% untuk QPSK, tetap untuk 16QAM dan penurunan 22,86% untuk 64QAM
6. Dengan pengalokasian datarete setiap user sesuai dengan yang diinginkan, saat $v=0$, QPSK membutuhkan SNR=4dB, 16QAM membutuhkan 14dB dan 64 QAM membutuhkan 17dB. Sedangkan untuk user bergerak hanya QPSK yang mampu memenuhi kebutuhan throughput dengan SNR kurang dari 21dB.
7. Penggunaan algoritma OFDMA untuk setiap user memudahkan dalam proses pemetaan alokasi resource. Sehingga sangat berpengaruh terhadap efisiensi resource subcarrier yang dapat digunakan dan throughput yang dialokasikan dari bandwidth yang terbatas.

8. Penggunaan frekuensi 2,3 GHz dapat meningkatkan performa BER dan throughput dari pada frekuensi 2,5GHz



REFERENSI

- [1] Parry, Richard. (2002). *Road To 3G*. IEEE Potentials. rparry@qualcomm.com
- [2] Usmani, Abdul Rehman. *WhyMax*. Whitepaper, <http://abdul.usmani.googlepages.com/USM-WhyMAX.pdf>
- [3] Fleurat, Frederic. (2004). *Wimax Technology Overview*. Lucent Technologies.
- [4] Yinman Lee. *WiMAX Physical Layer OFDMA and Multiple OFDMA and Multiple-Antenna Techniques*. Graduate Institute of Communication Engineering National Chi Nan University
- [5] *Sistem Keamanan Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)*. must_yamta@yahoo.com
- [6] Sayeed, Zulfiquar. (2005, Juni). *Bluetooth/Wi-Fi/Wimax Communications*. Lucent technologies
- [7] Kumar, Amitabh. (2008). *Mobile Broadcasting with WiMAX:Principles, Technology, and Applications*.
- [8] Mei 2009. <http://www.elektroindonesia.com/elektro/tel24.html>.
- [9] Puspito W.J, Sigit. (1999, Januari). *Mengenal Teknologi Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) pada Komunikasi Wireless*", Elektro Indonesia, Nomor 24, Tahun V,
- [10] Pavel Mach, Robert Bešák. *“Implementation of OFDM into Broadband Wireless Networks”* Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Electrical Engineering, Czech Technical University in Prague
- [11] Johan. (2008). *Perbandingan Bitrate Antara OFDM-TDMA Dengan OFDMA Pada Teknologi Wimax*. Departemen Teknik Elektro Universitas Sumatera Utara.
- [12] Guoqing Li , Hui Liu. *Downlink Radio Resource Allocation for Multi-cell OFDMA System*. Department of Electrical Engineering, University of Washington, Seattle.
- [13] Ki-Ho Lee, Dong-Ho Cho ,dkk. (2004). *Overlapped two-dimensional resource allocation scheme in OFDMA DL-MAP*. IEEE C802.16e-04/352r2.
- [14] Hamzah,Kamal. (2008). *Adaptive Modulation and Coding (AMC) Spatial Diversity MIMO-OFDM untuk Sistem Mobile Wimax*.Teknik Elektro Universitas Indonesia
- [15] *THE NON-ENGINEER’S INTRODUCTION TO MIMO AND MIMO-OFDM*. <http://www.mimo.ucla.edu>
- [16] white paper. (2007). *A Practical Guide to WiMAX Antennas*. motorola.
- [17] (2009, juni) <http://www.dsplog.com/2009/03/15/alamouti-stbc-2-receive-antenna/>
- [18] Onsy, Abdel Alim, Nemat Elboghdadly, Mahmoud M. Ashour, Azza M. Elaskary.(2008). *Simulation of Channel Estimation and Equalization for WiMAX PHY Layer in Simulink*.
- [19] Lawrey, Eric. (2001, Oktober). *The suitability of OFDM as a modulation technique for wireless telecommunications, with a CDMA comparison*, James Cook University.
- [20] Mai Tran, Angela Doufexi dan Andrew Nix (2008). *Mobile WiMAX MIMO Performance Analysis: Downlink and Uplink*. IEEE

LAMPIRAN

Source Code MIMO-OFDMA

```

%      bismillah      %
%%
%remove all variabel, screen and plotting
clear; clc; close all;
%% input parameter
jml_data_user1 = 14.3; % demand 14.3*200=2.86Mbps
jml_data_user2 = 14.3;
jml_data_user3 = 14.3;
modulasi_user1 = 1 ; %1=QPSK 2=16QAM 3=64QAM
modulasi_user2 = 3 ;
modulasi_user3 = 2 ;
ecc_user1 = 2; %1=2/3 2= 1/2 3=NO ECC
ecc_user2 = 2;
ecc_user3 = 2;
v = 0;

%% parameter OFDM
Nc = 1024; % total number of data subcarriers
Pilots = 120; % total number of Pilots
Nullsc = 184; % total number null carriers
Datasc = 720; % total number of data subchannels
GI = 12.5/100*48; % guard interval length => 6
Datasymp = 44; % total number of data OFDMAsymbols
Fc = 2.3e9; % 2.3 GHz
Fdop=round((Fc*v/3e8)) % dopler frequency shifting
tsymb=102.8e-6;

%% MIMO
R=2; % number of Rx antenna
T=2; % number of Tx antenna

%% input parameters:
user1 = randint (1,jml_data_user1*1200); % in Kbps
user2 = randint (1,jml_data_user2*1200);
user3 = randint (1,jml_data_user3*1200);
N_users=3;
pe=[]; err=[];

%% mapping message into data region for OFDMA FRAME
message=[];Amount_data_users = []; tb=4;
total_used_subcarrier=0;fch=[]; index_segment=0;
for i=1:N_users %proses begin from User 1
    if i==1
        Data_users=user1;
        modulasi=modulasi_user1 ;
        pilihanecc=ecc_user1;
    elseif i==2
        Data_users=user2;

```

```

        modulasi=modulasi_user2 ;
        pilihanecc=ecc_user2;
        elseif i==3
            Data_users=user3;
            modulasi=modulasi_user3 ;
            pilihanecc=ecc_user3;
        end
        %% parameter convolutional encoding
        if pilihanecc==1      %2/3 convolutional code
            trell1 = poly2trellis([5 4],[23 35 0;0 5 13]);
            coderate=3/2; fch_ecc=[-1 1];
            decdelay1=log2(trell1.numInputSymbols);
            code=convenc(Data_users,trell1); % Conv Coding
        elseif pilihanecc==2      %1/2 convolutional code
            trell2 = poly2trellis(7, [171 133]);
            coderate=2; fch_ecc=[1 -1];
            decdelay2=log2(trell2.numInputSymbols);
            code=convenc(Data_users,trell2);
        else
            code=Data_users; coderate=1;fch_ecc=[-1 -1];
        end

        if ( modulasi == 1)
            [Ich,Qch]=qpsk_map(code); % use QPSK mapping
            message=Ich+j*Qch; k=2;fch_m=[-1 1];
        elseif ( modulasi == 2)
            [qam_I,qam_Q]=qam16_map(code); % use 16-QAM mapping
            message=qam_I+j*qam_Q;k=4;fch_m=[1 -1];
        elseif ( modulasi == 3)
            [qam_I,qam_Q]=qam64_map(code); % use 64-QAM mapping
            message=qam_I+j*qam_Q; k=6;fch_m=[1 1];
        else
            message=code; k=1;fch_m=[-1 -1];
        end
        L = length (message);
        data_reg=ceil(L/Datasymbol)
        sisa=data_reg*Datasybol-L;
        zero_sisa=zeros(1,sisa); % matrnx baris
        message_k=message(1:(data_reg-1)*44);
        message_l=message(((data_reg-1)*44+1):L);
        message_m=[message_l zero_sisa];
        dataregion=[message_k message_m];
        dataregion=reshape(dataregion,Datasybol,[]);% final
data region of each user
        total_used_subcarrier=total_used_subcarrier+data_reg;
        L_bi=de2bi(L,15);
        Amount_data_users = [Amount_data_users L_bi]; % resume
of Amount data each user
        fch=[fch fch_m fch_ecc];
        index_segment=index_segment+data_reg;
        if i==1      % separate the result for each user
            dataregion1=dataregion;
        elseif i==2

```

```

        dataregion2=dataregion;
        elseif i==3
            dataregion3=dataregion;
        end
    end
end

%% creating ofdma frame
if (total_used_subcarrier)/Datasc > 1
    disp ('butuh frame lebih dari 1 ');%i'm sorry,..
else
    disp ('good = butuh 1 frame ');
    sisa_subcarrier=Datasc-index_segment;
    zero_sisa=zeros(sisa_subcarrier,Datasymbol);

data_region=[dataregion1;dataregion2;dataregion3;zero_sisa];
    %% insert preamble symbol dan FCH and DL-MAP serta
endOFrame
    preamble=-1*ones(Datasc,1);
    sisa=Datasc-length(fch)-length(Amount_data_users);
    FCH_DLMAP=[fch Amount_data_users zeros(1,sisa)];
    endofframe=zeros(Datasc,2);
    ofdma_frame=[preamble FCH_DLMAP data_region endofframe];
end
disp (index_segment)
%% insert pilot carrier
data_pilot=[];
pilot=ones(1,48);
for i=1:6:(Datasc)
    z=i+5;
    swap=[pilot;ofdma_frame(i:z,:)];
    data_pilot=[data_pilot;swap];
end

%% insert null carrier
nullcr=zeros(1,48);
data_pilot_nul=[];
for i=1:5:(Datasc+Pilots)
    z=i+4;
    swap=[data_pilot(i:z,);nullcr];
    data_pilot_nul=[data_pilot_nul;swap];
end
nullcr=zeros(8,48);
data_pilot_null=[nullcr;data_pilot_nul>nullcr];

%% O-STBC
stbc1=[];stbc2=[];
for i=1:2:48
    t1=data_pilot_null(:,i);
    t2=data_pilot_null(:,i+1);
    ant1=[t1 -(conj(t2))];    %[t1 -t2*]
    ant2=[t2 conj(t1)];      %[t2 t1*]
    stbc1=[stbc1 ant1];
    stbc2=[stbc2 ant2];
end

```

```

end
for i=1:48 %ifft process
    stbcifft1(:,i)=ifft(stbc1(:,i),1024);
    stbcifft2(:,i)=ifft(stbc2(:,i),1024);
end
%% transmute to Tx antenna
% insert guard interfal (in time domain)
tx1=[stbcifft1(:,48-GI+1:end) stbcifft1];
tx2=[stbcifft2(:,48-GI+1:end) stbcifft2];

%% channel MIMO + NOISE + fading
ch = rayleighchan(tsymb,Fdop,1e-7*[0 0.2 0.4],[-3.98 -3.01
0]);
ch.ResetBeforeFiltering = 0; faded_sig1=[];fadedsig2=[];
tessnr=0;
for snr=1:5:21
    tessnr=tessnr+1;
    H=crandn(R,T); %% random channel matriks H MIMO
    rx1=[];rx2=[];
    for i=1:54 % transmute from first time slot
        out=H*[tx1(:,i)';tx2(:,i)']; % kanal MIMO (rx=H*tx)
        rx=awgn(out,snr,'measured'); % noise AWGN
        xrx=rx(:);
        fad = abs(filter(ch, ones(size(xrx))));
        fadedSig = fad.*xrx; % fading propagation
        faded_Sig=reshape(fadedSig,2,[]);
        rx1(:,i)= faded_Sig(1,:);
        rx2(:,i)= faded_Sig(2,:);
    end

    %% channel estimation
    recv=[rx1(:,GI+1)';rx2(:,GI+1)'];
    preamble=[tx1(:,GI+1)';tx2(:,GI+1)'];
    h_est=recv*pinv(preamble);

    %% receiver antenna
    gistbc1x=[];gistbc2x=[];
    for i=1:54
        recsu=inv(h_est)*[rx1(:,i)';rx2(:,i)'];
        gistbc1x(:,i) = recsu(1,:);
        gistbc2x(:,i) = recsu(2,:);
    end

    %% remove GI
    stbcifft1x=gistbc1x(:,GI+1:end); %1024 x 48
    stbcifft2x=gistbc2x(:,GI+1:end); %good
    ant1x=[];ant2x=[];
    for i=1:48
        stbc1x=fft(stbcifft1x(:,i),1024);
        stbc2x=fft(stbcifft2x(:,i),1024);
        ant1x(:,i)= stbc1x;
        ant2x(:,i)= stbc2x;
    end
end

```

```

%% alamouti STBC decoder
t1xx=[];t2xx=[];
for i=1:2:48 % in Rx antenna :
    t1x=[ant1x(:,i) -conj(ant1x(:,i+1))]; % Rx1=[t1x -t2x*]
    t1xx=[t1xx t1x];
    t2x=[conj(ant2x(:,i+1)) ant2x(:,i)]; % Rx2=[t2x* t2*]
    t2xx=[t2xx t2x];
end
frame_x=0.5*(t1xx+t2xx);

%% remove null carriers
data_pilot_nulx=frame_x(9:(Nc-8),:);
data_pilotx=[];
for i=1:6:(Nc-(2*8))
    z=i+4;
    swap = data_pilot_nulx(i:z,:);
    data_pilotx=[data_pilotx;swap];
end

%% remove pilot carriers
datax=[];
for i=1:7:(Datasc+Pilots)
    z=i+6;
    swap = data_pilotx((i+1):z,:);
    datax=[datax;swap]; % =>720 x 48
end

%% remove Preamble, FCH, DL MAP, End of frame
data_only=datax(:,3:48-2); % =>720 x 44

%% separate the data region for each user
mulai=1;batas=0;zx=[];
b1=Amount_data_users(:);
b1=reshape(b1,15,[]);
b1=b1';Amount_data_usersx=bi2de(b1);
for i=1:N_users % user1 first
    if i==1
        modulasi=modulasi_user1;
        pilihanecc=ecc_user1;
    elseif i==2
        modulasi=modulasi_user2;
        pilihanecc=ecc_user2;
    elseif i==3
        modulasi=modulasi_user3;
        pilihanecc=ecc_user3;
    end
    L=Amount_data_usersx(i);
    data_reg=ceil(L/Datasymbol);
    zx=[zx data_reg];
    batas=mulai+data_reg-1;
    message=data_only(mulai:batas,:);
    message_k=reshape(message',1,[]);

```

```

messageuser=message_k(1:L);
mulai=batas+1;
buff_I=real(messageuser);
buff_Q=imag(messageuser);
%% demodulation and plotting
figure ; %ada 3*jml_snr:> 1-3 for small snr
if modulasi==1
    signal1_space(buff_I,buff_Q,1);
    output=detector_qpsk(buff_I,buff_Q);
elseif modulasi==2
    signal2_space(buff_I,buff_Q,1);
    output=detector_16qam(buff_I,buff_Q,1);
elseif modulasi==3
    signal3_space(buff_I,buff_Q,1);
    output=detector_64qam(buff_I,buff_Q,1);
else
    output=messageuser;
end

if pilihanecc==1
    dummy=ones(1,(decdelay1+1)*tb); % conv decoding 2/3
    output=[output dummy]; % repair dellay Viterbi Algth
    decoded = vitdec(output,trell1,tb,'cont','hard');
    decdelay=tb*decdelay1;
    decodedx=decoded(decdelay+1:end);
elseif pilihanecc==2
    dummy=ones(1,(decdelay2+1)*tb); % conv decoding 1/2
    output=[output dummy]; % repair dellay Viterbi Algth
    decoded = vitdec(output,trel2,tb,'cont','hard');
    decdelay=tb*decdelay2;
    decodedx=decoded(decdelay+1:end);
else
    decodedx=output;
end

if i==1 % measure the error probability
    [err(i,tessnr) pe(i,tessnr)]=biterr(user1(1:end-
    decdelay),decodedx(1:end-decdelay));
    decodedx1=decodedx;
elseif i==2
    [err(i,tessnr) pe(i,tessnr)]=biterr(user2(1:end-
    decdelay),decodedx(1:end-decdelay));
    decodedx2=decodedx;
elseif i==3
    [err(i,tessnr) pe(i,tessnr)]=biterr(user3(1:end-
    decdelay),decodedx(1:end-decdelay));
    decodedx3=decodedx;
end
kapkanal(i,tessnr)=kapasitaskanal(snr,R,T,L,h_est);
end
totkap1(tessnr)=(1/48)*sum(kapkanal(1,:));

end %for snr =: ,...

```

```

%% plot BER vs SNR
a=[1:5:21];
figure
semilogy((a),pe(1,:), '-*r');hold on;
semilogy((a),pe(2,:), '-*g');
semilogy((a),pe(3,:), '-*b');
xlabel('Eb/No(dB)');
ylabel('BER');
title('BER Vs Eb/No untuk v=30 m/s');
h = legend('user1', 'user2', 'user3', 4);
set(h, 'Interpreter', 'none');
grid on;

%% plot throughput
throughput 1=jml_data_user1*200/1000*(1-pe(1,:));
throughput 2=jml_data_user2*200/1000*(1-pe(2,:));
throughput 3=jml_data_user3*200/1000*(1-pe(3,:));
figure;
plot((a),throughput 1, '-*r');hold on;
plot((a),throughput 2, '-*g');
plot((a),throughput 3, '-*b');
xlabel('Eb/No(dB)');
ylabel('Mbps');
title('Throughput Vs Eb/No untuk v=30 m/s');
h = legend('user1', 'user2', 'user3', 2);
set(h, 'Interpreter', 'none');
grid on;

```

MODULASI

QPSK

```

function [Ich,Qch]=qpsk_map(bit_source)
len=length(bit_source);
block=floor(len/2);

for i=1:block
    if(bit_source(2*i-1)==0 && bit_source(2*i)==0)
        qam_symbol(i)=1+j;
    elseif(bit_source(2*i-1)==0 && bit_source(2*i)==1)
        qam_symbol(i)=1-j;
    elseif(bit_source(2*i-1)==1 && bit_source(2*i)==0)
        qam_symbol(i)=-1+j;
    elseif(bit_source(2*i-1)==1 && bit_source(2*i)==1)
        qam_symbol(i)=-1-j;
    end
end
Ich=real(qam_symbol)/sqrt(2);
Qch=imag(qam_symbol)/sqrt(2);

```

16 QAM

```

function [qam_I,qam_Q]=qam16_map(bit_source)
len=length(bit_source);

```



```

block=floor(len/4);
bit_source=bit_source(1:4*block);
bit_matrix=reshape(bit_source,2,[]);
for i=1:block*2
    b(:,i)=bit_matrix(:,i);
    if(b(:,i)==[0;0])
        qam_symbol(i)=-3;
    elseif(b(:,i)==[0;1])
        qam_symbol(i)=-1;
    elseif(b(:,i)==[1;1])
        qam_symbol(i)=1;
    elseif(b(:,i)==[1;0])
        qam_symbol(i)=3;
    end
end
qam_I=qam_symbol(1:2:end)/sqrt(10);
qam_Q=qam_symbol(2:2:end)/sqrt(10);

```

64 QAM

```

function [qam_I,qam_Q]=qam64_map(bit_source)
len=length(bit_source);
block=floor(len/6);
aa=((2^2+2^2)+(6^2+6^2)+(10^2+10^2)+(14^2+14^2)+2*(2^2+6^2)+
2*(10^2+6^2)+2*(14^2+10^2)+2*(10^2+2^2)+2*(14^2+6^2)+2*(14^2
+2^2))/16;

bit_source=bit_source(1:6*block);
bit_matrix=reshape(bit_source,3,[]);

for i=1:block*2
    b(:,i)=bit_matrix(:,i);
    if(b(:,i)==[0;0;0])
        qam_symbol(i)=-14;
    elseif(b(:,i)==[0;0;1])
        qam_symbol(i)=-10;
    elseif(b(:,i)==[0;1;0])
        qam_symbol(i)=-6;
    elseif(b(:,i)==[0;1;1])
        qam_symbol(i)=-2;
    elseif(b(:,i)==[1;1;1])
        qam_symbol(i)=2;
    elseif(b(:,i)==[1;1;0])
        qam_symbol(i)=6;
    elseif(b(:,i)==[1;0;1])
        qam_symbol(i)=10;
    elseif(b(:,i)==[1;0;0])
        qam_symbol(i)=14;
    end
end
qam_I=qam_symbol(1:2:end)/sqrt(aa);
qam_Q=qam_symbol(2:2:end)/sqrt(aa);

```

DEMODULATOR

QPSK

```

function b_hat=detector_qpsk(I,Q);
len=length(I);
b_hat=zeros(1,2*len);
for k=1:len
    if(I(k)<=0)
        b_hat(2*k-1)=1;
    end
    if(Q(k)<=0)
        b_hat(2*k)=1;
    end
end
end

```

16 QAM

```

function b_hat=detector_16qam(I,Q,power_h);
len=length(I);
b_hat=zeros(1,4*len);
symbol_power=((1^2+1^2)+(1^2+3^2)+(1^2+3^2)+(3^2+3^2))/4;

i=1;
for k=1:len
    if(I(k)>=0)
        b_hat(i)=1;
        if(I(k)*sqrt(symbol_power)<=2*power_h)
            b_hat(i+1)=1;
        end
    else
        if(I(k)*sqrt(symbol_power)>=2*power_h)
            b_hat(i+1)=1;
        end
    end
    if(Q(k)>=0)
        b_hat(i+2)=1;
        if(Q(k)*sqrt(symbol_power)<2*power_h)
            b_hat(i+3)=1;
        end
    else
        if(Q(k)*sqrt(symbol_power)>=2*power_h)
            b_hat(i+3)=1;
        end
    end
    i=i+4;
end
end

```

64 QAM

```

function b_hat=detector_64qam(I,Q,power_h)
len=length(I);
b_hat=zeros(1,6*len);
aa=((2^2+2^2)+(6^2+6^2)+(10^2+10^2)+(14^2+14^2)+2*(2^2+6^2)+
2*(10^2+6^2)+2*(14^2+10^2)+2*(10^2+2^2)+2*(14^2+6^2)+2*(14^2
+2^2))/16;
symbol_power=aa;
i=1;

```

```

for k=1:len
    if(I(k)>=0)
        b_hat(i)=1;
        if(I(k)*sqrt(symbol_power)<=8*power_h)
            b_hat(i+1)=1;
            if(I(k)*sqrt(symbol_power)<=4*power_h)
                b_hat(i+2)=1;
            end
        else
            if(I(k)*sqrt(symbol_power)<=12*power_h)
                b_hat(i+2)=1;
            end
        end
    else
        if (I(k)*sqrt(symbol_power)>-8*power_h)
            b_hat(i+1)=1;
            if(I(k)*sqrt(symbol_power)>-4*power_h)
                b_hat(i+2)=1;
            end
        else
            if(I(k)*sqrt(symbol_power)>(-12)*power_h)
                b_hat(i+2)=1;
            end
        end
    end
    if(Q(k)>=0)
        b_hat(i+3)=1;
        if(Q(k)*sqrt(symbol_power)<=8*power_h)
            b_hat(i+4)=1;
            if(Q(k)*sqrt(symbol_power)<=4*power_h)
                b_hat(i+5)=1;
            end
        else
            if(Q(k)*sqrt(symbol_power)<=12*power_h)
                b_hat(i+5)=1;
            end
        end
    else
        if(Q(k)*sqrt(symbol_power)>-8*power_h)
            b_hat(i+4)=1;
            if(Q(k)*sqrt(symbol_power)>-4*power_h)
                b_hat(i+5)=1;
            end
        else
            if(Q(k)*sqrt(symbol_power)>(-12)*power_h)
                b_hat(i+5)=1;
            end
        end
    end
    end
    i=i+6;
end

```

PLOTTING KONSTELASI

QPSK

```
function signal1_space(Ich,Qch,power_h)
%plot the signal space of demodulated data
hold on

len_data=length(Ich);
correct_sig_x=[-1,-1,1,1];
correct_sig_y=[-1,1,-1,1];

x=Ich*sqrt(2);% because the symbol is normalized
y=Qch*sqrt(2);

axis([-3 3 -3 3])

plot(x/power_h,y/power_h,'*b');
plot(correct_sig_x,correct_sig_y,'r+');
%title('Signal Space');
grid on;
drawnow;
```

16 QAM

```
function signal2_space(Ich,Qch,power_h)
%plot the signal space of demodulated data
%done!
hold on

len_data=length(Ich);
correct_sig_x=[-3,-3,-3,-3,-1,-1,-1,-1,1,1,1,1,3,3,3,3];
correct_sig_y=[-3,-1,1,3,-3,-1,1,3,-3,-1,1,3,-3,-1,1,3];

x=Ich*sqrt(10);% because the symbol is normalized
y=Qch*sqrt(10);

axis([-6 6 -6 6])

plot(x/power_h,y/power_h,'*b')
plot(correct_sig_x,correct_sig_y,'r+')
title('Signal Space')
grid on
drawnow
```

64 QAM

```
function signal3_space(Ich,Qch,power_h)
%plot the signal space of demodulated data
hold on

len_data=length(Ich);
correct_sig_x=[-14,-14,-14,-14,-14,-14,-14,-14,-10,-10,-10,-10,-10,-10,-10,-10,-6,-6,-6,-6,-6,-6,-6,-6,-2,-2,-2,-2,-2,-2,-2,-2,...
2,2,2,2,2,2,2,2,6,6,6,6,6,6,6,6,10,10,10,10,10,10,10,10,14,14,14,14,14,14];
```

```

correct_sig_y=[-14,-10,-6,-2,2,6,10,14,-14,-10,-6,-
2,2,6,10,14,-14,-10,-6,-2,2,6,10,14,-14,-10,-6,-
2,2,6,10,14,-14,-10,-6,-2,2,6,10,14,...
-14,-10,-6,-2,2,6,10,14,-14,-10,-6,-2,2,6,10,14,-14,-
10,-6,-2,2,6,10,14];

x=Ich*sqrt(168);% because the symbol is normalized
y=Qch*sqrt(168);

axis([-17 17 -17 17])
plot(x/power_h,y/power_h,'*b')
plot(correct_sig_x,correct_sig_y,'r+')
set(gca,'XTick',-12:4:12)
set(gca,'XTickLabel',{'-6','-4','-2','0','2','4','6',})
set(gca,'YTick',-12:4:12)
set(gca,'YTickLabel',{'-6','-4','-2','0','2','4','6',})
title('Signal Space')
grid on
drawnow

```

