



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**SIMULASI DAN ANALISIS TRANSMISI MULTIHOP  
MOBILE WIMAX DENGAN METODE HYBRID**

**SKRIPSI**

**TAUFIQ NUGROHO**

**040503077X**

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



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**SIMULASI DAN ANALISIS TRANSMISI MULTIHOP  
MOBILE WIMAX DENGAN METODE HYBRID**

**SKRIPSI**

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

**TAUFIQ NUGROHO**

**040503077X**

**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 : Taufiq Nugroho  
NPM : 040503077X  
Tanda Tangan :  
Tanggal : 13 Juli 2009

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Taufiq Nugroho  
NPM : 040503077X  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Simulasi dan Analisis Transmisi Multihop Mobile  
WiMAX dengan Metode Hybrid

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

## DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Muhammad Asvial M.Eng. (.....)

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

Penguji : Dr. Fitri Yuli Zulkifli S.T., M.Sc. (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 13 Juli 2009

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis 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. Penulis 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 yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

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

Depok, Juli 2009

Penulis

## ABSTRAK

Nama : Taufiq Nugroho  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul : Simulasi dan Analisis Transmisi Multihop Mobile WiMAX dengan Metode Hybrid

Skripsi ini membahas tentang penggunaan Relay Station untuk transmisi downlink Mobile WiMAX dengan menggunakan metode hybrid, yaitu metode transmisi yang menggunakan tiga buah transmisi. Ketiga transmisi tersebut yaitu dua buah transmisi yang melewati Relay Station terlebih dahulu baru ke receiver dan satu buah transmisi langsung dari pengirim ke penerima. Pada Relay Station ada dua kondisi yang berlaku, yaitu Decode and Forward (DF) dan Amplify and Forward (AF). Dua kondisi inilah yang nantinya akan dibandingkan dalam simulasi sehingga dapat diketahui performansi sistem WiMAX apabila menggunakan Relay Station sebagai media peningkatan kualitas layanan.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa ketika *Relay Station* dalam mode *forwarding Amplify and Forward (AF)* akan memperoleh BER yang kecil sehingga *throughput* besar dan merupakan performansi yang terbaik. Ketika masing-masing *Relay Station* diatur agar menggunakan *mode forwarding* yang berbeda, misalnya AF pada *Relay Station 1* dan DF pada *Relay Station 2* atau sebaliknya akan memperoleh hasil yang sama. Sedangkan ketika kedua *Relay Station* diatur untuk menggunakan *mode forwarding Decode and Forward (DF)*, maka BER yang dihasilkan besar dan *throughputnya* pun kecil, kondisi ini merupakan yang terburuk.

Kata kunci : Multihop Mobile WiMAX, Relay Station, metode hybrid

## ABSTRACT

Name : Taufiq Nugroho  
Study Program : Electrical Engineering  
Title : Simulation and Analysis of Multihop Mobile WiMAX  
Transmission with Hybrid Method

This minithesis examine the use of Relay Station for Mobile WiMAX downlink transmission by using the hybrid method – the transmission method that uses three transmission. All of the three transmission is the two transmission through the Relay Station first before to the receiver and one transmission from the transmitter directly to the receiver. At the Relay Station there are two conditions that apply, the Decode and Forward (DF) and Amplify and Forward (AF). These two conditions will be compared in the simulation so that the WiMAX system performance when using the Relay Station as media that improving the quality of services can be known.

The results of this simulation show that when both Relay Station in Amplify and Forward (AF) forwarding mode, they will yield low BER so that the throughput will high and this state is the best performance. When both of Relay Station are arranged to activate different forwarding mode, for example AF in Relay Station 1 and DF in Relay Station 2 or the other way, they will yield the same results. When both of Relay Station are arranged to activate Decode and Forward (DF) forwarding mode, BER will high and throughput will low, this condition is the worst.

Keyword : Multihop Mobile WiMAX, Relay Station, hybrid method

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

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

Nama : Taufiq Nugroho  
NPM : 040503077X  
Program studi : S1 Reguler Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

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

“Simulasi dan Analisis Transmisi Multihop Mobile WiMAX dengan Metode Hybrid”

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 13 Juli 2009

Yang menyatakan

( Taufiq Nugroho )



2.2.2 Transmisi OFDM .....	10
2.2.3 Prinsip Dasar Penggunaan Operator IFFT .....	11
2.2.4 Pertimbangan Domain Waktu OFDM .....	12
2.2.5 Pertimbangan Domain Frekuensi OFDM .....	13
2.2.6 Parameter Simbol OFDM dan Beberapa Perhitungan Sederhana ..	14
2.2.6.1 Duration Simbol OFDM .....	15
2.2.6.2 Nilai Data Rate .....	15
2.2.6.3 Peak-to-Average Power Ratio (PAPR).....	16
2.2.7 Rantai Transmisi PHY 802.16 .....	16
2.2.8 TDD dan FDD.....	17
2.2.9 Adaptive Antenna System (AAS).....	17
2.2.10 Teknologi <i>Smart Antenna</i> .....	18
2.2.11 Multiple-Input Multiple-Output (MIMO).....	18
2.2.11.1 MIMO Matrix A : Mobile Robustness .....	21
2.2.11.2 MIMO Matrix B : Doubling Capacity.....	23
2.2.12 AMC (Advanced Modulation and Coding) .....	24
2.3 Multihop Mobile WiMAX.....	25
2.3.1 Arsitektur Dasar IEEE802.16j .....	26
2.4 Relay Station.....	27
2.4.1 Stationary relay station .....	27
2.4.2 Mobile Relay Station .....	27
2.4.3 Macam-macam Relay Station .....	28
2.4.3.1 Centralized and decentralized relays .....	28
2.4.3.2 Transparent dan Non-transparent Relay .....	29
2.4.3.3 In-band dan out-of-band relay .....	33
2.4.3.4 Decode and Forward atau Amplify and Forward.....	33
2.4.4 Metode Hybrid Forwarding .....	34
BAB 3 Perancangan Simulasi.....	38
3.1 Gambaran Umum Simulasi.....	38
3.2 Perancangan Simulasi .....	39
3.2.1 Transmitter.....	39
3.2.1.1 Source .....	39

3.2.1.2 FEC dan Modulator Bank .....	40
3.2.1.3 IFFT Input Packing .....	43
3.2.1.4 Space Time Diversity Encoder .....	44
3.2.1.5 OFDM Transmitter .....	46
3.2.2 Channel .....	47
3.2.2.1 AWGN .....	47
3.2.2.2 Multipath Rayleigh .....	48
3.2.3 Relay Station .....	48
3.2.4 Receiver .....	49
3.2.4.1 OFDM Receiver .....	50
3.2.4.2 Space Time Diversity Combiner .....	51
3.2.4.3 Extract Data Carrier .....	52
3.2.4.4 Demodulator dan FEC Bank .....	52
BAB 4 Analisis dan Hasil Simulasi .....	55
4.1 Kinerja Sistem Ketika RS1 dan RS2 Mengaktifkan AF .....	55
4.2 Kinerja Sistem Ketika AF Aktif pada RS1 dan DF Aktif pada RS2 .....	58
4.3 Kinerja Sistem Ketika DF Aktif pada RS1 dan AF Aktif pada RS2 .....	60
4.4 Kinerja Sistem Ketika RS1 dan RS2 Mengaktifkan DF .....	63
BAB 5 Kesimpulan .....	67
REFERENSI .....	68
DAFTAR PUSTAKA .....	70
LAMPIRAN Blok Simulasi .....	71

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Nilai fasa dari modulasi QPSK.....	9
Tabel 2.2	Data rate OFDM PHY dalam Mbps.....	15
Tabel 2.3	Perbandingan tipe Relay Station.....	32
Tabel 3.1	Ukuran blok dan coding rate.....	41
Tabel 3.2	Nilai Cm.....	42
Tabel 3.3	Nilai As.....	42
Tabel 3.4	Mode AMC yang digunakan.....	54

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Arsitektur Mobile WiMAX.....	6
Gambar 2.2	Prinsip Modulasi Digital .....	8
Gambar 2.3	Konstelasi BPSK .....	8
Gambar 2.4	Konstelasi QPSK.....	9
Gambar 2.5	Konstelasi 64-QAM .....	10
Gambar 2.6	Representasi waktu dan frekuensi dari SC dan OFDM. Dalam OFDM, $N$ data simbol ditransmisikan secara simultan pada $N$ orthogonal subcarriers.....	11
Gambar 2.7	Pembentukan sinyal OFDM.....	11
Gambar 2.8	Frekuensi subcarrier OFDM.....	12
Gambar 2.9	Pemasukkan Cyclic Prefix dalam simbol OFDM.....	13
Gambar 2.10	Tipe subcarrier OFDM WiMAX.....	14
Gambar 2.11	Rantai transmisi OFDM PHY.....	16
Gambar 2.12	Rantai transmisi OFDMA PHY.....	17
Gambar 2.13	Beam Forming.....	18
Gambar 2.14	Perbandingan sistem MIMO dengan system SISO, SIMO, dan SIMO.....	19
Gambar 2.15	Prinsip kerja MIMO.....	20
Gambar 2.16	Pembagian MIMO.....	20
Gambar 2.17	Prinsip kerja MIMO matrix A.....	21
Gambar 2.18	Prinsip kerja MIMO matrix B.....	24
Gambar 2.19	Pembagian daerah kerja pada AMC.....	25
Gambar 2.20	Arsitektur Dasar multihop network.....	26
Gambar 2.21	Multihop untuk memperluas coverage.....	27
Gambar 2.22	Berbagai penggunaan Relay station.....	28
Gambar 2.23	Non-transparent Relay station.....	29
Gambar 2.24	Struktur Frame Non-transparent Relay station.....	30
Gambar 2.25	Transparent Relay station.....	30
Gambar 2.26	Struktur Frame Transparent Relay station.....	31

Gambar 2.27	Transmisi metode hybrid.....	34
Gambar 2.28	Flow chart skema pemilihan AF atau DF.....	35
Gambar 3.1	Gambaran umum simulasi yang dibuat.....	38
Gambar 3.2	Bernoulli Binary Generator.....	40
Gambar 3.3	Proses encoding.....	40
Gambar 3.4	FEC dan Modulator Bank.....	43
Gambar 3.5	Blok IFFT dan input packing.....	44
Gambar 3.6	Blok STBC encoder.....	45
Gambar 3.7	Blok OFDM transmitter.....	47
Gambar 3.8	Blok AWGN channel.....	48
Gambar 3.9	Blok Multipath Rayleigh channel.....	48
Gambar 3.10	Blok Relay Station.....	49
Gambar 3.11	Proses yang terjadi pada receiver.....	50
Gambar 3.12	Blok OFDM receiver.....	51
Gambar 3.13	Blok Channel estimation and STBC combiner.....	51
Gambar 3.14	Blok extract data carrier.....	52
Gambar 3.15	Blok FEC dan Modulator bank.....	53
Gambar 4.1	SNR vs BER dengan RS1=RS1=AF.....	55
Gambar 4.2	SNR vs <i>Throughput</i> dengan RS1=RS2=AF.....	55
Gambar 4.3	Tx Constellation.....	57
Gambar 4.4	Rx-RS1 Constellation.....	57
Gambar 4.5	Tx-RS1DF Constellation.....	57
Gambar 4.6	Rx-RS2 Constellation.....	57
Gambar 4.7	Tx-RS2DF Constellation.....	57
Gambar 4.8	Rx Constellation.....	57
Gambar 4.9	SNR vs BER dengan RS1=AF dan RS2=DF.....	58
Gambar 4.10	SNR vs <i>Throughput</i> dengan RS1=AF dan RS2=DF.....	58
Gambar 4.11	Tx Constellation.....	59
Gambar 4.12	Rx-RS1 Constellation.....	59
Gambar 4.13	Tx-RS1DF Constellation.....	59
Gambar 4.14	Rx-RS2 Constellation.....	59
Gambar 4.15	Tx-RS2DF Constellation.....	60

Gambar 4.16	Rx Constellation.....	60
Gambar 4.17	SNR vs BER dengan RS1=DF dan RS2=AF.....	61
Gambar 4.18	SNR vs <i>Throughput</i> dengan RS1=DF dan RS2=AF.....	61
Gambar 4.19	Tx Constellation.....	62
Gambar 4.20	Rx-RS1 Constellation.....	62
Gambar 4.21	Tx-RS1DF Constellation.....	62
Gambar 4.22	Rx-RS2 Constellation.....	62
Gambar 4.23	Tx-RS2DF Constellation.....	62
Gambar 4.24	Rx Constellation.....	62
Gambar 4.25	SNR vs BER dengan RS1=RS2=DF.....	63
Gambar 4.26	SNR vs <i>Throughput</i> dengan RS1=RS2=DF.....	63
Gambar 4.27	Tx Constellation.....	65
Gambar 4.28	Rx-RS1 Constellation.....	65
Gambar 4.29	Tx-RS1DF Constellation.....	65
Gambar 4.30	Rx-RS2 Constellation.....	65
Gambar 4.31	Tx-RS2DF Constellation.....	65
Gambar 4.32	Rx Constellation.....	65

## DAFTAR SINGKATAN

AAA	Authentication, Authorization, and Accounting
AAS	Adaptive Antenna System
AF	Amplify and Forward
AMC	Adaptive Modulation and Coding
ASN	Access Service Network
ASN-GW	Access Service Network Gateway
AWGN	Additive White Gaussian Noise
BER	Bit Error Rate
BPSK	Binary Phase Shift Keying
BS	Base Station
BTS	Base Transceiver Station
CP	Cyclic Prefix
CSN	Connectivity Service Network
DF	Decode and Forward
DL	Downlink
$E_b/N_0$	Energy bit per Noise
ECC	Error Control Coding
FDD	Frequency Division Duplex
FDM	Frequency Division Multiplexing
FEC	Forward Error Correction
FFT	Fast Fourier Transform
GI	Guard Interval
GT	Guard Time
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
IP	Internet Protocol
MCS	Modulation and Coding Scheme
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MR-BS	Mobile Relay Base Station
MS	Mobile Station
NT-RS	Non-transparent Relay Station



OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access
PAPR	Peak to Average Power Ratio
PHY	Physical Layer
QAM	Quardrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quardrature Phase Shift Keying
RS	Relay Station
Rx	Receiver
SC	Single Carrier
SDMA	Spatial Division Multiple Access
SNR	Signal to Noise Ratio
SM	Spatial Multiplexing
SS	Subscriber Station
STBC	Space Time Block Coding
TDD	Time Division Duplex
T-RS	Transparent Relay Station
Tx	Transmitter

## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. LATAR BELAKANG**

Semakin besarnya kebutuhan akan telekomunikasi mendorong semakin pesat pula perkembangan teknologi telekomunikasi. Permintaan akan akses data yang cepat, murah dan berkualitas menjadi isu terpenting dalam perkembangan telekomunikasi.

Dewasa ini, teknologi telekomunikasi yang hebat sudah dikembangkan, yaitu WiMAX. Teknologi ini diyakini mampu menjawab kebutuhan konsumen yang amat besar dan dinamis. Namun, ternyata tidak sampai di situ saja teknologi ini ternyata masih terus berkembang. Perkembangan itu mulai dari *fixed*, *mobile*, dan kini yang akan penulis bahas adalah tentang *multihop mobile* WiMAX.

Penerapan *multihop mobile* WiMAX ini dilakukan dengan penambahan komponen tambahan pada WiMAX yang sebelumnya, yaitu *Relay Station*. Komponen ini dapat bertindak selayaknya *amplifier* maupun sebagai BTS. Penambahan *Relay Station* dalam sistem transmisi WiMAX dapat memberikan keuntungan, yaitu bertambahnya kapasitas dan bertambah luasnya *coverage*.

Penggunaan *Relay Station* di sini dengan menggunakan dua buah mode *forwarding*, yaitu *Amplify and Forward* (AF) dan *Decode and Forward* (DF). Mode ini diperkenalkan dalam *United States Patent Application Publication*. Pada *patent* ini dijelaskan mengenai skema pemilihan penggunaan mode *forwarding* AF dan DF.

Dalam mentransmisikan data, cara pentransmisi dengan bantuan *Relay Station* ini pun ada bermacam-macam. Salah satunya yaitu dengan menggunakan metode *hybrid*. Metode inilah yang akan disimulasikan dan dianalisis performansinya. Metode ini penulis ketahui dalam suatu presentasi yang dibawakan oleh Pusan National University. Belum ada sebelumnya yang mensimulasikan metode ini sehingga dipastikan simulasi dengan menggunakan metode ini adalah buatan sendiri.

Hasil dari simulasi ini menjelaskan bahwa metode *hybrid* dapat digunakan dalam mentransmisikan data dengan performa yang baik. Selain itu, mode *forwarding* pada masing-masing *Relay Station* sebaiknya berbeda atau kalau pun sama, hanya mode *forwarding Amplify and Forward (AF)* saja. Apabila mode *forwarding* yang digunakan pada masing-masing *Relay Station* sama, yaitu Decode and Forward (DF), maka sistem dipastikan akan memperoleh *loss* yang sangat besar, sesuai yang dijelaskan pada simulasi ini.

## 1.2. TUJUAN PENULISAN

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah untuk melakukan simulasi dan menganalisis transmisi *multihop mobile WiMAX* yang menggunakan metode *hybrid* dalam melakukan transmisi data.

## 1.3. BATASAN MASALAH

Pada skripsi ini, masalah yang dibahas dibatasi pada :

- Simulasi ini dibangun dengan menggunakan *simulink* pada software Matlab R2008a. Simulasi ini terdiri dari lima bagian utama yang terdiri dari *transmitter* utama (BTS), *channel1* yang terdiri dari AWGN channel, dua buah *relay station (RS)* yang masing-masing memiliki *transmitter* dan *receiver* sendiri, *channel2* yang terdiri dari *multipath Rayleigh channel* dan AWGN channel, dan *receiver* utama (MS).
- Simulasi ini hanya menunjukkan proses-proses yang terjadi pada *layer PHY (Physical Layer)* pada *downlink WiMAX*.
- Gangguan yang diberikan kepada simulasi ini hanya gangguan *multipath fading* dan *Additive White Gaussian Noise (AWGN)* yang diberikan pada *link* antara BS dengan RS, RS dengan MS, dan BS dengan MS.

## 1.4. SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan pada skripsi ini disusun sebagai berikut :

### **BAB 1** Pendahuluan

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

**BAB 2 Mobile WiMAX serta Penggunaan *Relay station***

Menjelaskan tentang Mobile WiMAX, parameter-parameter PHY dari Mobile WiMAX, *Multihop mobile* WiMAX, penggunaan *Relay station*, metode Hybrid, dan teori-teori lain yang mendukung simulasi.

**BAB 3 Perancangan Simulasi**

Memberikan penjelasan mengenai alur dari proses simulasi yang dibuat beserta parameter-parameter yang digunakan.

**BAB 4 Hasil dan Analisis Hasil Simulasi.**

Membahas mengenai hasil dan analisis yang dilakukan.

**BAB 5 Kesimpulan**

Merupakan penutup dan kesimpulan dari simulasi yang dilakukan.

## BAB 2

### MOBILE WiMAX DENGAN MENGGUNAKAN RELAY STATION

#### 2.1 Mobile WiMAX

*Mobile WiMAX* adalah sebuah solusi *broadband wireless* yang memungkinkan adanya konvergensi antara *mobile broadband network* dengan *fixed broadband network* melalui teknologi *wide area broadband radio access* dan *flexible network architecture*.

*Mobile WiMAX* berdasarkan pada 802.16-2004[1] and 802.16e-2005[2], yang saat ini dikombinasikan ke dalam satu dokumen. Standar ini mengkombinasikan layanan *fixed* and *mobile* ke dalam suatu arsitektur jaringan yang menyerupai suatu sistem selular di mana sebuah BTS dapat mendukung *terminal*, *portable*, dan *mobile*. Tidak seperti sistem selular yang ada, *mobile WiMAX* menggunakan sebuah protokol *backbone all internet protocol* (IP). Standar ini memasukkan sebuah OFDMA PHY dengan *sub-channelization* yang memungkinkan sumber waktu dan frekuensi dialokasikan secara dinamik antara banyak *user* melalui *sub-frame downlink* (DL) dan *uplink* (UL).

*Mobile WiMAX* (IEEE 802.16e-2005) merupakan pengembangan dari aplikasi *fixed wireless* dan memungkinkan aplikasi berbasis telepon selular untuk skala yang lebih besar. Sebagai contoh, *mobile WiMAX* memungkinkan *streaming* video untuk disiarkan dari suatu kendaraan yang sedang melaju dengan kecepatan lebih dari 70 mil per jam. Hal ini sangat potensial untuk menggantikan telepon selular dan layanan *mobile data* dari operator telepon selular seperti EvDo, EvDv, dan HSDPA. *Mobile WiMAX* memiliki nilai yang sangat penting untuk penggabungan layanan seperti *mobile TV* dengan *game online*.

##### 2.1.1 Fitur-fitur Mobile WiMAX

Sistem *Mobile WiMAX* menawarkan skalabilitas pada teknologi *radio access* dan arsitektur jaringan, sehingga dapat meningkatkan fleksibilitas dalam pilihan penyebaran jaringan dan penawaran layanan. Beberapa fitur[3] yang menonjol yang didukung *Mobile WiMAX*, antara lain:

- **High Data Rates:** Penggunaan teknik antenna MIMO bersamaan dengan skema *sub-channelization* yang fleksibel, *Advanced Modulation and Coding* (AMC), memungkinkan teknologi *Mobile WiMAX* untuk mendukung *peak DL data rates* hingga 63 Mbps *per sector* dan *peak UL data rates* hingga 28 Mbps *per sector* pada *channel* 10 MHz.
- **Quality of Service (QoS):** Dasar terpenting dari arsitektur MAC IEEE 802.16 adalah QoS, yang mendefinisikan *Service Flows*, yang dapat dipetakan ke *DiffServ code points* atau *MPLS flow labels* yang memungkinkan end-to-end IP berdasarkan QoS. Apalagi, *subchannelization* dan *MAP-based signaling schemes* menyediakan mekanisme yang fleksibel untuk mengoptimalkan spasi *scheduling*, frekuensi, dan *time resource* melalui *air interface* pada basis *frame-by-frame*.
- **Scalability:** Penggunaan sumber spektrum untuk *wireless broadband worldwide* berbeda-beda dalam pengalokasiannya. Oleh karena itu teknologi WiMAX dirancang agar mampu menskalakan untuk bekerja dalam *channel* yang berbeda dari 1.25 sampai 20 MHz untuk memenuhi beragam kebutuhan dari seluruh dunia sebagai usaha yang dilakukan untuk mencapai harmonisasi spektrum dalam jangka panjang. Ini juga memberikan ruang bagi berbagai tingkat ekonomi untuk menyadari keuntungan teknologi WiMAX yang multi-segi untuk kebutuhan geografis mereka yang spesifik seperti menyediakan akses internet yang terjangkau di daerah pedesaan atau meningkatkan kapasitas akses *mobile broadband* di daerah perkotaan.
- **Security:** Fitur yang tersedia untuk aspek keamanan *Mobile WiMAX* merupakan yang terbaik dengan *EAP-based authentication*, *AES-CCM-based authenticated encryption*, dan *CMAC* dan *HMAC based control message protection schemes*. Memberi dukungan pada beragam data pengguna yang bersifat pribadi, termasuk: kartu SIM/USIM, Smart Card, Sertifikat Digital, skema *Username/Password* berdasarkan relevansi metode EAP untuk tipe *credential*.

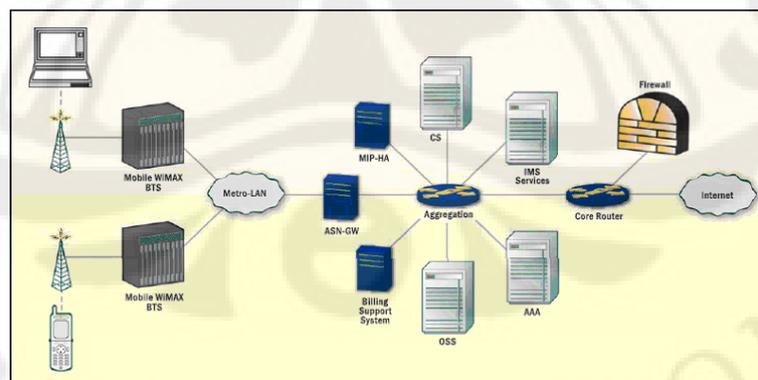
- **Mobility:** *Mobile WiMAX* mendukung pengoptimalisasian *handover schemes* dengan besar latensi kurang dari 50 ms untuk memastikan aplikasi *real-time* seperti VoIP berjalan tanpa adanya *service degradation*. *Flexible key management schemes* menjamin bahwa keamanan terjaga saat *handover*.

### 2.1.2 Komponen Dasar

Komponen *Mobile WiMAX* terdiri dari :

- *Mobile Station (MS)*
- *Access Service Network (ASN)*
  - *Base station (BS)*
  - *Access Network*
  - *Access Service Network Gateway (ASN-GW)*
- *Connectivity Service Network (CSN)*
  - *Authentication, Authorization, and Accounting (AAA)*
  - *Mobile IP-Home Agent (MIP-HA)*
  - *Operational Support System (OSS)*
  - *Gateway*

### 2.1.3 Arsitektur Mobile WiMAX



Gambar 2. 1 Arsitektur Mobile WiMAX

### 2.1.4 Kelebihan Jaringan *Mobile WiMAX*

Kelebihan jaringan *Mobile WiMAX* (IEEE.802.16e) antara lain :

- Pencapaian Superior (*Superior Performance*)
  - a. Mendukung mekanisme *handoff*, penyimpanan daya untuk *mobile device*, mengedepankan QoS & latensi rendah untuk aplikasi *real time*.
  - b. Menggunakan OFDMA sehingga kapasitas & *throughput* lebih tinggi, cocok untuk lingkungan LOS & NLOS.
- Fleksibilitas (*Flexibility*)
  - a. Spektrum merupakan sumber daya terbatas, sedangkan *Mobile WiMAX* dapat digunakan pada band frekuensi terlisensi.
  - b. WiMAX Forum menjamin perangkat yang digunakan pada band frekuensi.
  - c. Mengedepankan arsitektur berbasis IP (*Advance IP-based architecture*).
  - d. WiMAX memudahkan operator selular transisi hingga semua menjadi jaringan IP.
- Ekonomis (*Attractive Economics*)
 

WiMAX bertumbuh dalam pasar yang menuntut biaya rendah.

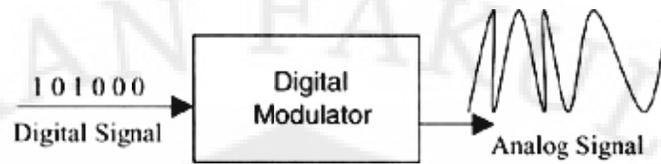
## 2.2 PHY Layer *Mobile WiMAX*

Tujuan dari PHY adalah transportasi data secara fisik. Beberapa teknologi digunakan untuk memaksimalkan performansi dari PHY, seperti *digital modulation*, OFDM, TDD dan FDD, dan *Adaptive Antenna System* (AAS).

### 2.2.1 Modulasi Digital

Sistem *Mobile WiMAX* menggunakan modulasi digital, yaitu memodulasikan sebuah sinyal analog dengan *digital sequence* untuk mentransportasikan *digital sequence* ini melalui medium yang diberikan, seperti fiber, *radio link*, dan lain-lain. Hal ini merupakan keuntungan yang besar dibandingkan dengan modulasi analog, yaitu lebih tahan terhadap *noise*,

menggunakan komunikasi digital *high-performance* dan algoritma *coding*, dan lain-lain.

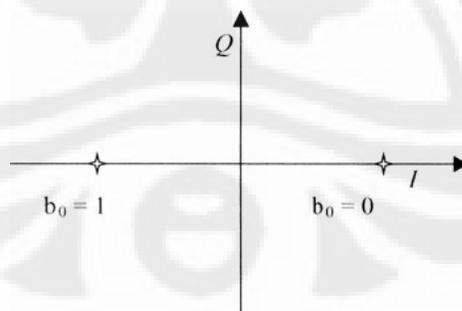


Gambar 2. 2 Prinsip Modulasi Digital

Banyak modulasi digital yang dapat digunakan dalam sistem telekomunikasi. Macam-macamnya diperoleh dengan mengatur karakteristik fisik dari *carrier* sinusoidal, frekuensi, fasa atau amplitude, atau kombinasinya. Dalam standar IEEE 802.16 ada empat modulasi yang mendukungnya, yaitu BPSK, QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM.

### 2.2.1.1 Binary Phase Shift Keying (BPSK)

BPSK adalah modulasi digital biner, satu simbol modulasi adalah satu bit. Hal ini memberikan imunitas yang tinggi terhadap noise dan interferensi serta merupakan modulasi digital yang sangat kuat (*robust*). Modulasi fasa digital, yang merupakan cakupan modulasi BPSK, menggunakan variasi fasa untuk melakukan *encode* bit, masing-masing simbol modulasi sama dengan satu fasa. Fasa dari sinyal termodulasi BPSK adalah  $\pi$  atau  $-\pi$  tergantung pada nilai dari bit data.

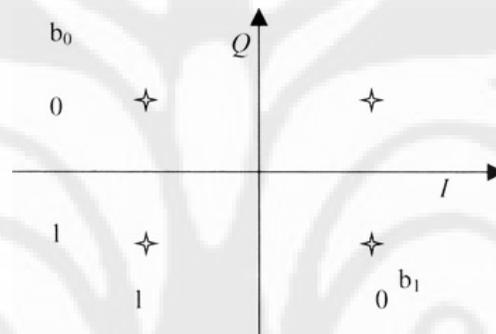


Gambar 2. 3 Konstelasi BPSK

### 2.2.1.2 Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

Ketika modulasi efisiensi spektral yang dibutuhkan lebih tinggi (butuh lebih b/s/HZ), maka simbol modulasi yang lebih tinggi dapat digunakan. Sebagai

contoh, QPSK menggunakan simbol modulasi dua bit. Banyak variasi QPSK yang dapat digunakan tapi QPSK selalu memiliki empat-poin konstelasi. Keputusan pada *receiver*, misalnya antara simbol '00' dan simbol '01', lebih sulit dibandingkan dengan keputusan antara '0' dan '1'. Oleh karena itu, modulasi QPSK kurang tahan terhadap *noise* dibandingkan dengan BPSK dan juga memiliki imunitas terhadap interferensi yang lebih kecil. Prinsip modulasi digital harus dijaga, yaitu 'A greater data symbol modulation is more spectrum efficient but also less robust.' (Modulasi simbol data yang lebih besar lebih efisiensi dalam spektrum tetapi lebih kurang kuat).



Gambar 2. 4 Konstelasi QPSK

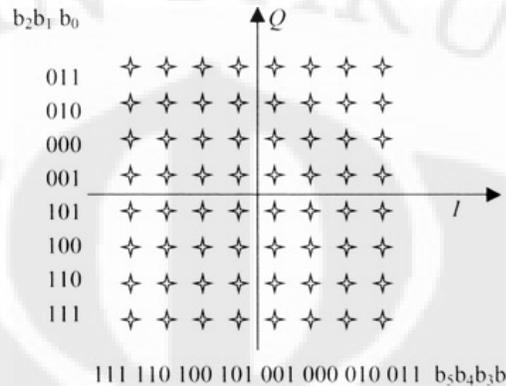
Tabel 2. 1 Nilai fasa dari modulasi QPSK

Even bits	Odd bits	Modulation simbol	$\phi_k$
0	0	00	$\pi/4$
1	0	01	$3\pi/4$
1	1	11	$5\pi/4$
0	1	10	$7\pi/4$

### 2.2.1.3 Quadrature Amplitude Modulation (QAM): 16-QAM and 64-QAM

QAM mengubah *amplitude* dari dua *carrier* sinusoidal tergantung pada digital *sequence* yang harus ditransmisikan; dua *carrier* tersebut di luar fasa  $+\pi/2$ , modulasi *amplitude* ini disebut *quadrature*. Pada teori komunikasi digital, QAM-4 dan QPSK merupakan modulasi yang sama (*considering complex data symbols*). Baik modulasi 16-QAM (4 bits/modulation simbol) maupun 64-QAM (6

bits/modulation simbol) termasuk ke dalam standar IEEE 802.16. Modulasi 64-QAM adalah modulasi yang paling efisien.



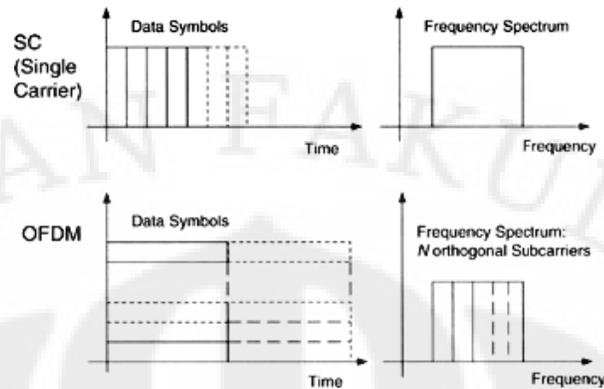
Gambar 2. 5 Konstelasi 64-QAM

Modulasi 64-QAM merupakan pilihan dalam beberapa kasus:

- *license-exempt bands*, ketika *physical layer* OFDM digunakan.
- untuk OFDMA PHY, juga profil *Mobile WiMAX* mengindikasikan bahwa 64-QAM adalah keharusan dalam *downlink*.

### 2.2.2 Transmisi OFDM

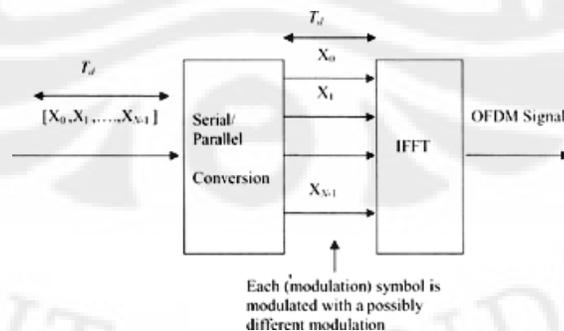
OFDM adalah teknik transmisi yang sangat kuat. OFDM berdasarkan prinsip transmisi secara simultan banyak frekuensi orthogonal *narrow-band*, sering juga disebut OFDM *subcarrier* atau *subcarrier*. Jumlah *subcarrier* sering dinyatakan dengan  $N$ . Frekuensi-frekuensi ini saling orthogonal satu sama lain yang (dalam teori) mengeliminasi interferensi antara *channel*. Masing-masing *channel* frekuensi dimodulasi dengan berbagai macam modulasi yang mungkin. Frekuensi *bandwidth* yang terkait dengan setiap *channel* ini akan jauh lebih kecil jika dibandingkan total *bandwidth* yang diduduki oleh satu modulasi. Hal ini dikenal sebagai *Single Carrier (SC)*. Sebuah waktu simbol data  $N$  kali lebih lama, dengan OFDM menyediakan resistansi *multipath* yang jauh lebih baik.



**Gambar 2. 6** Representasi waktu dan frekuensi dari SC dan OFDM. Dalam OFDM,  $N$  data simbol ditransmisikan secara simultan pada  $N$  orthogonal subcarriers.

### 2.2.3 Prinsip Dasar Penggunaan Operator IFFT

FFT atau operator *Fast Fourier Transform* adalah sebuah *matrix computation* yang memungkinkan *discrete Fourier transform* untuk dihitung (*while respecting certain conditions*). FFT bekerja untuk beberapa poin. Operasi lebih sederhana ketika diaplikasikan untuk sejumlah  $N$  yang memiliki *power 2* (misal  $N = 256$ ). IFFT adalah operator *Inverse Fast Fourier Transform* dan dikenal juga sebagai operasi *reverse FFT*. Teori OFDM menunjukkan bahwa *magnitude*  $N$  dari OFDM, yang diterapkan pada  $N$  simbol, menyatakan sebuah sinyal OFDM, di mana setiap simbol ditransmisikan pada satu  $N$  frekuensi *orthogonal*. Simbol adalah simbol data dari tipe BPSK, QPSK, QAM-16 dan QAM-64. Gambar 2.7 menunjukkan sebuah ilustrasi prinsip sederhana dari pembentukan sinyal OFDM.

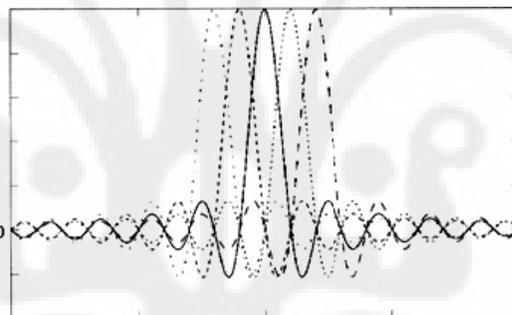


**Gambar 2. 7** Pembentukan sinyal OFDM

Jika lama waktu satu data simbol modulasi ditransmisikan adalah  $T_d$ , maka  $T_d = 1/\Delta f$ , di mana  $\Delta f$  adalah *bandwidth* frekuensi dari frekuensi *orthogonal*. Selama simbol modulasi ditransmisikan secara simultan,

$$\begin{aligned} T_d &= \text{duration of one OFDM symbol} \\ &= \text{duration of one transmitted modulation data symbol.} \end{aligned} \quad (2.1)$$

Lama waktu ini,  $\Delta f$ , jarak frekuensi antara maximum dari dua *subcarrier* OFDM yang berdekatan. Gambar 2.8 menunjukkan bagaimana *subcarrier* tetangga OFDM memiliki nilai sama dengan nol pada suatu OFDM *subcarrier* maksimum, yang mengapa dianggap *orthogonal*. Bahkan, durasi yang sebenarnya adalah simbol OFDM sedikit lebih besar karena penambahan yang berhubungan dengan *Cyclic Prefix* (CP).

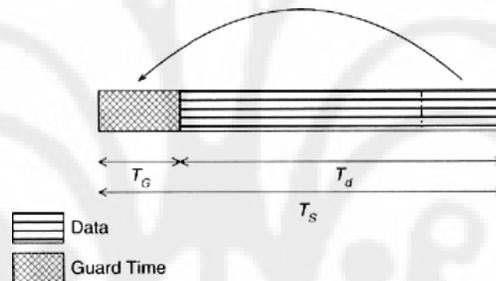


Gambar 2. 8 Frekuensi subcarrier OFDM

#### 2.2.4 Pertimbangan Domain Waktu OFDM

Setelah aplikasi dari IFFT, teori OFDM membutuhkan bahwa *Cyclic Prefix* (CP) harus ditambahkan pada awal simbol OFDM. Tanpa mengubah ke dalam rincian matematis, dapat dikatakan bahwa CP memungkinkan *receiver* untuk menyerap *delay spread* jauh lebih efisien karena *multipath* dan untuk mempertahankan ortogonalitas frekuensi. CP yang menempati suatu durasi disebut *Guard Time* (GT), sering dinyatakan dengan TG, adalah redundansi sementara yang harus dimasukkan ke dalam perhitungan *data rate*. Rasio  $T_G/T_d$  sangat sering dinyatakan G dalam dokumen WiMAX/802.16. Pilihan G dibuat sesuai dengan pertimbangan berikut: jika *multipath* efek yang penting (saluran

radio yang buruk), dibutuhkan nilai  $G$  yang tinggi, yang akan meningkatkan redundansi dan kemudian menurunkan *data rate* yang berguna; jika *multipath* efek yang ringan (saluran radio yang baik), nilai  $G$  yang relatif lebih kecil dapat digunakan. Untuk OFDM dan OFDMA PHY layer, 802,16 telah mendefinisikan nilai berikut untuk  $G$ : 1/4, 1/8, 1/16 dan 1/32. Untuk *mobile* (OFDMA) WiMAX kini ditetapkan, hanya nilai 1/8 yang didefinisikan. Standar ini menunjukkan bahwa, untuk OFDM dan OFDMA PHY layer, sebuah SS mencari, pada inialisasi, untuk semua kemungkinan nilai dari CP sampai menemukan CP yang digunakan oleh BS. SS kemudian menggunakan CP yang sama pada *uplink*. Setelah durasi CP tertentu telah dipilih oleh BS untuk operasi pada *downlink*, ia tidak dapat diubah. Mengubah CP akan memaksa semua SS untuk *resynchronize* ke BS[4].



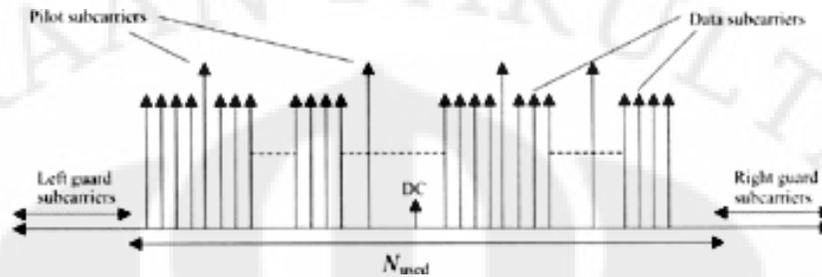
Gambar 2. 9 Pemasukkan Cyclic Prefix dalam simbol OFDM

### 2.2.5 Pertimbangan Domain Frekuensi OFDM

Semua *subcarrier* dari sebuah simbol OFDM tidak membawa data yang berguna. Ada empat tipe *subcarrier* :

- *Data subcarriers*: transmisi data yang berguna.
- *Pilot subcarriers*: utamanya untuk estimasi *channel* dan sinkronisasi. Untuk r OFDM PHY, ada delapan *pilot subcarriers*.
- *Null subcarriers*: tidak ada transmisi. Ini merupakan *guard band* frekuensi.
- *Null subcarrier* lainnya adalah DC (*Direct Current*) *subcarrier*. Dalam OFDM dan OFDMA PHY layer, DC *subcarrier* adalah *subcarrier* yang memiliki frekuensi sama dengan frekuensi tengah RF dari *station* yang mentransmisikan. *Subcarrier* ini berkaitan dengan frekuensi zero (*Direct Current*) jika sinyal FFT tidak dimodulasi. Untuk

menyederhanakan operasi *Digital-to-Analogue* dan *Analogue-to-Digital Converter*, DC *subcarrier* adalah null.



Gambar 2. 10 Tipe subcarrier OFDM WiMAX[5]

Sebagai tambahan, *subcarriers* digunakan untuk mengurangi PAPR, jika ada, tidak digunakan untuk transmisi data.

### 2.2.6 Parameter Simbol OFDM dan Beberapa Perhitungan Sederhana

Parameter utama simbol WiMAX adalah sebagai berikut.

- Jumlah total *subcarrier* atau ekuivalen dengan *magnitude* IFFT. Untuk OFDM PHY,  $N_{\text{FFT}} = 256$ , jumlah dari *lower-frequency guard subcarriers* adalah 28 dan jumlah dari *higher-frequency guard subcarriers* adalah 27. Perhatikan juga DC *subcarrier*, ada  $N_{\text{used}}$ , yaitu jumlah dari *used subcarriers*, tidak termasuk *null subcarriers*. Karena itu,  $N_{\text{used}} = 200$  untuk OFDM PHY, dengan 192 digunakan untuk transmisi data yang berguna, setelah mengurangi *pilot subcarriers*.
- BW, *channel bandwidth* nominal.
- $n$ , faktor *sampling*

Frekuensi *sampling*, dinyatakan dengan  $f_s$ , berhubungan dengan *channel bandwidth* dinyatakan oleh persamaan berikut (*simplified*):

$$f_s = n \text{ BW.} \quad (2.2)$$

Ini adalah rumus yang disederhanakan, karena sesuai dengan standar,  $f_s$  dipotong ke kelipatan 8 kHz. Menurut 802,16 standar, maka nilai numerik  $n$  tergantung dari *channel bandwidth*. Nilai yang mungkin adalah 8/7, 86/75, 144/125, 316/275 dan 57/50 untuk OFDM PHY dan 8/7 dan 28/25 untuk OFDMA PHY.

### 2.2.6.1 Duration Simbol OFDM

Berdasarkan parameter yang dijelaskan di atas, waktu durasi sebuah simbol OFDM dapat dihitung.

$$\begin{aligned}
 \text{OFDM symbol duration} &= \text{useful symbol time} + \text{guard time (CP time)} \\
 &= 1/(\text{one subcarrier spacing}) + G \times \text{useful symbol time} \\
 &= (1/\Delta f) (1+G) \\
 &= [1/(f_s / N_{\text{FFT}})] (1+G) \\
 &= [1/(n \text{ BW} / N_{\text{FFT}})] (1+G).
 \end{aligned} \tag{2.3}$$

Durasi simbol OFDM adalah parameter dasar untuk digunakan dalam menghitung *data rate*.

### 2.2.6.2 Nilai Data Rate

Dalam OFDM PHY, satu simbol OFDM mewakili 192 *subcarriers*, masing-masing mentransmisi sebuah simbol data modulasi. Satu kemudian dapat menghitung jumlah data yang dikirim untuk jangka waktu satu simbol OFDM (nilai yang sudah diketahui). Mengetahui *coding rate*, jumlah *uncoded* bit dapat dihitung. Tabel 2.2 menunjukkan *data rate* untuk berbagai *Modulation* dan *Coding Scheme* (MCS) dan nilai-nilai *G*. *Bandwidth* yang diduduki dianggap adalah 7 MHz dan faktor sampel 8 / 7 (nilai sesuai untuk 7 MHz berdasarkan standar).

$$\begin{aligned}
 \text{Data rate} &= \text{number of uncoded bits per OFDM symbol} / \text{OFDM symbol duration} \\
 &= 192 \times 4 \times (3/4) / \{ [256 / (7 \text{ MHz} \times 8/7)] (1 + 1/16) \} \\
 &= 16.94 \text{ Mb/s}.
 \end{aligned} \tag{2.4}$$

Tabel 2. 2 Data rate OFDM PHY dalam Mbps.[6]

<b>G</b>	<b>BPSK</b>	<b>QPSK</b>	<b>QPSK</b>	<b>16-QAM</b>	<b>16-QAM</b>	<b>64-QAM</b>	<b>64-QAM</b>
<b>ratio</b>	<b>1/2</b>	<b>1/2</b>	<b>3/4</b>	<b>1/2</b>	<b>3/4</b>	<b>2/3</b>	<b>3/4</b>
1/32	2.92	5.82	8.73	11.64	17.45	23.27	26.18
1/16	2.82	5.65	8.47	11.29	16.94	22.59	25.41
1/8	2.67	5.33	8.00	10.67	16.00	21.33	24.00
1/4	2.40	4.80	7.20	9.60	14.40	19.20	21.60

Perlu dicatat di sini bahwa nilai *data rate* ini tidak memperhitungkan beberapa *overhead* seperti *preambles* (dari urutan satu atau dua simbol OFDM per *frame*) dan *signalling messages present* dalam setiap *frame*. Dengan demikian, *data rate* ini, dikenal sebagai *raw data rate*, adalah nilai optimis.

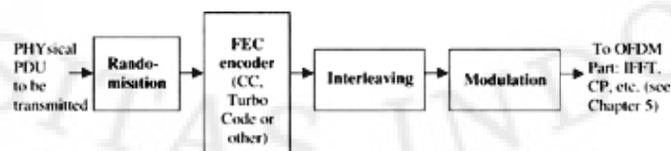
### 2.2.6.3 Peak-to-Average Power Ratio (PAPR)

Sebuah kerugian dari OFDM adalah transmisi yang dapat memiliki *Peak-to-Average Power Ratio* (PAPR) yang tinggi, relatif terhadap satu transmisi *single carrier*. PAPR merupakan puncak nilai *sub* yang ditransmisikan ke sinyal rata-rata yang dikirimkan. PAPR yang tinggi merupakan kendala yang sulit untuk beberapa perangkat (seperti *amplifiers*). Beberapa solusi diusulkan untuk pengurangan PAPR OFDM, sering termasuk penggunaan beberapa *subcarriers* untuk tujuan itu. *Subcarriers* ini kemudian tidak lagi digunakan untuk transmisi data. 802,16 MAC yang menyediakan sarana untuk mengurangi PAPR.

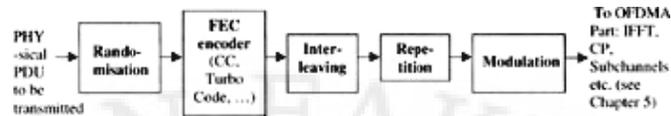
### 2.2.7 Rantai Transmisi PHY 802.16

Aspek modulasi dan transmisi OFDM, yang dijelaskan dalam bab sebelumnya, adalah bangunan utama blok dari WiMAX *Physical Layer*. Beberapa elemen-elemen dari rantai transmisi WiMAX dijelaskan untuk kedua OFDM dan OFDMA PHY.

Rantai transmisi PHY dari OFDM dan OFDMA diilustrasikan dalam Gambar 2.11 dan Gambar 2.12. Kedua blok tersebut sama, dengan perbedaan yang kecil bahwa OFDMA PHY memiliki sebuah blok *repetition*. Blok modulasi merupakan salah satu dari empat digital modulation yang dijelaskan sebelumnya, yaitu BPSK, QPSK, 16-QAM atau 64-QAM. Simbol yang termodulasi tersebut kemudian ditransmisikan pada *orthogonal subcarrier* OFDM. Dibawah ini, WiMAX *channel coding block* dijelaskan.



Gambar 2. 11 Rantai transmisi OFDM PHY



Gambar 2. 12 Rantai transmisi OFDMA PHY

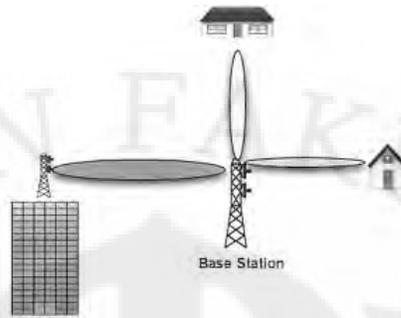
### 2.2.8 TDD dan FDD

WiMAX mendukung operasi *Time Division Duplex* (TDD) dan *Frequency Division Duplex*. TDD adalah teknik di mana sistem mentransmisi dan menerima dengan frekuensi *channel* yang sama, menempatkan potongan-potongan waktu untuk mode *transmit* dan *receive*. FDD membutuhkan dua frekuensi terpisah yang secara umum dipisahkan antara 50 hingga 100 MHz dalam band operasi. TDD memberikan keuntungan di mana regulator mengalokasikan *spectrum* dalam sebuah *adjacent block*. Dengan TDD, pemisahan *band* tidak diperlukan. Dengan demikian, seluruh alokasi *spectrum* digunakan secara efisien pada *upstream* dan *downstream* dan dimana pola *traffic variable* atau *asymmetrical*.

Dalam sistem FDD, struktur *frame downlink* (DL) dan *uplink* (UL) sama kecuali bahwa DL dan UL ditransmisikan pada *channel* yang terpisah. Ketika *half-duplex* FDD (H-FDD) *subscriber station* (SS) ada, *base station* (BS) harus memastikan bahwa tidak menjadwalkan sebuah H-FDD untuk mentransmisi dan menerima pada waktu yang bersamaan[7].

### 2.2.9 Adaptive Antenna System (AAS)

AAS digunakan dalam spesifikasi WiMAX untuk menjelaskan teknik *beam-forming* di mana *antenna array* digunakan pada BS untuk meningkatkan *gain* untuk SS yang diharapkan sementara menghilangkan interferensi ke dan dari SS lain dan sumber interferensi. Teknik AAS dapat digunakan untuk mengaktifkan *Spatial Division Multiple Access* (SDMA), sehingga SS yang terpisah oleh ruang dapat menerima dan mentransmisikan pada *subchannel* yang sama pada waktu yang bersamaan. Dengan menggunakan *beamforming*, BS dapat mengarahkan sinyal yang dibutuhkan ke SS yang berbeda dan dapat membedakan sinyal-sinyal dari berbagai SS, walaupun sinyal-sinyal tersebut beroperasi pada *subchannel* yang sama.



Gambar 2. 13 Beam Forming

### 2.2.10 Teknologi *Smart Antenna*

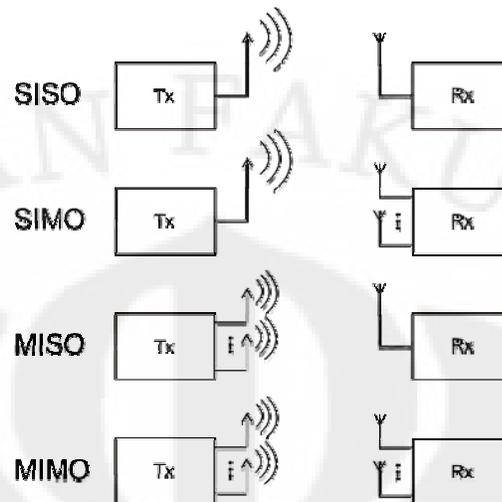
Teknologi *smart antenna* biasanya terdiri dari vektor dan operasi matriks yang kompleks pada sinyal untuk *antenna multiple*. MIMO-OFDM/OFDMA juga dianggap sebagai prinsip dasar pada sistem komunikasi broadband masa depan. *Mobile WiMAX* menggunakan teknologi *smart antenna* untuk meningkatkan performa sistem. Teknologi *smart antenna* yang digunakan meliputi:

- *Space-Time Block Coding (STBC)*
- *Spatial Multiplexing (SM)*
- *Beamforming*

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

### 2.2.11 Multiple-Input Multiple-Output (MIMO)

MIMO memaparkan suatu sistem yang menggunakan lebih dari satu antenna baik pada pemancar maupun pada penerima. Sistem MIMO ini diharapkan dapat meningkatkan realibilitas sinyal terhadap efek dari *noise* dan *multipath* yang sering terjadi pada komunikasi nirkabel.

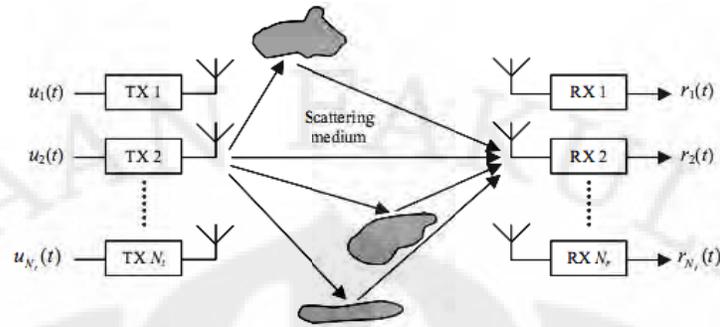


Gambar 2. 14 Perbandingan sistem MIMO dengan sistem SISO, SIMO, dan MISO.

Gambar 2.14 menunjukkan perbedaan sistem MIMO dengan sistem MISO, SIMO, dan SISO. Dengan menggabungkan dua atau lebih sinyal yang diterima, maka dapat memberikan keuntungan langsung pada peningkatan kekuatan sinyal. Selain itu, MIMO juga dapat menjalankan transmisi data paralel sehingga menghasilkan *throughput* yang lebih besar. Contohnya pada  $2 \times 2$  MIMO (2 antena pengirim dan penerima) frekuensi *carrier* yang dialokasikan dapat digunakan dua kali sehingga secara efektif meningkatkan *throughput*.

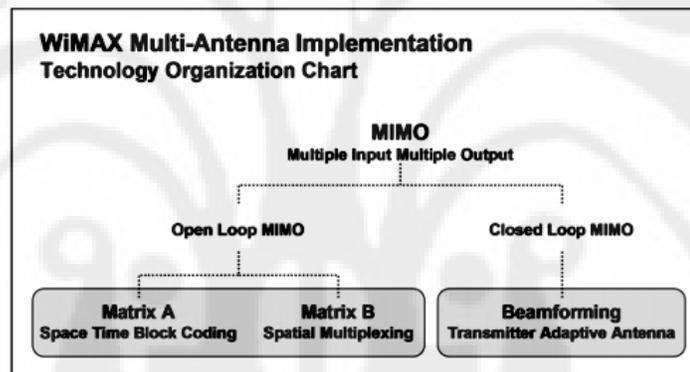
MIMO merupakan sistem berbasis sistem  $(N, M)$ , di mana  $N$  adalah jumlah antena *transmitter* dan  $M$  adalah jumlah antena *receiver*. Sistem MIMO dapat berjalan jika  $M > N$ . MIMO mengambil keuntungan pada propagasi *multipath* untuk menambah *throughput*, range atau jangkauan, dan reliabilitas. MIMO tidak menjadikan sinyal *multipath* sebagai gangguan melainkan sebagai pembawa lebih banyak informasi. Peningkatan *throughput* secara linear dapat dicapai dengan penambahan jumlah pasangan antena.

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



Gambar 2. 15 Prinsip kerja MIMO

Pada sistem WiMAX, konfigurasi MIMO dibagi menjadi dua macam, yaitu *open loop* MIMO dan *closed loop* MIMO[8].



Gambar 2. 16 Pembagian MIMO

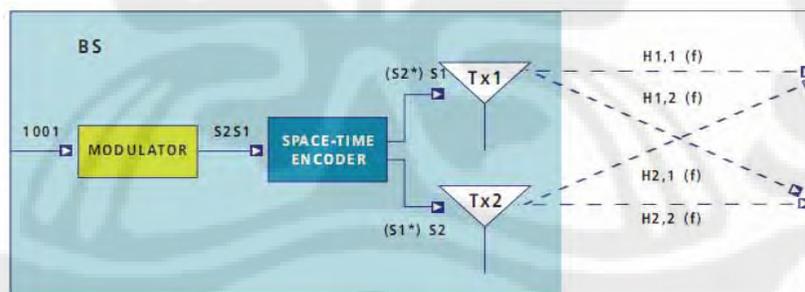
Pada *Open Loop* MIMO, kanal komunikasi tidak menggunakan informasi eksplisit dari kanal propagasi. Teknik *Open Loop* MIMO yang umum di antaranya *Space Time Block Coding* (STBC) dan *Spatial Multiplexing* (SM), serta *collaborative Uplink* MIMO. Pada WiMAX, teknik STBC disebut sebagai MIMO Matriks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

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

### 2.2.11.1 MIMO Matrix A : Mobile Robustness

MIMO Matrix A menggunakan *space-time coding* (STC) meningkatkan realibilitas transmisi data untuk *mobile modem* menggunakan transmisi *multiple antenna*. Sebuah MIMO *cell site* berakhir menjadi berlipat ganda, salinan *data stream* yang redundan ke penerima untuk meningkatkan kemungkinan bahwa beberapa dari mereka bertahan dari *physical path* antara transmisi dan penerimaan dalam keadaan cukup baik untuk memungkinkan *decoding* yang *reliable*. Redundansi ini ada pada ruang (dengan menggunakan beberapa antena), dan waktu.

Kondisi ini sangat mungkin terjadi saat terminal sangat *mobile*, dengan *rapid signal fading* dan penerimaan *multipath*. Dengan menambahkan redundan, *path paralel*, modem telah memiliki dua kali kesempatan untuk menerima salinan data yang bagus. Di bawah kondisi normal stabil (*stationary*), *gain* yang diberikan oleh STC hanya +3 dB, tetapi dalam lingkungan *fading*, seperti ketika melewati antara bangunan dengan cepat, *gain* yang dapat diperoleh sebanyak 5dB untuk 16QAM dB dan +10 dB untuk 64 QAM (dibandingkan dengan sinyal non-STC di bawah kondisi yang sama)[9]. Hasilnya adalah bahwa sistem dapat menghasilkan *throughput* yang relatif tinggi di bawah kondisi sulit.



Gambar 2. 17 Prinsip kerja MIMO matrix A

Jika simbol yang ditransmisikan adalah  $x_1$  dan  $x_2$ , maka setelah  $x_1$  dan  $x_2$  di transmisikan dan tercampur dengan *noise* maka persamaan sinyal yang diterima di *receiver* adalah sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} y_1^1 \\ y_2^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1^1 \\ n_2^1 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

$$\begin{bmatrix} y_1^2 \\ y_2^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -x_2^2 \\ x_1^2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1^2 \\ n_2^2 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Y adalah matriks pada sinyal yang diterima pada receiver. Sedangkan H adalah matriks kanal MIMO, n adalah *noise* yang terjadi akibat kanal *wireless*, dan x adalah informasi yang dikirimkan. Persamaan 2.5 adalah persamaan sinyal yang diterima pada *timeslot* pertama dan persamaan 2.6 untuk *timeslot* yang kedua. Pada *receiver*, untuk mendapatkan kembali sinyal yang asli, diperlukan *decoder* STBC. Adanya matriks H yang dibentuk dari estimasi nilai  $h_{ij}$  pada kanal transmisi berfungsi untuk mendapatkan kembali sinyal *independent* sebagaimana yang dikirim dari sisi pengirim. Dengan demikian, sinyal transmisi (x) didapatkan dengan mengalikan *inverse* H dengan sinyal pada *receiver* (y). Jika pada *transmitter*  $[Y]=[H]*[X]$ , maka pada *receiver*  $[X]=(INV[H])*[Y]$ .

Jika persamaan 2.5 dan 2.6 untuk *timeslot* 1 dan 2 digabungkan, maka persamaannya akan menjadi :

$$\begin{bmatrix} y_1^1 \\ y_2^1 \\ y_1^2 \\ y_2^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \\ h_{12} & -h_{11} \\ h_{22} & -h_{21} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1^1 \\ n_2^1 \\ n_1^2 \\ n_2^2 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Dengan mendefinisikan matriks *channel* MIMO H adalah :

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \\ h_{12} & -h_{11} \\ h_{22} & -h_{21} \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

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

$$\mathbf{H}^+ = (\mathbf{H}^H \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^H \quad (2.9)$$

Dengan definisi bahwa,

$$(\mathbf{H}^H \mathbf{H}) = \begin{bmatrix} |h_{11}|^2 + |h_{21}|^2 + |h_{12}|^2 + |h_{22}|^2 & 0 \\ 0 & |h_{11}|^2 + |h_{21}|^2 + |h_{12}|^2 + |h_{22}|^2 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

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

$$(\mathbf{H}^H \mathbf{H})^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{|h_{11}|^2 + |h_{21}|^2 + |h_{12}|^2 + |h_{22}|^2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{|h_{11}|^2 + |h_{21}|^2 + |h_{12}|^2 + |h_{22}|^2} \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

Estimasi simbol yang ditransmisikan dapat di tuliskan dengan :

$$\begin{bmatrix} \hat{x}_1 \\ \hat{x}_2 \end{bmatrix} = (\mathbf{H}^H \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^H \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix} \quad [10] \quad (2.12)$$

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

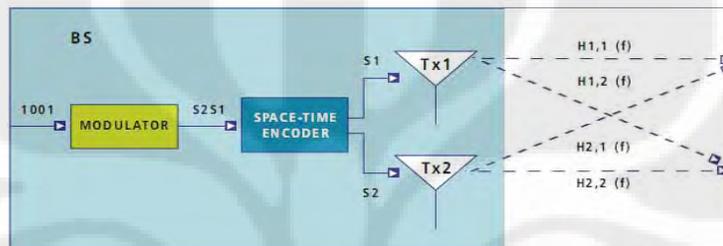
Pada sistem dengan performa SNR yang tinggi, peningkatan pada *error rate* didapat sebagai hasil dari penggunaan *Space-Time code* dapat ditukar dengan kapasitas lebih besar dengan penggunaan modulasi dengan orde lebih tinggi.

### 2.2.11.2 MIMO Matrix B : Doubling Capacity

Ketika Matrix A menyediakan kekuatan untuk user yang *mobile*, MIMO matrix B menyediakan peningkatan kapasitas untuk *user* yang diam menggunakan *spatial multiplexing*. Matrix B mengirimi setiap *data frame* hanya sekali (tidak seperti STC yang mengirim semuanya dua kali), tetapi membuat menggunakan

rantai radio bebas untuk mengirim data melalui kedua *channel* secara simultan. Secara teori, ini menghasilkan sebuah penggandaan *data rate* ke *device*.

MIMO B bergantung dari keberadaan *multipath* alami untuk membedakan dua sinyal yang masuk. Ini adalah kunci ke pendekatan *spatial multiplexing*. Tanpa *multipath* yang terjadi secara alami, MIMO Matrix B dapat menggandakan jumlah *channel* penerima, sehingga dapat diperoleh *throughput* sistem yang jauh lebih tinggi.



Gambar 2. 18 Prinsip kerja MIMO matrix B

Secara teori peningkatan kapasitas yang didapat oleh sistem MIMO Matriks B sebanding dengan jumlah dari antena pengirim dan penerima yang digunakan. Sistem 4 x 4 akan memberikan peningkatan sebesar 4 kali lipat dibanding kapasitas pada penggunaan antena tunggal.

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

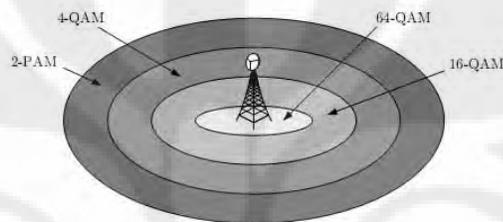
$$X = \min (\text{Tx Antennas}, \text{Rx Antennas}) \quad (2.13)$$

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

### 2.2.12 AMC (*Adaptive Modulation and Coding*)

Kebutuhan akan kemudahan dalam komunikasi menyebabkan perlunya perancangan suatu sistem komunikasi yang jauh lebih pintar dan cepat, yang mampu menghasilkan akses data yang fleksibel dan efisien. Karena itu, terdapat

suatu sistem AMC yang dapat beradaptasi dan mengatur parameter transmisi berdasarkan kualitas *link* yang dapat memberikan efisiensi spektrum terhadap sistem. AMC didesain untuk bekerja pada kanal yang bervariasi, dimana AMC dapat mengubah skema modulasi dan *coding* yang digunakan sehingga menghasilkan *throughput* yang lebih besar dengan mentransmisikan data dengan modulasi yang memberikan data *rate* yang tinggi pada saat kondisi kanal transmisi sedang baik dan mentransmisikan data dengan modulasi yang menghasilkan *error* yang kecil pada saat kondisi kanal buruk.



**Gambar 2. 19** Pembagian daerah kerja pada AMC

Pada Gambar 2.19 terlihat bahwa pada wilayah yang jauh dari pemancar sehingga memiliki kualitas kanal yang buruk, digunakan modulasi yang menghasilkan *error* kecil. Namun, pada wilayah yang dekat dengan pemancar digunakan modulasi yang menghasilkan data *rate* yang tinggi.

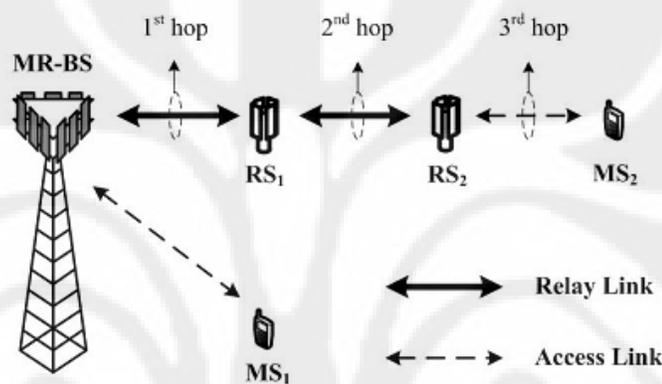
### 2.3 Multihop mobile WiMAX

*Multihop mobile WiMAX* adalah sistem WiMAX dengan standar IEEE 802.16j. Standar ini adalah suatu amandemen standar IEEE 802.16 untuk memungkinkan fungsi *interoperable* pada RS dan BS. Standar 802.16j mendefinisikan sebuah *air interface* antara MR-BS dan sebuah RS dengan kegunaan minimal sebagai berikut :

- Sifat tembus yang sempurna untuk MS mengacu kepada jaringan (tidak ada perubahan yang terjadi pada MS sebelumnya).
- Alat-alat RS diharapkan mampu mendukung semua *licensed band* yang dialokasikan berdasarkan 802.16e.
- RS harus mendukung topologi jaringan *point-to-multipoint*.

### 2.3.1 Arsitektur Dasar IEEE802.16j

Arsitektur dasar dari sistem IEEE 802.16j dapat dilihat pada Gambar 2.20, dimana ada dua macam *link* radio, yaitu *link* akses dan *link* relay. *Base station* (BS) yang mampu mendukung *relay multi-hop* disebut MR-BS. *Link* akses adalah *link* radio yang berasal atau berakhir pada suatu MS, yang terdiri atas *downlink* (DL) ataupun *uplink* (UL), didefinisikan dalam IEEE 802.16-2004. *Link* relay adalah *link* radio antara MR-BS dengan sebuah *relay station* (RS) atau antara dua RS, yang dapat berupa *uplink* atau *downlink*.



Gambar 2. 20 Arsitektur Dasar multihop network[11]

Standar IEEE 802.16j berdasarkan pada peningkatan *physical layer* OFDMA dan *medium access-control* dari standar IEEE 802.16 untuk *band* terlisensi, untuk memungkinkan pengoperasian RS. Tujuan dari MR adalah untuk meningkatkan *coverage*, *throughput*, dan kapasitas sistem jaringan IEEE 802.16. Pengenalan *relay* dalam jaringan IEEE 802.16 didisain agar tidak ada pengaruh pada spesifikasi *subscriber station* (SS). RS adalah sebuah elemen optimal yang dapat digunakan untuk menyediakan *coverage* tambahan atau keuntungan performansi dalam sebuah *access network*. Dalam jaringan MR, BS akan digantikan dengan *multihop relay* BS (MR-BS) dan satu atau lebih *relay*.

*Signaling* antara SS dengan MR-BS di-relay oleh RS, dengan demikian memperluas *coverage* dan performansi sistem dalam area di mana RS tersebar. Masing-masing RS di bawah pengawasan dari sebuah *parent* MR-BS. Dalam suatu sistem dengan lebih dari dua *hop*, akses RS dan MR-BS juga di-relay melalui *intermediate* RS. RS bisa berada pada suatu lokasi tetap, contohnya

diletakkan di atas gedung, ataupun bergerak, contohnya diletakkan pada suatu kendaraan. SS juga berkomunikasi secara langsung dengan MR-BS.

## 2.4 Relay station

*Relay station* dihubungkan ke *base station* pada satu sisi dan ke sebuah group *mobile station* pada sisi lainnya. Koneksi ke *base station*, dimana relay berperan lebih atau kurang sebagai sebuah *subscriber/mobile station*, disebut sebagai *relay link*, sedangkan koneksi ke mobiles, dimana relay berperan sebagai sebuah *base station* sederhana, disebut sebagai *access link*.

### 2.4.1 Stationary relay station

Skema multi-hop memungkinkan semua terminal mobile menjadi sebaik *base station* untuk mengurangi daya transmisi *while preserving range*. Sebagai contoh, dapat dilihat pada Gambar 2.21, di mana sebuah terminal mobile (MS1) jauh dari *base station* terdekat. Dalam jaringan selular yang konvensional MS1 membutuhkan untuk meningkatkan daya transmisi untuk mencapai BS dan begitu pula dengan *base station*.

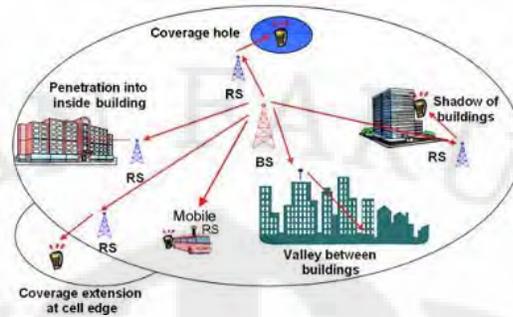


Gambar 2. 21 Multihop untuk memperluas coverage

Dalam sebuah sistem multihop, transmisi dilakukan pada sebuah level daya yang lebih rendah dengan membolehkan MS1 untuk berkomunikasi dengan *relay station* (RS) terdekat, yang kemudian me-relay sinyal ke *base station*.

### 2.4.2 Mobile Relay station

*Mobile relay station* (MRS) adalah sebuah *relay station* yang dimaksudkan untuk berfungsi ketika dalam pergerakan. Mobilitas MRS dibatasi oleh batasan yang sama seperti sebuah *Mobile Station* (MS) dalam IEEE 802.16e-2005. Relay dapat dipasang *nomadic* atau *mobile*.



**Gambar 2. 22 Berbagai penggunaan Relay station**

Gambar 2.22 menjelaskan konsep sebuah jaringan *multihop*, termasuk sebuah RS yang diletakkan di atas bus yang menyediakan layanan untuk penumpang. Ketika MRS bergerak dalam suatu area, MRS akan melakukan *handover* di antara *base station* yang berbeda (ketika menyeberang dari satu *cell* jaringan ke lainnya). Pada saat yang sama kelompok *mobile station* yang MRS dukung juga akan berubah secara dinamis dari waktu ke waktu. Mode *physical layer* digunakan dalam masing-masing *cell* ditentukan oleh *base station* yang melayaninya. Karena lingkungan propagasi berbeda antara satu *cell* dengan *cell* lain, maka dibutuhkan *base station* yang memiliki mode *physical layer* yang berbeda pula.

### 2.4.3 Macam-macam *Relay station*

Berbagai fitur MR yang ditetapkan standar yang ditentukan sebuah sistem yang akan dikonfigurasi, dalam beberapa cara, seperti yang dijelaskan di bawah ini:

#### 2.4.3.1 Centralized and decentralized relays

Dua mode *scheduling*, *centralized* dan *distributed*, dispesifikasikan untuk mengendalikan pengalokasian sumber ke SS. Dalam mode *scheduling* tersentralisasi, pengalokasian sumber untuk stasiun RS bawahan ditentukan pada MR-BS. MR-BS menentukan alokasi *bandwidth*, dan menghasilkan *corresponding control channel information* termasuk MAP untuk semua *link access* (MR-BS ke SS dan RS) dan *link relay* (RS ke SS).

Dalam mode *scheduling* terdistribusi, alokasi sumber dari stasiun RS bawahan ditentukan oleh RS, dalam kerjasama dengan MR-BS. Masing-masing RS menentukan alokasi *bandwidth* dan menghasilkan MAP yang sesuai untuk *link access* ke dan dari SS dan RS bawahannya.

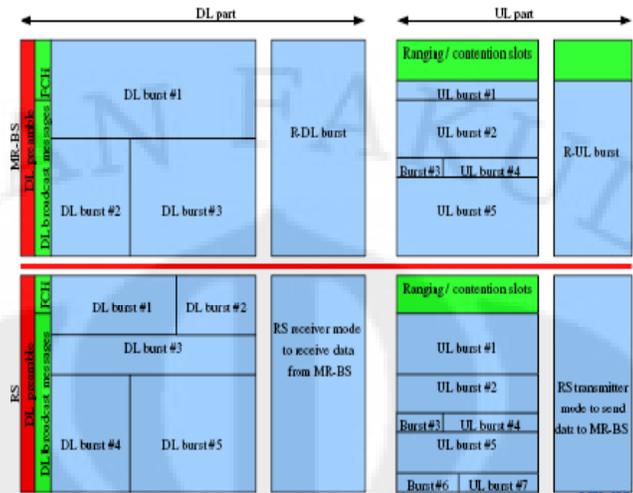
#### 2.4.3.2 *Transparent dan Non-transparent Relay*

*Non-transparent RS* berperan sebagai sebuah sector BS, selanjutnya MR-BS harus menempatkan sebuah indeks *preamble* untuk masing-masing RS dan RS akan mentransmisikan *preamblenya* sendiri, FCH (*Frame Control Header*) dan MAP melewati zona akses.



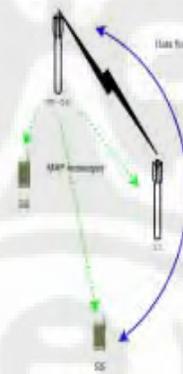
**Gambar 2. 23 Non-transparent Relay station**

Struktur frame untuk *non-transparent RS* dapat dilihat pada Gambar 2.24. Sebagai catatan bahwa tidak mungkin *non-transparent RS* untuk mengenali dan bersinkronisasi satu sama lain dengan *preamble* karena *non-transparent RS* perlu mentransmisikan *preamble*-nya sendiri saat awal sebuah *frame* dan tidak memiliki kemampuan untuk menerima *preamble* yang ditransmisikan dari MR-BS ataupun RS yang lain. Selanjutnya, *relay amble* (R-*amble*) yang terletak pada akhir sub-frame *downlink* dirancang untuk tujuan pengukuran, sinkronisasi, dan penemuan lingkungan sekitar melewati *link relay*. Catatan bahwa R-*amble* tidak dapat ditransmisikan dalam masing-masing *frame* untuk reduksi *overhead*.

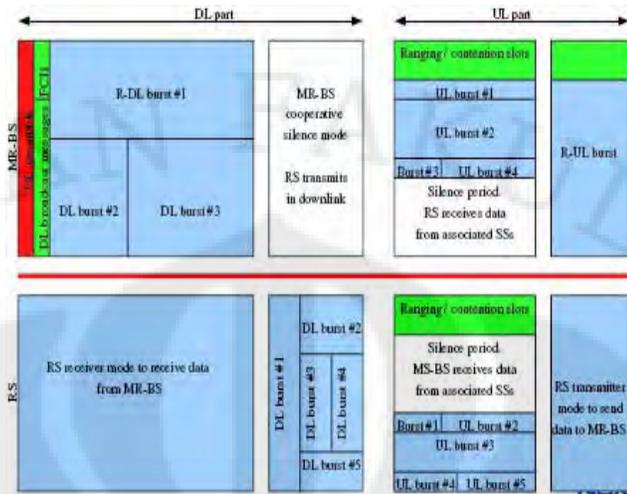


Gambar 2. 24 Struktur Frame Non-transparent Relay station

*Transparent* RS tidak memiliki *preamblenya* sendiri, FCH, dan MAP. *Transparent* RS tidak terlihat oleh MS dan hanya me-relay data MS. Struktur *frame* dari *transparent* RS menyerupai struktur *frame* dari *non-transparent* RS, tetapi *transparent* RS akan dalam mode penerima ketika MR-BS mentransmisikan *preamblenya*, FCH, dan MAP. Berikut ini Gambar 2.25 dan Gambar 2.26 yang menjelaskan tentang *transparent* RS dan *frame* strukturnya.



Gambar 2. 25 Transparent Relay station



Gambar 2. 26 Struktur Frame *Transparent Relay station*

Ketika sebuah MS berkomunikasi dengan sebuah *non-transparent* RS, MS akan menerima *preamble*, FCH, MAP dan *data burst* dari RS. Di lain pihak, jika MS berkomunikasi dengan *transparent* RS, maka MS akan menerima *data burst* dari RS tapi menerima *preamble*, FCH dan MAP dari MR-BS. Selanjutnya, *transparent* RS harus dikendalikan terentralisasi oleh MR-BS untuk mentransmisikan/ menerima *data burst* melewati sub-channel yang dirancang dan waktu simbol. Catatan bahwa MR-BS dan banyak RS dapat melayani MS khusus secara simultan untuk bisa meningkatkan kualitas sinyal yang diterima dan mendapatkan *gain diversity* yang kooperatif.

*Non-transparent* RS dapat menghasilkan FCH dan MAP sendiri tanpa instruksi dari MR-BS, sehingga kendali terdesentralisasi dapat terlaksana untuk mengurangi *delay* pengiriman pesan dan tambahan pengiriman pesan melewati *link relay*. Sementara itu, satu grup RS dapat mentransmisikan *preamble* yang sama. FCH, MAP, dan *data burst* dan RS ini akan berperan seperti *virtual station* tunggal dari sudut pandang MS. Dalam kasus ini, MS tidak akan menginisiasikan prosedur *handover* ketika bergerak antara RS yang dikelompokkan dan *cooperative diversity gain* akan diperoleh.

Dari perspektif MAC, masing-masing RS juga dapat dikarakteristikan berdasarkan *scheduling* dan/atau kemampuan *security*. Sebuah RS yang dapat memiliki kemampuan *scheduling* dan/atau *security* beroperasi dalam mode terdistribusi, tetapi sebaliknya RS beroperasi dalam mode terentralisasi. Sebuah

RS yang beroperasi dalam mode *scheduling* terdistribusi membuat DL/UL-MAP untuk mengalokasikan *bandwidth* ke MS di bawahnya. Mode *scheduling* terdistribusi dapat beroperasi dengan mode *security* tersentralisasi ataupun terdistribusi. Mode *scheduling* tersentralisasi biasanya berpasangan dengan mode *security* tersentralisasi.

Sebuah RS dalam *scheduling* tersentralisasi tidak memiliki kemampuan *scheduling* dan *security*. Sebuah mode tersentralisasi mengalokasikan *bandwidth* ke MS di bawahnya berdasarkan pada MAP yang dibuat oleh MR-BS. Berikut ini merupakan Tabel[11] yang berisi perbandingan antara keempat tipe RS yang sudah disebutkan.

**Tabel 2. 3 Perbandingan Tipe Relay station**

<i>PHY processing</i>	T-RS	NT-RS		
<i>Scheduling mode</i>	<i>Centralized</i>	<i>Centralized</i>	<i>Distributed</i>	
<i>Security mode</i>	<i>Centralized</i>	<i>Centralized</i>	<i>Centralized</i>	<i>Distributed</i>
Throughput improvement	√	√	√	√
Coverage extension		√	√	√
Signaling overhead/latency			√	√
Higher BW efficiency				√

T-RS dapat beroperasi hanya dalam mode *scheduling* dan *security* tersentralisasi, karena T-RS tidak membuat DL-MAP. Di lain pihak, sebuah NT-RS dapat beroperasi dalam mode *scheduling* keduanya, sedangkan mode *security* terdistribusi hanya beroperasi pada mode *scheduling* terdistribusi.

- *Throughput improvement*

Semua tipe RS dapat meningkatkan *Carrier to Interference and Noise Ratio* (CINR) dari *link* akses untuk MS.

- *Coverage extension*

Cakupan *cell* dibatasi oleh *preamble* dan cakupan *broadcast message*. Sebuah T-RS tidak mengirim sinyal-sinyal tersebut, jadi hanya NT-RS yang dapat memperluas cakupan layanannya.

- Sinyal *overhead/latency*

Pada mode *scheduling* tersentralisasi, semua informasi dari sebuah *link* akses RS yang terhubung pada MS-nya, seperti pengukuran *channel* dan permintaan *bandwidth*, dikirimkan ke MR-BS supaya MR-BS memuat DL/UL MAP pada RS. Di lain pihak, sebuah RS dalam mode *scheduling* terdistribusi dapat berhubungan dengan informasi itu dengan sendirinya.

- *Higher bandwidth efficiency*

Ketika me-relay paket MAC, perlu untuk mengganti ukuran paket dengan fragmentasi dan/atau *packing* pada sebuah RS agar penuh dan penggunaan sumber *bandwidth* yang tersedia menjadi efisien. Hanya mode *security* terdistribusi memaksimalkan efisiensi *bandwidth* dengan cara mengoptimalkan ukuran paket karena sebuah RS akan *men-decrypt packet* yang *ter-encrypt* sebelum fragmentasi/*packing*.

#### 2.4.3.3 *In-band dan out-of-band relay*

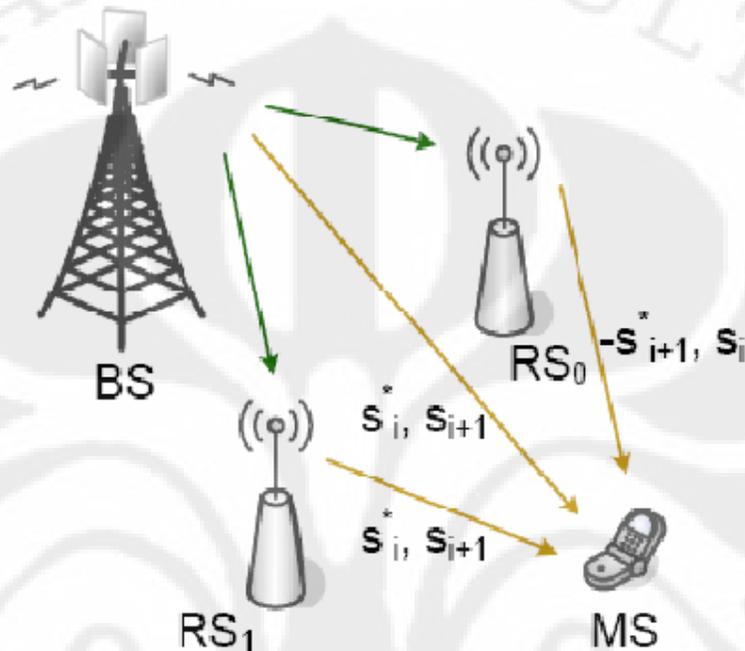
Dalam kasus *in-band relay*, *carrier* yang sama disegmentasi agar di-*share* antara *link* MR-BS dan *link* RS. *In-band relay* memaksimalkan penggunaan spektrum. Dalam kasus *out-of-band relay*, MR-BS menggunakan satu *carrier* untuk SS dan RS, sedangkan RS menggunakan sebuah *carrier* terpisah untuk *link* di bawahnya.

#### 2.4.3.4 *Decode and Forward* atau *Amplify and Forward*

Dalam skema *amplify and forward*, RS pada dasarnya berlaku sebagai sebuah *analog amplifier* dan meregenerasikan sinyal asli dengan artian amplifikasi. Dalam skema *decode and forward*, RS meregenerasi sinyal dengan *decoding* penuh dan *men-encode* kembali sinyal sebelum ditransmisikan lagi.

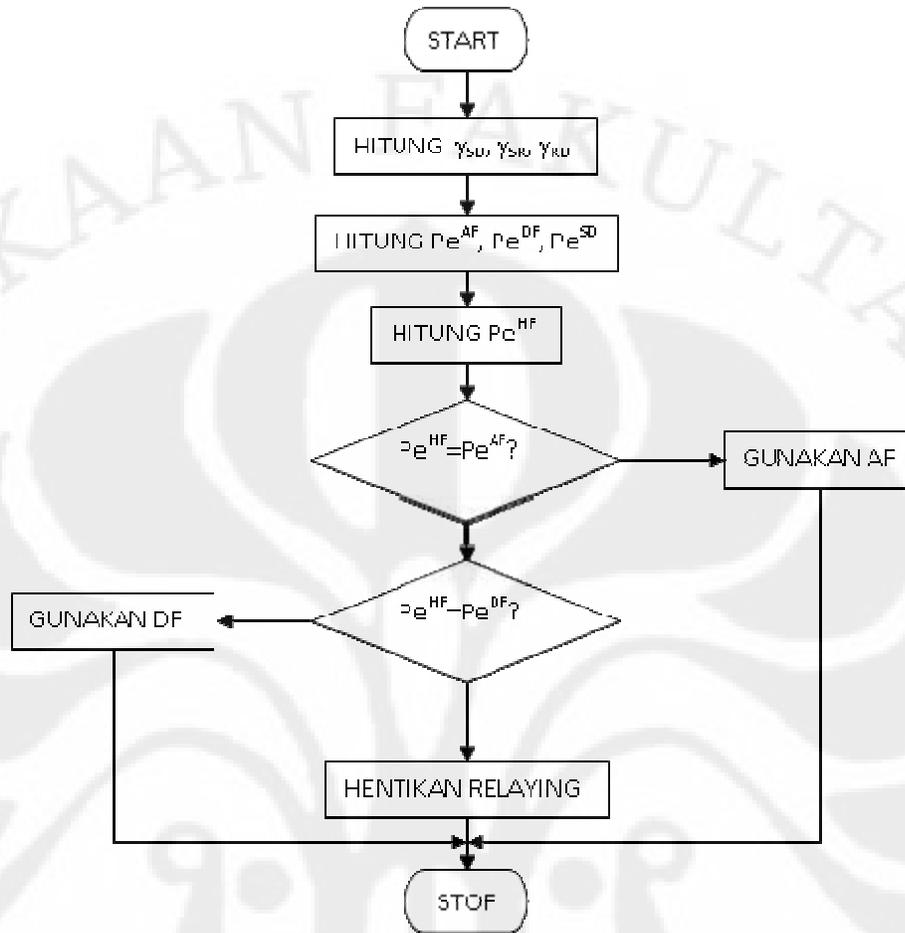
#### 2.4.4 Metode Hybrid Forwarding

Transmisi dengan metode *hybrid* ini menggunakan tiga buah antena Tx dan Rx serta dua buah relay station. Berikut skema metode *hybrid* yang dimaksud.



Gambar 2. 27 Transmisi metode hybrid

Perlengkapan dan metode *hybrid forwarding* untuk *cooperative relaying* telah tersedia. Dalam perlengkapan *hybrid forwarding* dalam terminal relay, sebuah pemilih skema *forwarding* memilih sebuah skema *forwarding* untuk transmisi. Blok Amplify and Forward (AF) menguatkan data yang diterima dari pemilih skema *forwarding*, jika skema AF dipilih. Blok *Decode and Forward* (DF) mendecode dan meng-*encode* data yang diterima dari pemilih skema *forwarding*, jika skema DF dipilih[12]. Berikut ini diperlihatkan *flow chart* yang menggambarkan tentang skema pemilihan *forwarding* yang digunakan.



Gambar 2. 28 Flow chart skema pemilihan AF atau DF

Untuk membuat suatu perbandingan antara AF, DF, dan transmisi *direct*, *data rates* dan daya transmisi total dijaga sama untuk transmisi *direct* dan *relaying*. Untuk skema transmisi *direct*, BPSK digunakan dan terminal sumber mentransmisikan simbol di kedua *time slot*, *odd* dan *even*. Untuk skema relay, QPSK digunakan. Terminal relay menghitung *bit error probability* tiap *subcarrier* untuk masing-masing AF, DF, dan skema transmisi *direct*.

Terminal relay diberitahukan SNR dari simbol di setiap *subcarrier* dalam *link* S-D, R-D, dan S-R. Pengukuran SNR ini di kembalikan ke terminal relay pada *virtual diversity channel*. S, R, dan D menyatakan terminal sumber, terminal relay, dan terminal tujuan. Karena itu, S-D merepresentasikan *link* dari terminal sumber ke terminal tujuan, R-D merepresentasikan *link* dari terminal relay ke

terminal tujuan, dan S-R merepresentasikan *link* dari terminal sumber ke terminal relay.

Terminal relay mengkalkulasikan *bit error probability* tiap *subcarrier* untuk masing-masing AF, DF, dan skema transmisi *direct*. Asumsikan masing-masing probabilitas tersebut direpresentasikan oleh  $P_e^{AF}$ ,  $P_e^{DF}$ , dan  $P_e^{SD}$ .  $P_e^{AF}$  dapat diberikan dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_e^{AF} = Q(\sqrt{\gamma_s^{AF}}), \quad \gamma_s^{AF} = \frac{(\gamma_{SD} + \frac{\gamma_{SR}\gamma_{RD}}{1+\gamma_{SR}})^2}{\gamma_{SD} + \frac{\gamma_{SR}\gamma_{RD}}{1+\gamma_{SR}} + \frac{\gamma_{SR}\gamma_{RD}^2}{(1+\gamma_{SR})^2}} \quad (2.14)$$

Di mana  $Q()$  merepresentasikan *Gaussian tail probability function*.  $P_e^{DF}$  dinyatakan dengan persamaan :

$$P_e^{DF} = \begin{cases} (1 - Q(\sqrt{\gamma_{SR}})) Q(\sqrt{\gamma_{SR} + \gamma_{RD}}) + Q\left(\frac{\sqrt{(\gamma_{SD} - \gamma_{RD})^2}}{\gamma_{SD} + \gamma_{RD}}\right) Q(\sqrt{\gamma_{SR}}), & \text{if } \gamma_{SD} - \gamma_{RD} \geq 0 \\ (1 - Q(\sqrt{\gamma_{SR}})) Q(\sqrt{\gamma_{SR} + \gamma_{RD}}) + \left(1 - Q\left(\frac{\sqrt{(\gamma_{SD} - \gamma_{RD})^2}}{\gamma_{SD} + \gamma_{RD}}\right)\right) Q(\sqrt{\gamma_{SR}}), & \text{if } \gamma_{SD} - \gamma_{RD} < 0 \end{cases} \quad (2.15)$$

$P_e^{SD}$  diberikan oleh persamaan:

$$P_e^{SD} = Q\left(\frac{\sqrt{\gamma_{SD} + \gamma_{RD}}}{2}\right) \quad (2.16)$$

Untuk sebuah kombinasi dari *hybrid forwarding* dan transmisi *direct*, *bit error probability* minimum dihitung dengan persamaan :

$$P_e^{HF} = \min(P_e^{AF}, P_e^{DF}, P_e^{SD}) \quad (2.17)$$

Pada persamaan-persamaan di atas,  $\gamma_{SR}$ ,  $\gamma_{SD}$ , dan  $\gamma_{RD}$  merepresentasikan SNR dari *subcarrier* yang diberikan pada *link* S-R, S-D, dan R-D.

Untuk *subcarrier* yang diberikan, terminal relay menyeleksi skema forwarding yang menyediakan *bit error probability minimum* sebagai berikut.

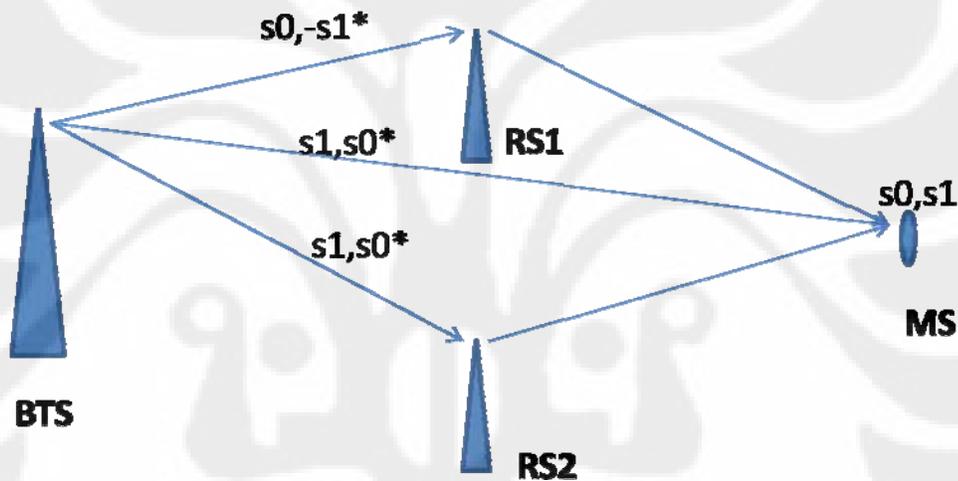
- Jika  $P_e^{HF} = P_e^{AF}$ , maka terminal relay akan memilih AF untuk *subcarrier*.
- Jika  $P_e^{HF} = P_e^{DF}$ , maka terminal relay akan memilih DF untuk *subcarrier*.
- Jika  $P_e^{HF} = P_e^{SD}$ , maka terminal relay akan menghentikan relaying *subcarrier*.

### BAB 3 PERANCANGAN SIMULASI

#### 3.1 Gambaran Umum Simulasi

Simulasi ini dibuat dengan menggunakan perangkat lunak Simulink/MATLAB 7.6.0 (R2008a) dengan sistem operasi *Windows XP Professional service pack 2*.

Berikut ini adalah gambaran umum simulasi yang telah dibuat.



Gambar 3.1 Gambaran umum simulasi yang dibuat

Pada Gambar 3.1, jaringan *multihop*, yang menggunakan dua atau lebih *hop* untuk mentransmisikan data dari *source* ke *destination*, dengan menggunakan metode transmisi *hybrid* dapat dilihat pada *link* yang menghubungkan BTS dengan MS dengan urutan BTS-RS1-MS maupun BTS-RS2-MS. Sesuai dengan yang dijelaskan pada Bab 2, maka *link relay* adalah BTS-RS1 dan BTS-RS2. Sedangkan *link access* adalah RS1-MS, BTS-MS, dan RS2-MS.

Pada jaringan tersebut, *Relay station* digunakan sebagai *amplifier* maupun *decoder* dan *encoder*. Relay station ini diperlukan untuk membantu mentransmisikan data dari BTS ke MS atau sebaliknya dalam kondisi kanal yang buruk. Kondisi yang dimaksud yaitu letak MS yang jauh atau dipinggiran *cell*

sehingga untuk memperoleh kualitas layanan yang baik, maka ditambahkan Relay station ini. Walaupun kondisi tersebut buruk, namun transmisi *direct* antara BTS dengan MS tetap terjadi.

### 3.2 Perancangan Simulasi

Simulasi yang dibuat adalah simulasi transmisi pada PHY layer *Multihop mobile* WiMAX dengan metode hybrid. Simulasi ini terdiri dari lima bagian utama, yaitu *transmitter*, *channel1*, *relay station*, *channel2*, dan *receiver*. Simulasi ini dibuat dengan memodifikasi simulasi atau demo yang ada pada matlab, yaitu “IEEE® 802.16-2004 OFDM PHY Link, Including Space-Time Block Coding”. Modifikasi yang dilakukan ada pada penggunaan STBC dari dua antena *transmitter* menjadi tiga antena *transmitter*. Untuk itu, di sisi *receiver* juga perlu dilakukan perubahan dalam blok STBC *combiner*. Selain itu, ditambahkan juga dua buah blok yang masing-masing mewakili satu buah *relay station*.

Pada blok Relay Station, skema pemilihan forwarding seperti yang dijelaskan pada BAB 2 tidak digunakan. Hal ini dikarenakan skema tersebut berjalan secara otomatis sehingga untuk melihat perbedaan masing-masing forwarding cukup sulit. Oleh karena itu, skema yang seharusnya digunakan diganti dengan menggunakan suatu konstanta yang dapat memilih skema forwarding mana yang aktif.

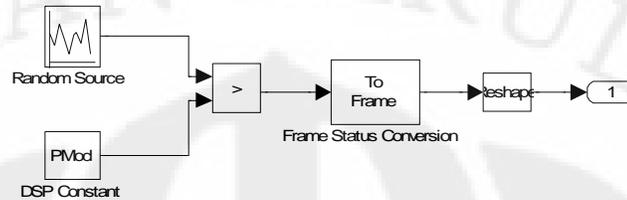
#### 3.2.1 Transmitter

Pada bagian *transmitter*, bagian-bagian penyusunnya antara lain *source*, FEC dan modulator bank, IFFT *input packing*, Space-Time Diversity Encoder, dan OFDM *transmitter*.

##### 3.2.1.1 Source

Sumber data yang digunakan untuk simulasi adalah Bernoulli random binary number. Blok Bernoulli Binary Generator menghasilkan nomor acak biner menggunakan distribusi Bernoulli. Distribusi Bernoulli dengan parameter  $p$  menghasilkan nol dengan probabilitas  $p$  dan satu dengan probabilitas  $1-p$ . Distribusi Bernoulli memiliki nilai mean  $1-p$  dan variance  $p(1-p)$ . Probabilitas dari

parameter nol menentukan parameter  $p$ , dan dapat berupa angka *real* antara nol dan satu. Berikut ini adalah blok dari *Bernoulli Binary Generator*:



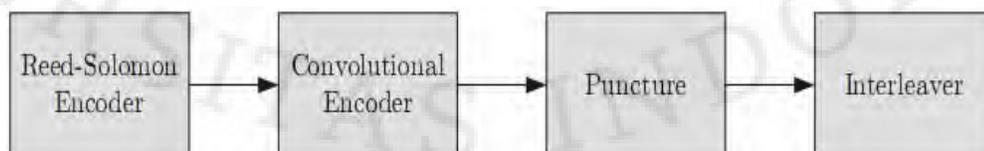
**Gambar 3. 2 Bernoulli Binary Generator**

### 3.2.1.2 FEC dan Modulator Bank

Blok selanjutnya adalah blok FEC dan Modulator Bank. Blok ini berisi macam-macam modulasi yang didukung oleh standar WiMAX, yaitu BPSK, QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM. Selain itu, pada blok ini juga terdapat *Reed-Solomon coding* dan *convolutional coding* pada masing-masing blok modulator yang ada.

*Error correction codes* tidak hanya mendeteksi *error* tapi juga membetulkan *error* ke beberapa tingkat. *Error correction code* ini disebut sebagai *Forward Error Corection (FEC)* dan dapat diklasifikasikan menjadi dua tipe, yaitu *block codes* dan *convolutional codes*. Sebagai contoh, *Reed-Solomon (RS) coding*, sebuah *block error correction coding*, mengubah ‘gumpalan’ bits menjadi gumpalan bits yang lebih panjang dengan suatu cara sehingga *error* yang melewati beberapa *threshold* dapat di deteksi dan dikoreksi.

Pada *encoder*, proses pengkodean data diawali dengan menggunakan pengkodean *Reed-Solomon*. setelah itu terdapat *Forward Error Corection (FEC)* dengan menggunakan *convolutional encoder*. Selanjutnya, terjadi proses pengkodean dengan menggunakan *interleaver* untuk menghindari terjadinya *error* yang berdekatan.



**Gambar 3. 3 Proses encoding**

Pada blok ini digunakan *Adaptive Modulation and Coding* (AMC), di mana blok modulator yang aktif ditentukan oleh keadaan *channel*. Dengan adanya AMC maka *encoder* yang digunakan disesuaikan dengan kondisi kanal. Hal ini untuk menjaga performa sistem dengan membuat nilai dari *error* tetap optimal. Ukuran dari blok pada *RS encoder* dan *code rate* untuk *Convolutional encoder* berpasangan dengan modulasi yang digunakan. Tabel 3.1 memberikan ukuran blok dan *code rate* untuk modulasi yang berbeda:

**Tabel 3. 1 Ukuran blok dan coding rate**

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

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

Pada simulasi digunakan 4 jenis modulasi yaitu BPSK, QPSK, 16-QAM dan 64-QAM. Untuk mendapatkan *power* rata-rata dari simbol yang sama, maka konstelasi yang dihasilkan dinormalisasi dengan mengalikan semua titik dengan faktor  $C_m$ . Tabel 3.2 memberikan besar nilai  $C_m$  sesuai dengan skema modulasi yang digunakan:

Tabel 3. 2 Nilai  $C_m$ 

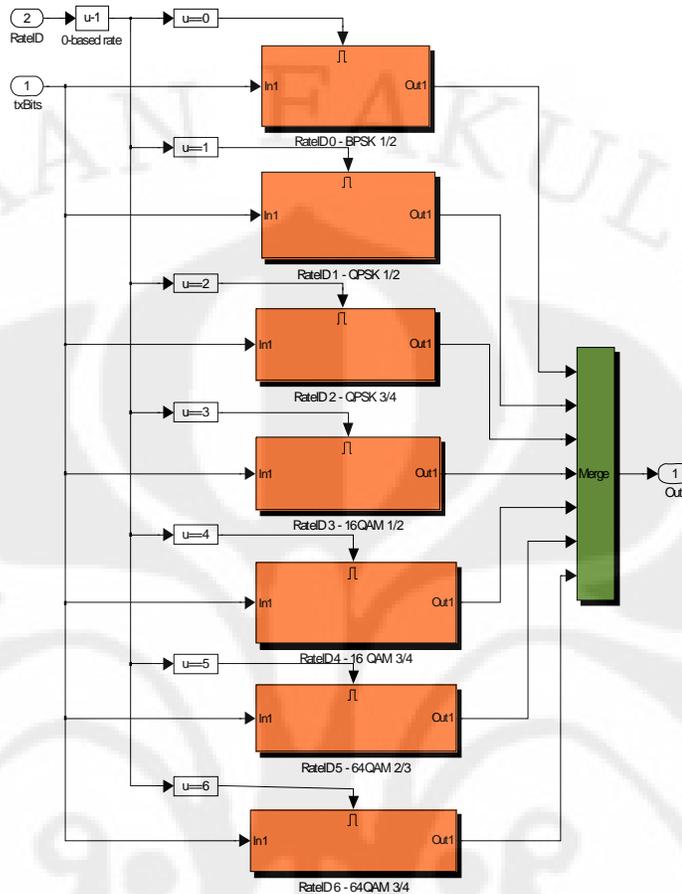
Modulasi	$C_m$
BPSK	1
QPSK	$1/\sqrt{2}$
16-QAM	$1/\sqrt{10}$
64-QAM	$1/\sqrt{42}$

Sedangkan, simbol dipetakan sesuai dengan *simbol alphabet*  $A_s$  dari modulasi. Tabel 3.3 memberikan nilai dari  $A_s$ .

Tabel 3. 3 Nilai  $A_s$ 

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

Berikut ini adalah blok dari FEC dan Modulator Bank:



Gambar 3. 4 FEC dan Modulator bank

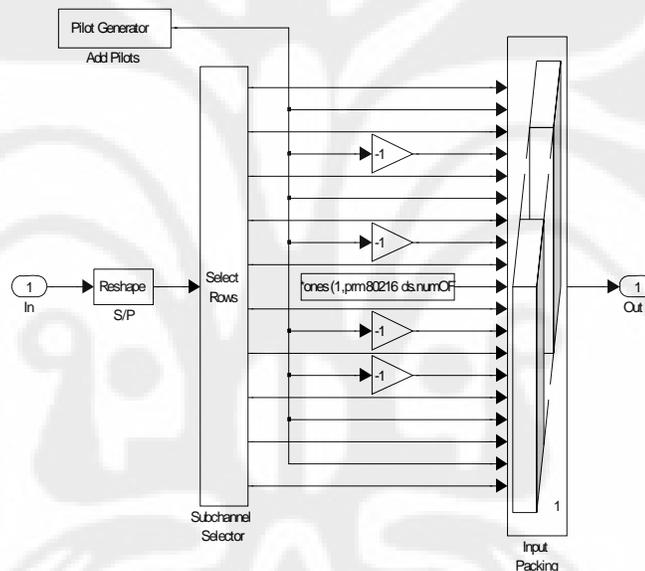
### 3.2.1.3 IFFT *Input Packing*

Blok selanjutnya adalah IFFT *input packing*, di mana pada blok ini terjadi memasukkan pilot dari pilot generator. Setelah dimodulasi, data-data tersebut digabungkan menjadi simbol OFDM. Data dimasukkan ke dalam data *subcarrier* pada simbol OFDM dimana pada simulasi ini terdapat 192 data *subcarrier*, 8 pilot *subcarrier* dan 1 DC *carrier* dalam satu simbol OFDM.

Pilot *subcarrier* didapatkan dengan menggunakan PN sequence generator Linear Feedback Shift Register (PBRs) yang berbasis polinomial  $x^{11} + x^9 + 1$ . Selanjutnya, terjadi modulasi terhadap keluaran dari generator dengan modulator BPSK. Selanjutnya, Pilot dimasukkan pada *subcarrier* dengan urutan berikut:

$$\begin{aligned}
 p_{-88} &= p_{-38} = p_{63} = p_{88} = 1 - 2w_k, \\
 p_{-63} &= p_{-13} = p_{13} = p_{38} = 1 - 2\overline{w_k}.
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

Pada blok ini terdapat blok *concatenation* yang menggabungkan sinyal dari input untuk menciptakan sinyal output yang elemennya berada di lokasi yang berdekatan di dalam memori. Blok ini beroperasi di salah satu vektor atau array multidimensi *concatenation mode*, tergantung pada pengaturan dari Parameter mode. Berikut ini adalah blok IFFT *input packing*:



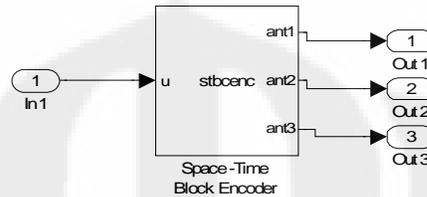
Gambar 3.5 Blok IFFT dan input packing

#### 3.2.1.4 Space Time Diversity Encoder

Setelah simbol OFDM yang terdiri dari data *subcarrier*, pilot *subcarrier* dan DC *carrier* terbentuk, maka simbol akan memasuki blok *Space Time Diversity Encoder*. Pada blok ini terjadi pengkodean 2 simbol yang memasuki encoder untuk ditransmisikan antenna pengirim. Pada simulasi digunakan 3 buah antenna pengirim.

Pada simulasi simbol  $s_0$  dan  $s_1$  memasuki encoder, sehingga ant1 akan mengirimkan  $s_0$  pada waktu pertama dan  $-s_2^*$  pada waktu selanjutnya, ant2 akan

mengirimkan  $s_1$  pada waktu pertama dan  $s_0^*$  pada waktu selanjutnya, ant3 diasumsikan akan mengirimkan sinyal sesuai dengan metode hybrid yang digunakan yaitu  $s_1$  pada waktu pertama dan  $s_0^*$  pada waktu selanjutnya.



Gambar 3. 6 Blok STBC encoder

Berikut ini merupakan fungsi yang digunakan pada blok ini.

```
function [ant1, ant2, ant3] = stbcenc(u)
% STBCENC Space-Time Block Encoder
% Outputs the Space-Time block encoded signal per antenna.

N = 3;
ant1 = complex(zeros(size(u)));
ant2 = ant1;
ant3 = ant2;

% Alamouti Space-Time Block Encoder, G2, full rate
% G2 = [s0 s1; -s1* s0*]
for i = 1:size(u,2)/2
    s0 = u(:, 2*i-1); s1 = u(:, 2*i);
    ant1(:, [2*i-1 2*i]) = [s0 -conj(s1)];
    ant2(:, [2*i-1 2*i]) = [s1 conj(s0)];
    ant3(:, [2*i-1 2*i]) = [s1 conj(s0)];
end
```

Dapat dilihat di sini bahwa untuk antenna ketiga (ant3) diatur nilainya sama seperti antenna kedua (ant2) untuk menyesuaikan dengan metode yang digunakan (lihat gambar yang menjelaskan metode hybrid).

### 3.2.1.5 OFDM Transmitter

Setelah simbol-simbol dialokasikan untuk tiap-tiap antenna masing-masing antenna diberikan sebuah simbol training. Simbol training  $P_{EVEN}$  diberikan untuk ant1,  $P_{ODD}$  untuk ant2, dan untuk ant3 diasumsikan dengan  $P_{EVEN}$ . Simbol training ini akan dikirim berbarengan dengan keluaran dari *Space Time Diversity Encoder* dan digunakan untuk estimasi kanal ketika sampai pada antenna penerima nanti. Besar nilai dari  $P_{EVEN}$  dan  $P_{ODD}$  tergantung nilai dari  $P_{ALL}$  yang merupakan suatu *sequence* yang berisi 201 *subcarrier*.

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

$$P_{ODD}(k) = \begin{cases} 0 & k \bmod 2 = 0 \\ \sqrt{2}\text{conj}(P_{ALL}(k)) & k \bmod 2 \neq 0 \end{cases} \quad (3.3)$$

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

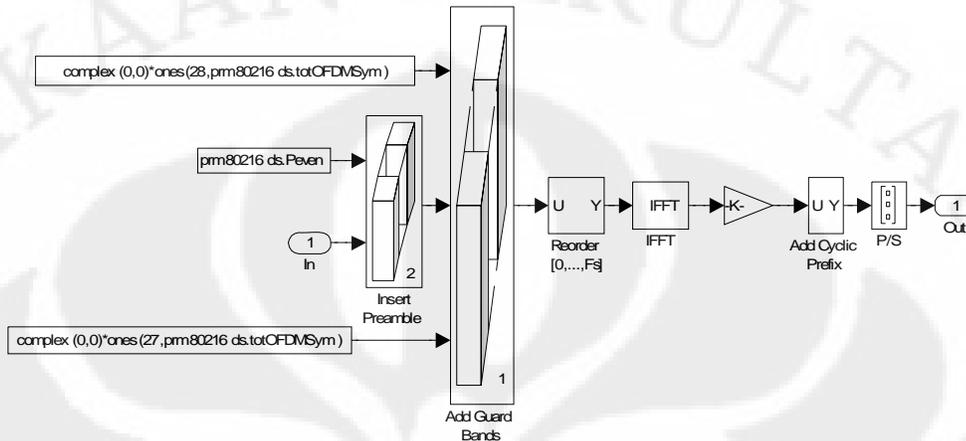
Pada simulasi 55 *subcarrier* yang digunakan sebagai *guard band* disisipkan sebanyak 28 *subcarrier* pada awal simbol (atas) dan sebanyak 27 *subcarrier* pada akhir simbol (bawah).

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

Pada simulasi, setelah penyisipan *guard band* terjadi pengaturan kembali *sub carrier* sebelum proses IFFT dilaksanakan.

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

sinyal dikirimkan melalui *transmitter* menuju kanal dengan terlebih dahulu dijadikan data serial. Berikut ini blok OFDM *transmitter*:



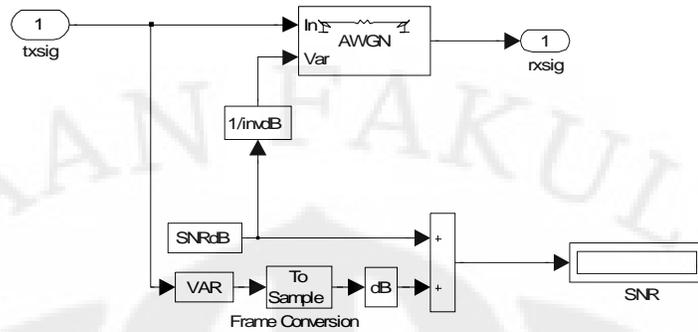
Gambar 3. 7 Blok OFDM transmitter

### 3.2.2 Channel

*Channel* yang digunakan di simulasi ada pada tiga macam *link* (total 5 *link*), yaitu pada *link* dari OFDM *transmitter* ke *relay station*, pada *link* dari *relay station* ke OFDM *receiver*, dan pada *direct link* antara OFDM *transmitter* dengan OFDM *receiver*. Pada *channel* yang pertama hanya digunakan AWGN *channel* dengan asumsi bahwa *relay station* diam (*fixed*) sehingga tidak membutuhkan efek doppler. Sedangkan *channel* yang kedua dan ketiga menggunakan *Multipath Rayleigh Fading Channel* dan AWGN *channel* dengan asumsi bahwa *receiver* dapat mobilisasi.

#### 3.2.2.1 AWGN

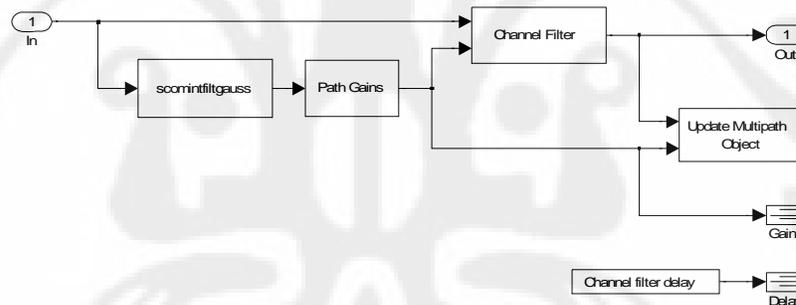
Blok ini digunakan untuk menambahkan *White Gaussian Noise* ke dalam sinyal input. Berikut ini blok AWGN *channel*:



Gambar 3. 8 Blok AWGN channel

### 3.2.2.2 Multipath Rayleigh

Blok *Multipath Rayleigh Fading Channel* mengimplementasikan simulasi *baseband* dari *channel* propagasi *multipath Rayleigh Fading*. Blok ini berguna untuk pemodelan sistem komunikasi nirkabel bergerak. Berikut ini blok *Multipath Rayleigh Fading Channel*:

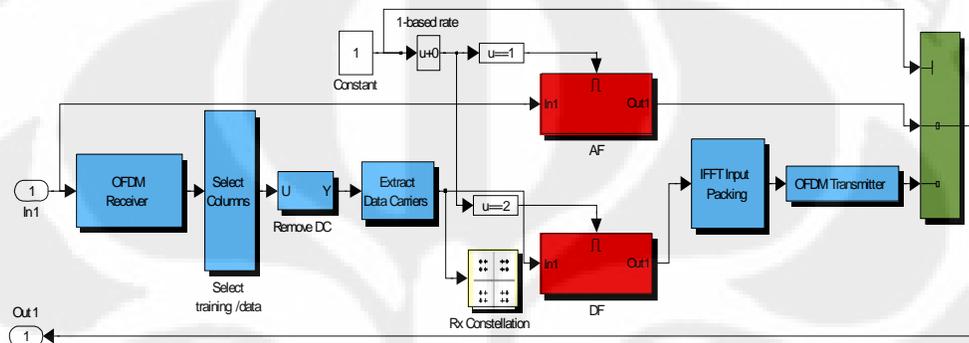


Gambar 3. 9 Blok Multipath Rayleigh channel

### 3.2.3 Relay station

Blok selanjutnya adalah blok *Relay station*. Blok ini ada dua buah yang masing-masing sama karakteristiknya. *Relay station* ini hanya memiliki dua bagian utama, yaitu blok AF dan blok DF. Blok AF hanya berisi penguat (gain) saja, sedangkan blok DF lebih rumit, yaitu memiliki *coding* atau modulasi sendiri, di mana *coding* atau modulasi yang dimaksud di sini sama dengan *coding* pada *transmitter* dan *receiver*.

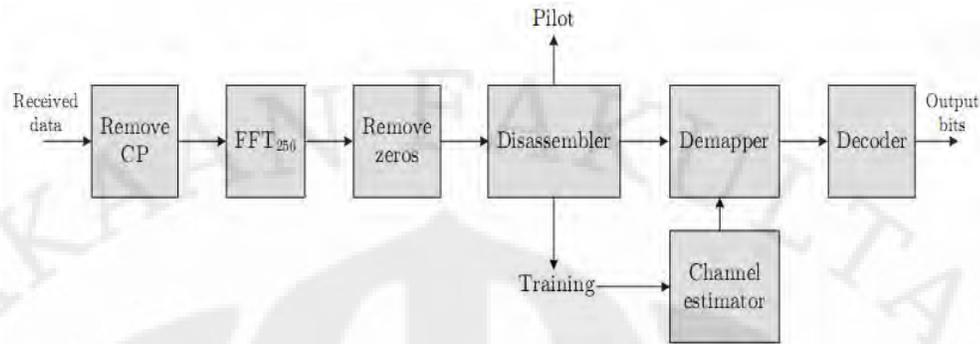
Pada blok ini seharusnya ada mekanisme pemilihan metode apa yang digunakan dalam merelay data yang ditransmisikan oleh *transmitter*, mirip dengan *Adaptive Modulation and Coding*, namun pada simulasi ini hanya diasumsikan saja agar hasilnya dapat terlihat. Isi dari blok *relay station* dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 3. 10 Blok Relay Station

### 3.2.4 Receiver

Blok-blok yang menjadi *receiver* yaitu OFDM receiver, Space Time Diversity Combiner, Extract Data Carrier, dan Demodulator dan FEC Bank. Sinyal yang melewati *channel* komunikasi akan sampai pada antenna penerima. Pada antenna penerima, terjadi serangkaian proses untuk mengubah kembali sinyal yang diterima menjadi data yang dibangkitkan. Pada dasarnya, proses-proses yang terjadi pada *receiver* merupakan kebalikan dari proses yang terjadi pada *transmitter*. Namun, terdapat estimasi kanal agar dapat mengestimasi nilai sinyal asli setelah melewati kanal.



Gambar 3. 11 Proses yang terjadi pada receiver

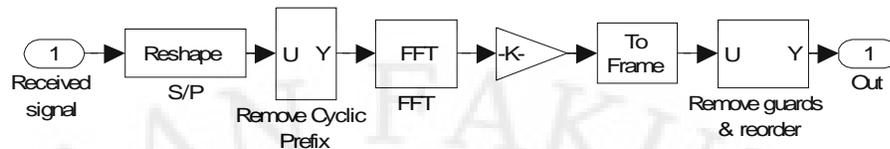
#### 3.2.4.1 OFDM Receiver

Proses yang terjadi pada *receiver* diawali dengan pelepasan *cyclic prefix* (CP) dengan sebelumnya di-*reshape* ke data paralel. Pada simulasi, hal ini dilakukan dengan menghapus 32 bagian awal pada tiap-tiap simbol yang diterima. Dengan begitu, *cyclic prefix* yang sudah ditambahkan pada simbol akan menghilang.

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

Setelah sinyal memasuki proses FFT, sinyal tersebut memasuki proses pelepasan *guard band*. Hal ini dilakukan dengan menghapus 55 *subcarrier* yang terdapat bagian tengah simbol. Dengan begitu, 1 simbol akan kembali menjadi 201 *subcarrier*.

Selain menghapus *guard band*, *subcarrier-subcarrier* juga mengalami penyusunan ulang sehingga struktur susunan *subcarrier* kembali menjadi struktur yang sama seperti sebelum ditransmisikan. Di bawah ini adalah blok OFDM *receiver*.

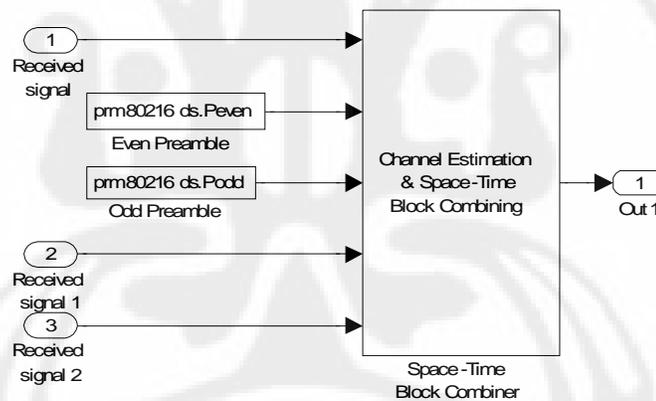


Gambar 3. 12 Blok OFDM receiver

### 3.2.4.2 Space Time Diversity Combiner

Pada proses pelepasan simbol training terjadi juga proses *STBC combiner*. Pada proses ini juga terdapat proses estimasi kanal sehingga estimasi kanal ini akan dapat digunakan sebagai parameter untuk *STBC combiner*.

Dari simbol-simbol yang diterima *receiver*, Simbol training yang diterima *receiver* akan dibandingkan dengan  $P_{EVEN}$  dan  $P_{ODD}$  sehingga didapatkan estimasi kanal untuk tiap-tiap *subcarrier*. Selain itu terjadi proses pelepasan *DC carrier* pada saat terjadi proses estimasi kanal. Dari estimasi kanal yang didapat, maka nilai dari  $S_0$  dan  $S_1$  dapat diambil dengan menggunakan *STBC combiner*.



Gambar 3. 13 Blok Channel estimation and STBC combiner

Berikut ini adalah fungsi yang digunakan dalam *STBC combiner*.

```
function z = stbcdec(chEst1, rx, chEst2)
% STBCDEC Space-Time Block Combiner

N = 2; M = 1;
z = complex(zeros(size(rx)));
z0 = complex(zeros(size(rx,1), M)); z1 = z0;
```

```

% Space Time Combiner
for i = 1:size(rx,2)/2
    z0(:, M) = rx(:, 2*i-1).* conj(chEst1(:, 2*i-1)) + ...
               conj(rx(:, 2*i)).* chEst2(:, 2*i);

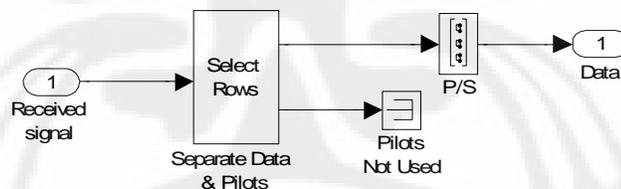
    z1(:, M) = rx(:, 2*i-1).* conj(chEst2(:, 2*i-1)) - ...
               conj(rx(:, 2*i)).* chEst1(:, 2*i);

    z(:, [2*i-1 2*i]) = [z0 z1];
end

```

### 3.2.4.3 Extract Data Carrier

Setelah  $S_0$  dan  $S_1$  didapat dari STBC *combiner*, maka terjadi proses pelepasan pilot *subcarrier*. Hal ini dilakukan dengan menghilangkan bagian ke 13, 38, 63, 88, 113, 138, 163, 188 dari simbol yang diterima. Dengan hilangnya Pilot *subcarrier* maka yang tersisa hanyalah data *subcarrier* yang selanjutnya akan memasuki demodulator.



Gambar 3. 14 Blok extract data carrier

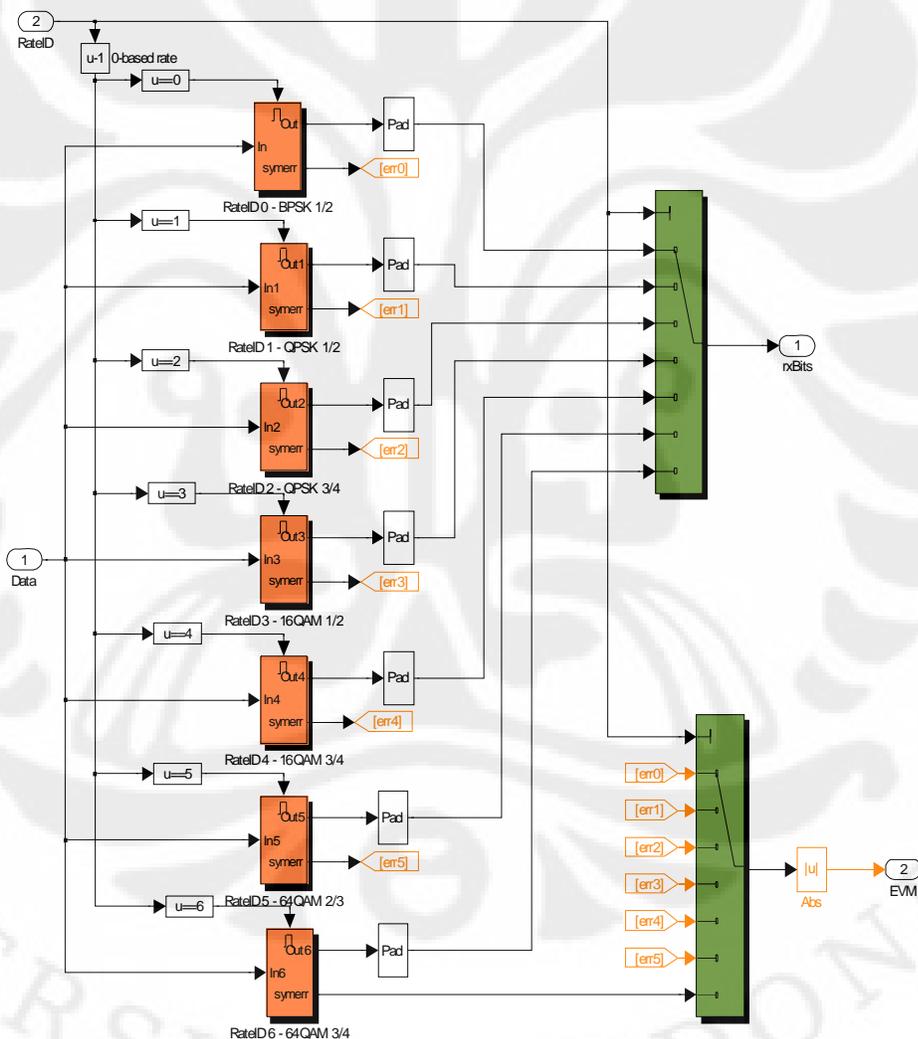
### 3.2.4.4 Demodulator dan FEC Bank

Setelah terjadinya pelepasan pilot *subcarrier*, data *subcarrier* memasuki blok Demodulator dan FEC Bank. Pada simulasi, pasangan demodulator, Viterbi *decoder* dan RS *decoder* tergantung dari modulator, Convolutional encoder dan RS encoder yang digunakan.

Demodulator berfungsi untuk melakukan *demapping* yang memberikan *interface* antara kanal transmisi dan fungsi yang dapat menghitung dan

mengestimasi bit data agar sampai ke pengguna. *Subcarrier* yang memasuki demodulator akan mengalami proses demodulasi dimana akan didapat bit biner sebagai keluaran demodulator yang selanjutnya akan memasuki viterbi decoder untuk proses koreksi.

Terdapat beberapa metode *demapping* yang dapat digunakan sebagai metric penentu agar dapat ditentukan bit '1' ataupun '0' yang sudah dikirim oleh *transmitter* sebelumnya. Pada simulasi digunakan metode *hard decision* yang memiliki keluaran *hard decision* sebagai fungsi dari input.



Gambar 3. 15 Blok FEC dan Modulator bank

Pada simulasi, digunakan teknik Adaptive Modulation and Coding (AMC). AMC dapat menjaga nilai BER agar tetap kecil dan throughput yang dihasilkan.

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

**Tabel 3. 4 Mode AMC yang digunakan**

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

## BAB 4

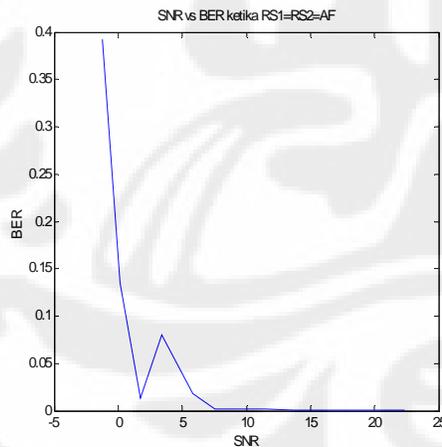
### ANALISIS DAN HASIL SIMULASI

Parameter-parameter yang diatur sebelum simulasi dijalankan yaitu besarnya *channel bandwidth* sebesar 3.5 MHz, jumlah simbol OFDM per burst sebanyak empat simbol, faktor cyclic prefix (CP) sebesar 1/8, dan low SNR *threshold for rate control* pada 4, 10, 12, 19, 22, dan 28 dB.

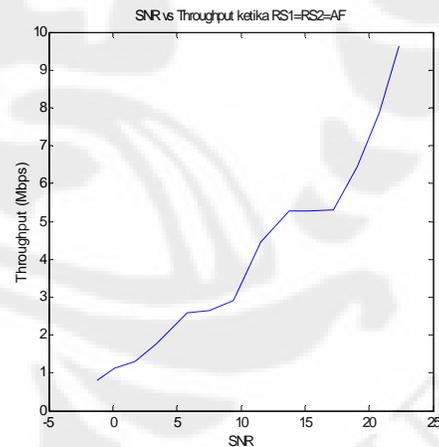
#### 4.1 Kinerja Sistem Ketika RS1 dan RS2 Mengaktifkan AF

Simulasi yang pertama kali dilakukan dengan mengatur kondisi pada masing-masing *Relay station* (RS). RS1 diatur agar yang aktif adalah blok AF (*Amplify and Forward*), di mana hanya berisi blok gain. Begitu pula dengan RS2, yang aktif hanya blok AF.

Selanjutnya, simulasi dijalankan dengan memvariasikan nilai SNR pada masing-masing *channel AWGN*, dengan besar SNR yang sama, agar dapat dilihat perbandingan antara SNR pada *receiver* dengan BER, dan SNR pada *receiver* dengan *throughput*. Berikut ini adalah perbandingan yang dimaksud.



Gambar 4. 1 SNR vs BER dengan  
RS1=RS2=AF



Gambar 4. 2 SNR vs *Throughput* dengan  
RS1=RS2=AF

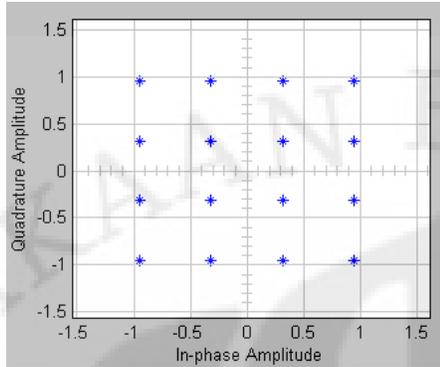
Bila dilihat dari Gambar 4.1, secara umum ketika SNR naik, maka nilai BER mengecil sehingga semakin banyak data yang diterima dan semakin sedikit data yang *error*. Namun, pada grafik terlihat adanya kenaikan nilai BER bersamaan kenaikan nilai SNR. Kenaikan ini tercatat terjadi sampai nilai SNR pada AWGN channel diatur sebesar 7 dB dengan nilai SNR yang didapat pada receiver sebesar 3,419 dB. Nilai BER yang diperoleh adalah sebesar 0.07955. Setelah itu nilai BER kembali turun.

Untuk grafik SNR vs *Throughput* terlihat bahwa semakin besar SNR maka semakin besar pula *throughput*-nya. Hal ini berkaitan dengan menurunnya nilai BER sehingga banyaknya data yang dikirim (*bit*) sedikit ada yang *error* ketika sampai di penerima. Besarnya *throughput* yang diperoleh ketika SNR pada AWGN channel diatur 21 dB, nilai SNR di receiver sebesar 17,21 dB, adalah 5,301836 Mbps.

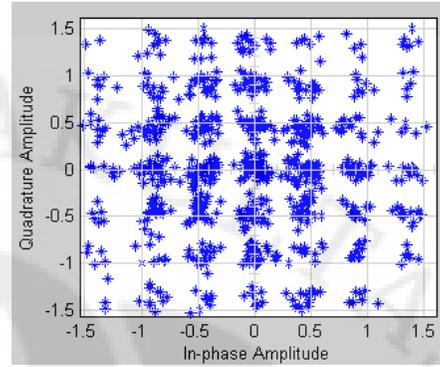
Untuk kasus nilai BER yang naik seperti disebutkan di atas, ternyata *throughput* yang diperoleh tetap naik meskipun nilai BER naik. Hal ini dikarenakan banyaknya data yang dikirim (SNR pada AWGN channel = 7 dB) ternyata jauh lebih banyak dibandingkan dengan banyaknya data yang dikirim sebelumnya (SNR pada AWGN channel = 5 dB). Sedangkan peningkatan nilai BER tidak sebanyak peningkatan jumlah data yang dikirimkan.

Pada kondisi ini, Relay Station berperan sebagai amplifier yang hanya mere-relay sinyal data yang dikirimkan oleh OFDM transmitter. Selanjutnya, sinyal ini akan dikirimkan kembali oleh Relay Station ke OFDM receiver dan akan diproses lebih jauh di receiver.

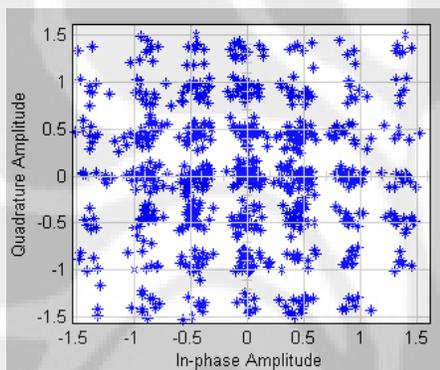
Selanjutnya, data grafik konstelasi diambil dengan besar SNR pada masing-masing blok AWGN *channel* diatur sebesar 21 dB. Berikut ini adalah gambar diagram konstelasi dari simulasi yang pertama.



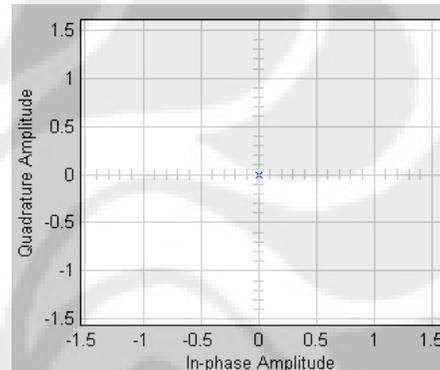
**Gambar 4.3 Tx Constellation**



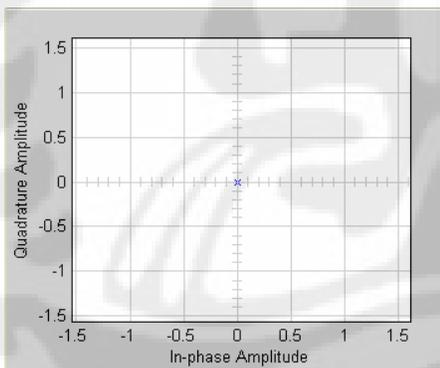
**Gambar 4.6 Rx-RS2 Constellation**



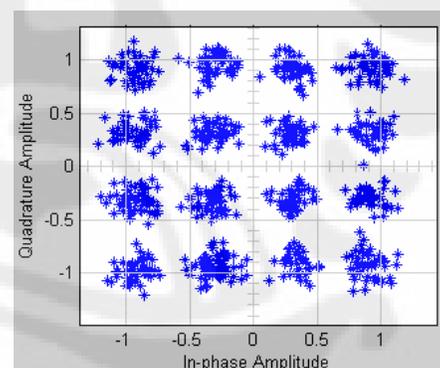
**Gambar 4.4 Rx-RS1 Constellation**



**Gambar 4.7 Tx-RS2DF Constellation**



**Gambar 4.5 Tx-RS1DF Constellation**



**Gambar 4.8 Rx Constellation**

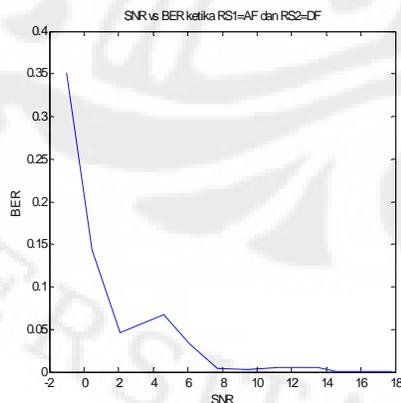
Pada Gambar 4.3 dapat dilihat bentuk konstelasi dari data yang dikirim dengan menggunakan modulator 16-QAM rate 1/2. Penggunaan modulator 16-QAM ini mengacu kepada kerja AMC. Pada blok SNR estimation diperoleh besarnya SNR sebesar 17,21. Lalu ketika masuk blok Adaptive Rate Control,

SNR yang diperoleh tadi dibandingkan dengan threshold yang telah ditentukan sehingga didapatlah nilai  $\text{rateID}$  yang akan mengaktifkan modulator mana yang akan digunakan, dalam kasus ini modulator yang aktif adalah modulator 16-QAM dengan rate  $\frac{1}{2}$ .

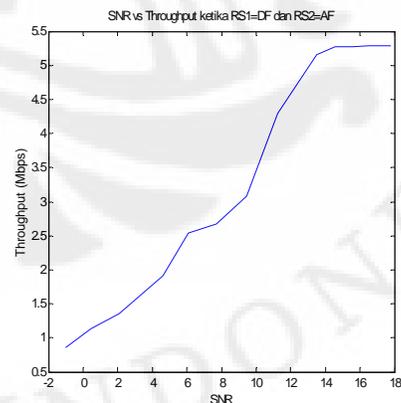
Ketika data ditransmisikan, maka akan diterima oleh *receiver Relay Station* dan diagram konstelasinya dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5. Pada *receiver Relay Station* tersebut terlihat bahwa diagram konstelasinya sudah cukup kacau (noise) walaupun masih menyerupai bentuk awal. Lalu untuk Gambar 4.6 dan Gambar 4.7, tidak ada diagram konstelasinya karena pada saat itu blok DF (*Decode and Forward*) tidak aktif. Terakhir adalah konstelasi pada *receiver*. Pada Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa bentuknya sudah lebih baik lagi dari yang terlihat pada *relay station* dan menyerupai konstelasi pada *transmitter* sehingga dapat dipastikan bahwa transmisi berhasil dilakukan dengan baik.

#### 4.2 Kinerja Sistem Ketika AF Aktif pada RS1 dan DF Aktif pada RS2

Selanjutnya, simulasi kedua dilakukan dengan mengatur RS1 agar mengaktifkan AF dan RS2 mengaktifkan DF. Sama seperti sebelumnya, simulasi ini juga dilakukan dengan memvariasikan nilai SNR pada masing-masing AWGN *channel*, agar bernilai sama, dari 1 dB hingga 27 dB. Berikut ini dapat dilihat hasil perbandingan antara SNR pada *receiver* dengan BER dan SNR pada *receiver* dengan *throughput*.



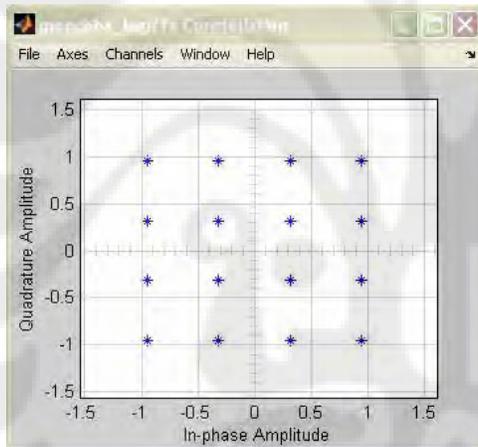
Gambar 4. 9 SNR vs BER dengan RS1=AF dan RS2=DF



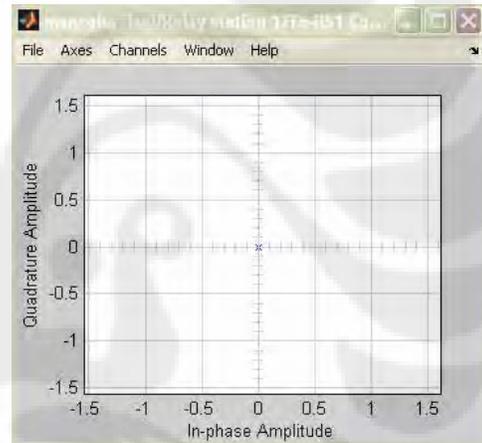
Gambar 4. 10 SNR vs Throughput dengan RS1=AF dan RS2=DF

Gambar 4.9 memperlihatkan bahwa ketika SNR naik maka BER akan turun meskipun ada yang nilai BER-nya naik. Hal ini terjadi ketika nilai SNR pada AWGN channel diatur sebesar 7 dB. Besar SNR pada receiver adalah 4,591 dB dan besarnya BER adalah 0,06679. Setelah itu nilai BER kembali turun seiring naiknya nilai SNR pada receiver.

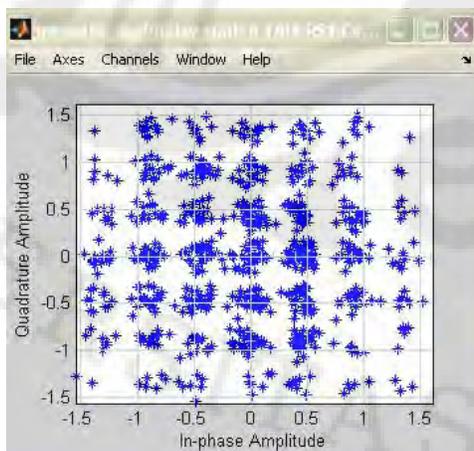
Pada Gambar 4.10 dapat dilihat besarnya *throughput* semakin meningkat seiring dengan meningkatnya SNR karena nilai BER juga menurun. Untuk kasus ketika nilai BER-nya naik, *throughput* yang diperoleh ternyata tetap naik. Hal ini dikarenakan kenaikan BER tidak sebanyak kenaikan data yang dikirim. Berikut ini adalah diagram konstelasinya:



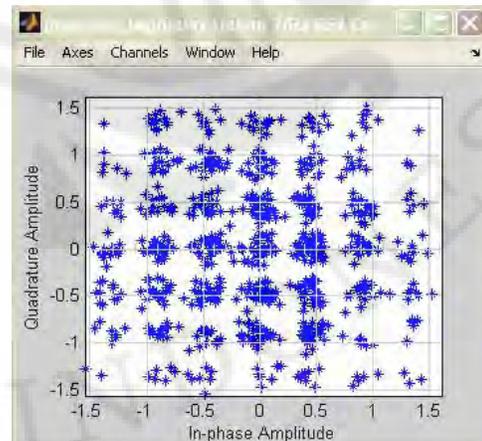
Gambar 4. 11 Tx Constellation



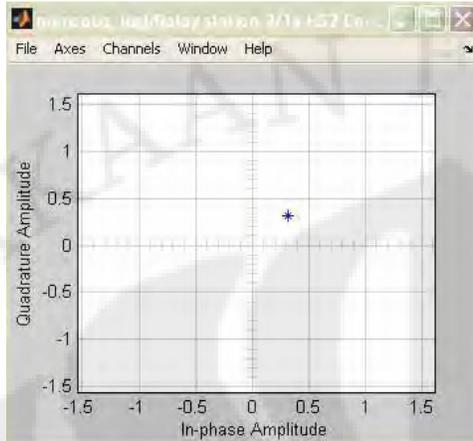
Gambar 4. 13 Tx-RS1DF Constellation



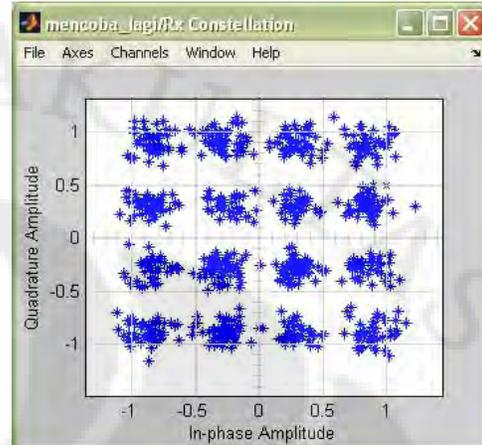
Gambar 4. 12 Rx-RS1 Constellation



Gambar 4. 14 Rx-RS2 Constellation



Gambar 4. 15 Tx-RS2DF Constellation



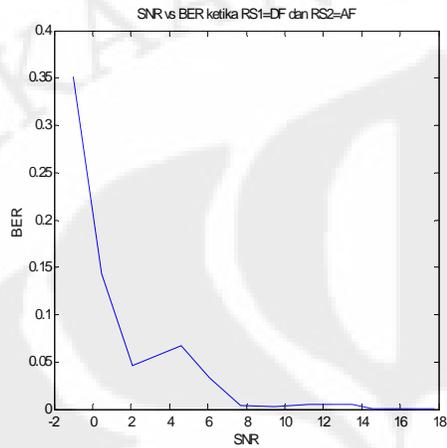
Gambar 4. 16 Rx Constellation

Dari gambar-gambar di atas, dapat dijelaskan bahwa untuk Gambar 4.11 adalah konstelasi data yang akan dikirimkan. Konstelasi ini adalah dari modulator 16-QAM dengan rate  $\frac{1}{2}$  yang aktif karena kerja dari AMC. Gambar 4.12 dan Gambar 4.14 adalah konstelasi data yang diterima di *receiver* RS1 dan RS2 di mana data tersebut masih baik kualitasnya. Ketika ditransmisikan kembali, Gambar 4.13 dan Gambar 4.15, hanya Gambar 4.15 yang menunjukkan konstelasi karena pada kondisi ini, RS1 mengaktifkan AF dan RS2 mengaktifkan DF. Konstelasi ini adalah yang terjadi pada RS2. Gambar 4.15 sebenarnya tidak hanya seperti itu, tetapi seharusnya ada titik konstelasi lainnya yang muncul namun sulit untuk di-*capture*. Konstelasi terakhir pada Gambar 4.16 adalah konstelasi pada sisi receiver. Terlihat bahwa konstelasi yang terbentuk menyerupai konstelasi pada transmitter sehingga dapat dipastikan bahwa transmisi telah berhasil dilakukan dengan baik.

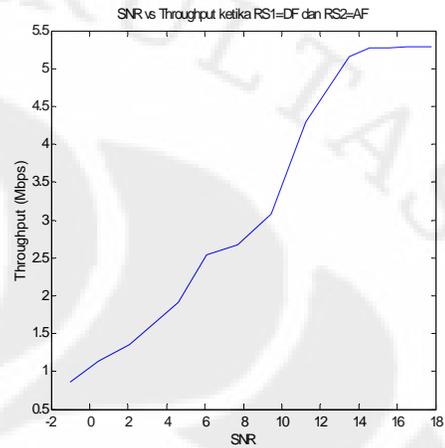
### 4.3 Kinerja Sistem Ketika DF Aktif pada RS1 dan AF Aktif pada RS2

Simulasi ketiga, sistem diperlakukan sama seperti sebelumnya. Kali ini diatur agar mengaktifkan DF, sedangkan RS2 diatur agar mengaktifkan AF. Untuk melihat perbandingan SNR pada *receiver* dengan BER dan SNR pada

receiver dengan *throughput*, maka AWGN channel diatur nilai SNRnya dari 1 dB sampai dengan 27 dB. Berikut ini adalah plot dari perbandingan tersebut:

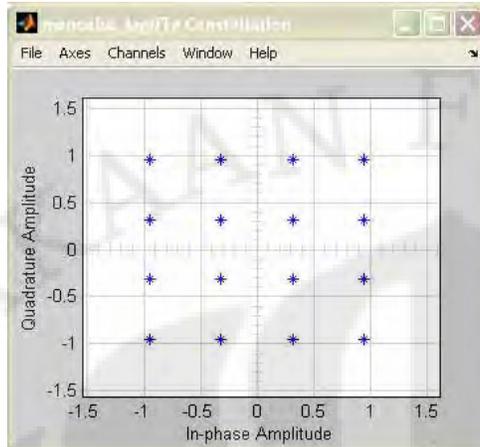


**Gambar 4.17** SNR vs BER dengan  
RS1=DF dan RS2=AF

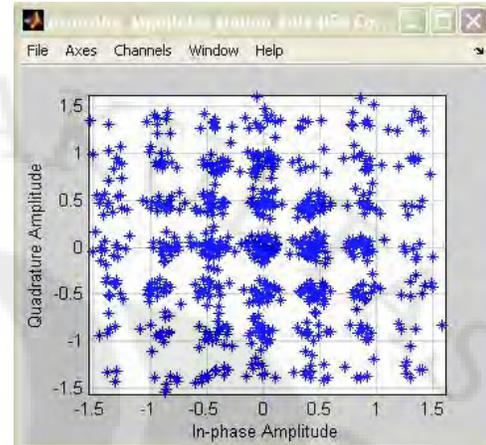


**Gambar 4.18** SNR vs *Throughput* dengan  
RS1=DF dan RS2=AF

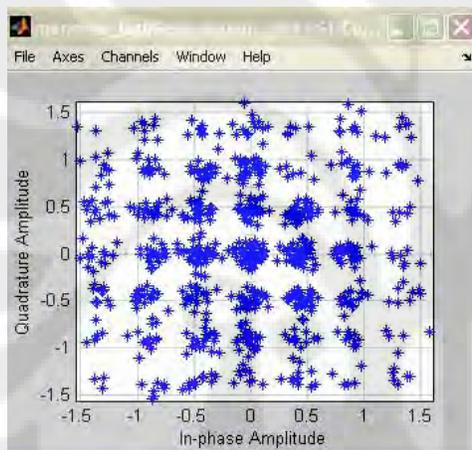
Dari Gambar 4.17 dapat diketahui bahwa SNR yang semakin besar, maka BER semakin kecil. Sedangkan untuk Gambar 4.18 semakin besar SNR maka semakin besar pula *throughput*-nya. Nilai-nilai yang ada pada grafik di atas ternyata sama dengan nilai-nilai ketika RS1 mengaktifkan AF dan RS2 mengaktifkan DF. Hal ini dikarenakan RS1 dan RS2 memiliki karakteristik yang sama sehingga ketika mode forwarding antara dua Relay Station ini ditukar tidak akan ada perubahan data yang diterima oleh receiver.



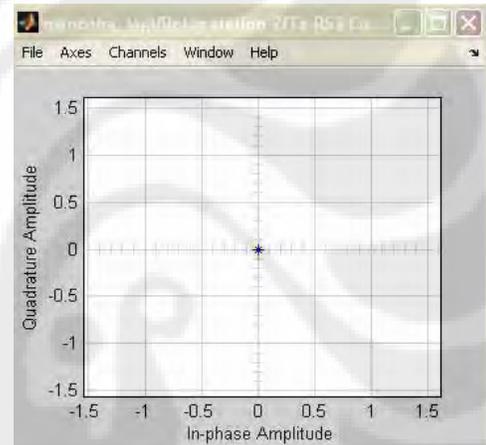
Gambar 4. 19 Tx Constellation



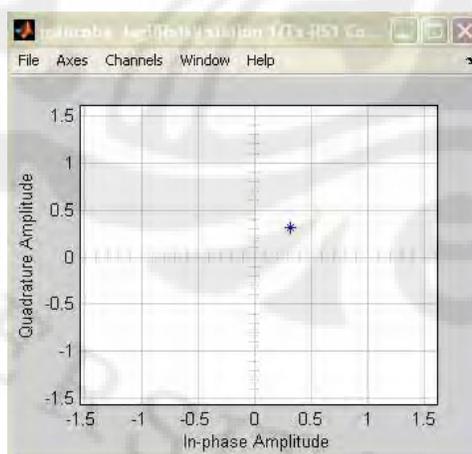
Gambar 4. 22 Rx-RS2 Constellation



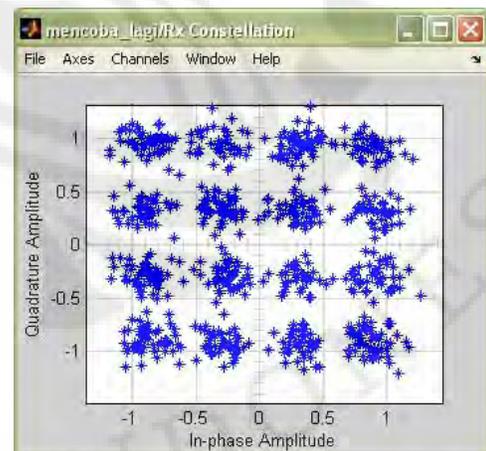
Gambar 4. 20 Rx-RS1 Constellation



Gambar 4. 23 Tx-RS2DF Constellation



Gambar 4. 21 Tx-RS1DF Constellation



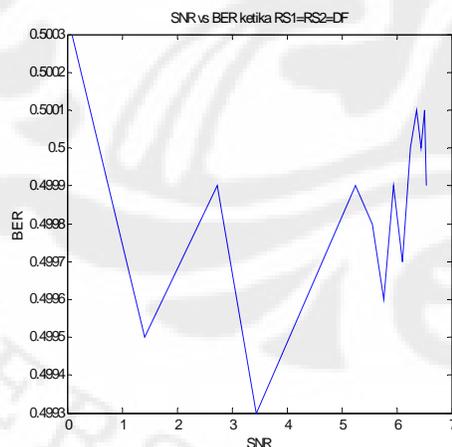
Gambar 4. 24 Rx Constellation

Dilihat dari gambar-gambar konstelasi di atas, bila dibandingkan dengan keadaan ketika RS1 mengaktifkan AF dan RS2 mengaktifkan DF, maka konstelasi-konstelasi di sini sama persis. Bedanya hanya pada konstelasi pada RS1 dan RS2 yang bertukar karena perbedaan mode forwarding yang mana yang aktif.

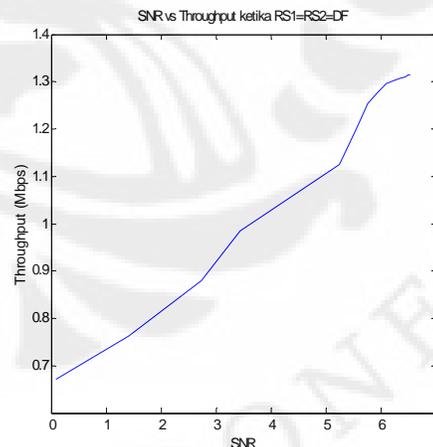
Gambar 4.19 menjelaskan konstelasi pada sisi transmitter, di mana modulator yang aktif adalah 16-QAM dengan rate  $\frac{1}{2}$ . Selanjutnya Gambar 4.20 dan Gambar 4.22 menjelaskan konstelasi yang ada pada receiver RS1 dan RS2. Gambar 4.21 dan Gambar 4.23 menjelaskan konstelasi pada transmitter RS1 dan RS2. Terakhir adalah konstelasi pada receiver, Gambar 4.24, yang mirip dengan konstelasi pada transmitter sehingga dapat dikatakan transmisi berhasil dengan baik.

#### 4.4 Kinerja Sistem Ketika RS1 dan RS2 Mengaktifkan DF

Terakhir, simulasi diatur agar pada RS1 dan RS2 masing-masing mengaktifkan *Decode and Forward* (DF). Lalu untuk mengetahui perbandingan antara SNR pada *receiver* dengan BER dan SNR pada *receiver* dengan *throughput*, maka nilai SNR pada masing-masing AWGN *channel* divariasikan dari 1 dB sampai 27 dB. Berikut ini hasil yang diperoleh.



Gambar 4. 25 SNR vs BER dengan  
RS1=RS2=DF



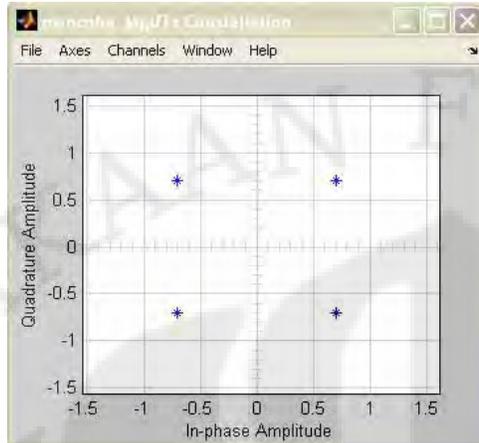
Gambar 4. 26 SNR vs *Throughput* dengan  
RS1=RS2=DF

Hasil yang diperoleh dalam simulasi ini berbeda dari simulasi sebelumnya. Pada Gambar 4.25, semakin besar SNR pada *receiver* ternyata BER yang diperoleh tidak jauh berubah yaitu berkisar 0,5 yang merupakan nilai BER yang sangat besar. Kalau diartikan, apabila data yang dikirim 1 kb, maka data yang *error* sekitar 0,5 kb. Ini merupakan suatu loss yang sangat besar. Selain itu, ketika SNR pada AWGN channel di atur semakin besar ternyata SNR pada receiver tidak meningkat jauh. Sebagai contoh, ketika SNR pada AWGN channel diatur sebesar 21 dB, nilai SNR yang tercatat pada receiver adalah 6,368 dB. Terlihat bahwa noise sangat besar sehingga nilai SNR turun jauh.

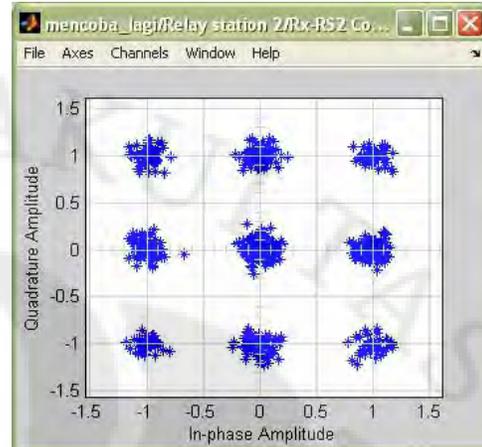
Apabila kita melihat Gambar 4.26, dapat dikatakan bahwa ketika SNR naik maka *throughput* juga akan naik. Namun, hal ini juga berbeda dengan simulasi sebelumnya di mana pada simulasi ini, kenaikan SNR tidak terlalu jauh. Begitu juga dengan kenaikan *throughput*. Tercatat pada SNR AWGN channel yang diatur sebesar 21 dB, SNR pada receiver sebesar 6,368 dan besarnya *throughput* sebesar 1,308 Mbps. Sangat jauh berbeda dengan tiga simulasi sebelumnya.

Pada kondisi ini, disadari bahwa *Relay Station* sangat mempengaruhi kinerja sistem dan sangat merugikan. Karena pada kondisi ini kedua *relay station* mengaktifkan DF, maka seperti ada kekacauan pada data yang diterima oleh *receiver*, seakan-akan data menjadi bertumpuk dan akhirnya pada receiver yang diterima hanya setengah dari data yang dikirimkan.

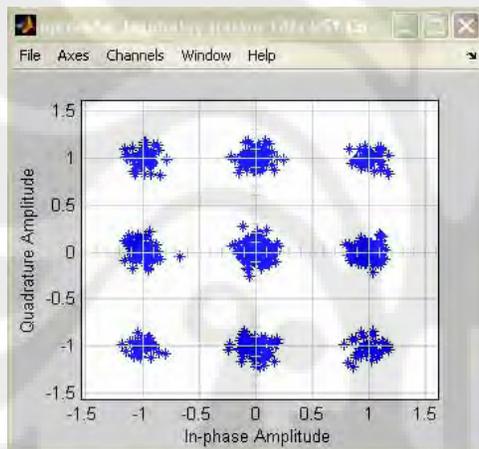
Berikut ini ditampilkan konstelasi yang terjadi pada simulasi dengan kondisi RS1 dan RS2 sama-sama mengaktifkan DF.



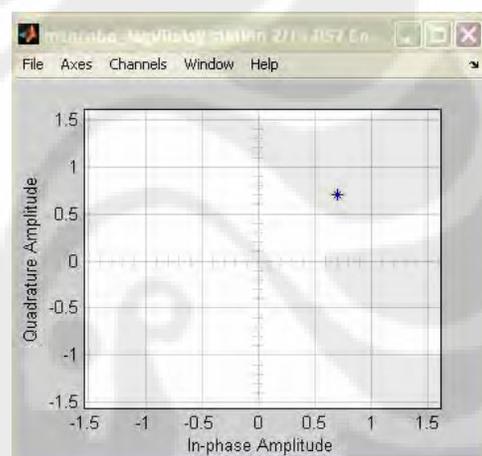
Gambar 4. 27 Tx Constellation



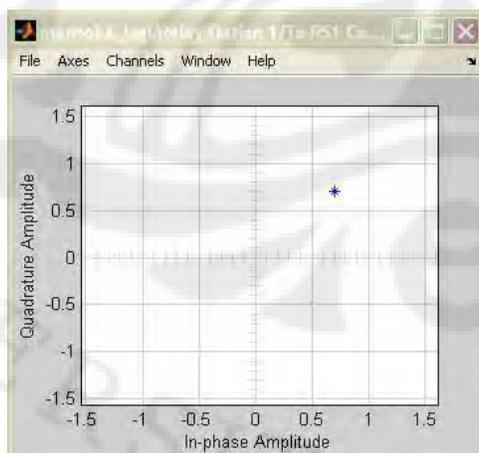
Gambar 4. 30 Rx-RS2 Constellation



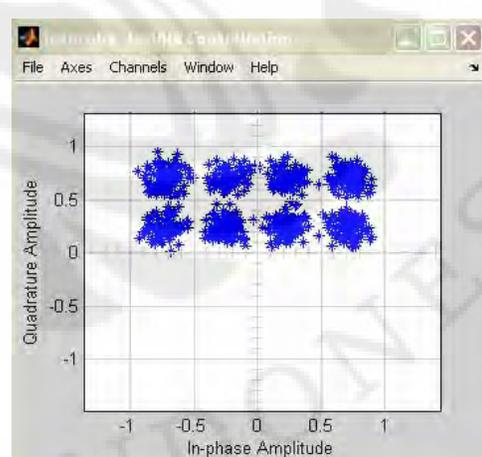
Gambar 4. 28 Rx-RS1 Constellation



Gambar 4. 31 Tx-RS2DF Constellation



Gambar 4. 29 Tx-RS1DF Constellation



Gambar 4. 32 Rx Constellation

Bila kita lihat antara Gambar 4.27 dengan Gambar 4.28 dan Gambar 4.30, maka akan ditemukan keanehan. Ketika data ditransmisikan, pola/titik konstelasi ada empat buah, yang menjelaskan modulator yang digunakan adalah QPSK dengan rate  $\frac{1}{2}$ , sedangkan ketika di *relay station* menjadi enam titik. Terlebih lagi ketika data diterima *receiver*, konstelasi yang diperoleh menjadi seperti di Gambar 4.32. Tidak heran kalau hasil akhirnya mendapatkan BER yang sangat besar dengan nilai SNR dan *throughput* yang kecil.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN**

Dari hasil simulasi dalam empat kondisi pada BAB sebelumnya dan dari hasil analisa, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Simulasi dengan kondisi Relay Station 1 dan Relay Station 2 sama-sama mengaktifkan mode forwarding Amplify and Forward (AF) menghasilkan performa yang paling baik di antara keempat kondisi yang disimulasikan. Tercatat ketika SNR pada AWGN channel diatur masing-masing bernilai 21 dB, SNR pada receiver diperoleh sebesar 17,21 dB, data yang diterima sebanyak 5306000 bit, data yang error sebanyak 4164 bit, dan throughput yang diperoleh sebesar 5.301836 Mbps.
2. Simulasi dengan kondisi Relay Station 1 mengaktifkan AF dan Relay Station mengaktifkan DF memperoleh performa yang sama dengan simulasi ketika kondisi Relay Station 1 mengaktifkan DF dan Relay Station 2 mengaktifkan AF. Hal ini dapat dilihat dari grafik perbandingan SNR vs BER dan SNR vs Throughput yang sama pada dua kondisi tersebut. Begitu pula dengan konstelasinya. Secara kuantitatif juga diperlihatkan kesamaannya. Contohnya ketika SNR di AWGN channel diatur sebesar 21 dB, SNR pada receiver sebesar 15,56 dB, data yang diterima sebanyak 5284000 bit, data yang error sebanyak 5389 bit, dan besarnya throughput sebesar 5,278611 Mbps.
3. Simulasi dengan kondisi Relay Station 1 dan Relay Station 2 sama-sama mengaktifkan DF adalah simulasi dengan peforma atau hasil yang paling buruk dibandingkan tiga kondisi lainnya. Tercatat ketika SNR pada AWGN channel diatur sebesar 21 dB, SNR pada receiver didapat sebesar 6,368 dB, banyaknya data yang diterima sebanyak 2615000 bit, data yang error sebanyak 1307000 bit, dan throughput yang diperoleh sebesar 1,308 Mbps.
4. Dari simulasi yang dilakukan, penggunaan Relay Station pada transmisi metode Hybrid ini sangat dihindari kondisi di mana Relay Station 1 dan Relay Station 2 sama-sama mengaktifkan DF karena performa yang buruk dan sangat merugikan.

## REFERENSI

- [1] Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., IEEE Std 802.16-2004; IEEE Standard for Local and metropolitan area networks; Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access, Oct. 1, 2004.
- [2] Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., IEEE Std 802.16e-2005; IEEE Standard for Local and metropolitan area networks; Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands and Corrigendum 1, Feb. 28, 2006.
- [3] WiMAX Forum, Mobile WiMAX – Part 1: A Technical Overview and Performance Evaluation, Agustus. 2006.
- [4] IEEE 802.16-2004, *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*, October 2004.
- [5] WiMAX Forum White Paper, Mobile WiMAX - Part I: a technical overview and performance evaluation, March 2006.
- [6] IEEE 802.16-2004, *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*, October 2004
- [7] Govindan Nair, Joey Chou, Tomaz Madejski, Krzysztof Perycz, David Putzolu, and Jerry Sydir, “IEEE 802.16 Medium Access Control and Service Provisioning,” *Intel Technology Journal* 3, no. 3 (August 20, 2004): 216—217.
- [8] Multiple Antenna System in WiMAX, Airspan
- [9] “Multiple-Antenna Technology in WiMAX Systems”: Atul Salvekar, Sumeet Sandhu, Qinghua Li, Minh-Anh. Vuong, Xiaoshu Qian, all of Intel Communications Group, Intel Corporation.
- [10] <http://www.dsplog.com/2009/03/15/alamouti-stbc-2-receive-antenna/> juni 09.

- [11] I-Kang Fu, Wern-Ho Sheen, Fang-Ching Ren, ' Deployment and Radio Resource Reuse in IEEE 802.16j Multi-hop Relay Network in Manhattan-like Environment', ICICS 2007.
- [12] United States Patent Publication, "Hybrid Forwarding Apparatus and Method of Cooperative Relaying in An OFDM Network", April.19,2007.



## DAFTAR PUSTAKA

- Frank Ohrtman, "WiMAX Handbook: Building 802.16 Wireless Network," McGraw-Hill Communications, 2005.
- I-Kang Fu, Wern-Ho Sheen, Fang-Ching Ren,' Deployment and Radio Resource Reuse in IEEE 802.16j Multi-hop Relay Network in Manhattan-like Environment', ICICS 2007.
- Kumar Amitabh, "Mobile Broadcasting with WiMAX: Principles, Technology, and Applications," Focal Press, 2008.
- Loutfi Nuaymi, "WiMAX: Technology for Broadband Wireless Access," John Wiley & Sons, 2007.
- Mobile WiMAX – Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation August, 2006.
- O. Masato, Z. Chenxi, D. Viorel,' Deployment and Radio Resource Reuse in IEEE 802.16j Multi-hop Relay Network in Manhattan-like Environment', January 2008.
- W. Gunawan, H. Gunadi Dwi,'Teknologi Broadband Wireless Access (BWA) Kini dan Masa Depan', INFORMATIKA, Bandung, 2006.
- Y. Sun, Y. Bian, A. Nix and P. Strauch, 'Study of Radio Resource Sharing for Future Mobile Wimax with Relay', IEEE Mobile Wimax'07, March 2007.
- Yong Sun, Yan Q. Bian, Andrew R. Nix, and Joseph P. McGeehan, 'Efficient Radio Resource Deployment for Mobile WiMAX with Multi-hop Relays', 2008.

## LAMPIRAN Blok Simulasi

