



UNIVERSITAS INDONESIA

**ADAPTIVE BEAMFORMING SMART ANTENNA MIMO
UNTUK MOBILE WIMAX**

SKRIPSI

**HIDAYATUL MUTTAQIN
06 06 04 2626**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS INDONESIA
DEPOK
DESEMBER 2008**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ADAPTIVE BEAMFORMING SMART ANTENNA MIMO
UNTUK MOBILE WIMAX**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

**HIDAYATUL MUTTAQIN
06 06 04 2626**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
KEKHUSUSAN TELEKOMUNIKASI
UNIVERSITAS INDONESIA
DEPOK
DESEMBER 2008**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Hidayatul Muttaqin

NPM : 0606042626

Tanda Tangan :

Tanggal : 24 Desember 2008

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : HIDAYATUL MUTTAQIN
NPM : 0606042626
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : ADAPTIVE BEAMFORMING SMART ANTENA
MIMO UNTUK MOBILE WIMAX

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

DEWAN PENGUJI

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

Penguji : Prof. Dr. Eko Tjipto Rahardjo (.....)

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

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 24 Desember 2008

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji Syukur kepada Allah Swt atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga skripsi ini bisa diselesaikan dengan baik. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada :

Dr.Ir. Muhammad Asvial, M.Eng

Sebagai dosen pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan saran, bimbingan serta pengarahan sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Selain itu penulis juga mengucapkan terima kasih kepada :

1. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan doa dan dukungannya selama pengerjaan skripsi ini.
2. Rekan-rekan seperjuangan satu angkatan (exelektro2006) yang telah memberikan dukungan dan kebersamaannya selama ini.

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

Depok, 12 Desember 2006

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Hidayatul Muttaqin
NPM : 0606042626
Program Studi : Teknik Elektro
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

Adaptive Beamforming Smart Antenna MIMO untuk mobile Wimax

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 12 Desember 2008
Yang menyatakan

(Hidayatul Muttaqin)

ABSTRAK

Nama : Hidayatul Muttaqin
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Adaptive Beamforming Smart Antena MIMO untuk mobile wimax

Adaptive array atau *adaptive beamforming* adalah peningkatan dari teknik antenna yang menawarkan performa optimal dan memberikan keuntungan luar biasa untuk aplikasi bergerak. Sistem ini dipadukan dengan sistem diversitas MIMO *space time block coding* (STBC) serta sistem *adaptive modulation and coding* (AMC) untuk memperoleh keuntungan tersebut.

Unjuk kerja sistem ditunjukkan melalui simulasi dengan MATLAB dan pengujian lapangan dengan parameter kualitas yakni *ber*, *rssr*, *cinr* dan *throughput*. Sistem diujikan dengan beberapa kondisi yang berhubungan dengan banyaknya *user*, jarak, modulasi dan *code rate*.

Hasil dari pengujian tersebut menunjukkan sistem *Adaptive beamforming* sangat tahan terhadap lingkungan *multipath*, memiliki pengelolaan efisiensi ruang yang baik serta peningkatan kualitas sinyal melalui penolakan interferensi, efisiensi *power*, dan penguatan sinyal.

Kata kunci : *mobile wimax*, *adaptive beamforming*, *ber*, *rssr*, *cinr* dan *throughput*

ABSTRACT

Name : Hidayatul Muttaqin
Study Program : Teknik Elektro
Title : Adaptive Beamforming Smart Antenna MIMO for mobile wimax

Adaptive array or *adaptive beamforming* is a new antenna technique that offer the optimum performance and absollutely, make more advantage for mobile application. This system be combined with MIMO space time block coding (STBC) diversity scheme and adaptive modulation coding (AMC) scheme to achieve this advantages.

System performance is shown through simulation and trial test with quality parameter such as ber, rssi, cinr and throughput. System is tested through several condition that related number of users, distance, modulation dan coderate.

The result of test shown Adaptive beamforming scheme have higher robustness toward multipath enviroentment, have efficient managerial for space and improvement signal quality through anticipating interference, power efficiency, and signal amplication.

Keywords : *mobile wimax, adaptive beamforming, ber, rssi, cinr and throughput*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK	vi
ABSTACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR SINGKATAN	xiii
DAFTAR ISTILAH	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penulisan.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Sistematika Penulisan	3
BAB II DASAR TEORI SISTEM ADAPTIVE BEAMFORMING	5
2.1. Konsep Komunikasi Nirkabel (Mobile).....	5
2.1.1. Konsep Dasar Komunikasi Nirkabel (Mobile)	5
2.1.2. Propagasi Sinyal.....	6
2.1.2.1. Analogi propagasi sinyal.....	6
2.1.2.2. Multipath.....	7
2.1.2.3. Rayleigh fading.....	8
2.2. OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).....	9
2.2.1. FFT dan IFFT.....	11
2.2.2. Guard Interval dan Implementasinya	12
2.2.2.1. Cyclic Prefix.....	13
2.3. MIMO (Multiple Input Multiple Output).....	14
2.3.1. Algoritma Alamauti	17
2.4. Smart Antenna.....	19
2.5. Adaptive Beamforming (Adaptive Array)	22
2.5.1. Analogi Adaptive beamforming.....	22
2.5.2. Dasar Mekanisme Kerja.....	23
2.5.3. Klasifikasi sistem Adaptive Array	25
2.5.4. Algoritma Least Mean Square (LMS).....	26
BAB III SIMULASI DAN PERENCANAAN	30
3.1. Gambaran secara umum	30
3.2. Perancangan Simulasi	31
3.3. Pemodelan Sistem	32

3.3.1.	Sistem Transmitter	32
3.3.2.	Sisi Receiver.....	34
3.4.	Perencanaan Sistem.....	35
3.4.1.	Deskripsi Sistem Wimax Mobile secara umum	35
3.4.2.	Deskripsi Sistem Wimax PT. CSM.....	36
3.4.3.	Pengujian perangkat Wimax	39
3.4.3.1.	Ruang lingkup pengujian	39
3.4.3.2.	Elemen pengujian sistem	40
3.4.3.3.	Pengujian Kanal	43
3.4.3.3.1.	RSSI (Receive Signal Strength Indicator)	43
3.4.3.3.2.	CINR (Carrier to interference and noise ratio)	44
BAB IV ANALISA HASIL PENGUJIAN		45
4.1.	Parameter simulasi dan perencanaan	45
4.2.	Hasil Simulasi dan Analisa	46
4.2.1.	Analisa dari sinyal konstelasi.....	46
4.2.2.	Analisa performansi	49
4.3.	Hasil Pengujian Sistem dan Analisa	53
4.3.1.	Pengujian konektivitas	53
4.3.2.	Pengujian dengan modulasi dan coding yang berbeda	59
4.3.3.	Pengujian dengan jangkauan tertentu.....	66
4.3.4.	Pengujian Kapasitas sel.....	68
BAB V PENUTUP.....		70
DAFTAR ACUAN.....		72
LAMPIRAN		74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Komunikasi Nirkabel	5
Gambar 2.2	Dua Sinyal Multipath	9
Gambar 2.3	Sistem OFDM	9
Gambar 2.4	Perbandingan Pemakaian Bandwidth untuk OFDM dan FDM	10
Gambar 2.5	Pengaruh Toleransi Waktu dengan Penambahan Guard Interval ..	12
Gambar 2.6	Contoh Guard Interval. Setiap Simbol Dibagi Dua Bagian	13
Gambar 2.7	Posisi Cyclic Prefix	13
Gambar 2.8	Respon Impuls Kanal	13
Gambar 2.9	Cyclic Prefix.....	14
Gambar 2.10	Klasifikasi MIMO	14
Gambar 2.11	Open Loop MIMO	16
Gambar 2.12	Kanal Fisik MIMO	17
Gambar 2.13	Alamauti Encoding.....	18
Gambar 2.14	Dasar Pemanfaatan Smart Antena.....	20
Gambar 2.15	Tiga Pendekatan Untuk Smart Antena.....	21
Gambar 2.16	Analogi Beamforming Menggunakan Lampu	23
Gambar 2.17	Blok Diagram Adaptive Array Sistem	24
Gambar 2.18	Sistem Adaptive Array.....	26
Gambar 2.19	LMS Network	28
Gambar 3.1	Gambaran Umum Perancangan Simulasi	30
Gambar 3.2	Konfigurasi Simulasi Adaptive Beamforming.....	31
Gambar 3.3	Konfigurasi Pemancar.....	32
Gambar 3.4	Skema MIMO OFDM.....	33
Gambar 3.5	Konfigurasi Penerima.....	35
Gambar 3.6	Topologi Dasar Wimax	36
Gambar 3.7	Network Topologi Sederhana Wimax PT. CSM.....	37
Gambar 3.8	Badger CPE.....	38
Gambar 3.9	Wolverine CPE.....	38
Gambar 3.10	Wimax Access Point	39
Gambar 3.11	Elemen Pengujian Sistem.....	40
Gambar 4.1	Diagram Konstelasi Untuk Modulasi BPSK (kiri) Kecepatan $v = 0$ m/s (kanan) Kecepatan $v = 10$ m/s.....	47
Gambar 4.2	Diagram Konstelasi Untuk Modulasi QPSK (kiri) Kecepatan $v = 0$ m/s (kanan) Kecepatan $v = 10$ m/s.....	47
Gambar 4.3	Diagram Konstelasi Untuk Modulasi 16QAM (kiri) Kecepatan $v = 0$ m/s (kanan) Kecepatan $v = 10$ m/s.....	48
Gambar 4.4	Diagram Konstelasi Untuk Modulasi 64QAM (kiri) Kecepatan $v = 0$ m/s (kanan) Kecepatan $v = 10$ m/s.....	48
Gambar 4.5	BER Dengan Modulasi BPSK, $v = 0$ m/s	50

Gambar 4.6	BER Dengan Modulasi QPSK, $v = 0$ m/s	50
Gambar 4.7	BER Dengan Modulasi 16QAM, $v = 0$ m/s	50
Gambar 4.8	BER Dengan Modulasi 64QAM, $v = 0$ m/s	51
Gambar 4.9	BER Dengan Modulasi BPSK, $v = 10$ m/s	51
Gambar 4.10	BER Dengan Modulasi QPSK, $v = 10$ m/s	51
Gambar 4.11	BER Dengan Modulasi 16QAM, $v = 10$ m/s	52
Gambar 4.12	BER Dengan Modulasi 64QAM, $v = 10$ m/s	52
Gambar 4.13	Permintaan Koneksi CPE ke Wimax Access Point.....	53
Gambar 4.14	Tes Konektivitas Untuk Pengguna Tertolak	54
Gambar 4.15	Tes Konektivitas CPE badger	54
Gambar 4.16	Hasil Tes Konektivitas CPE Badger Ke EMS	55
Gambar 4.17	Tes Konektivitas CPE Wolverine	56
Gambar 4.18	Hasil Tes Konektivitas CPE Wolverine Ke FTP Server.....	56
Gambar 4.19	Parameter Frekuensi Center CPE Badger	57
Gambar 4.20	Parameter Bandwidth Kanal CPE Badger.....	57
Gambar 4.21	Parameter Frekuensi Center CPE Wolverine.....	58
Gambar 4.22	Parameter Bandwidth Kanal CPE Wolverine	58
Gambar 4.23	Radius Relatif Terhadap Modulasi	59
Gambar 4.24	Tampilan Pengaturan MCS Pada Wimax Access Point.....	60
Gambar 4.25	Tes Konektivitas CPE Dengan Wimax Access Point	60
Gambar 4.26	Pengukuran Kecepatan Download dari FTP Server.....	61
Gambar 4.27	Awal Download	61
Gambar 4.28	Tampilan Saat Download Selesai.....	62
Gambar 4.29	Pengukuran Kecepatan Upload Ke FTP Server	62
Gambar 4.30	Awal Upload	63
Gambar 4.31	Tampilan Saat Upload Selesai	63

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Simbol Data Alamauti Pada Pemancar	18
Tabel 2.2	Simbol Data Pada Penerima.....	19
Tabel 3.1	Range Dan Coverage Indoor CPE	41
Tabel 3.2	Range Dan Coverage Outdoor CPE.....	41
Tabel 3.3	Throughput Sektor Untuk Downlink, BW = 5MHz	42
Tabel 3.4	Throughput Sektor Untuk Uplink, BW = 5MHz	42
Tabel 4.1	Parameter Simulasi.....	45
Tabel 4.2	Parameter Sistem Wimax.....	46
Tabel 4.3	Pengujian Sistem Dengan Pengaturan MCS	65
Tabel 4.4	Lokasi Pengujian.....	66
Tabel 4.5	Pengajuan Uplink Dan Downlink	66
Tabel 4.6	Kapasitas Downlink Sel	68
Tabel 4.7	Kapasitas Uplink Sel.....	68

DAFTAR SINGKATAN

AAA	Authentication Authorization and Accounting
ASN	Access Service Network
BER	Bit Error Rate
BS	Base Station
CAPC	Carrier Access Point Controller
DFT	Discrete Fourier Transform
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
EMS	Element Management System
FDM	Frequency Division Multiplexing
FEC	Forwar Error Correction
FFT	Fast Fourier Transform
FTP	File Transfer Protocol
GI	Guard Interval
IDFT	Inverse Discrete Fourier Transform
IEEE	Institute Electrical and Electronics Engineering
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
ICI	Inter Carrier Interference
ISI	Inter Simbol Interference
MIMO	Multiple Input Multiple output
MS	Mobile Station
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing

SM	Spatial Multiplexing
STBC	Space Time Blok Code
TDM	Time Division Multiplexing
SNR	Signal to Noise Ratio
QAM	Quadrature Amplitude Modulation

DAFTAR ISTILAH

<i>Bandwidth</i>	Lebar pita frekuensi yang digunakan dalam mengirimkan sinyal dalam sistem komunikasi nirkabel.
<i>Cyclic prefix</i>	Rangkaian bit ulangan dari akhir simbol yang ditempatkan pada awal simbol agar sinyal tetap terjaga pada kanal multipath.
<i>Delay spread</i>	Jenis distorsi disebabkan oleh multipath fading yang menyebabkan sinyal sama sampai pada tujuan dalam waktu yang berbeda.
<i>Downlink</i>	Proses pengiriman sinyal dari base station ke terminal user.
<i>Error detection</i>	Kemampuan untuk dapat mendeteksi error yang disebabkan oleh noise atau yang lainnya selama proses transmisi.
<i>Guard interval</i>	interval waktu (pada TDM) atau frekuensi (pada FDM) untuk memastikan tidak ada interferensi antar sinyal pada sistem transmisi.
<i>Multipath propagation</i>	fenomena propagasi yang disebabkan oleh atmosfer, pembiasan dan pemantulan oleh ionosfer dan pemantulan oleh objek yang ada di daratan seperti bangunan dan gunung, yang membuat sinyal radio dapat mencapai antena dalam dua atau lebih path sehingga dapat menyebabkan interferensi yang destruktif dan pergeseran fasa dari sinyal.
<i>Othogonal</i>	Sifak tegaklurus dari dua vektor yang berbeda atau proyeksi dua vektor satu sama lain yang bernilai nol.
<i>Pilot simbol</i>	Simbol yang memfasilitasi sistem estimasi kanal yang dapat mengurangi energi transmisi data simbol.
<i>Space time blok code</i>	Teknik yang digunakan dalam komunikasi nirkabel untuk mengirimkan data stream yang sama melalui sejumlah antena dan mengolah data yang telah diterima untuk meningkatkan reliabilitas data transfer.

<i>Spatial multiplexing</i>	Teknik transmisi pada sistem MIMO untuk mentransmisikan stream data sinyal yang berbeda dari masing-masing multiple antena transmisi.
<i>Subcarrier</i>	Kanal frekuensi pembawa sebagai hasil pembagian pita frekuensi pada teknik OFDM untuk membawa sinyal dari sisi pengirim ke sisi penerima.
<i>Throughput</i>	Banyaknya bit data yang dapat dikirim dalam suatu selang waktu tertentu.
<i>Uplink</i>	Proses pengiriman sinyal dari terminal user ke base station.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG MASALAH

Perkembangan bisnis dan aplikasi pada masyarakat telah mengendalikan popularitas dari perkembangan layanan data secara bergerak dan telah menciptakan hubungan kebutuhan pada seluruh waktu. Dalam perkembangan bisnis telekomunikasi, perkembangan aplikasi yang mudah dan aman untuk digunakan adalah kunci keinginan masyarakat saat ini. Pada komunikasi sederhana saat ini, operator perlu melengkapi dengan keamanan yang lebih baik dan kapasitas data tinggi.

Wimax saat ini dipandang luas sebagai kandidat pemimpin untuk generasi keempat (4G) komunikasi wireless data. Ini dikarenakan wimax didasarkan pada *Internet Protocol (IP)*, teknologi ini dibangun dengan prinsip pada efisiensi harga yang sederhana dibandingkan dengan jaringan *network* seluler 3G tradisional. Selain itu, wimax juga menawarkan kemampuan teknologi untuk transfer data pada jumlah besar dengan *throughput* besar.

Permintaan terhadap aplikasi seperti video, akses internet dan layanan telepon melalui jaringan wireless telah mendorong teknologi *broadband* menjadi penting. Oleh sebab itu ada teknologi yang disediakan untuk membantu memastikan rasio sinyal terhadap *noise* lebih baik dan sinyal tiruan dari sinyal yang diinginkan menjadi lebih baik di penerima. Teknologi tersebut adalah bagian dari smart antenna yang berupa MIMO dengan kategori beamforming.

Dalam sistem MIMO, dua antena menerima perbedaan arus data melalui bagian ruang yang berbeda dalam lingkungan sebenarnya. Jika arus data dipancarkan pada frekuensi sama maka arus data akan dipancarkan pada ruang yang berbeda. Penerima dapat menggunakan sinyal processing untuk mengelompokkan dua arus data dan memperbaiki kembali ke dalam data asli. Sistem MIMO tidak terbatas dalam 2 input dan 2 output saja tetapi lebih dari itu. MIMO membuka sejumlah

kemungkinan untuk peningkatan komunikasi *wireless* data dan *beamforming* adalah satu yang sangat penting serta berguna. Teknik transmisi ini mengirim data pada bagian terbaik yang tersedia diantara pemancar dan penerima. Pemancar mengendalikan multiple antena dengan algoritma pergeseran phase yang lebih difokuskan pada daya radio terhadap penerima yang dikehendaki.

Untuk melakukan teknik ini dengan baik, sistem membutuhkan untuk membawa pengukuran pada uplink dan melakukan koreksi berdasarkan pengukuran tersebut untuk *downlink*, umpan baliknya didasarkan pada pendekatan *adaptive beamforming*.

Hari ini teknologi telah menghilangkan batasan pada *beamforming*. *Mobile Wimax* memungkinkan *adaptive beamforming* pada frekuensi yang sama untuk *uplink* dan *downlink*. Dorongan untuk menggunakan *adaptive beamforming* telah tumbuh dimana *wireless* telah memindahkan aplikasi hanya dari *voice* atau *voice* dan data kepada *mobile wireless broadband* menggunakan *adaptive modulation*. Gaya aplikasi ini telah menciptakan sebuah lingkungan sempurna untuk sistem *smart antena* dan *adaptive beamforming* untuk tumbuh dengan baik, tujuannya adalah untuk meningkatkan kapasitas dengan baik.

Sebuah *sistem adaptive beamforming* menilai karakteristik dari sinyal datang dengan *multipath*-nya dari sebuah perangkat pelanggan. Karakteristik ini termasuk kekuatan relatif sinyal, *phase* dan sudut kedatangan. Untuk jaringan data, *adaptive beamforming* juga berarti data rate lebih besar, hal ini juga bukan hanya untuk masalah cakupan melainkan kombinasinya dengan *adaptive modulasi* digunakan untuk peningkatan daya. Sehingga jelas sekali jika *adaptive beamforming* mendukung kapasitas dan cakupan luas.

1.2 TUJUAN PENULISAN

Pada skripsi ini dilakukan permodelan dan perancangan simulasi serta pengujian lapangan mengenai suatu sistem komunikasi *end-to-end* sederhana yang mengadopsi sistem *Smart Antena* MIMO dengan teknik *adaptive beamforming*

dipadukan *adaptive modulation*. Skripsi ini bertujuan untuk membahas serta menganalisis unjuk kerja sistem dengan teknik *adaptive beamforming smart antenna MIMO* berdasarkan hasil simulasi yang dibuat serta hasil pengujian lapangan yang dilakukan.

1.3 BATASAN MASALAH

Penulisan dibatasi pada ide dasar teknik *adaptive beamforming smart antena* yang berhubungan dengan diversitas ruang (MIMO) beserta kaitannya dengan masalah dasar pengarahan beam serta kualitas performa sistem. Pada simulasi, termasuk di dalamnya yaitu penuangan ide dasar tersebut dalam permodelan matematis dan prinsip aplikasi secara deskriptif. Permasalahan lisensi frekuensi dan regulasi Wimax menjadi batasan pada pengukuran di lapangan.

1.4 SISTEMATIKA PENULISAN

Pembahasan yang dilakukan pada seminar ini meliputi empat (4) bab yakni :

Bab 1. Pendahuluan

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

Bab 2. Teori Dasar Sistem *Adaptive Array Smart Antena MIMO Wimax*

Merupakan dasar teori mengenai sistem antena MIMO baik konfigurasi serta perkembangan sistem antena MIMO. Selanjutnya pembahasan mengenai kanal transmisi dan gangguan yang terjadi pada kanal transmisi, pembahasan mengenai teknik modulasi dan multiplexing OFDM serta Guard Interval, pembahasan mengenai pemodelan dasar sistem *adaptive beamforming* dengan mekanisme dasar kerja yang dilakukan serta pembahasan algoritma *adaptive array*.

Bab 3. Simulasi dan Perencanaan

Merupakan pembahasan pemodelan simulasi dengan konfigurasi dasar komunikasi *end-to-end* dengan pemecahan sisi *transmitter* dan sisi *receiver*. Selanjutnya pembahasan parameter simulasi yang dibuat, pembahasan konfigurasi OFDM pada simulasi serta pembahasan perencanaan sistem dilapangan dengan konfigurasi secara nyata. Selanjutnya dilakukan juga mengenai pembahasan parameter performansi.

Bab 4. Analisa Hasil Pengujian

Merupakan hasil pengujian simulasi dan lapangan mengenai unjuk kerja sistem. Parameter hasil simulasi berupa BER dan sinyal konstelasi, sedangkan parameter hasil untuk pengujian lapangan berupa *throughput*, RSSI dan CINR. Pada pengujian lapangan dilakukan pembahasan mengenai performansi sistem melalui 4 tahapan yakni pengujian konektivitas, pengujian dengan modulasi dan coding yang berbeda, pengujian dengan jangkauan tertentu serta pengujian kapasitas sel.

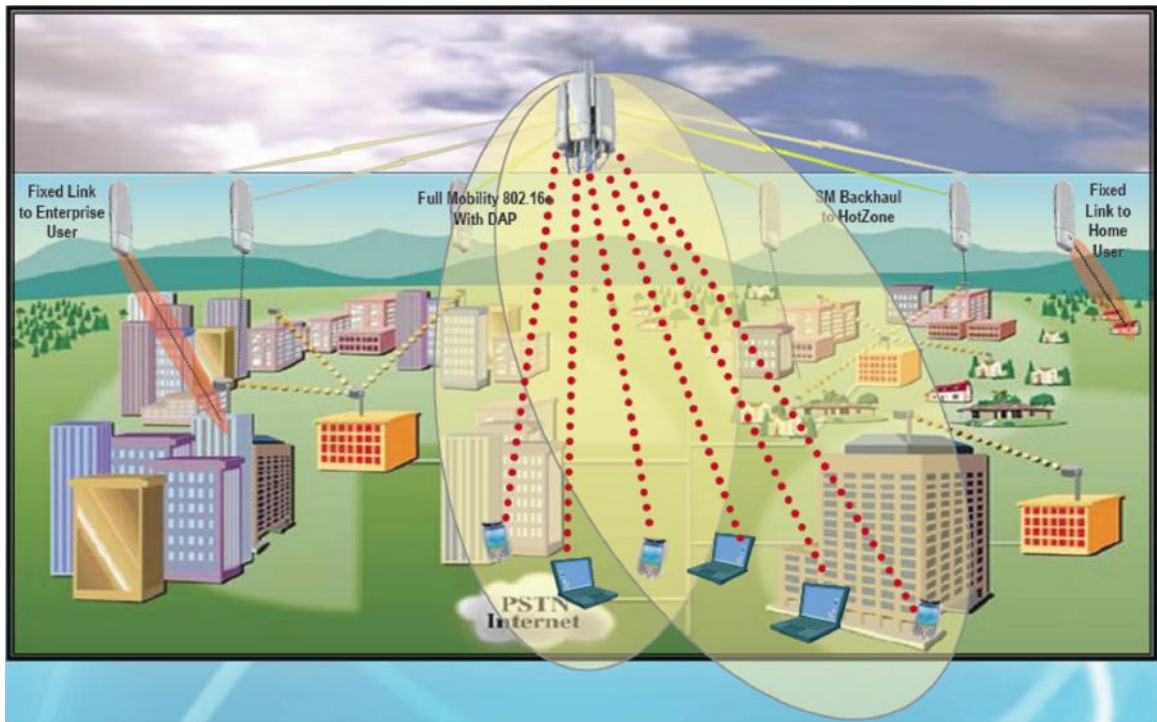
Bab 5. Kesimpulan

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

BAB II

DASAR TEORI SISTEM ADAPTIVE BEAMFORMING

2.1 KONSEP KOMUNIKASI NIRKABEL (MOBILE)



Gambar 2.1 Komunikasi Nirkabel [1]

2.1.1 Konsep Dasar Komunikasi Nirkabel (Mobile)

Istilah nirkabel dalam telekomunikasi dapat diartikan *mobile* atau bergerak, dimana perangkat user atau dengan kata lain terminal *user* dapat dibawa sambil bergerak atau berpindah tempat selama terjadinya komunikasi [2]. Hal ini menandai bahwa kemampuan komunikasi dapat melalui udara sehingga pengguna dapat dengan mudah dan fleksibel untuk melakukan komunikasi dimanapun. Dewasa ini, istilah *mobile* atau bergerak digunakan untuk menyatakan perpindahan terminal *user* dengan kecepatan tinggi. Hal ini berkaitan dengan terminal *user* yang dapat melayani komunikasi pada kondisi kendaraan berkecepatan tinggi tanpa ada suatu pemutusan

komunikasi. Selain itu *mobile* atau bergerak dapat dikelompokkan ke dalam tiga kategori yakni *simplex*, *half duplex* dan *full duplex*. Untuk perkembangan teknologi saat ini, dibutuhkan komunikasi *full duplex* (dua arah) tanpa adanya suatu pemutusan komunikasi. Kondisi ini membutuhkan suatu perambatan sinyal pada kanal yang berbeda, sehingga kanal pemancar dan kanal penerima dapat secara terus-menerus melewati sinyal tanpa adanya interferensi pada keduanya. Kebutuhan akan kanal ini merupakan kebutuhan pada alokasi frekuensi dan sistem komunikasi bergerak sangat berhubungan erat dengan istilah ini.

2.1.2 Propagasi Sinyal

2.1.2.1 Analogi Propagasi Sinyal

Jika sebuah batu dilemparkan ke dalam air, maka akan terbentuk sebuah gelombang yang uniform berpusat pada suatu titik. Pada pusat titik tersebut akan didapatkan kekuatan gelombang yang terbesar dan semakin jauh dari pusat titik tersebut, kekuatan gelombang perlahan semakin kecil. Hal ini sesuai dengan perambatan gelombang di udara, semakin dekat dengan *base station* maka semakin mudah menerima sinyal dan semakin jauh dari *base station* akan susah menerima sinyal pada kondisi *power base station* yang sama.

Jika dilemparkan sebuah batu kembali pada area yang berbeda, maka akan didapati sebuah gelombang lain pada sebuah titik tersebut. Hal ini akan menyebabkan gelombang batu awal dan gelombang dari batu yang kedua terjadi interferensi, ada yang saling menguatkan dan ada pula yang melemahkan. Pada konsep seluler, *base station* akan memancarkan sinyal asli (*original signal*) dimana jika tidak terdapat pola gangguan maka bagi base station sendiri tidak ada tantangan untuk merepresentasikan sinyal. Tetapi jika ada pola gangguan dimana sinyal mulai untuk melakukan pantulan, mereka akan kembali ke penerima dengan beberapa kemungkinan yakni dapat menguatkan pada kondisi yang sama dan melemahkan pada kondisi yang berbeda. Inilah yang disebut dengan masalah *multipath*.

Dari dua analogi diatas, perlu dipahami perbedaan diantara panggilan dan/atau sinyal pada atmosfer bumi, sebuah base station harus memiliki kecerdasan untuk menganalisa penempatan informasi pada konteks ruang/spasial yang sebenarnya.

2.1.2.2 Multipath

Multipath adalah sebuah kondisi dimana sinyal radio yang dipancarkan direfleksikan oleh struktur atau fitur fisik yang dapat menciptakan bagian-bagian dari multiple sinyal diantara *base station* dan terminal *user* [3].

Sinyal refleksi yang tidak diinginkan merupakan masalah yang mengganggu komunikasi yakni pada masalah phase gelombang datang yang diterima stasiun penerima yang terkadang tidak sesuai. Di bawah ini ada beberapa kondisi yang termasuk akibat dari *multipath* sinyal yakni :

- *Fading* – Terjadi ketika gelombang dari sinyal *multipath* di luar *phase*, penurunan kekuatan sinyal akan terjadi. Satu tipe dari penurunan ini disebut *fade* (pelenyapan/pelemahan), fenomena ini dikenal sebagai *Rayleigh fading* atau fading cepat. Kekuatan sinyal yang diterima akan fluktuatif dengan penurunan kualitas pada saat tertentu.
- *Phase cancellation* – ketika satu gelombang dari dua sinyal *multipath* merupakan sinyal yang dirotasikan 180 derajat keluar dari *phase*, sinyal tersebut akan menyalpkan masing-masing dari yang lain.
- *Delay spread* – Pemantulan jamak yang terjadi sebagai akibat *multipath* dari sinyal yang sama akan datang pada penerima dengan memiliki perbedaan waktu. Ini dapat menyebabkan interferensi intersymbol (bit-bit bertabrakan satu dengan yang lain) dan penerima tidak dapat mengelompokkan sinyal tersebut. Ketika ini terjadi *bit error rate* naik dan akhirnya menyebabkan penurunan pesat dalam kualitas sinyal.

- Interferensi *cochannel* – Penurunan sinyal terjadi karena penggunaan frekuensi carrier yang sama menjangkau penerima yang sama dari dua *transmitter* yang terpisah.

2.1.2.3 Rayleigh Fading

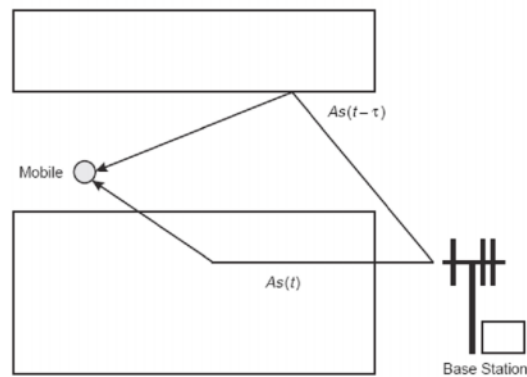
Ada beberapa saat ketika sebuah penerima bergerak diluar jangkauan langsung (non-LOS) dari *base station transmitter* (tidak ada sinyal yang dipancarkan ke penerima secara LOS). Dalam kasus ini, sinyal yang diterima dibentuk dari sekumpulan pantulan dari objek, dan tidak ada bagian yang pantulan yang lebih dominan satu dengan yang lain. Bagian sinyal yang dipantulkan akan datang pada waktu yang berbeda-beda dengan *amplitude* yang berbeda dan *phase* yang berbeda.

Pengujian secara teori dan percobaan dilakukan untuk selubung dari sebuah sinyal carrier yang diterima pada perpindahan *mobile* didistribusikan secara *Rayleigh*. Selanjutnya, tipe *fading* ini disebut *fading Rayleigh*. Model teori dibuat sesuai dengan kenyataan bahwa ada beberapa sinyal yang dipantulkan dari arah yang berbeda. Gabungan sinyal yang diterima adalah

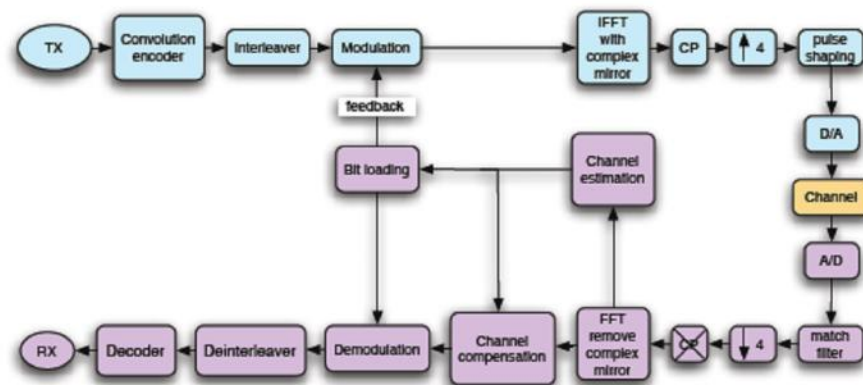
$$r(t) = \sum_{n=1}^N R_n \cos(2\pi f t - 2\pi f_{D,n} t) \quad (2.1)$$

Catatan : sinyal yang diterima dibentuk dari jumlah seluruh N sinyal yang dipantulkan; masing-masing bagian dari sinyal yang dipantulkan memiliki *amplitude* R_n dan f adalah frekuensi *carrier*. Pergeseran frekuensi $f_{D,n}$ dari masing-masing sinyal yang dipantulkan dikarenakan efek *Doppler* ketika pengguna *mobile* bergerak. Jika sinyal dirambatkan paralel kearah pergerakan *mobile*, pergeseran frekuensi *Doppler* adalah

$$f_{D,n} = \frac{v}{\lambda} \quad (2.2)$$

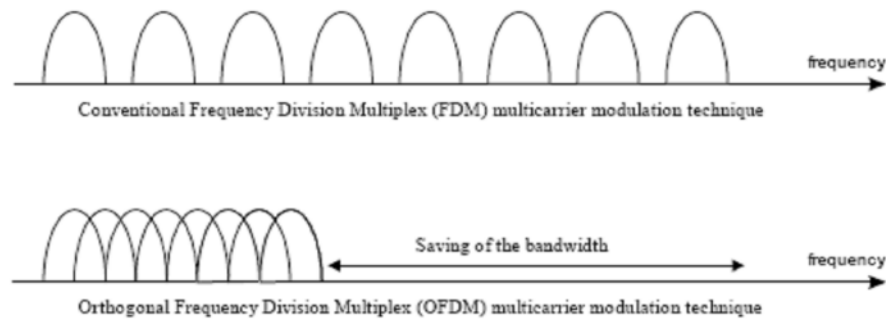
Gambar 2.2 Dua Sinyal *Multipath* [22]

2.2 OFDM (ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING)



Gambar 2.3 Sistem OFDM [18]

Konsep dari penggunaan transmisi data paralel adalah *Frequency Division Multiplexing* (FDM) dimana pemancaran dalam OFDM merupakan pemancaran dengan pembagian frekuensi pada tiap subkanalnya hanya saja *orthogonal*. OFDM adalah teknik transmisi yang menggunakan beberapa buah frekuensi (*multicarrier*) yang saling tegak lurus (*orthogonal*) dengan menggunakan *Discrete Fourier Transform* (DFT).



Gambar 2.4 Perbandingan Pemakaian *Bandwidth* Untuk OFDM dan FDM. [14]

Cara kerjanya OFDM adalah sebagai berikut. Deretan data informasi yang akan dikirim dikonversikan kedalam bentuk paralel, sehingga bila *bit rate* semula adalah R , maka *bit rate* di tiap-tiap jalur paralel adalah R/M dimana M adalah jumlah jalur paralel (sama dengan jumlah *sub-carrier*). Setelah itu, modulasi dilakukan pada tiap-tiap *sub-carrier*. Modulasi ini bisa berupa BPSK, QPSK, QAM atau yang lain, tapi ketiga teknik tersebut sering digunakan pada OFDM. Kemudian sinyal yang telah termodulasi tersebut diaplikasikan ke dalam *Inverse Discrete Fourier Transform* (IDFT), untuk pembuatan simbol OFDM. Penggunaan IDFT ini memungkinkan pengalokasian frekuensi yang saling tegak lurus (*orthogonal*), mengenai hal ini akan dijelaskan lebih lanjut. Setelah itu simbol-simbol OFDM dikonversikan lagi kedalam bentuk serial, dan kemudian sinyal dikirim. [12]

OFDM dapat secara sederhana didefinisikan dalam bentuk modulasi *multicarrier* dimana jarak antar *carrier* sangat hati-hati dipilih sehingga masing-masing *subcarrier* adalah *orthogonal* terhadap *subcarrier* lainnya. Seperti yang telah diketahui, sinyal *orthogonal* dapat dipisah pada penerima dengan teknik yang berhubungan dengannya dimana *InterSymbol Interference* dapat dihilangkan.

”*Orthogonal*” pada kata OFDM mengindikasikan bahwa ada hubungan matematis yang tepat diantara frekuensi pembawa dalam sistem. Pada sistem FDM secara normal, beberapa sinyal dipisahkan oleh sebuah ruang yang dikenal dengan *guard band*, sinyal pada penerima didapatkan dengan menggunakan *filter* dan *demodulator* yang umum digunakan (*conventional*). Seperti pada penerima ini, guard

band harus dikenalkan diantara frekuensi pembawa yang berbeda dan pengenalannya terjadi pada domain frekuensi sehingga pada sistem FDM efisiensi frekuensi sangat rendah. Pada sistem OFDM, sinyal OFDM disusun dengan melakukan tumpang tindih frekuensi pembawa dan pada penerima masih dapat diperoleh tanpa ada interferensi antar frekuensi pembawanya. Pada OFDM, tiap-tiap sinyal pembawa harus benar-benar orthogonal. Secara Matematis, dapat diekspresikan sinyal yang *orthogonal* sebagai berikut :

$$\int_a^b \Psi_p(t)\Psi_q^*(t)dt = \begin{cases} K & \text{for } p = q \\ 0 & \text{for } p \neq q \end{cases} \quad (2.3)$$

Tanda Ψ adalah sinyal OFDM sedangkan p adalah elemen ke- p dalam kelompok sinyal tersebut. Tanda * mengindikasikan *complex conjugate* dan interval $[a,b]$ adalah periode simbol.

2.2.1 FFT dan IFFT

Komponen kunci dari sebuah sistem OFDM adalah inverse FFT di pemancar dan FFT di penerima. Operasi ini menjalankan linear mapping diantara simbol-simbol data kompleks N dan simbol-simbol OFDM kompleks N , hasilnya ketahanan kanal melawan multipath *fading*. Alasan adalah untuk mentransformasikan data rate tinggi ke dalam N data rate rendah, masing-masing diuji cobakan pada sebuah fading datar selama proses transmisi. Perkiraan kelompok data yang ditransmisikan adalah

$$X(1), X(2), \dots, X(N)$$

Dimana N adalah jumlah total *sub-carrier*. *Discrete-time* merepresentasikan dari sinyal setelah IFFT adalah

$$x(n) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) \cdot e^{j2\pi k \frac{n}{N}}, \quad n = 0..N - 1 \quad (2.4)$$

Di sisi penerima, data diperbaiki dengan menjalankan FFT pada sinyal yang diterima,

$$Y(k) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot e^{-j2\pi k \frac{n}{N}}, \quad k = 0..N - 1 \quad (2.5)$$

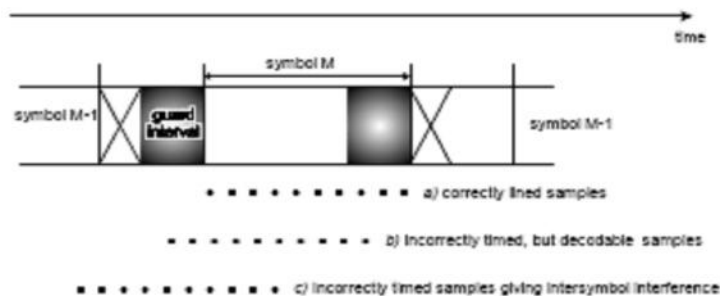
N-point FFT hanya menyediakan perkalian $N \log(N)$, hitungannya lebih efisien daripada sistem yang sama dengan menyamakannya dalam domain waktu.

2.2.2 Guard Interval dan Implementasinya

Satu cara untuk menghindari ISI adalah untuk menciptakan *guard interval* tambahan (gambar 10 dan 11), dimana masing-masing simbol OFDM didahului dengan sebuah tambahan periodik dari sinyal itu sendiri. Durasi total simbol adalah

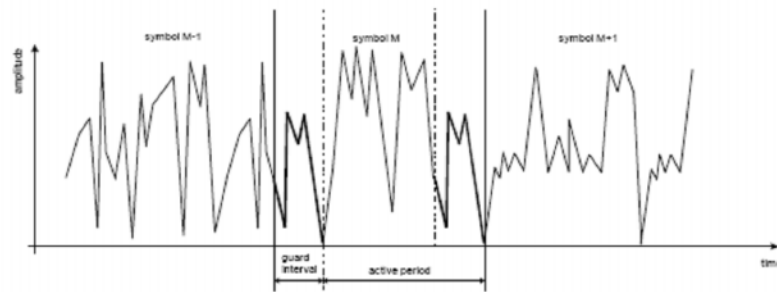
$$T_{\text{total}} = T_g + T,$$

dimana T_g adalah periode waktu *guard interval* dan T adalah durasi dari simbol.



Gambar 2.5 Pengaruh Toleransi Waktu dari Penambahan *Guard Interval*. [13]

Alasan penggunaan sebuah *cyclic prefix* untuk *guard interval* adalah untuk memperbaiki sinkronisasi *carrier* penerima dan untuk konvolusi *cyclic* yang masih dapat diaplikasikan diantara sinyal OFDM dan respon kanal.

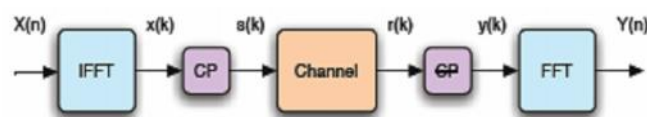


Gambar 2.6 Contoh *Guard Interval*. Setiap Simbol Dibagi Dalam Dua Bagian [13]

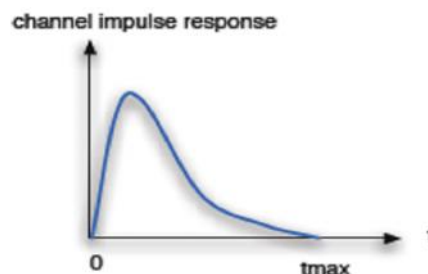
2.2.2.1 Cyclic Prefix

Cyclic prefix adalah fitur penting dalam OFDM untuk melawan pengaruh dari multipath. *Inter Symbol Interference* (ISI) dan *Inter Channel Interference* (ICI) dihindari dengan mengenalkan *guard interval* pada bagian depan, dimana, secara khusus, dipilih untuk menjadi sebuah replika dari bagian belakang bentuk gelombang OFDM dalam domain waktu. Dari ekspresi ini, bentuk gelombang *subcarrier* saat ini diberikan dengan

$$s(k) = \begin{cases} x(k + N) & -M \leq k < 0 \\ x(n) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) \cdot e^{j2\pi k \frac{n}{N}} & 0 \leq k < N - 1 \end{cases} \quad (2.6)$$

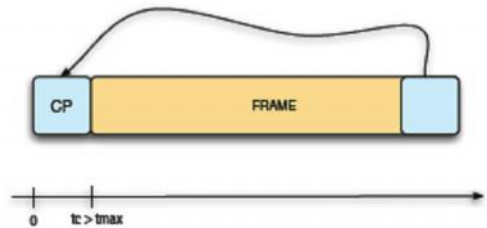


Gambar 2.7 Posisi *Cyclic Prefix* [15]



Gambar 2.8 Respon *Impuls* Kanal [15]

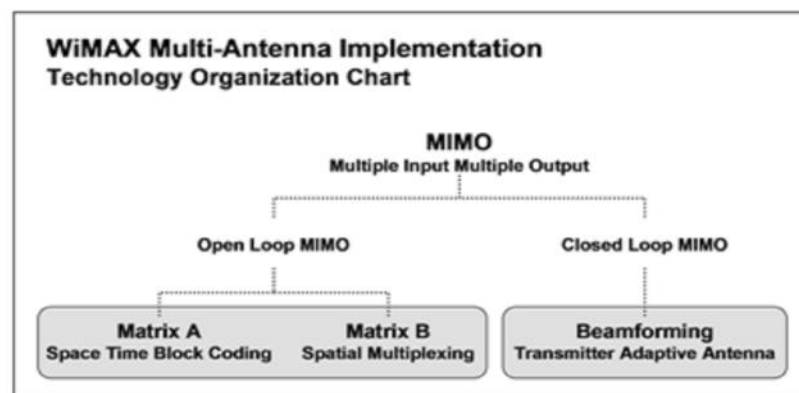
Ide dibalik ini adalah untuk mengubah konvolusi linier (diantara sinyal dan respon kanal) ke konvolusi *circular*. Sinyal yang telah dilakukan FFT adalah sama untuk perkalian pada frekuensi domain. Bagaimanapun, digunakan untuk memelihara hak orthogonalitas, t_{\max} harus tidak melebihi durasi waktu *guard interval*. Seperti yang ditunjukkan dimana tidak ada ISI yang terjadi sejak simbol sebelumnya yang hanya akan memiliki pengaruh atas *sample* termasuk $[0, t_{\max}]$.



Gambar 2.9 *Cyclic Prefix* [16]

2.3 MIMO (MULTIPLE INPUT MULTIPLE OUTPUT)

MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) adalah teknologi yang menggunakan *multiple antenna* pada kedua sisinya baik pemancar atau penerima. Ada beberapa macam perbedaan metode yang digunakan pada *multiple antenna* pada sisi *transmit* dan penerima, seperti *transmit-receive diversity*, *beamforming*, *antenna subset selection*, dan *spatial multiplexing*. Pada dasarnya MIMO terbagi seperti pada gambar 4 berikut ini.



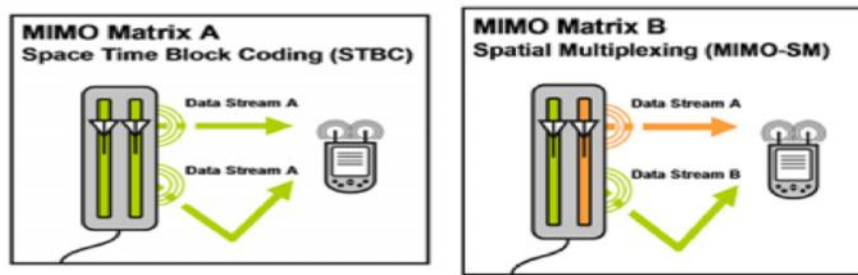
Gambar 2.10 Klasifikasi MIMO [9]

Konfigurasi MIMO secara textbook direpresentasikan sebagai “*Open Loop*” atau “*Close Loop*”. Dalam Aplikasinya, secara bersamaan digunakan terminology MIMO yang telah banyak juga mereferensikan teknik *Open Loop* MIMO. Standart Wimax termasuk dua versi dari teknik *Open Loop* MIMO direferensikan sebagai *matriks A* dan *Matriks B*. Teknik *Close Loop* MIMO, juga diketahui sebagai teknik *Transmitter Adaptive Antenna* (TX-AA) atau disebut sebagai *Smart Antena*, secara sederhana direferensikan oleh industri sebagai “*Beamforming*”.

Dengan *Open Loop MIMO*, kanal komunikasi tidak memanfaatkan informasi secara terbuka namun lebih memperhatikan kanal propagasi. Teknik yang dipakai oleh *Open Loop MIMO* seperti *Space Time Block Coding* (STBC), *Spatial Multiplexing* (SM-MIMO) dan *Collaborative Uplink* MIMO. Dalam Wimax sistem MIMO *Matriks A* mereferensikan untuk teknik STBC dan MIMO *Matriks B* mereferensikan teknik SM-MIMO. Dengan *Close Loop MIMO*, transmitter mengumpulkan informasi dengan memperhatikan kanal untuk mengoptimalkan komunikasi pada penerima yang dimaksud. *Close Loop MIMO* secara tipikal memanfaatkan teknik *Maximum Ratio Transmission*(MRT) atau teknik *Statistikal Eigen beamforming* (EBF) yang dimaksud pendekatan ini adalah *beamforming*.

Matriks A digunakan dengan tujuan menambah jangkauan, gambar 11. Dengan MIMO *Matriks A*, sebuah *single data stream* digandakan dan dipancarkan melalui masing-masing kanal *multiple antenna*. Masing-masing *data stream* diencode menggunakan *mathematical algorithm* yang dikenal *Space Time Block Codes*. Dengan *coding*, masing-masing signal yang ditransmisikan secara *orthogonal* menjadi tumpuan mengurangi interferensinya dan meningkatkan kapabilitas dari penerima untuk membedakan diantara *multiple* sinyal. Dengan *multiple* transmisi pada *data stream* yang telah dikodekan, kesempatan yang ditingkatkan pada penerima untuk mengidentifikasi sebuah sinyal kuat yang sedikit berlawanan dipengaruhi oleh pantulan fisik. Pada penerima dapat menggunakan teknik *Maximal Ratio Combining* (MRC) untuk mengkombinasikan *multiple sinyal* untuk penerimaan yang lebih tahan.

Matriks B digunakan dengan tujuan menambah kapasitas, gambar 11. Dengan MIMO *Matriks B*, sinyal yang dipancarkan dibagi dalam banyak *data stream* dan masing-masing *data stream* dipancarkan melalui masing-masing kanal pemancar *multiple antenna* dengan alokasi sumber frekuensi-waktu yang sama. Dalam kehadirannya pada sebuah lingkungan *multipath*, *multiple* sinyal akan tiba di antenna array penerima dengan cukup penanda ruang yang berbeda dan mengijinkan penerima untuk siap membedakan *multiple data stream*. *Spasial Multiplexing* menyediakan kemampuannya untuk meningkatkan kapasitas kanal.



Gambar 2.11 Open Loop MIMO [9]

Kanal MIMO merupakan kumpulan dari beberapa kanal dan dioperasikan pada frekuensi yang sama. Tantangan pada teknologi ini adalah dalam hal pembagian kanal dan persamaan yang ada pada seluruh sinyal. Model kanal merupakan *matriks H* dengan komponen kanal langsung dan tak langsung. Komponen langsung (seperti h_{11}) digambarkan pada kanal yang datar dan komponen tak langsung (seperti h_{21}) berarti isolasi kanal. Sinyal yang dikirim digambarkan dengan s dan sinyal penerima digambarkan dengan r . Sehingga dapat diasumsikan seperti persamaan dibawah ini.

$$r = \mathbf{H}s + n \quad (2.7)$$

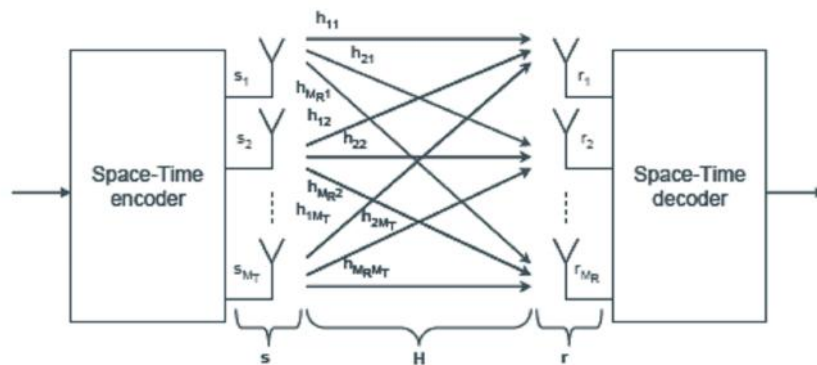
Dengan perumusan lebih detail, dimana diketahui M_T atau disimbolkan juga dengan N_T adalah antenna pemancar dan N_R atau M_R adalah antenna penerima. Dengan frekuensi yang sama, dapat dilakukan pengiriman *bit stream* atau data yang berbeda pada pemancar yang juga berbeda. Sinyal pada antenna ke- p sebagai fungsi waktu t diberikan

oleh $s_p(t)$. Semua komponen *multipath* antara pemancar ke- p dengan penerima ke- q dapat digabungkan dalam $h_{qp}(t)$, sehingga sinyal diterima [11]

$$x_q(t) = \sum_{p=1}^{N_t} h_{qp}(t) s_p(t) \quad (2.8)$$

Kapasitas kanal sangat penting dalam pengaplikasian MIMO. Dalam hal ini termasuk *bandwidth* transmisi f_g dan *signal-to-noise ratio*. Kapasitas kanal lebih ditingkatkan dengan penambahan *bandwidth* atau modulasi yang lain. Efisiensi spektral tidak dapat dinaikkan secara berarti dengan faktor ini. Kapasitas Shannon dengan Sistem MIMO ditambahkan bergantung pada jumlah dari antenna M dimana penggambaran M_T untuk pemancar dan M_R untuk penerima. Contohnya sistem 2×3 hanya dapat mendukung dua *spatial stream* sama halnya dengan sistem 2×4 . Untuk kapasitas sistem MIMO diberikan persamaan sebagai berikut :

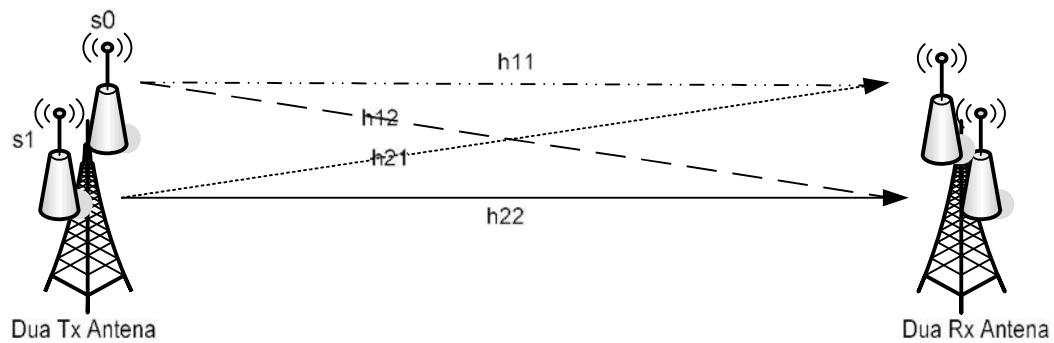
$$C_{MIMO} = M f_g \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (2.9)$$



Gambar 2.12 Kanal Fisik MIMO [10]

2.3.1 ALGORITMA ALAMOUTI

Dalam MIMO, skema dari *alamouti* digunakan dalam pengiriman data dimana dilakukan dengan rumusan *alamouti*. Sebagai contoh dilakukan dengan menggunakan asumsi dua antenna pengirim dan dua antenna penerima. Untuk memperjelas bahasan, gambar dibawah ini akan membantu untuk memahami *alamauti encoding*.



Gambar 2.13 Alamouti Encoding

Simbol data yang dikirim adalah sebagai berikut.

Tabel 2.1 Simbol Data Alamouti Pada Pemancar [18]

Waktu	Tx Antenna 1	Tx Antenna 2
t	s_0	s_1
t+T	$-s_1^*$	s_0^*

Dimana s_0 dan s_1 adalah simbol pada kondisi normal sistem 1x1 yang dipancarkan pada waktu t dan t+T secara berturut-turut. T adalah durasi simbol. Saat dipancarkan, simbol data akan melewati kondisi lingkungan yang direpresentasikan sebagai kondisi kanal. Kondisi kanal direpresentasikan dalam *matriks* seperti berikut.

$$H = \begin{Bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{Bmatrix} \quad (2.10)$$

Dari representasi diatas dapat dijelaskan jika antenna yang dipakai adalah antenna MIMO dengan sistem 2x2, dimana *indeks* pertama mengindikasikan pemancar dan *indeks* yang kedua mengindikasikan penerima. Selanjutnya untuk kondisi simbol yang diterima oleh antenna penerima adalah sebagai berikut.

Tabel 2.2 Simbol Data Pada Penerima [18]

Waktu	Rx Antenna 1	Rx Antena 2
t	$r1(t)$	$r2(t)$
t+T	$r1(t+T)$	$r2(t+T)$

Sehingga sinyal yang diterima adalah

$$r1(t) = h11.s0 + h21.s1 + n0 \quad (2.11)$$

$$r1(t+T) = h12.s0 + h22.s1 + n1 \quad (2.12)$$

$$r2(t) = -h11.s1^* + h21.s0^* + n2 \quad (2.12)$$

$$r2(t+T) = -h12.s1^* + h22.s0^* + n3 \quad (2.13)$$

dimana n_x adalah noise gaussian dari kanal yang berbeda. *Combiner* menggabungkan sinyal-sinyal diatas menjadi

$$s0 = h11^*. r1(t) + h21. r2^*(t) + h12^*. r1(t+T) + h22. r2^*(t+T) \quad (2.14)$$

$$s1 = h21^*. r1(t) + h11. r2^*(t) + h22^*. r1(t+T) + h12. r2^*(t+T) \quad (2.15)$$

sehingga,

$$s0 = (|h11|^2 + |h12|^2 + |h13|^2 + |h14|^2).s0 + noise1 \quad (2.16)$$

$$s1 = (|h11|^2 + |h12|^2 + |h13|^2 + |h14|^2).s1 + noise2 \quad (2.17)$$

dimana

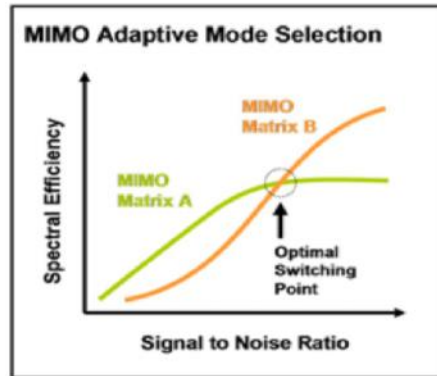
$$noise1 = h11^*.n0 + h21.n1^* + h12^*.n2 + h22.n3^* \quad (2.18)$$

$$noise2 = h21^*.n0 + h21.n1^* + h12^*.n2 + h22.n3^* \quad (2.19)$$

2.4 SMART ANTENA

Dalam teknologi antena ditemukan prinsip *multiple antenna*. *Smart antenna* adalah salah satu teknologi yang menjanjikan untuk memungkinkan mendapatkan kapasitas yang besar dengan mengurangi kondisi *multipath* dan *co-channel interference* serta sebagai bagian dari teknik *multiple antenna* yang menawarkan

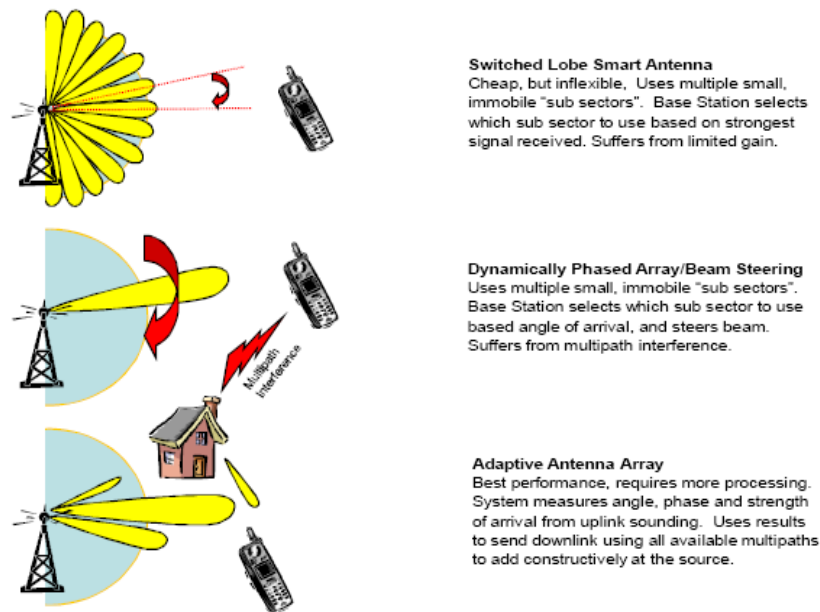
beberapa keuntungan dalam pemanfaatan efisiensi sumber diatas [4]. *Smart antenna* dimanfaatkan atas dasar pemanfaatan keuntungan dari dua teknik *Open Loop* MIMO yakni *Matriks A* dan *Matriks B*. *Smart Antena* sendiri dibangun berdasarkan kombinasi dua teknik tersebut seperti dijelaskan pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 Dasar Pemanfaatan Smart Antena [9]

Smart Antena menggunakan sekumpulan dari susunan elemen yang diradiasikan dalam bentuk *array*. Sinyal dari elemen ini dikombinasikan untuk membentuk perpindahan pola *beam* terhadap pengguna yang diinginkan. Dalam hal ini antena bukanlah perangkat yang cerdas dimana kecerdasannya terletak pada bagian *digital signal processing*-nya [1].

Dalam kenyataan, smart antena umumnya ditempatkan pada sebuah base station, sistem *smart antena* menggabungkan antena *array* dengan kemampuan *digital signal processing* untuk pemancar dan penerima dalam kondisi adaptif, dengan cara pemilihan ruang. Dengan kata lain, sebuah sistem dapat merubah arah dari pola radiasinya dalam respon kondisi sinyalnya. Secara dramatik dapat meningkatkan karakteristik performa seperti kapasitas dari sistem *wireless*.



Gambar 2.15 Tiga Pendekatan Untuk *Smart Antena* [8]

Dalam hal ini *smart antenna* terbagi dalam tiga pendekatan seperti pada gambar 2.15 yakni pertama, *Switched lobe Antena/Multiple Stationary beams* dimana merupakan bentuk sederhana dari AAS (*Adaptive Antenna System*) atau *Smart Antena*. Sebuah sektor tunggal menggunakan banyak "micro-sub-sektor", masing-masing memperluas jangkauan sektor dengan penguatan antenna secara khusus. *Beam* seluruhnya dalam kondisi tetap dan tidak berpindah. Logika sektorisasi memutuskan sub sektor yang mana yang terbaik untuk menangani pengguna dan memilih beam untuk *downlink*. *Sistem Switched Lobe Antena* hanya bekerja pada situasi *Line Of Sight* ideal. Pada skenario *Line Of Sight*, penguatan yang sangat signifikan diganggu oleh *multipath* interferensi. Kedua, *Dynamical Phase Array/Beam Steering/Beam Switching* merupakan peningkatan dari sistem pertama. Seperti sistem pertama, sektor tunggal menggunakan banyak "micro-sub-sektor" dan berfungsi sama. Hanya saja sistem ini masih dapat bekerja pada kondisi *non- Line Of Sight* dan sangat tidak efektif. Untuk lingkungan yang penuh dengan *multipath*, sistem sangat tidak efektif dalam bekerja. Ketiga, *Adaptive Array/Adaptive Beamforming* adalah antenna tingkat tinggi yang menawarkan performa yang optimal,

dan memiliki keuntungan menawarkan dukungan yang luar biasa pada aplikasi bergerak. Sistem uplink mengidentifikasi seluruh perangkat pelanggan melalui algoritma *direction-of-arrival* (DOA), yang mana mengidentifikasi lokasi dari interferensi yang potensial (pengguna lain). *Beam downlink* kemudian dibentuk dengan pemanfaatan ulang seluruh multipath yang dideteksi pada uplink, nul digunakan untuk identifikasi penginterferensi. Hasilnya adalah sinyal yang diterima pada terminal pelanggan dengan penguatan maksimum dan meminimalisir interferensi (optimal SNR ratio).

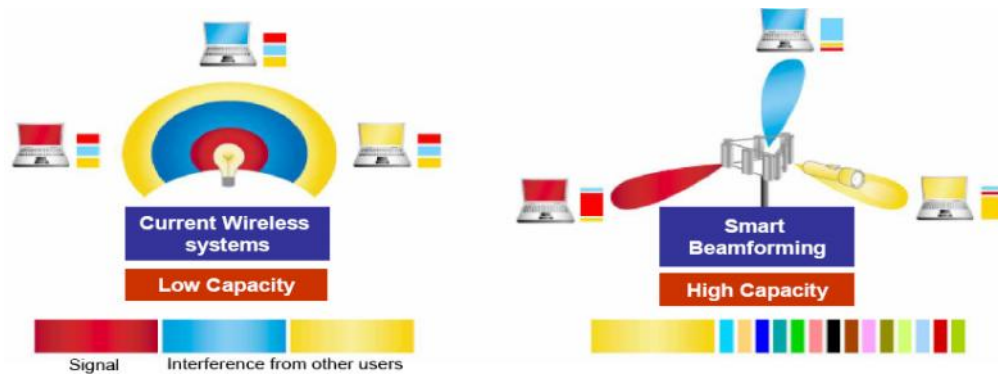
2.5 Adaptive Beamforming (Adaptive Array)

2.5.1 Analogi Adaptive Array (Adaptive Beamforming)

Ide utama dibalik metode *Adaptive Beamforming* ini adalah pengalamanan daya pada masing-masing kanal menggunakan proses *multi*-sinyal. Sistem mengirim *multiple small signal* (menggantikan pengiriman satu sinyal dengan daya tinggi) dan juga menggabungkan efektifitas di terminal pengguna akhir. Proses ini sama dengan melemparkan banyak kerikil kecil di air dimana seluruhnya merupakan gabungan dari gelombang yang berbeda-beda untuk membentuk gelombang yang lebih besar di pengguna akhir. Proses ini disebut *beamforming* dimana banyak sinyal digabungkan dalam bentuk beam RF ke pengguna. Bentuk yang lebih efektif dari *beamforming* menggunakan teknik adaptif untuk menilai lingkungan RF dan pengukuran ini untuk menyediakan sinyal terbaik yang dikirim kepada pengguna dengan menilai lokasi pengguna secara tepat melalui perhitungan sudutnya.

Sebuah analogi singkat mengenai perbedaan diantara sistem tanpa *beamforming* dan yang menggunakan *beamforming* yakni seperti membandingkan efektifitas dari bola lampu dan lampu *flashlight* pada area khusus (lampu sorot). Bola lampu lebih memiliki daya yang tinggi dan menyinari pada seluruh daerah yang luas dan ini tidak efisiensi karena daya terlalu besar dikeluarkan. Jika lampu sorot lebih memfokuskan cahayanya untuk area tertentu saja. Dengan memfokuskan pada

suatu area saja maka lampu *flashlight*/sorot lebih membutuhkan daya yang cukup. Hal ini menerjemahkan analogi tentang *beamforming* yang memfokuskan “*beam*” dan mengurangi interferensi pengguna lain.



Gambar 2.16 Analogi Beamforming Menggunakan Lampu [8]

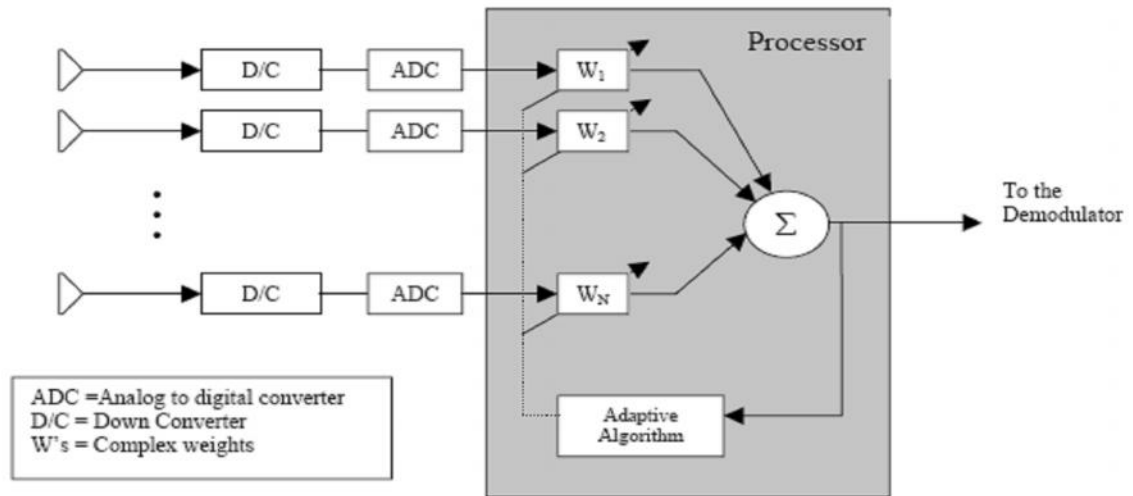
Beamforming banyak memiliki keunggulan dibanding tanpa *beamforming*, dimana dapat dianalogikan perbandingan antara WiFi dengan Wimax seperti tampak pada gambar 2.16.

2.5.2 Dasar Mekanisme Kerja

Sistem *Smart Antena* dapat menjalankan fungsi sebagai berikut : pertama, Pengarahan kedatangan dari seluruh sinyal yang masuk termasuk sinyal interferensi dan sinyal *multipath* yang diperkirakan dengan menggunakan algoritma *Direction of Arrival* (DOA). Kedua, sinyal pengguna yang diinginkan diidentifikasi dan dipisahkan dari sinyal yang tidak diinginkan. Akhirnya *beam* diatur atau diarahkan pada arah sinyal yang diinginkan dan pengguna dirutekan walaupun pengguna tersebut berpindah sementara itu penempatan nul terjadi pada arah sinyal interferensi. Pengaturan tersebut dilakukan terus-menerus dengan memperbaiki informasi terhadap pembobot *kompleks*.

Dasar konsep dalam sistem *adaptive array* adalah pengaturan *phase* untuk mencapai maksimum radiasi dari arah yang diinginkan. Untuk mendapatkan

pemahaman masalah bagaimana *adaptive array* bekerja, perhatikan tipikal *adaptive digital beamforming* yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.17 Blok Diagram *Adaptive Array Sistem* [3]

Pada tipikal jaringan *beamforming* diatas, sinyal pada elemen tunggal dikombinasikan secara cerdas terhadap bentuk *output beamforming* tunggal yang diinginkan. Sebelum sinyal datang dibebani, sinyal akan dirubah ke bentuk *baseband* atau *intermediate frequencies* (IF's). Penerima melengkapi pada masing-masing elemen output untuk menjalankan konversi frekuensi. Sistem *adaptive antenna array* menggunakan *digital signal processing* (DSP) untuk membebani sinyal datang. Sebelumnya diperlukan proses *down conversion* sinyal kedalam format *digital* sebelum diproses dengan DSP. ADC bekerja untuk proses tersebut. Untuk akurasi performa, dibutuhkan translasi akurat dari sinyal RF dari domain analog ke domain *digital*. Inti dari sistem adalah prosesor *digital* sinyalnya yang mana menerima sinyal IF dalam format *digital* dan proses data *digital* diatur dengan *software*. Prosesor menerjemahkan informasi data yang datang, memutuskan pembobot kompleks (perluasan dan informasi *phase*) dan mengalikan pembobot pada masing-masing elemen output untuk mengoptimalkan pola *array*. Optimisasi ini berdasarkan pada sebuah criteria khusus dimana akan meminimalisir kontribusi dari *noise* dan interferensi sementara itu terjadi produksi penguatan *beam* maksimum pada arah

yang diinginkan. Ada beberapa algoritma berdasarkan kriteria yang berbeda untuk memperbaiki dan menghitung beban optimum.

2.5.3 Klasifikasi Sistem Adaptive Array

Algoritma adaptive dapat diklasifikasikan kedalam beberapa kategori berdasarkan perbedaan pendekatan. Pertama, pembagian berdasarkan adaptasinya yakni

- *Continuous Adaptation* ; algoritma ini didasarkan pada pendekatan dalam mengatur pembobot sebagaimana data yang datang dimodelkan dan selalu diperbaiki sehingga semua data yang dikumpulkan dapat dijadikan solusi yang optimal. Pendekatan ini cocok ketika statistic sinyal bervariasi. Contohnya : Algoritma LMS (*Least mean Square*) dan algoritma RLS (*Recursive least Square*).
- *Block Adaptation* : Algoritma berdasarkan pendekatan perhitungan pembobot didasarkan pada perkiraan yang didapatkan dari blok data sementara. Metode ini dapat digunakan pada lingkungan yang berubah dengan dilengkapi perhitungan pembobot secara *periodic*. Contohnya Algoritma SMI (*Sample Matrix Inversion*).

Berdasarkan informasi yang dibutuhkan :

- Algoritma berdasarkan referensi sinyal : Algoritma pada tipe ini berdasarkan pada minimalisasi dari *mean square error* diantara sinyal yang diterima dan referensi sinyal. Karena itu hal ini dibutuhkan, sebuah sinyal referensi disediakan dimana memiliki hubungan yang tinggi dengan sinyal yang diinginkan. Contohnya : Algoritma LMS (*Least mean Square*), algoritma RLS (*Recursive least Square*), dan Algoritma SMI (*Sample Matrix Inversion*). Sinyal referensi [19] [20] [21] bukanlah sinyal yang sebenarnya diinginkan, dalam kenyataannya sebuah sinyal merepresentasikannya atau memiliki hubungan yang kuat dengannya. Sinyal referensi dibutuhkan untuk algoritma diatas yang digerakkan dalam beberapa cara.

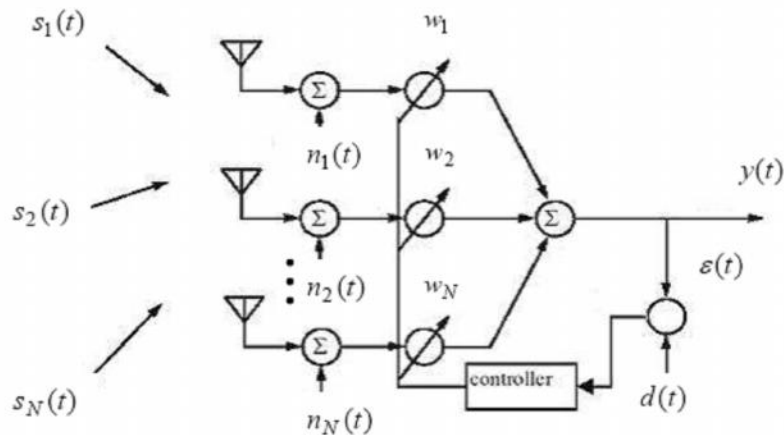
- Algoritma *blind adaptive* : Algoritma ini tidak membutuhkan beberapa informasi sinyal referensi. Mampu menggerakkan sinyal referensi yang dibutuhkan dari sinyal yang diterima untuk mendapatkan sinyal yang diinginkan. Contohnya : Algoritma *Constant Modulus* (CMA) dan Algoritma *Cyclostationary* serta Algoritma *Decision Direction*.

2.5.4 Algoritma Least Mean Square (LMS)

Beamforming secara umum dipenuhi melalui pemrosesan phase untuk masing-masing elemen dari *array* sehingga sinyal diterima atau dipancarkan dari seluruh elemen kepada arah yang dituju. *Phase* antar elemen dan amplitudonya biasanya diatur untuk mengoptimalkan sinyal yang diterima. Faktor *array* dari sebuah N-elemen memiliki jarak yang sama dengan *linear array* yang diberikan,

$$AF(\phi) = \sum_{n=0}^{N-1} A_n e^{jn\left(\frac{2\pi d}{\lambda} \cos \phi + \alpha\right)} \quad (2.20)$$

Untuk menengilustrasikan aspek yang berbeda dalam beamforming, marilah meninjau konfigurasi di bawah ini.



Gambar 2.18 Sistem *Adaptive Array* [19]

Output dari *array* $y(t)$ dengan variabel elemen pembobot dibebani dengan jumlah dari sinyal yang diterima $s_i(t)$ pada elemen *array* dan *noise* $n(t)$ pada penerima yang dihubungkan ke masing-masing elemen. Pembobot w_m dihitung secara berulang-ulang berdasarkan *output array* $y(t)$, sinyal referensi $d(t)$ memperkirakan sinyal yang diinginkan dan pembobot sebelumnya. Sinyal referensi digunakan untuk mengira sinyal yang diinginkan menggunakan *training sequence* atau *spreading code* yang telah diketahui di penerima. Format dari sinyal referensi bervariasi dan bergantung pada sistem dimana *adaptive beamforming* diimplementasikan. Sinyal referensi biasanya memiliki hubungan yang baik dengan sinyal yang diinginkan dan tingkat dari akurasi pengaruh hubungan yang terjadi serta algoritma pertemuan dua titik. *Output array* diberikan rumusan dibawah ini :

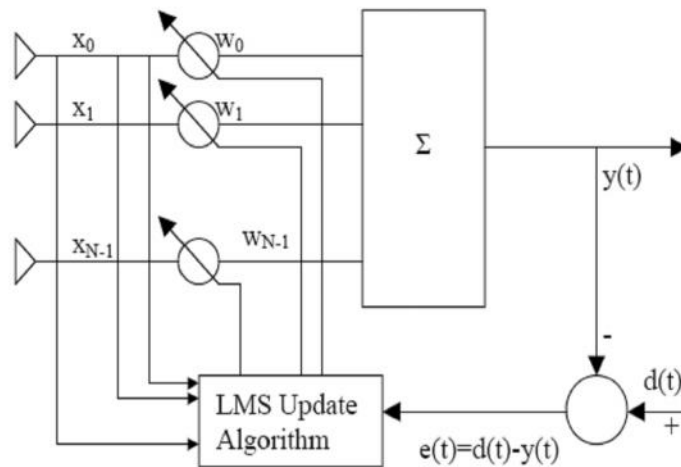
$$y(t) = w^H x(t) \quad (2.21)$$

dimana w^H melambangkan *transpose complex conjugate* dari vector pembobot w .

Algoritma *least mean square* (LMS) menggunakan perkiraan vektor *gradien* dari data yang tersedia. LMS menggabungkan iterasi-iterasi yang dihasilkan yang membuat hubungan terus menerus dengan vektor pembobot dalam arah negatif pada *gradien vektor*. Dibandingkan algoritma lainnya, algoritma LMS sangat sederhana. Algoritma ini tidak membutuhkan hubungan fungsi perhitungan dan *matriks inverse*. *Output* dari antenna *array* diberikan dengan

$$x(t) = s(t)a(\theta_0) + \sum_{i=1}^{N_u} u_i(t)a(\theta_i) + n(t) \quad (2.22)$$

$s(t)$ menunjukkan sinyal datang yang diinginkan pada sudut θ_0 dan $u_i(t)$ menunjukkan sinyal interferensi yang datang pada sudut kejadian θ_i . θ_0 dan θ_i menunjukkan *steering* vektor untuk sinyal yang diinginkan dan sinyal interferensi secara berturut-turut. Untuk itu dibutuhkan untuk membentuk sinyal yang diinginkan dari sinyal yang diterima diantara sinyal interferensi dan *noise* tambahan $n(t)$.



Gambar 2.19 LMS Network [3]

Seperti ditunjukkan diatas, *output* dari sensor individual dikombinasikan *linier* setelah diskala menggunakan pembobot yang sesuai seperti pola antena *array* dioptimalkan untuk memiliki penguatan maksimum pada arah sinyal yang diinginkan dan nul pada arah sinyal interferensi. Pembobot akan menghitung menggunakan algoritma LMS berdasarkan kriteria MSE (*Mean Square Error*). Untuk itu masalah filter spasial melibatkan perkiraan sinyal $s(t)$ dari sinyal yang diterima $x(t)$ (seperti *output array*) dengan meminimalisir *error* diantara sinyal referensi $d(t)$, yang mana memiliki tingkat hubungan dengan perkiraan sinyal yang diinginkan dan *output beamformer* $y(t)$.

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

$$w(n+1) = w(n) + \frac{1}{2}(\mu[-E\{e^2(n)\}]) \quad (2.23)$$

Dimana μ adalah parameter step-size dan mengontrol karakteristik konvergensi dari algoritma LMS. $e^2(n)$ adalah *mean square error* diantara *output beamformer* $y(n)$ dan sinyal referensi yang mana diberikan dengan

$$e^2(n) = [d^*(n) - w^H x(n)]^2 \quad (2.24)$$

Vektor *gradien* diatas, persamaan pembobot dapat dihitung sebagai berikut

$$w \{E[e^2(n)]\} = -2r + 2Rw(n) \quad (2.25)$$

Dalam metode *steepest decent*, masalah terbesar adalah perhitungan yang melibatkan pada penemuan nilai r dan matriks R pada waktu real. Algoritma LMS seketika menggunakan nilai pengganti kovarian matrik r dan R seperti dibawah ini.

$$R(n) = x(n)x^h(n) \quad (2.26)$$

$$r(n) = d^*(n)x(n) \quad (2.27)$$

Untuk itu pembobot *terupdate* dapat diberikan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} w(n+1) &= w(n) + \mu x(n)[d^*(n) - x^h(n)w(n)] \\ &= w(n) + \mu x(n)e^*(n) \end{aligned} \quad (2.28)$$

Algoritma LMS dimulai dengan nilai berdasarkan kenyataan $w(0)$ untuk vektor pembobot pada $n = 0$. Hubungan berturut-turut yang terjadi pada vektor pembobot dimulai dengan nilai minimum dari *mean square error*. Untuk itu algoritma LMS dapat disimpulkan dengan persamaan berikut

$$\text{Output, } y(n) = w^h x(n) \quad (2.29)$$

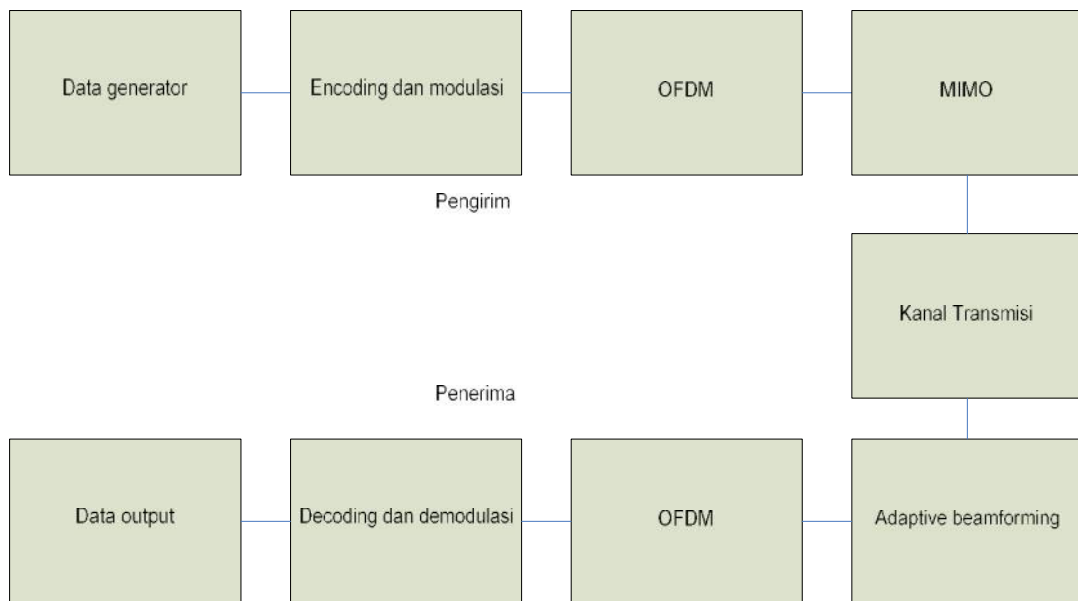
$$\text{Error, } e(n) = d^*(n) - y(n) \quad (2.30)$$

$$\text{Pembobot, } w(n+1) = w(n) + \mu x(n)e^*(n) \quad (2.31)$$

BAB III SIMULASI DAN PERENCANAAN

3.1 GAMBARAN SECARA UMUM

Dalam skripsi ini, pembuatan simulasi dilakukan pada sistem *end-to-end* yang dikhususkan pada analisa *adaptive beamforming* dengan algoritma LMS (*Least Mean Square*). Dilakukan dengan menggunakan data generator sebagai input untuk mendapatkan data performansi. Merujuk pada konsep teori informasi (*Brief overview of Communication Elements*), sistem simulasi ini akan ditunjukkan pada gambar dibawah ini.

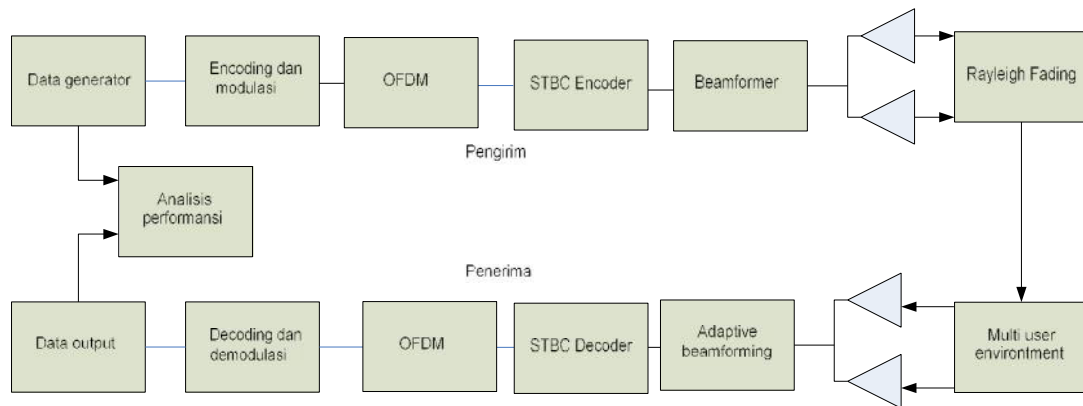


Gambar 3.1 Gambaran Umum Perancangan Simulasi

Tujuan simulasi ini adalah memperlihatkan efek dan unjuk kerja dari sistem *adaptive beamforming* pada berbagai variasi parameter. Pemodelan ini dilakukan dengan asumsi dan batasan-batasan yang akan dijelaskan selanjutnya.

3.2 PERANCANGAN SIMULASI

Pada sistem ini dilakukan simulasi sederhana dengan konfigurasi simulasi $N_t \times N_r$ pada level sederhana dimana pada sisi penerima, konfigurasi penerima dibentuk sebagai array. Tujuannya adalah memfungsikannya sebagai adaptive antenna yang merupakan bahasan pokok pada skripsi ini. Gambar di bawah ini menunjukkan konfigurasi perancangan simulasi yang akan dibuat.



Gambar 3.2 Konfigurasi Simulasi Adaptive Beamforming

Pada perancangan ini, data digerakkan oleh data generator yang berupa *random input*. Data tersebut akan diencoding dan dimodulasi. Sebelum dipancarkan data akan melewati proses OFDM dan penambahan *guard insertion*. Selanjutnya akan masuk pada blok MIMO dimana data pada blok ini akan dibagi secara paralel sesuai dengan banyaknya antenna dan siap dikirimkan melalui antenna. Selama pen-transmisian sinyal, sinyal akan melewati kondisi lingkungan yang penuh multipath berupa *Rayleigh fading*.

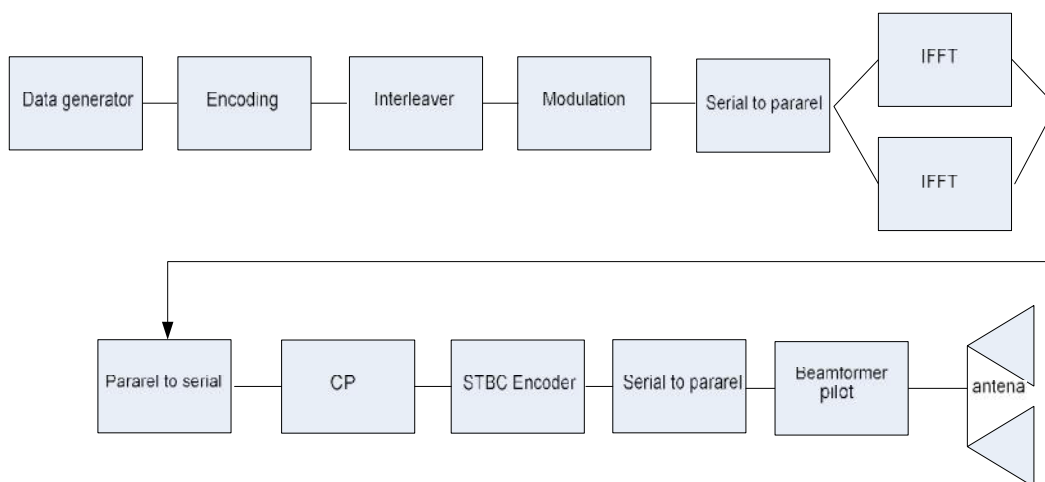
Sebelum sampai di penerima, data akan berupa kelompok sinyal yang akan datang dengan arah tertentu dan dengan sudut yang berbeda-beda yang akan jatuh pada *array* antenna penerima. Sinyal ini akan terbaca pada *array* dengan nilai berbeda-beda pada tiap antenna. Sinyal akan diterima dan kemudian akan dikalikan dengan koefisien vektor pembobot w yang mana bertujuan untuk meningkatkan amplitudo dan *phase* dari sinyal datang. Vektor pembobot w dimiliki oleh setiap

elemen *array*. Hasil dari perkalian ini disebut sinyal pembobot yang selanjutnya seluruh sinyal pembobot akan dijumlahkan dan hasilnya disebut sebagai *output array* ($y(n)$). Algoritma *adaptive* ini digunakan untuk meminimalisir *error* (n) di antara sinyal yang diinginkan $d(n)$ dengan *array output* $y(n)$. Pada kondisi ini, output dapat dirumuskan seperti berikut : $y(n) = w^H \cdot x(n)$ dimana H merupakan proses *hermitian transpose* atau disebut juga *complex conjugate*. Hasil dari output ini akan diproses dengan teknik OFDM (FFT), selanjutnya akan dilakukan demodulasi dan *decoding* data untuk mendapatkan hasil output dari proses tersebut.

Pada simulasi ini komunikasi yang terjadi diasumsikan jika sistem merupakan sistem *closed loop* dimana hal ini diluar dari apa yang disimulasikan dalam program. *Looping* dilakukan pada kondisi snr berulang-ulang hingga nilai yang ditentukan dan *looping* pada kondisi pembobot *adaptive beamformingnya*.

3.3 PEMODELAN SISTEM

3.3.1 SISI TRANSMITTER

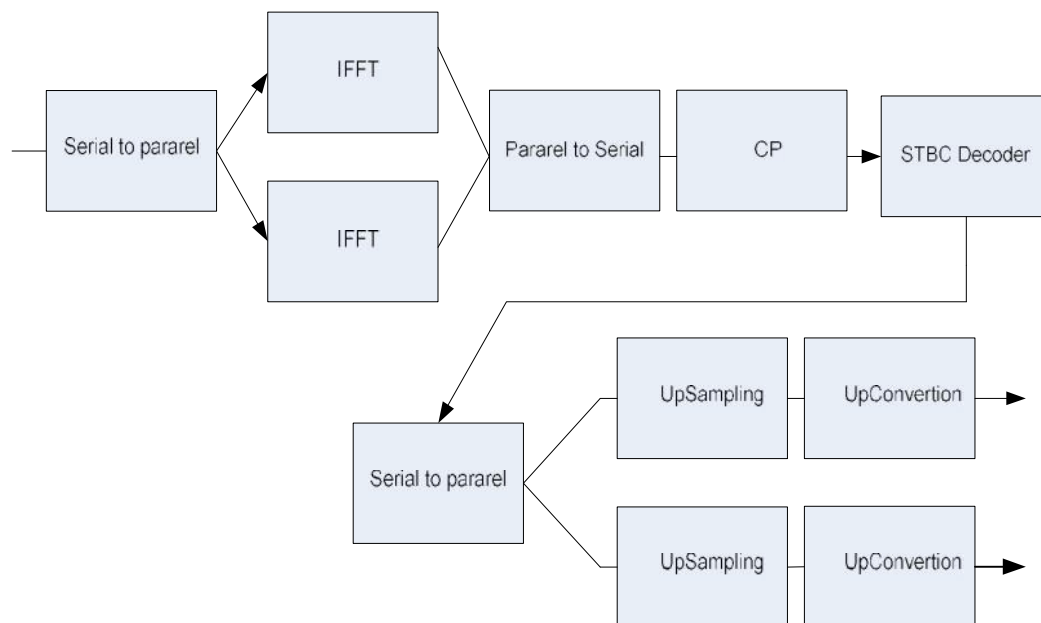


Gambar 3.3 Konfigurasi Pemancar

Pada konfigurasi diatas data generator akan memproses data untuk dilakukan proses *encoding* sesuai *code rate* yang telah ditentukan, setelah itu dilakukan proses

interleaver serta proses modulasi yang bergantung dari orde modulasinya. Hasil selanjutnya akan dilakukan proses OFDM dan penambahan *guard interval*. *STBC Encoder* akan melakukan proses sesuai dengan *alamouti algoritma* dengan membagi menjadi beberapa simbol berbeda namun satu informasi. Hasilnya akan dikirimkan sesuai dengan jumlah kanal antenna. Proses selanjutnya adalah proses *upconversion* dan proses *upsampling*. Penambahan *beamformer pilot* dilakukan sebelum dikirim.

Proses OFDM dalam hal ini sangat penting. MIMO dan OFDM merupakan kombinasi yang menghasilkan keuntungan teknologi yang besar dalam peningkatan spektrum efisiensi dan perbaikan kualitas link. Perpaduan ini dapat digambarkan sebagai berikut ini.



Gambar 3.4 Skema MIMO OFDM

Skema diatas menggambarkan OFDM dengan MIMO yang telah dikombinasikan. Hasil dari modulasi dilakukan teknik OFDM dengan proses IFFT. Proses OFDM penggunaan *bandwidth* sangat efisien. Keempat kanal yang ada dalam satu *bandwidth* seakan-akan ditumpang tindihkan menjadi satu, namun tidak terjadi saling interferensi antar kanal. Hal ini dikarenakan masing-masing sinyal transmisi dalam setiap kanal bersifat saling *orthogonal* dan *harmonic* satu sama lain. Dengan

kata lain, *null* dari setiap kanal yang berdekatan jatuh tepat pada titik tengah *spectrum*.

Pada simulasi ini, parameter OFDM yang digunakan disesuaikan pada kondisi *mobile wimax* dimana lebar kanal *bandwidth* adalah 20 MHz. Dengan terdiri dari 256 *subcarrier* yang akan menjadi subkanal dengan frekuensi *carrier* antara 2,4-2,6 GHz atau terletak pada band frekuensi 2.5 GHz. Size dari FFT adalah 512.

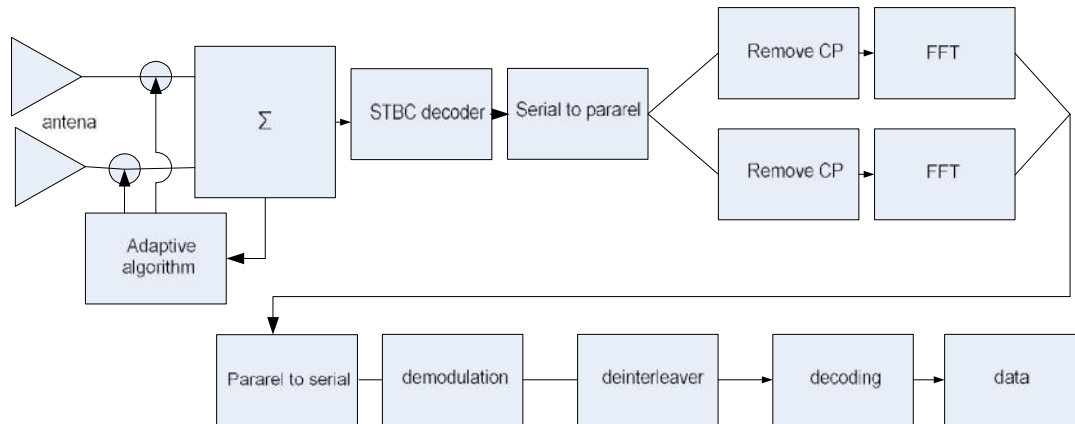
Setelah dilakukan proses OFDM, sinyal akan disisipkan *guard interval* yang bertujuan untuk menghindari *Inter Symbol Interference* (ISI) dan *Inter Channel Interference* (ICI). *Guard interval* disisipkan berupa deretan pulsa nol pada masing-masing simbol. *STBC Decoder* akan membagi data pada simbol yang berbeda seperti yang telah dijelaskan pada Sub-Bab 2.3.1 mengenai *Algoritma Alamauti* dan kemudian dipancarkan melalui beberapa kanal antenna. Setelah itu sinyal hasil akan mengalami *upsampling* sesuai dengan indeks *upsampling* itu sendiri yakni sebanyak n kali. *Upsampling* akan melakukan proses peningkatan *sampling rate* dengan mengulang masing-masing simbol sesuai indeksnya. Hal ini bertujuan untuk melakukan sinkronisasi sinyal dan estimasi respon kanal antara sinyal OFDM dan kanal yang dipakai.

Langkah terakhir pada pengirim sebelum dipancarkan adalah proses *upconversion*. Proses ini mengubah frekuensi sinyal ke dalam frekuensi real yang akan dipancarkan. Simbol data berupa simbol kompleks dengan bagian real dan bagian imajiner yang di*upconvert* menggunakan oleh dua *carrier* yang berbeda fase (*sinus* dan *cosinus*). Hasil sinyal *upconvert* merupakan dua bagian yakni *Inphase* (I) dan *Quadrature* (Q). Kedua simbol hasil ini dijumlahkan sebelum dipancarkan.

3.3.2 SISI RECEIVER

Pada penerima, sinyal diterima oleh *array antenna* dengan waktu yang berbeda-beda. Hasilnya akan dikalikan vektor pembobot pada masing-masing kanal antenna. Selanjutnya proses penjumlahan sinyal pada masing-masing kanal. Saat proses ini, algoritma *adaptive* melakukan perhitungan *error* antara sinyal yang diinginkan

dengan sinyal yang diterima. Adapun dalam simulasi, parameter awal vektor pembobot diberikan nilai satu, dimana dalam kondisi normal (tanpa ada *noise* dan *multipath*) akan didapatkan nilai *error* adalah nol. Pada simulasi ini, nilai *noise* dan *multipath* diberikan untuk mensimulasikan pada kondisi yang sesungguhnya.



Gambar 3.5 Konfigurasi Penerima

Proses selanjutnya adalah pemisahan sinyal hasil dari *beamformer pilotnya*, hasil tersebut akan dipecah untuk dilakukan *downconversion*. Selanjutnya dilakukan *downsampling* sehingga didapatkan sinyal tanpa duplikasi. Pada proses ini didapatkan estimasi kanal untuk mendapatkan respon kanal. Sinyal hasil yang diterima dikalikan dengan *invert* kanal respon untuk didapatkan bit asli. Hasil dari MIMO ini akan mengalami penghapusan guard interval sebelum dilakukan demodulasi OFDM dengan proses FFT. Setelah proses tersebut dilakukan demodulasi, *deinterleaver* dan *decoding* sampai didapatkan data yang diinginkan.

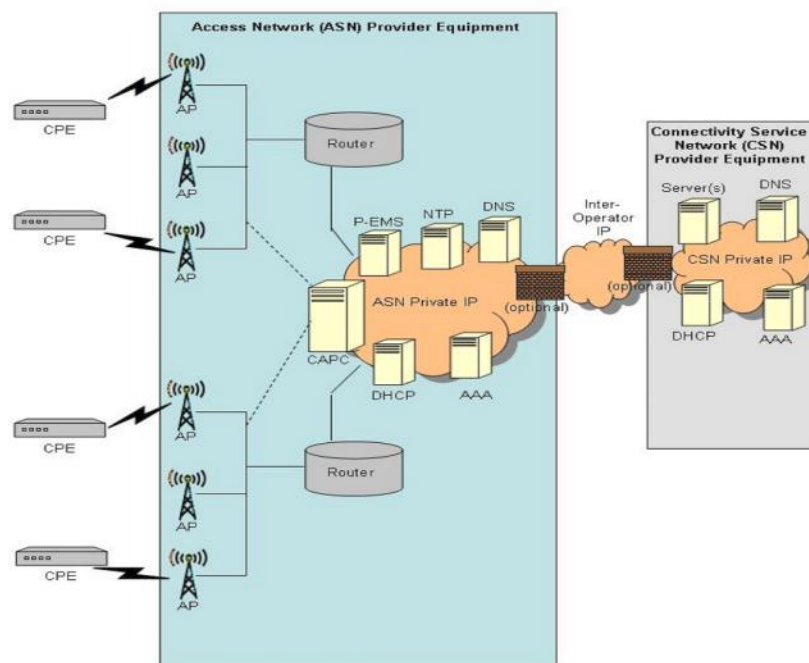
3.4 PERENCANAAN SISTEM

3.4.1 DESKRIPSI SISTEM WIMAX MOBILE SECARA UMUM

Subbab ini menjelaskan tentang gambaran real dari sistem yang sebenarnya serta parameter yang digunakan. Untuk memperdalam, perlu diketahui konfigurasi

dasar sistem Wimax yang sebenarnya. Adapun konfigurasi tersebut merupakan keseluruhan sistem *end-to end* yang dipakai oleh operator Wimax pada umumnya. Konfigurasi tersebut dimulai dari sebuah CPE (*Customer Premises Equipment*) yang terkoneksi ke BTS Wimax hingga ke arah *core network* Wimax yang terdiri dari ASN (*Access Service Network*), CSN (*Connectivity Service Network*) dan OMC (*Operator Maintenance Center*).

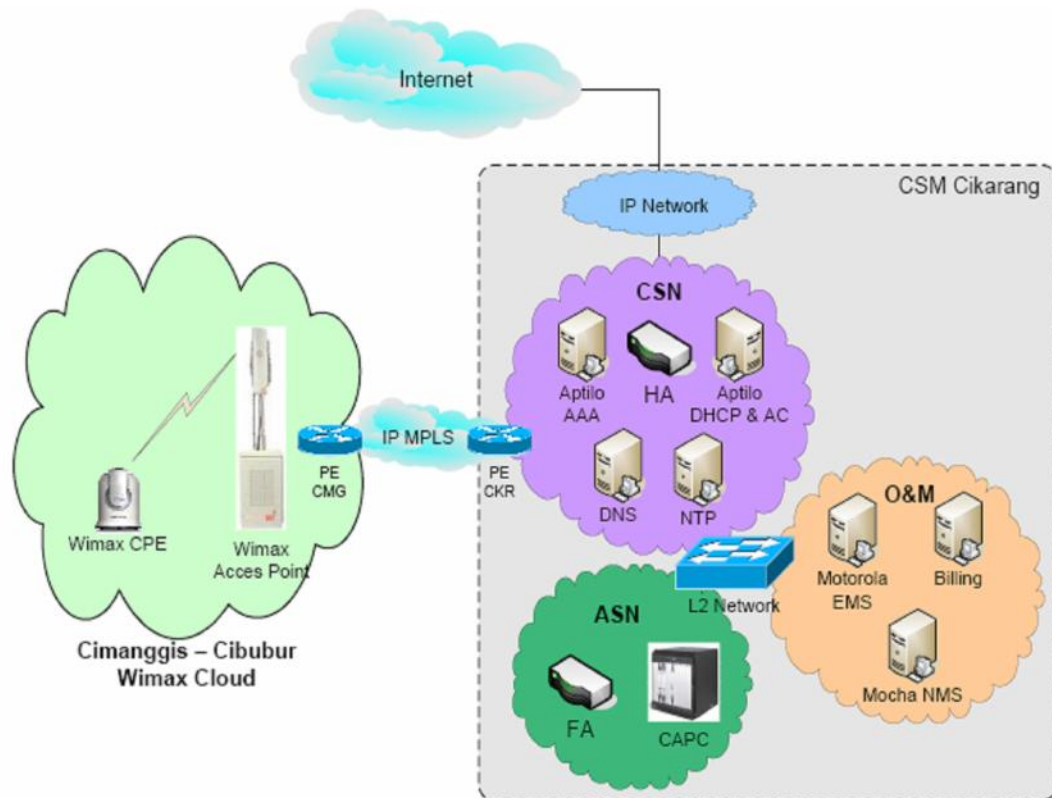
Secara keseluruhan topologi Wimax tidak serumit topologi yang dimiliki oleh layanan seluler. Hal inilah yang membuat Wimax memiliki keuntungan dalam segi biaya. Layanan Wimax mensupport untuk kecepatan tinggi dimana pada kondisi nyata saat ini sistem *adaptive smart antenna* telah digunakan dengan kombinasi MIMO-OFDM. Di bawah ini adalah gambaran dari topologi Wimax.



Gambar 3.6 Topologi Dasar Wimax

3.4.2 DESKRIPSI SISTEM WIMAX PT. CSM

Berikut ini adalah deskripsi sistem yang dibangun pada PT. Citra Sari Makmur (CSM). Sistem ini telah dibangun menyeluruh secara *end-to-end* di lokasi Cimanggis-Cibubur serta Pusat Kendali Cikarang.



Gambar 3.7 Network Topologi Sederhana Wimax PT. CSM

Dalam deskripsi sistem ini, yang berkaitan erat dengan *adaptive beamforming* adalah pada sisi CPE dan *Wimax Access Point*. Dua perangkat ini merupakan bagian akses dari sistem Wimax. CPE sebagai perangkat yang digunakan *user* sedangkan *Wimax Access Point* merupakan sebuah *Base Station* yang ada pada konsep seluler atau bergerak.

1. CPE (*Customer premises Equipment*) merupakan terminal *user* yang secara umum dapat dibedakan menjadi dua yakni *fixed* dan *mobile*. Dalam sistem yang digunakan oleh PT. Citra Sari Makmur (CSM) perangkat *Fixed* CPE dikenal juga dengan *Badger* CPE. Sedangkan *mobile* CPE dikenal dengan *Wolverine* CPE. Perangkat *Badger* CPE yang digunakan lebih cenderung untuk penetrasi *outdoor* ataupun *fixed* sedangkan untuk *Wolverine* CPE cenderung untuk dipakai pada kondisi *mobile* ataupun *indoor*. Perangkat CPE

dibawah ini sangat mendukung untuk *Multiple Antena* yang sesuai konsep *open* dan *closed loop* MIMO.



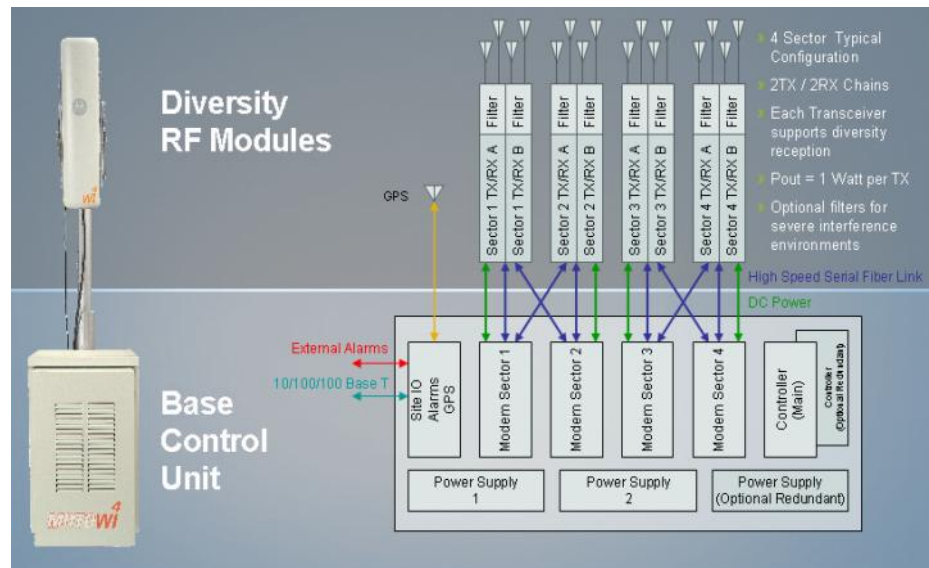
Gambar 3.8 *Badger* CPE



Gambar 3.9 *Wolverine* CPE

2. *Wimax Access Point* merupakan sebuah *Base Station Unit* yang digunakan untuk mengontrol terminal *user* yang ada pada jangkauannya. Perangkat ini dibagi menjadi dua bagian yakni *Diversity RF Module* (Sistem Antena) dan *Base Control Unit* (pengolah *Baseband*). Pada sistem Antena mendukung

sistem MIMO *Adaptive Beamforming* dengan dimensi 712H x 178W x 229D mm (28"x7"x9") serta berat 16 kilogram. Ketinggian antenna yang digunakan adalah 30 meter. Sedangkan *Base Control Unit* mendukung untuk *Full Mobility* dengan dimensi 788H x 508W x 483D mm (31"x20"x19"). *Wimax Access Point* ini dapat melayani 3000 pengguna dan juga mendukung untuk 256 *carrier* OFDM dengan 4 antena sektoral aktif.



Gambar 3.10 Wimax Access Point

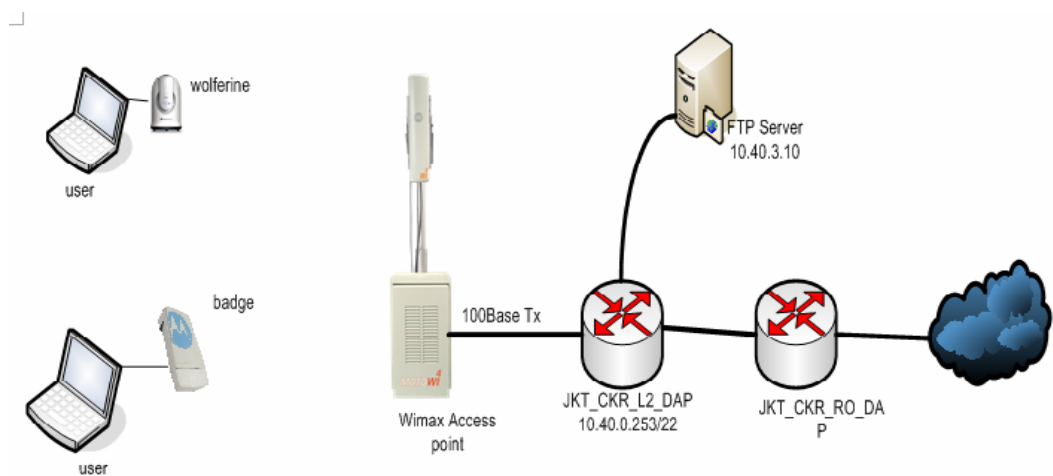
3.4.3 PENGUJIAN PERANGKAT WIMAX

3.4.3.1 RUANG LINGKUP PENGUJIAN

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat performansi perangkat apabila dilakukan pada area *outdoor* dan *indoor* dengan kondisi lingkungan LOS (*Line of Sight*) dan Non-LOS (*Non Line of Sight*). Selain itu juga dilakukan ujicoba pada modulasi yang berbeda. Pengujian ini dilakukan pada jarak tertentu namun masih dalam batas-batas yang masih dapat dilakukan untuk pengujian. Hal ini dimaksudkan karena lisensi Wimax dari pemerintah masih belum dikeluarkan sehingga pengujian ini terbatas pada peraturan pemerintah. Selain itu pengujian ini

masih bersifat percobaan. Pada percobaan ini dilakukan dengan *output* yang terbatas serta pada jarak tertentu dimana frekuensi *center* percobaan yakni 2.68 GHz (*Outdoor* dan *Indoor*) yang dilakukan terletak pada frekuensi lisensi FWA (*Fixed Wireless Access*) PT. CSM yakni pada *range* frekuensi 2.5 GHz hingga 2.6 GHz. *Output* rendah dan jarak tertentu dimaksudkan untuk menghindari terjadinya interferensi dengan frekuensi FWA PT. CSM yang telah *onair*. Oleh karena pengujian masih bersifat percobaan maka pada *Network Management Sistem* (NMS) yang kami gunakan masih belum *ter-update* untuk waktunya dimana waktu pada NMS dalam kondisi *default*. Pengujian dilakukan pada tanggal 13 November 2008.

3.4.3.2 ELEMEN PENGUJIAN SISTEM



Gambar 3.11 Elemen Pengujian Sistem

Secara umum, sistem diatas terbagi menjadi dua bagian yakni Akses dan *Core*. Layanan Akses ditunjukkan pada gambar dari *user* hingga *Wimax Access Point*, sedangkan layanan *core* ditunjukkan dari *router core* dan *server* hingga ke internet. Pengujian dilakukan pada *channel bandwidth* 5 MHz (*Indoor*) dan 10 MHz (*Outdoor*) dengan *range* frekuensi center pada 2.5 GHz. Pembagian *channel bandwidth* dilakukan dengan perbandingan 60 persen untuk *downlink* dan 40 persen untuk *uplink*.

Untuk pengujian ini, diperlukan referensi mengenai kondisi lokasi yang digunakan sebagai acuan dalam pengujian. Adapun referensi tersebut terbagi atas dua kondisi yakni *indoor* dan *outdoor*.

Dari table dibawah, dapat diperoleh acuan penggunaan CPE dimana hanya CPE *Indoor* saja yang bias dilakukan untuk pengujian sistem. Ini dikarenakan lisensi frekuensi untuk Wimax masih belum dikeluarkan oleh pemerintah, sedangkan frekuensi *center* percobaan berada pada *range* yang dapat mengganggu jaringan FWA (*Fixed Wireless Access*). Pengujian dilakukan dengan perangkat *indoor unit* CPE untuk mengetahui *throughput* baik *uplink* maupun *downlink*. Berikut tabel referensi untuk pengukuran *throughput* untuk *channel bandwidth* 5 MHz.

Tabel 3.1 Range dan Coverage Indoor CPE

Indoor CPE 2.5 GHz 5 MHz Channel	Range (km)	Coverage (sq. km)
Rural	3.8	28.3
Suburban	1.3	3.6
Light Urban	0.6	0.7
Dense Urban	0.5	0.6

Berikut ini adalah Tabel referensi untuk pengukuran *throughput* untuk kondisi *Outdoor* dengan *channel bandwidth* 10 MHz.

Tabel 3.2 Range dan Coverage Outdoor CPE

Outdoor CPE 2.5 GHz 10 MHz Channel	Range (km)	Coverage (sq. km)
Rural	57.6	6631.6
Suburban	20.5	836.5
Light Urban	8.7	152.6
Dense Urban	7.2	103.1

Throughput sektor *downlink* dibawah ini dilakukan dengan beberapa jenis modulasi dan *code rate* tertentu. Selain hal tersebut, pada referensi dibawah ini nilai RSSI dan *throughput* saling berkaitan. Hal ini juga sama terjadi pada *sector uplink*. Untuk mengetahui lebih lanjut, dibawah ini akan diberikan referensi untuk *sector uplink*.

Table 3.3 *Throughput* Sektor Untuk *Downlink*, BW = 5MHz

Target MCS	RSSI	tput Mbps
QPSK1/2rep6	99	0.11
QPSK1/2rep4	96	0.30
QPSK1/2rep2	92	0.60
QPSK1/2rep1	88	1.22
QPSK3/4	85	1.80
16QAM1/2	79	2.06
16QAM3/4	78	3.69
64QAM2/3	77	4.80
64QAM3/4	73	5.73
64QAM5/6	61	6.29

Pada table referensi dibawah ini perangkat hanya mendukung modulasi dan *code rate* QPSK ½ rep1 hingga modulasi diatasnya. Hal ini menyebabkan data diatas untuk QPSK ½ rep6, rep4 dan rep2 tidak mempunyai nilai referensi

Table 3.4 *Throughput* Sektor Untuk Uplink, BW = 5MHz

Target MCS	RSSI	tput Mbps
QPSK1/2rep6	NA	
QPSK1/2rep4	NA	
QPSK1/2rep2	NA	
QPSK1/2rep1	63	0.82
QPSK3/4	63	1.44
16QAM1/2	63	1.85
16QAM3/4	63	2.77

3.4.3.3 PENGUJIAN KANAL

Alasan yang tepat agar BS dapat menjaga manajemen sumber radionya (*power control*, skema modulasi dan *coding*, teknologi antena), standar tersebut mendefinisikan indikator kualitas kanal. Kedua indikator tersebut adalah

- RSSI (*Receive Signal Strength Indicator*) memberikan informasi level power yang diterima.
- CINR (*Carrier to Interference and Noise Ratio*) memberikan informasi terhadap level interferensi terhadap carrier yang diterima.

Pada perangkat radio Wimax dapat dilakukan pengukuran, perhitungan dan laporan indikator tersebut. Untuk menunjukkan kualitas kanal radio dalam satuan waktu, dua penilaian dari indikator tersebut dievaluasi dan dilaporkan terhadap nilai rata-rata dan standar penyimpangannya.

3.4.3.3.1 RSSI (Receive Signal Strength Indicator)

RSSI diawali dengan dari penilaian *sample* level daya yang diterima. Nilai RSSI yang dilaporkan adalah rata-rata (dalam skala *linier*, seperti mW) dari *sample* level daya yang dinilai (dilakukan dengan *filter* eksponensial sebagai parameter konfigurasi dari BS).

$$\mu_{\text{RSSI}} [k] = \begin{cases} R[0] & \text{jika } k = 0 \\ (1 - \text{Avg}) \mu_{\text{RSSI}} [k-1] + \text{Avg} \cdot R[k] & \text{jika } k > 0 \end{cases} \quad (mW) \quad (3.1)$$

dimana $R[k]$ adalah penilaian dari *sample* daya selama message k dan Avg adalah faktor rata-rata. Indek *sample* k dinaikkan untuk setiap *frame* dan daya dinilai atas *preamble* frame. Faktor rata-rata ditransmisikan oleh BS.

Standart penyimpangan oleh RSSI didapatkan dari statistik *ekspektasi* kuadrat atas level-level sinyal yang dinilai, x^2_{RSSI} didefinisikan dengan

$$x^2_{\text{RSSI}} [k] = \begin{cases} |R[0]|^2 & \text{jika } k = 0 \\ (1 - \text{Avg})x^2_{\text{RSSI}}[k-1] + \text{Avg} \cdot |R[k]|^2 & \text{jika } k > 0 \end{cases} \quad (mW^2) \quad (3.2)$$

Metode untuk menilai kekuatan sinyal yang diterima adalah untuk spesifikasi vendor dimana penilaian *error* yang diijinkan +/- 4 dB. Nilai laporan yang dikirim dalam pesan MAP REP-REQ menggunakan skala dBm untuk rata-rata RSSI. Nilai RSSI adalah -123 dBm sampai -40 dBm.

$$\mu_{\text{RSSI dBm}} [k] = 10 \log (\mu_{\text{RSSI}}[k]) \quad \text{dBm} \quad (3.3)$$

$$\sigma_{\text{RSSI dBm}} [k] = 5 \log (|x^2_{\text{RSSI}}[k] - (\mu_{\text{RSSI}}[k])^2|) \quad \text{dB} \quad (3.4)$$

3.4.3.3.2 CINR (Carrier to Interference and Noise Ratio)

Untuk sistem yang didasarkan pada IEEE 802.16-2004 (menggunakan OFDM), laporan indikator CINR adalah indikator CINR fisik. Ketika BS meminta laporan penilaian CINR dari MS, MS akan menjawab ulang dengan memasukkannya dalam pesan REP-RSP MAC yang memperkirakan penyimpangan rata-rata dan penyimpangan *standart* dari CINR. Nilai CINR dilaporkan dalam skala dB dengan *range* -10 dB sampai 53 dB.

Nilai CINR yang dilaporkan adalah dirata-rata menggunakan metode rata-rata yang sama dengan RSSI. Pengukuran dapat mengetahui keduanya dari *sample pilot* atau yang dideteksi.

Untuk sistem yang didasarkan IEEE 802.16-2005 (menggunakan OFDMA), perbedaan pengukuran CINR didefinisikan pengukuran CINR fisik dan pengukuran CINR efektif. Dengan kata lain, laporan CINR mungkin dikirim melalui pesan REP-REQ MAC (penyimpangan standar dan/atau penyimpangan rata-rata dari CINR) atau melalui kanal *feedback* (hanya CINR).

Beberapa laporan CINR fisik dapat diminta dari MS :

- Penilaian CINR fisik pada *preamble*. Dalam kasus frekuensi reuse untuk 3 jaringan, CINR dinilai atas *carrier* modulasi dari *preamble*. Sementara untuk kasus frekuensi reuse 1 jaringan, CINR dinilai atas seluruh *subcarrier* (modulasi atau tidak, termasuk *guard band* atau kanal DC).
- Penilaian CINR fisik dari zona pertukaran. Dengan kata lain, *sample* dari CINR dinilai dari *pilot* pada zona pertukaran.

BAB IV ANALISA HASIL PENGUJIAN

4.1 PARAMETER SIMULASI DAN PERENCANAAN

Tujuan utama dari simulasi dan perencanaan ini adalah untuk mengetahui unjuk kerja dari sistem *Adaptive Beamforming MIMO OFDM Smart Antena*. Pengujian didasarkan pada *Bit Error Rate* (BER) pada simulasi dan *Throughput* pada perencanaan. Pada pengujian simulasi dilakukan perbandingan sistem tersebut dengan sistem MIMO konvensional.

Adapun parameter yang digunakan pada pengujian simulasi *Adaptive Beamforming MIMO OFDM Smart Antena* adalah

Tabel 4.1 Parameter Simulasi

Sistem parameter	Nilai Parameter
<i>Bandwidth</i>	20 MHz
Teknik Modulasi	QPSK, 16 QAM dan 64 QAM.
Jumlah <i>subcarrier</i>	256
Jumlah data <i>subcarrier</i>	128
Jumlah <i>pilot subcarrier</i>	128
Durasi <i>symbol</i> OFDM	16 us
<i>Guard Interval</i>	3.2 us
Frekuensi <i>carrier</i>	2.5 GHz

Untuk parameter yang digunakan pada pengujian sistem Wimax PT CSM dapat dilihat pada tabel 8. Pengujian sistem ini masih bersifat percobaan test perangkat dimana lisensi frekuensi dan regulasi dari pemerintah Indonesia masih belum jelas. Pada pengujian ini dilakukan dengan menggunakan output yang sangat rendah untuk menghindari terjadinya interferensi pada frekuensi yang telah

digunakan. Frekuensi *center* percobaan yang digunakan merupakan frekuensi yang telah dilisensi pemerintah untuk PT. CSM (Citra Sari Makmur).

Tabel 4.2 Parameter Sistem Wimax

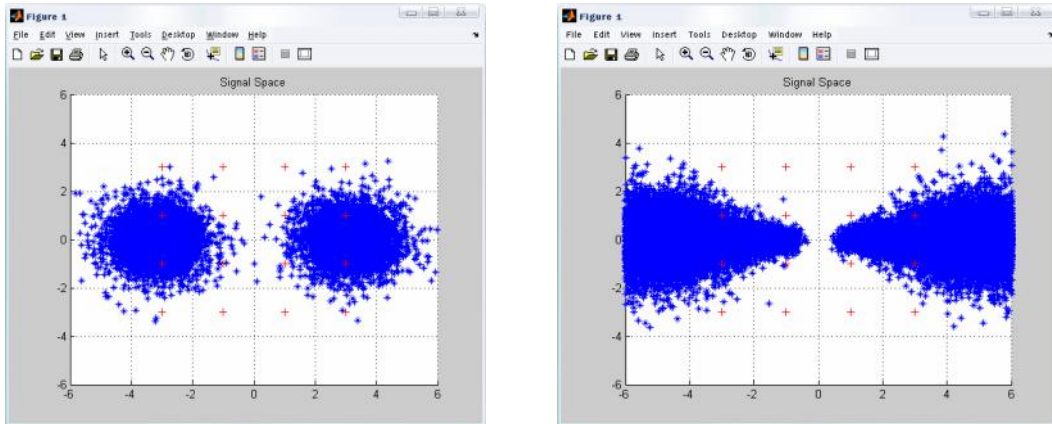
Sistem parameter	Nilai Parameter
<i>Bandwidht</i>	5 MHz (<i>Indoor</i>) dan 10 MHz (<i>Outdoor</i>)
Pembagian <i>Bandwidth</i>	60 persen <i>downlink</i> dan 40 persen untuk <i>uplink</i>
Teknik Modulasi	QPSK, 16 QAM dan 64 QAM.
Jumlah <i>subcarrier</i>	256
Dimensi antena (per sektor)	712H x 178W x 229D mm
<i>Type Antena</i>	<i>Adaptive Antena</i>
Ketinggian antenna BS	30 meter
Jumlah sektor antena	4 sektor
Derajat cakupan sektor	90 derajat
Frekuensi carrier	2.68 GHz

4.2 HASIL SIMULASI DAN ANALISA

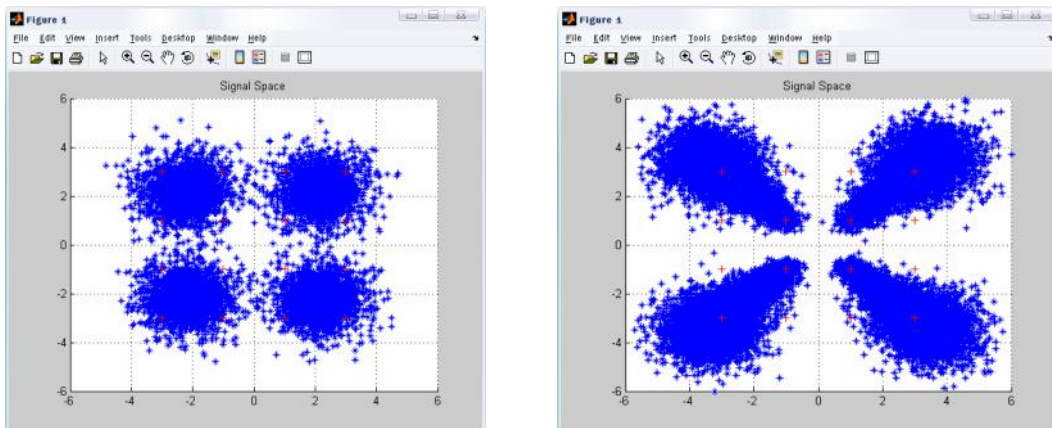
4.2.1 Analisa Dari Sinyal Konstelasi

Di bawah ini, dilakukan percobaan simulasi untuk mengetahui hasil sinyal *konstelasi* pada kecepatan yang berbeda. Pada pengujian simulasi ini dilakukan pada kecepatan tetap dan bergerak. Kecepatan bergerak dilakukan pada kecepatan 10 m/s dengan modulasi yang berbeda. Modulasi tersebut terdiri dari BPSK, QPSK, 16 QAM dan 64 QAM. Perbedaan akan terjadi pada hasil sinyal *konstelasi* tersebut. Pada gambar 4.1, 4.2, 4.3 dan 4.4 menunjukkan adanya perbedaan tersebut dilihat dari pola persebaran *konstelasi*. Pola tersebut menggambarkan kondisi sinyal ketika melewati kanal transmisi. Pada kondisi kecepatan diam dengan nol atau kondisi diam,

pola yang terbentuk adalah pola persebaran yang cenderung lebih rapat daripada pola dengan kecepatan tinggi. Pada pola persebaran dengan kecepatan tinggi lebih cenderung tersebar meluas dari titik pusat *konstelasi*.



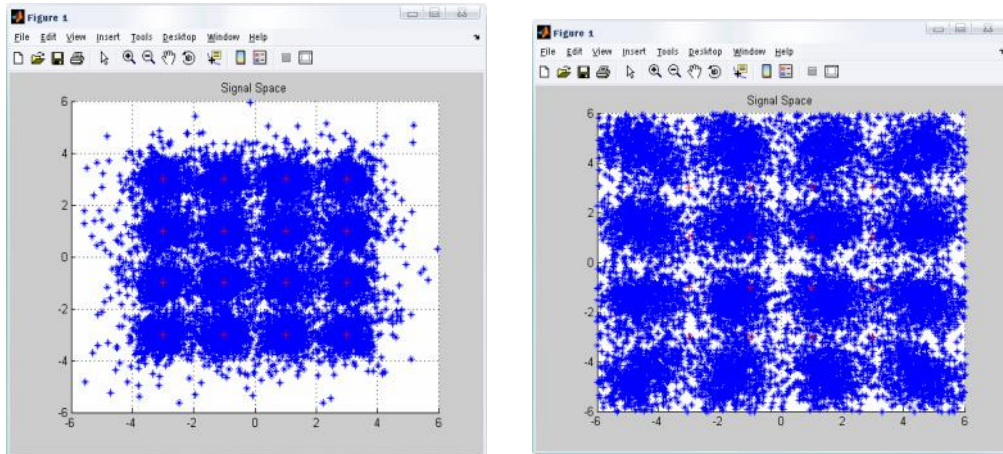
Gambar 4.1 Diagram *Konstelasi* Untuk Modulasi BPSK : (Kiri) Kecepatan $v=0$ m/s ; (Kanan) Kecepatan $v = 10$ m/s



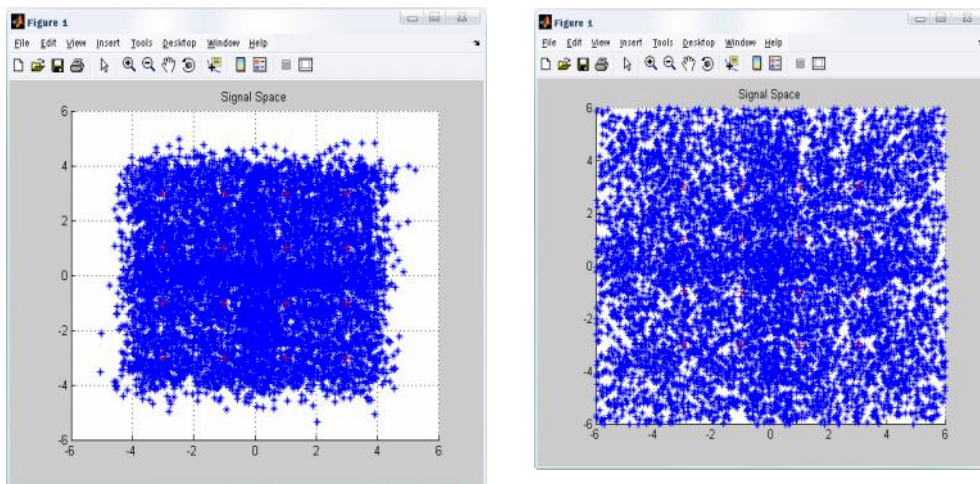
Gambar 4.2 Diagram *Konstelasi* untuk Modulasi QPSK : (Kiri) Kecepatan $v=0$ m/s ; (Kanan) Kecepatan $v = 10$ m/s

Pola persebaran dengan kecepatan tinggi terlihat sebagai persebaran yang lebih luas dan cenderung terjadi pergeseran dari titik pusat *konstelasi* dibandingkan pola persebaran dengan kecepatan diam. Hal ini dikarenakan adanya pergerakan dari sinyal yang dipengaruhi oleh kondisi kanal termasuk *Rayleigh fading* serta adanya efek *Doppler*. Pergerakan yang terjadi yang diakibatkan kecepatan yang dimiliki

user, menyebabkan nilai dari *Doppler* semakin tinggi. Nilai kecepatan user berpengaruh pada besarnya frekuensi *doppler*. Dengan frekuensi *doppler* ini menimbulkan pergeseran frekuensi yang diterima di sisi *receiver* sehingga menyebabkan turunnya kualitas data pada penerima karena adanya perbedaan frekuensi *sampling* antara pengirim dan penerima.



Gambar 4.3 Diagram *Konstelasi* untuk Modulasi 16QAM : (Kiri) Kecepatan $v = 0$ m/s ; (Kanan) Kecepatan $v = 10$ m/s



Gambar 4.4 Diagram *Konstelasi* untuk Modulasi 64QAM : (Kiri) Kecepatan $v = 0$ m/s ; (Kanan) Kecepatan $v = 10$ m/s

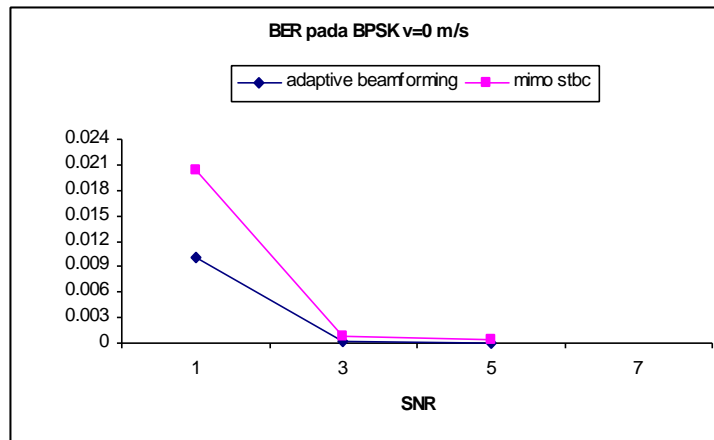
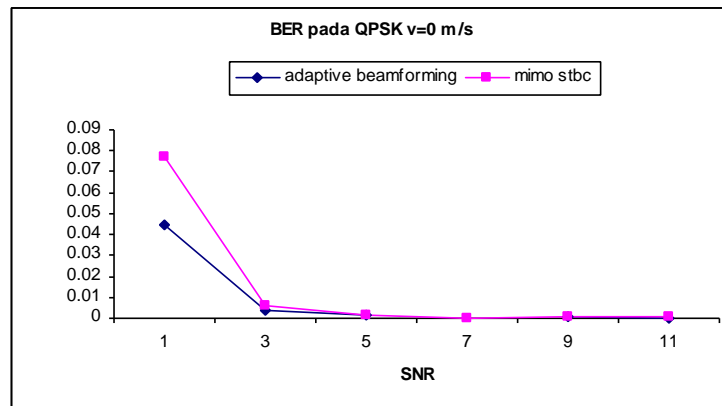
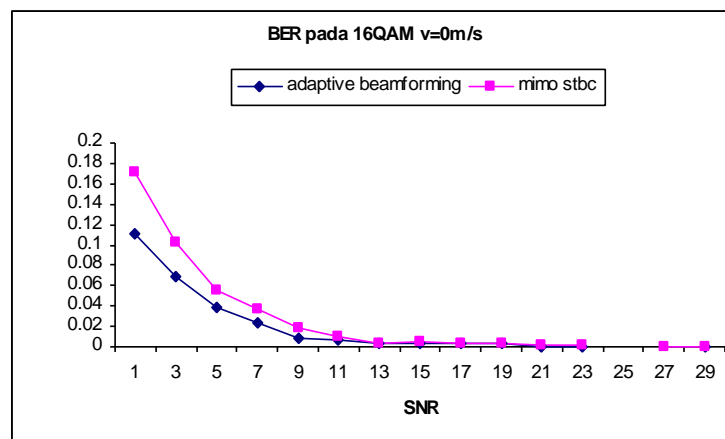
Kecepatan *doppler* dirumuskan sebagai berikut :

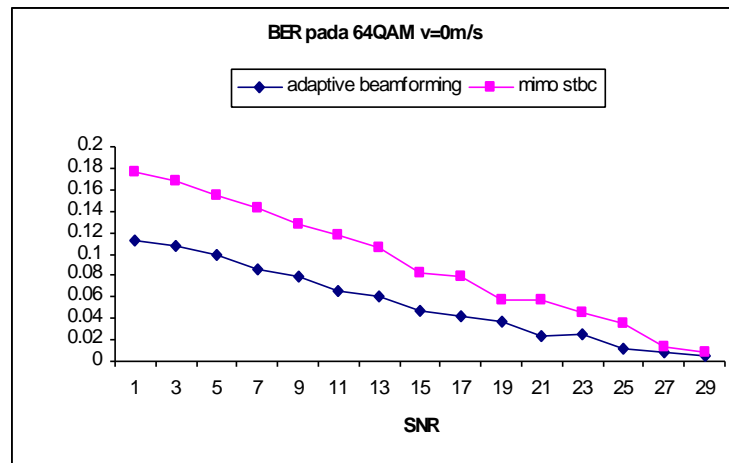
$$F_{Doppler} = (v/c) \cos \theta \quad (4.1)$$

Dari rumusan diatas, v adalah kecepatan pergerakan *mobile station* dalam m/s, c adalah panjang gelombang frekuensi dari pemancar serta θ adalah sudut diantara *flat* dengan pergerakan *mobile station*. $F_{Doppler}$ dipengaruhi oleh tiga parameter tersebut dalam satuan Hertz (Hz). Semakin besar nilai kecepatan dari *user* maka semakin besar frekuensi *doppler* yang terjadi sehingga penurunan kualitas terjadi terutama pada aplikasi *voice*.

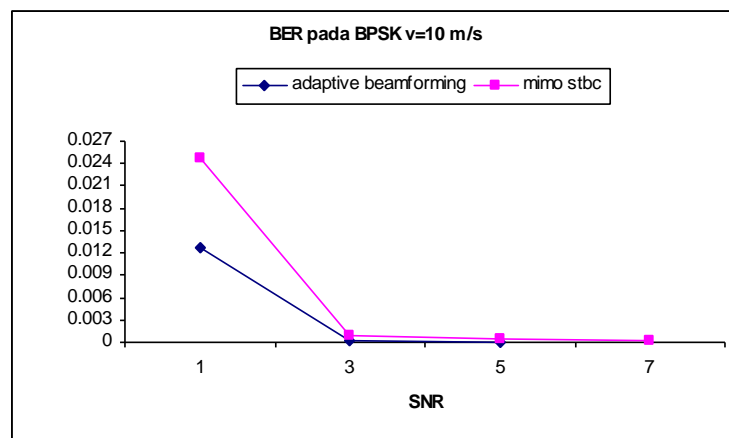
4.2.2 Analisa performansi

Pada gambar di bawah ini menunjukkan jika BER dari sistem *adaptive array* sangat baik dibandingkan sistem MIMO conventional biasa. Hal ini disebabkan karena *adaptive array* memiliki koreksi error terhadap sinyal yang diterima. Selain itu perhitungan error dapat menunjukkan tentang kondisi kanal yang mempengaruhi sinyal. Pada pengujian ini, dapat diketahui jika BER pada BPSK sangat baik dibanding orde yang lebih tinggi baik pada *Adaptive array* dan *MIMO conventional*. Pada kondisi ini orde lebih rendah membawa bit lebih sedikit per simbolnya dibanding orde lebih tinggi. Dengan membawa lebih sedikit bit per simbolnya, menyebabkan resiko kerusakan pada sinyal data per simbol relatif kecil. Jika orde lebih tinggi dalam satu simbol terkena gangguan maka bit yang dibawa dalam satu simbol (semakin banyak) akan menimbulkan error yang relatif tinggi. Untuk kondisi pengguna yang memiliki kecepatan, kondisi BER pada orde yang lebih rendah akan lebih baik dari orde yang lebih tinggi seperti pada kondisi diam. Jika dibandingkan dengan kecepatan diam (pada konfigurasi *adaptive array*) maka kondisi pengguna yang bergerak akan lebih buruk kualitas BERnya. Berikut ini gambar kualitas BER pada masing-masing orde modulasi.

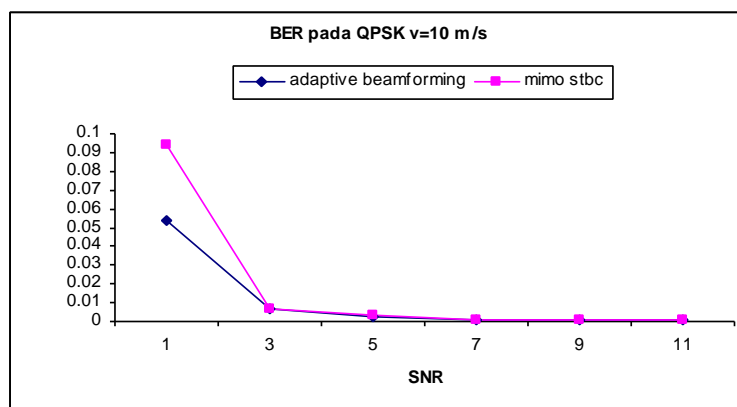
Gambar 4.5 BER Dengan Modulasi BPSK, $v = 0$ m/sGambar 4.6 BER Dengan Modulasi QPSK, $v = 0$ m/sGambar 4.7 BER Dengan Modulasi 16QAM, $v = 0$ m/s



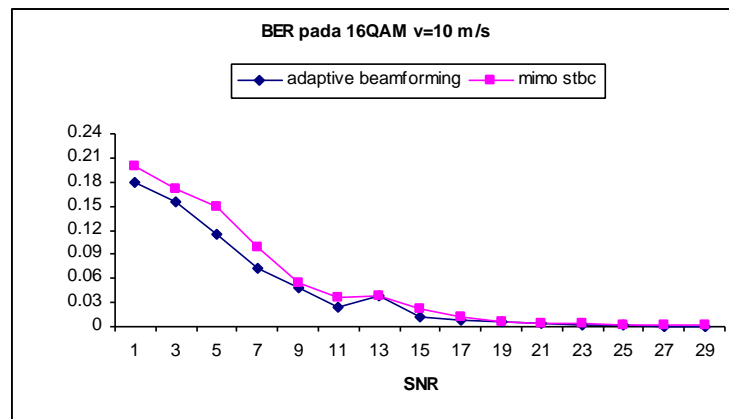
Gambar 4.8 BER Dengan Modulasi 64QAM, $v = 0$ m/s



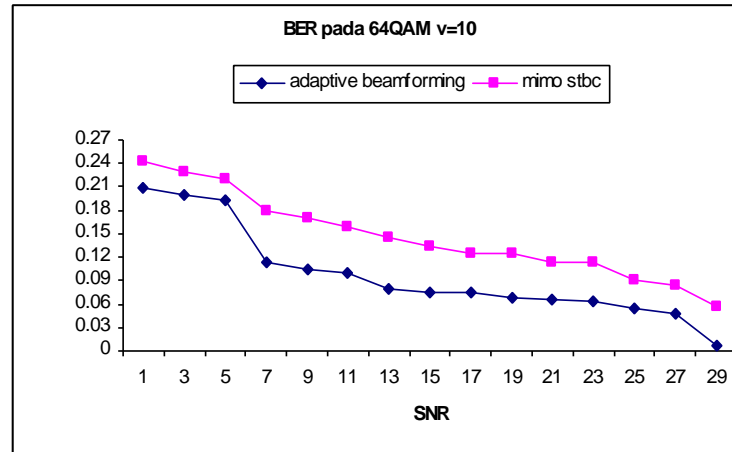
Gambar 4.9 BER Dengan Modulasi BPSK, $v = 10$ m/s



Gambar 4.10 BER Dengan Modulasi QPSK, $v = 10$ m/s



Gambar 4.11 BER Dengan Modulasi 16QAM, $v = 10$ m/s



Gambar 4.12 BER Dengan Modulasi 64QAM, $v = 10$ m/s

4.3 HASIL PENGUJIAN SISTEM DAN ANALISA

4.3.1 Pengujian Konektivitas

Pada pengujian ini, data waktu yang ada adalah data waktu *default* yang dimiliki perangkat. Dikarenakan merupakan tes percobaan maka untuk data waktu, konfigurasinya tidak dilakukan pada waktu semestinya. Pada CPE masih dalam kondisi *default* untuk konfigurasi data waktunya. Seperti pada tes koneksi dibawah ini, waktu yang ada di CPE adalah 11 September 2007. Data ini adalah data yang

dimiliki sistem karena pada saat pengujian tersebut, dilakukan pada tanggal 13 November 2008.

The screenshot shows the MOTOWi4 web interface. The top navigation bar includes HOME, SETUP, ADVANCED, TOOLS, STATUS, and LOGOUT. The current time is 09-11-2007 04:33:21. The main content area is titled 'Available Access Points' and contains a table with the following data:

Center Frequency (MHz)	RSSI (dBm)	CINR (dB)	Preamble Index	Truncated NAP ID	Truncated Sector ID	
(*) 2505.000	-25	28	0	0x80	0x80	Connect

Below the table, there is a 'Refresh List' button and a warning message: 'Warning: This will temporarily disconnect the WiMAX link'. The interface also includes a sidebar with various menu items like Network Statistics, Modulation Scheme, Voice Status, System Log, Voice Log, WiMAX, Connection Status, Available Access Points, Initialization Log, MIB, LAN, and Attached DHCP Clients.

Gambar 4.13 Perminataan Koneksi CPE ke Wimax Access Point

Pada pengujian ini, ketika CPE akan dikoneksikan ke *Wimax Access Point* maka CPE akan melakukan permintaan koneksi ke *Wimax Access point*. Gambar diatas menunjukkan gambaran permintaan koneksinya. *Display* diatas menunjukkan *Base Station Unit* terdekat yang dapat dijangkau oleh *user*. Keberhasilan permintaan koneksi ditentukan dengan terdaptarnya user pada jaringan Wimax. Jika pengguna tersebut merupakan bagian dari pengganggu dimana tidak terdaftar perangkat pengguna pada jaringan Wimax, maka ketika pengguna meminta akses jaringan akan secara otomatis mengirimkan data-data yang dimiliki ke sistem Wimax. Pada saat itu CAPC (*Carrier Access Point Controller*) akan memeriksa data-data tersebut melalui komunikasi dengan AAA (*Authentication Authorization and Accounting*). Jika tidak terdaftar, CAPC akan memberikan perintah kepada *processor* Wimax Access Point

agar adaptive antenna memberikan nilai null kepada pengganggu. Hasil pengujian terhadap pengguna yang tidak terdaftar adalah sebagai berikut.

```

C:\>ping 10.32.2.31 -n 10

Pinging 10.32.2.31 with 32 bytes of data:

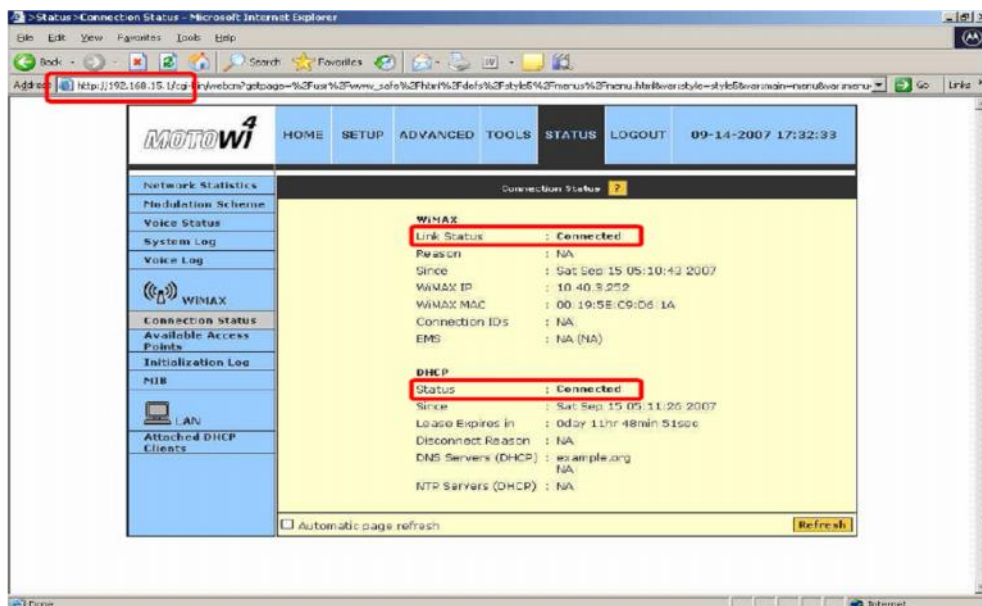
Destination host unreachable.
Destination host unreachable.
Destination host unreachable.
Destination host unreachable.
Destination host unreachable.
Destination host unreachable.
Destination host unreachable.
Destination host unreachable.
Destination host unreachable.
Destination host unreachable.

Ping statistics for 10.32.2.31:
    Packets: Sent = 10, Received = 0, Lost = 10 (100% loss),

C:\>
  
```

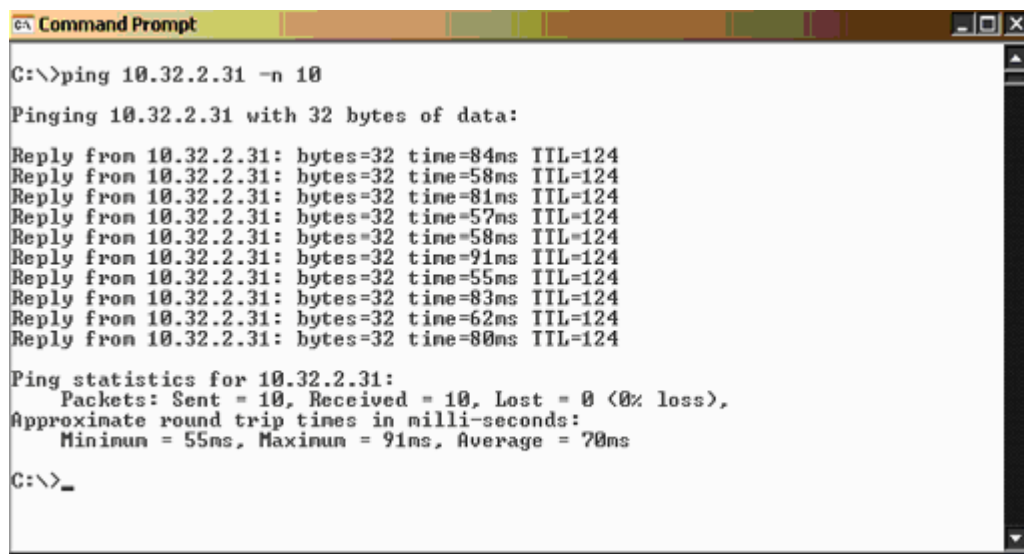
Gambar 4.14 Tes Konektivitas untuk Pengguna Tertolak

Pada pengujian sistem dilakukan pengujian mengenai perhitungan nilai kanal dan perhitungan *throughput*. Perhitungan nilai kanal diukur dari nilai RSSI dan CINR. Sebelum menghitung nilai tersebut, dilakukan test koneksi dari CPE ke *Wimax Access Point*. Berikut adalah hasil tes koneksinya dari CPE *Badger* dan CPE *Wolverine*.



Gambar 4.15 Tes Konektivitas CPE *Badger*

Hasil tes konektivitas menunjukkan jika CPE *Badger* (yang support di *outdoor* serta layanan *fixed*) telah terkoneksi ke jaringan wimax dengan melalui proses sekuritas yang ada di wimax. Hasilnya user mendapatkan balasan berupa IP dari DHCP Server (*Dynamic Host Configuration Protocol*). Untuk memastikan konektivitas tersebut dilakukan ping ke EMS dengan hasil pada gambar 4.11. Tujuannya adalah memastikan CPE telah dikenal oleh EMS sehingga secara otomatis EMS dapat mengontrol CPE ketika CPE melakukan aktivitas. Hal ini berhubungan dengan *billing*, koneksi dengan perangkat lain, sekuritas, dan layanan lain yang disediakan sistem. Pada terkoneksi tersebut didapatkan *respon time* terendah adalah 55 ms dan maksimum 91 ms dengan rata-rata *respon time* 70 ms. Perubahan ini disebabkan adanya beberapa hambatan dan noise yang mengganggu proses transmisi.



```

C:\>ping 10.32.2.31 -n 10

Pinging 10.32.2.31 with 32 bytes of data:

Reply from 10.32.2.31: bytes=32 time=84ms TTL=124
Reply from 10.32.2.31: bytes=32 time=58ms TTL=124
Reply from 10.32.2.31: bytes=32 time=81ms TTL=124
Reply from 10.32.2.31: bytes=32 time=57ms TTL=124
Reply from 10.32.2.31: bytes=32 time=58ms TTL=124
Reply from 10.32.2.31: bytes=32 time=91ms TTL=124
Reply from 10.32.2.31: bytes=32 time=55ms TTL=124
Reply from 10.32.2.31: bytes=32 time=83ms TTL=124
Reply from 10.32.2.31: bytes=32 time=62ms TTL=124
Reply from 10.32.2.31: bytes=32 time=80ms TTL=124

Ping statistics for 10.32.2.31:
    Packets: Sent = 10, Received = 10, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 55ms, Maximum = 91ms, Average = 70ms

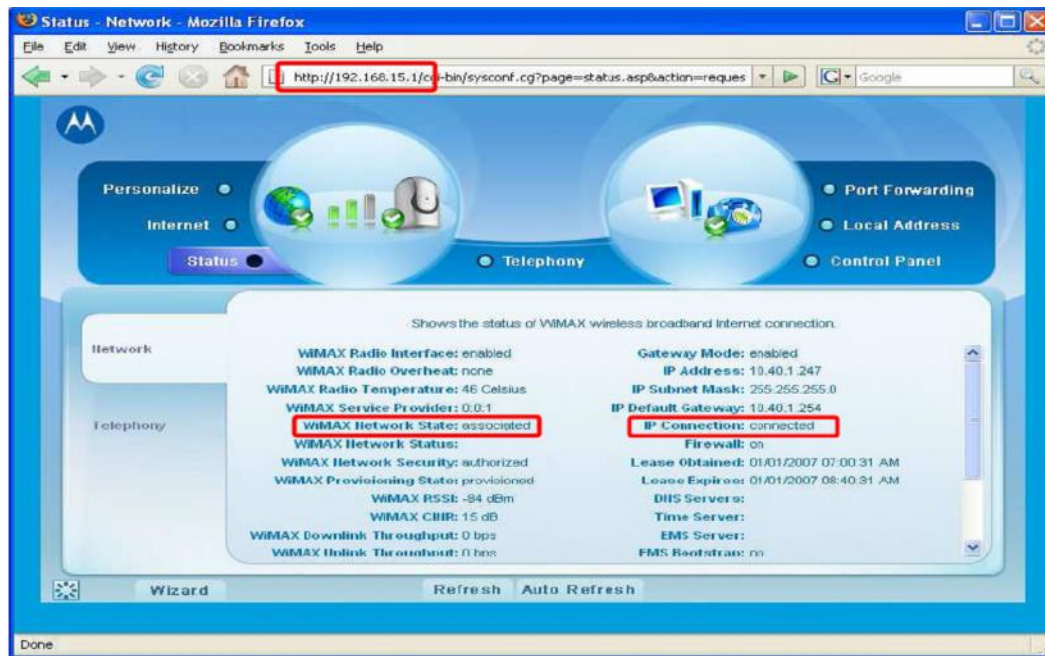
C:\>_

```

Gambar 4.16 Hasil Tes Konektivitas CPE *Badger* ke EMS

Tes konektivitas diatas juga dilakukan untuk CPE *Wolverine* (yang support untuk indoor dan layanan mobile) dengan hasil pada 4.8. Seperti CPE *Badger*, CPE *Wolverine* juga akan memastikan kondisi koneksinya dengan ping ke *FTP Server*. CPE *Wolverine* tidak dapat secara langsung untuk ping ke EMS dikarenakan berbeda VLAN ID di *router* L2. Hasil dari koneksi tersebut ditunjukkan pada gambar 4.9 dimana hasil *respon time* minimum 56 ms dan maksimum 66 ms. Rata-rata *respon*

time tersebut 61 ms. Ketika koneksi antara CPE dengan *Wimax Access Point* telah terbentuk, status untuk CPE akan berubah menjadi *associated* dan *connected*. CPE *Wolverine* akan mendapatkan IP dinamik dari *server DHCP* seperti pada CPE *Badger*.



Gambar 4.17 Tes Konektivitas CPE *Wolverine*

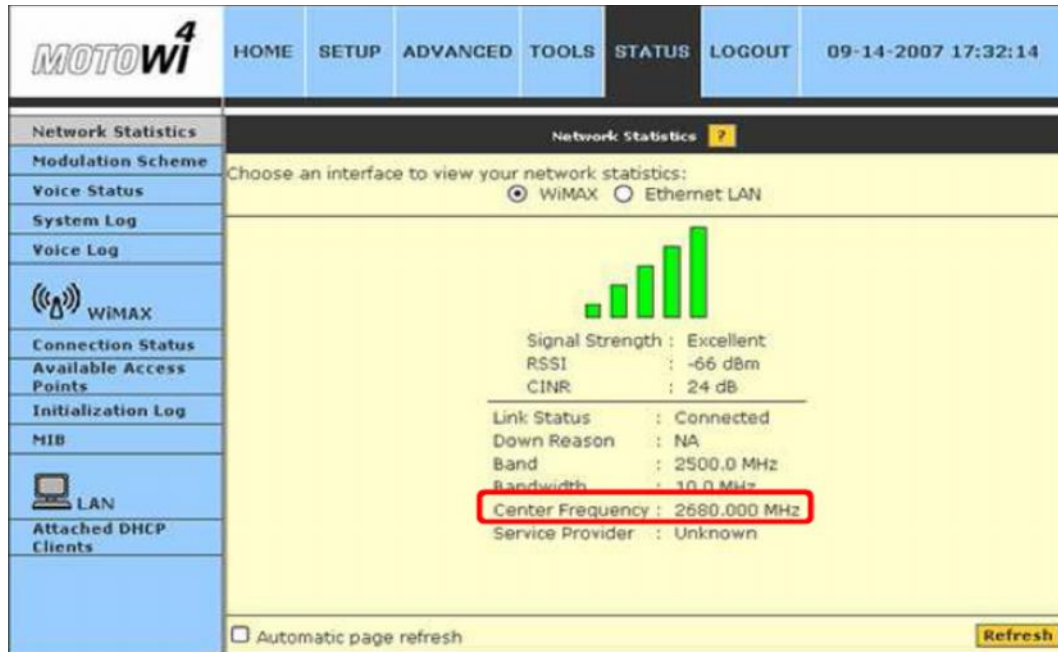
```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=60ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=61ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=65ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=56ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=56ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=61ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=60ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=61ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=61ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=65ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=65ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=56ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=61ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=61ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=61ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=56ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=60ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=61ms TTL=126

Ping statistics for 10.40.3.10:
    Packets: Sent = 100, Received = 100, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 56ms, Maximum = 66ms, Average = 61ms

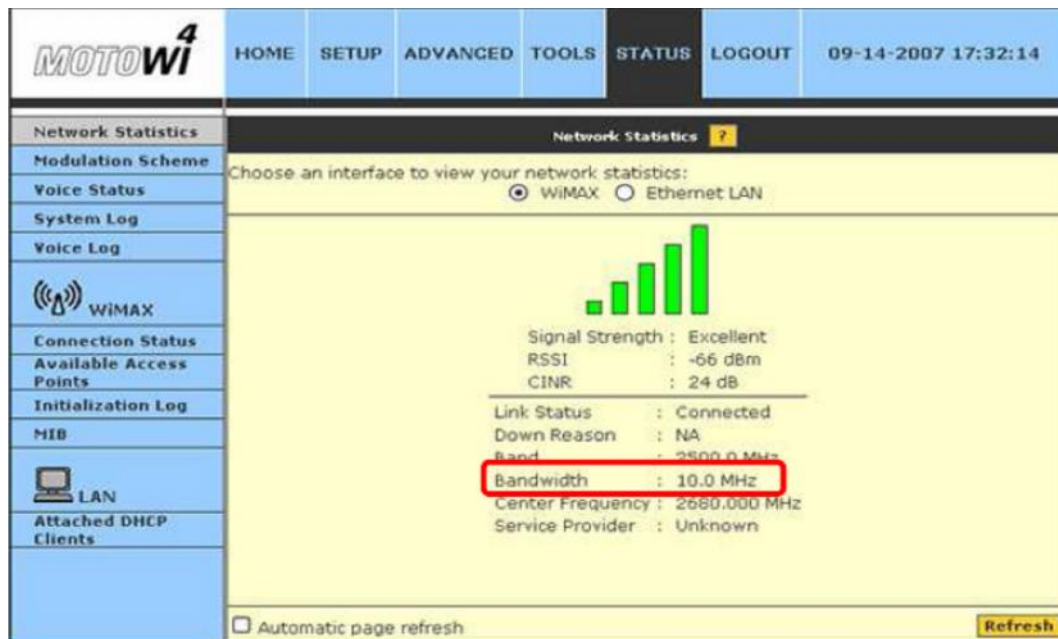
C:\>
```

Gambar 4.18 Hasil Tes Konektivitas CPE *Wolverine* Ke FTP Server

Untuk nilai parameter yang digunakan pada pengujian kali ini adalah pada gambar dibawah ini. Hasil tes koneksi ini didapatkan nilai RSSI dan CINR yang baik dalam kondisi cuaca (saat pengujian) cerah.



Gambar 4.19 Parameter Frekuensi *Center* CPE *Badger*



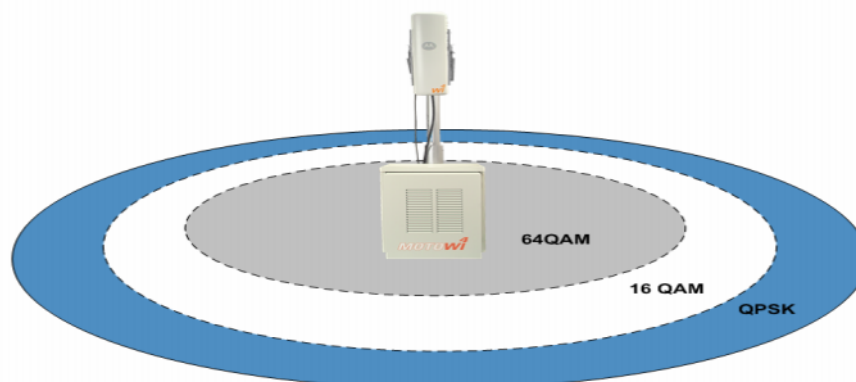
Gambar 4.20 Parameter *Bandwidth* Kanal CPE *Badger*

Gambar 4.21 Parameter Frekuensi *Center* CPE *Wolverine*Gambar 4.22 Parameter *Bandwidth* Kanal CPE *Wolverine*

Dari parameter diatas, untuk pengukuran awal yang dilakukan untuk CPE *badger* di *outdoor* yakni di area parkir Carrefour Cikarang (di luar) didapatkan nilai RSSI yakni -66 dBm dengan CINR yakni 24 dBm. Sedangkan untuk pengukuran CPE *Wolverin* di area *indoor* yakni di dalam ruangan *hub collocation* PT. CSM Cikarang (dekat dengan ruang BSU Wimax Access Point) didapatkan RSSI yakni -96 dBm dengan CINR 4 dBm. RSSI menunjukkan nilai level penerimaan sinyal sedangkan CINR adalah *rasio noise* dan interferensi terhadap *carrier* frekuensi pemancar. RSSI *outdoor* lebih tinggi dari RSSI *indoor* dikarenakan pada pengukuran awal ini, kondisi *outdoor* lebih LOS (*Line of Sight*) daripada kondisi indoor. Kondisi indoor menyebabkan lingkungan CPE memiliki banyak halangan berupa tembok, atap dan serta faktor lain dimana sinyal yang diterima merupakan sinyal *multipath* karena berlokasi di dalam gedung dan di dalam ruangan. Dengan kondisi tersebut menyebabkan munculnya *error* transmisi pada pengukuran tersebut.

4.3.2 Pengujian dengan modulasi dan coding yang berbeda

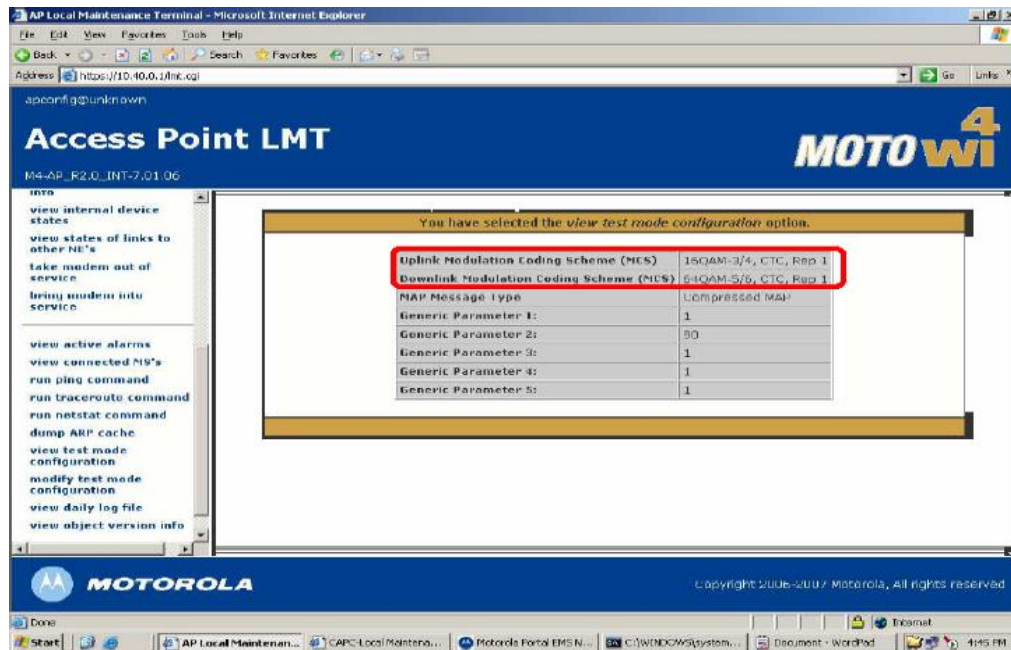
Untuk pengujian berikutnya dilakukan pengujian menggunakan skema modulasi dan *coding* terhadap *throughput* yang didapatkan. Modulasi yang dipilih adalah 64QAM, 16QAM, QPSK sedangkan codingnya adalah CTC (*Conventional Turbo Code*). Code rate yang dipakai $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, dan $\frac{5}{6}$.



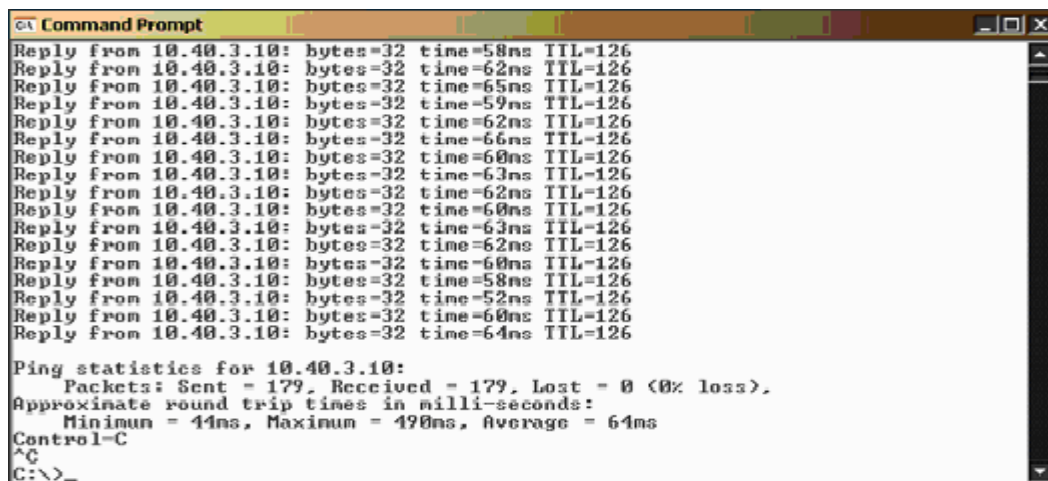
Gambar 4.23 Radius Relatif Terhadap Modulasi

MCS (*Modulation and Coding Scheme*) yang berubah-ubah dapat dilakukan secara *manual* atau otomatis. Skema tersebut pada pengujian ini dilakukan *manual* dengan pilihan yang diinginkan. Di bawah ini akan ditunjukkan proses pengukuran *throughput* baik *uplink* dan *downlink* dengan skema modulasi dan *coding* yang telah ditentukan.

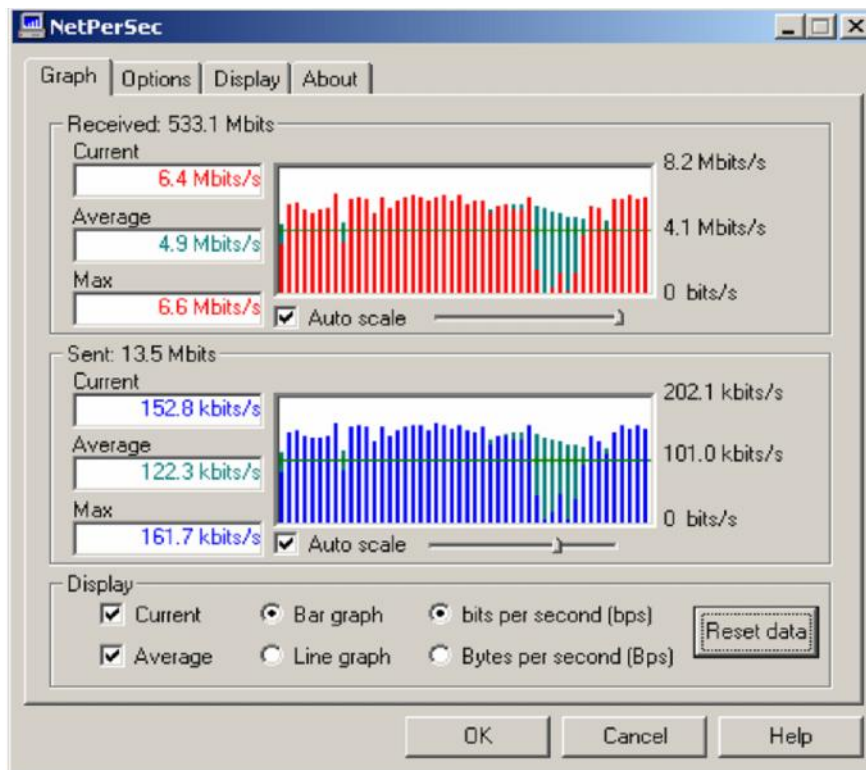
- *Downlink* 64QAM 5/6, *Uplink* 16QAM 3/4



Gambar 4.24 Tampilan Pengaturan MCS Pada *Wimax Access Point*



Gambar 4.25 Tes Konektivitas CPE Dengan *Wimax Access Point*



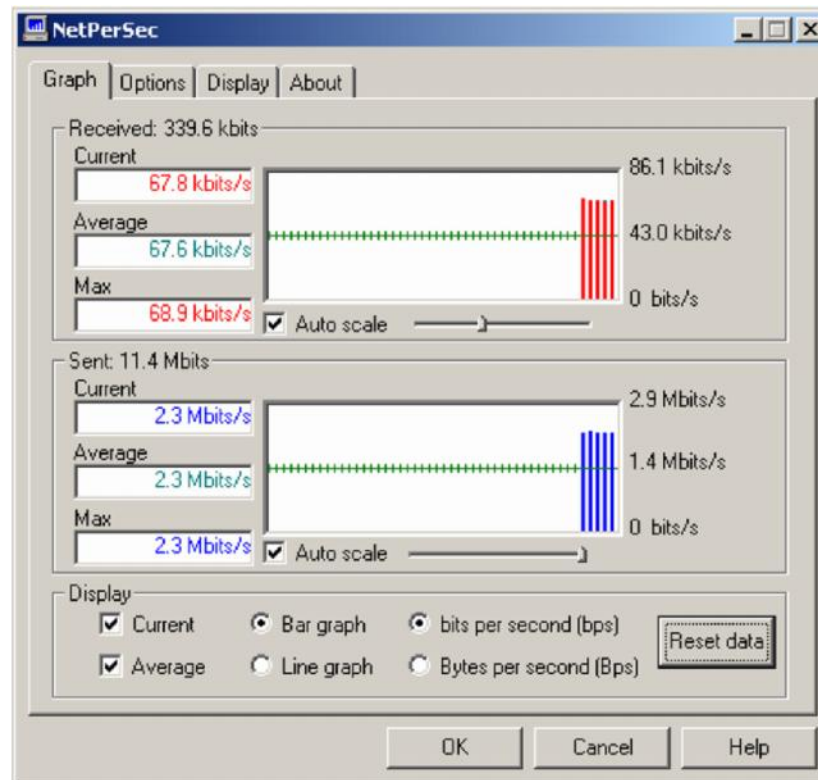
Gambar 4.26 Pengukuran Kecepatan *Download* Dari FTP Server



Gambar 4.27 Awal *Download*



Gambar 4.28 Tampilan Saat *Download* Selesai



Gambar 4.29 Pengukuran Kecepatan *Upload* Ke FTP Server



Gambar 4.30 Awal Upload



Gambar 4.31 Tampilan Saat Upload Selesai

Gambar 4.24 hingga gambar 4.31 menjelaskan mengenai proses *transfer* data pada kondisi *uplink* dan *downlink* dengan perubahan MCS. Pada proses ini dimulai dengan melakukan pengaturan skema modulasi dan *coding* baik secara *manual* maupun otomatis. Pada gambar 4.24 menunjukkan pengaturan skema tersebut secara *manual*. Untuk menguji koneksinya dilakukan mekanisme ping seperti ditunjukkan gambar 4.25 diatas. Selanjutnya untuk menguji *throughput* dengan perubahan MCS dilakukan dengan melakukan *transfer* data sebanyak 4 (empat) file baik dalam kondisi *uplink* ataupun *downlink*.

Gambar 4.26 dan 4.29 menunjukkan proses pengukuran kecepatan *download* dan *upload* data. Pada proses ini, dilakukan *capture* pada salah satu proses transfer data dari keempat file yang dilakukan pengujian. Pada gambar tersebut, ketika dilakukan *download file* terjadi proses pengukuran data pada sisi penerima namun di sisi pengirim juga menunjukkan perubahan nilai dengan kapasitas yang kecil. Hal ini disebabkan proses tersebut bersifat *packet switching* dimana setiap pengiriman permintaan membutuhkan ACK (*Acknowledgment*) atau respon dari sisi yang berlawanan. Hal ini terjadi juga pada proses upload. Hasil pengukuran kecepatan dari kedua proses tersebut pada 4 (empat) file yang diujikan dapat dilihat pada tabel 4.3 di bawah ini.

Gambar 4.27 dan 4.30 adalah tampilan awal yang ada di sisi CPE (*Cutomer Premises Equipment*) sebelum dilakukan proses *download* dan *upload*. Dari tampilan tersebut dapat dilihat nilai awal proses tersebut. Pada gambar 4.27, nilai awal paket sebelum *download* dapat dilihat pada tampilan tersebut sesuai parameter yang ditunjukkan. Karena pada proses ini menggunakan parameter *Downlink* 64QAM 5/6, *Uplink* 16QAM $\frac{3}{4}$ maka dapat dilihat paket awal pada parameter DL 64 QAM 5/6 untuk *download* (Gambar 4.27) dan UP 16QAM $\frac{3}{4}$ untuk *upload* (Gambar 4.30).

Untuk Gambar 4.28 dan 4.31 adalah tampilan akhir setelah dilakukan proses *download* dan *upload*. Tampilan tersebut akan menunjukkan jumlah paket yang diterima selama pengiriman. Seperti kondisi diatas perubahan paket akan ditunjukkan pada bagian DL 64 QAM 5/6 untuk *download* (Gambar 4.28) dan UP 16QAM $\frac{3}{4}$ untuk *upload* (Gambar 4.31).

Dari gambar diatas, dapat disederhanakan dalam tabel pengujian sistem dengan MCS yang berubah-ubah. Berikut tabel pengujian sistemnya.

Tabel 4.3 Pengujian Sistem Dengan Pengaturan MCS

NO	DOWNLINK MCS	UPLINK MCS	DOWNLINK (4 FILES)		UPLINK (4 FILES)		PING TEST (32 BYTES 100 TIMES)
			AVERAGE	MAX	AVERAGE	MAX	
1	64QAM-5/6, CTC, rep1	16QAM-3/4, CTC, rep1	6,2 Mbps	6,6 Mbps	2,2 Mbps	2,3 Mbps	Min = 44 ms, Max = 490 ms, Ave = 64 ms
2	64QAM-3/4, CTC, rep1	16QAM-3/4, CTC, rep1	5,8 Mbps	6,1 Mbps	2,3 Mbps	2,4 Mbps	Min = 56 ms, Max = 66 ms, Ave = 61 ms
3	64QAM-2/3, CTC, rep1	16QAM-3/4, CTC, rep1	5,2 Mbps	5,4 Mbps	2,3 Mbps	2,4 Mbps	Min = 46 ms, Max = 111 ms, Ave = 61 ms
4	16QAM-3/4, CTC, rep1	16QAM-3/4, CTC, rep1	3,9 Mbps	4,0 Mbps	2,3 Mbps	2,4 Mbps	Min = 45 ms, Max = 390 ms, Ave = 65 ms
5	16QAM-1/2, CTC, rep1	16QAM-1/2, CTC, rep1	2,7 Mbps	2,7 Mbps	1,5 Mbps	1,5 Mbps	Min = 46 ms, Max = 161 ms, Ave = 66 ms
6	QPSK-3/4, CTC, rep1	QPSK-3/4, CTC, rep1	2,0 Mbps	2,0 Mbps	0,9 Mbps	1,2 Mbps	Min = 59 ms, Max = 126 ms, Ave = 67 ms

Tabel diatas menunjukkan hubungan modulasi dan *coderate* dengan peningkatan atau penurunan *throughput* yang dilakukan sistem. Pada kondisi *downlink* antara 64QAM-3/4 dengan 16QAM-3/4 atau kondisi *uplink* antara 16QAM-3/4 dengan QPSK-3/4 didapatkan nilai *throughput* yang lebih besar pada kondisi orde modulasi yang lebih baik dimana pada *downlink* 64QAM-3/4 lebih besar *throughput*nya dibanding 16QAM-3/4 atau pada *uplink* 16QAM-3/4 lebih besar *throughput*nya dibanding QPSK-3/4 . Pada *coderate* yang sama dengan orde modulasi yang lebih tinggi akan didapatkan kanal informasi yang lebih baik sehingga *throughput* sistem lebih besar. Hal ini disebabkan kondisi bit pada orde modulasi yang lebih semakin tinggi akan membawa lebih banyak bit per simbolnya. Ada kondisi dimana *throughput* kanal turun dikarenakan kondisi kanal yang buruk, pada kondisi *uplink* 16QAM-3/4 (percobaan pertama pada tabel) dengan kondisi *uplink* 16QAM-3/4 (percobaan kedua, ketiga dan keempat pada tabel) terjadi penurunan *throughput* untuk kanal dengan kondisi buruk.

Pada *coderate* yang berbeda namun kondisi modulasi sama, seperti pada *downlink* 64QAM-5/6 dengan 64QAM-3/4 atau *uplink* 16QAM-3/4 dengan kondisi 16QAM-1/2 akan didapatkan *throughput* yang lebih besar pada kondisi orde *coderate* yang semakin tinggi. Kondisi *coderate* yang lebih tinggi akan dapat menekan BER dalam kondisi kanal yang buruk dimana pemetaan n input terhadap k output lebih menekan BER sehingga kondisi kanal yang bagus akan memberikan *throughput* sistem yang lebih baik.

4.3.3 Pengujian dengan jangkauan tertentu

Pada pengujian selanjutnya dilakukan dengan kondisi jarak yang berbeda dan pengaruh kondisi lingkungan. Berikut ini adalah tabel lokasi dilakukan pengujian.

Tabel 4.4 Lokasi Pengujian

NO	JANGKAUAN	RSSI EQUIVALENT (dBm)	LOKASI	
1	0,5 km	> -65	A1	CSM Cikarang, lantai 4 (di bawah antenna Wimax Access Point)
			B1	CSM Cikarang, dekat pintu kantor satpam
2	0,6 km	-75 ke -85	A2	Warteg (dekat carrefour cikarang)
			B2	Parkiran Carrefour Cikarang
3	1 km	< -85	A3	Warung Makanan dekat pertamina
			B3	kantor Pertamina Cikarang

Dari pengujian *download* dan *upload* berdasarkan lokasi diatas akan didapatkan seperti tabel berikut.

Tabel 4.5 Pengujian Uplink Dan Downlink

NO	LOKASI	DL			UP		
		AVERAGE	RSSI	CINR	AVERAGE	RSSI	CINR
1	A1	2.44	-69	25	2.2	-63	27
2	B1	2.19	-46	30	2.07	-46	30
3	A2	1.12	-83	16	1.44	-83	16
4	B2	NA	NA	NA	NA	NA	NA
5	A3	0,88	-88	12	0,86	-88	12
6	B3	0.91	-85	14	0.9	-85	14

Berdasarkan tabel diatas, nilai RSSI merupakan nilai yang digunakan untuk mengukur level penerimaan. Dengan kata lain, nilai RSSI adalah *Rx Level* yang juga bergantung pada sensitifitas penerima. Dalam pengujian ini, nilai sensitifitas penerima adalah sama dikarenakan hanya satu perangkat saja yang digunakan. Kisaran RSSI yang masih diijinkan adalah -123 dBm hingga -40 dBm. CINR adalah rasio perbandingan antara *carrier* pemancar dengan level *noise* serta interferensi. Nilai kisaran yang diijinkan adalah -10 dBm hingga 53 dBm.

Hasil pengukuran diatas menunjukkan hubungan antara CINR dengan RSSI. Semakin rendah nilai dari RSSI maka semakin rendah kualitas penerimaan yang didapatkan. Hal ini disebabkan oleh semakin rendahnya rasio antara *carrier* pemancar dengan level *noise* serta interferensi. Semakin tinggi kualitas penerimaan yang didapatkan maka nilai CINR akan semakin tinggi. Semakin tinggi CINR maka kondisi kanal yang terjadi memiliki kualitas yang lebih baik dengan penekanan sisi interferensi dan *noise*. Untuk Nilai CINR dan RSSI yang semakin tinggi akan menunjukkan kualitas kanal yang lebih bagus namun pada *throughput* (seperti kasus lokasi A1 dan B1) terjadi suatu kontradiksi. Lokasi A dimana pengujian dilakukan dalam lokasi *selther Wimax Access Point* maka untuk nilai CINR dan RSSI yang rendah dikarenakan adanya hambatan ruangan. Dengan menurunnya nilai tersebut secara otomatis *Wimax Access Point* akan memberikan parameter MCS tertentu yang dapat mempertahankan kondisi CPE. Perbedaan *throughput* lokasi A dan lokasi B walau nilai RSSI dan CINR lebih baik pada lokasi B dikarenakan parameter MCS yang berbeda. Nilai orde *coderate* yang lebih baik dimiliki oleh lokasi A.

Selain diatas, jarak menentukan besarnya level penerimaan. Level penerimaan pada jarak jauh akan semakin menurun, untuk mengatasinya diberikan parameter MCS yang sesuai untuk mempertahankan keadaan tersebut. Semakin dekat jarak jangkauan ke *Wimax Access Point* maka semakin baik pula penerimaan sinyalnya.

Untuk lokasi B2, nilai yang tidak terdefinisi dikarenakan pengguna tersebut merupakan pengganggu (*interferer*). Pengguna tidak memiliki akses ke jaringan wimax, sehingga ketika CPE pengguna memberikan informasi ke *Wimax Access Point* sebagai permintaan koneksi, CAPC (*Carrier Access Point Controller*) dan

AAA (*Authentication Authorization and Accounting*) akan melakukan koreksi terhadap status pengguna. Karena pengguna tidak terdaftar maka CAPC akan mengatur antenna yang secara adaptif memberikan *null* pada pengguna tersebut.

4.3.4 Pengujian kapasitas sel

Tabel 4.6 Kapasitas Downlink Sel

user	jangkauan 0,5 km (kbps)			jangkauan 0,6 km (kbps)					jangkauan 1 km (kbps)				
	1st	2nd	Averg	1st	2nd	3rd	4th	Averg	1st	2nd	3rd	Averg	
user 1	1400	1400	1400	0	0	0	0	0	289,8	304,3	250,2	281,43	
user 2	0	0	0	624,5	472,4	550,8	593,4	560,3	261,5	236	237,2	244,9	
user 3	1400	1400	1400	665,5	664,8	691,9	679,8	675,5	271,8	97,3	284,1	217,73	
user 4	1300	1300	1300	704,2	575,4	631,3	522,9	608,5	280,8	232,8	238,7	250,76	
user 5	1200	1400	1300	547,3	541,6	581,4	581,4	562,9	225,9	213,8	276,7	238,8	
TOTAL	5300	5500	5400	2541,5	2254,2	2455,4	2377,5	2407,2	1329,8	1084,2	1286,9	1233,62	
Average per cell	5400			2407,2						1233,62			

Tabel 4.7 Kapasitas Uplink Sel

user	jangkauan 0,5 km (kbps)			jangkauan 0,6 km (kbps)					jangkauan 1 km (kbps)				
	1st	2nd	Averg	1st	2nd	3rd	4th	Averg	1st	2nd	Averg		
user 1	613,7	598,6	606,2	299,1	268,5	146,5	227	235,3	68	201	134,5		
user 2	0	0	0	290,6	535,7	395,8	364,1	396,6	157,3	332,3	244,8		
user 3	554,4	529,8	542,1	283,6	326,7	357,7	401,8	342,5	145,1	150,6	147,9		
user 4	485,2	498,8	492	402,2	441,3	449,3	299,0	398	146,1	190,1	168,1		
user 5	598,1	646,5	622,3	333,4	278,6	351,2	313,6	319,2	65,6	85,6	75,6		
TOTAL	2251,4	2273,7	2262,6	1608,9	1850,8	1700,5	1605,5	1691,4	582,1	959,6	770,9		
Average per cell	2262,55			1691,4						770,9			

Pengujian ini dilakukan dalam waktu yang sama dengan *interval* 1 menit. Dilakukan oleh beberapa pengguna dalam satu sel yang sama. Ketika beberapa *user* tersebut melakukan akses pada jangkauan dibawah 0,5 km maka akan didapatkan

throughput yang lebih besar dari jangkauan 0,6 km dan 1 km. Hal ini dikarenakan level penerimaan daya *Wimax Access Point* rendah dengan jarak yang semakin jauh. Selain itu parameter modulasi dan *coding* yang berbeda antara jangkauan 0,5 km dengan 0,6 km dan 1 km.

Pada pengujian ini kapasitas sel tetap walaupun kondisi pengguna semakin banyak. Kapasitas sel baik *uplink* dan *downlink* tidak berubah dan *throughput* yang didapatkan pengguna akan semakin turun jika pengguna bertambah. Namun ada beberapa *throughput* dimana antar pengguna mengakses jaringan dipengaruhi beberapa faktor. Faktor tersebut dapat berupa kondisi lingkungan yang baik, parameter modulasi dan coding, jarak pengguna CPE ke *Wimax Access Point*, serta sensitifitas penerima dari CPE tersebut.

BAB V

KESIMPULAN

Dari hasil simulasi mengenai teknik *adaptive beamforming* dan hasil pengujian lapangan dimana perangkat telah mendukung teknik *adaptive beamforming* serta analisa yang telah dilakukan untuk kedua hasil diatas, maka didapat beberapa kesimpulan yang berhubungan dengan performansi teknik *adaptive beamforming* untuk *mobile wimax*, di antaranya yaitu:

1. Pada kondisi *user* bergerak, pola konstelasi yang didapatkan cenderung menyebar dari titik pusat konstelasi.
2. Pada kondisi *user* bergerak, frekuensi doppler menimbulkan pergeseran frekuensi yang diterima di sisi *receiver* sehingga menyebabkan turunnya kualitas data yang diterima.
3. Baik pada MIMO *conventional* maupun MIMO *adaptive beamforming*, nilai BER pada orde modulasi rendah lebih baik daripada orde modulasi yang diatasnya.
4. Pada orde modulasi yang sama, Nilai BER MIMO *adaptive beamforming* lebih baik daripada MIMO *conventional*.
5. Pada kondisi *indoor*, nilai RSSI dan CINR lebih buruk daripada kondisi *outdoor* pada jarak jangkau yang sama dari BS.
6. Pada orde modulasi yang lebih tinggi akan memiliki *throughput* yang lebih besar dari orde modulasi dibawahnya.
7. Dengan indek *coderate* yang lebih tinggi diperoleh *throughput* yang lebih besar dari indek *coderate* dibawahnya.
8. Dengan parameter modulasi dan coding yang sama, nilai *throughput* akan turun pada kondisi kanal yang buruk.
9. Semakin jauh jarak user dari BS, maka nilai RSSI dan CINR akan semakin rendah.

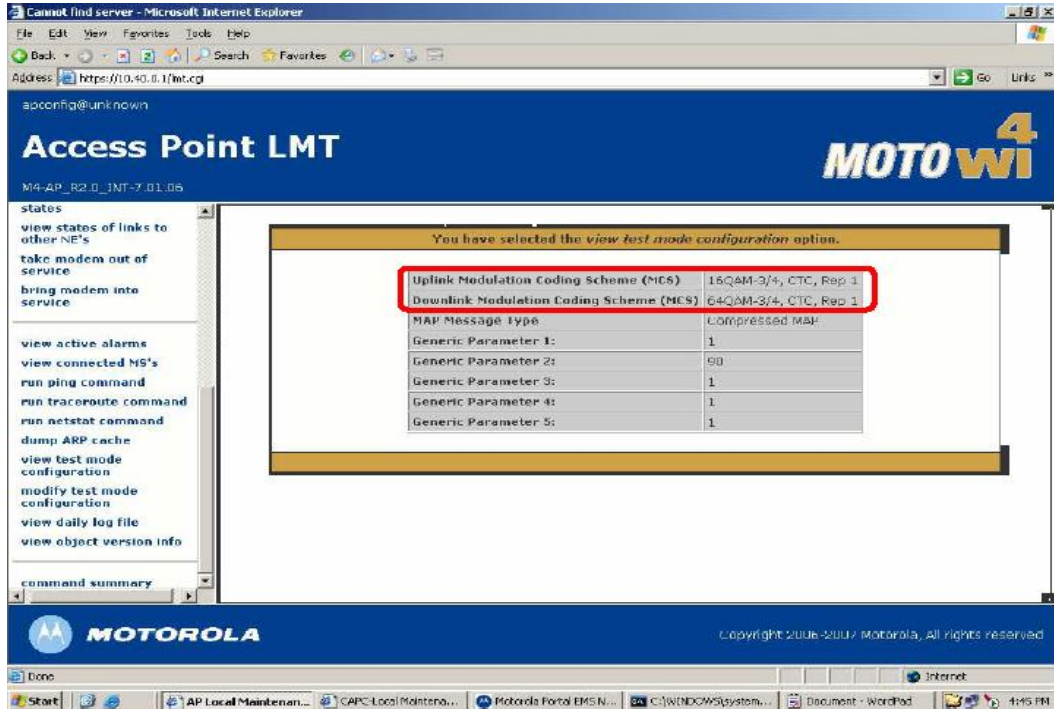
10. Semakin jauh jarak *user* dari BS, maka nilai *throughput* yang didapat akan semakin turun dengan kondisi daya yang sama.
11. Semakin rendah RSSI maka semakin rendah juga nilai CINR.
12. Pada *interferer* (pengganggu), nilai nul yang diberikan mengakibatkan *interferer* tidak dapat menerima sinyal dari BS.
13. Semakin banyak *user* pada satu sel tidak membuat perubahan kapasitas sel namun kecepatan pada masing-masing user akan menurun.

DAFTAR ACUAN

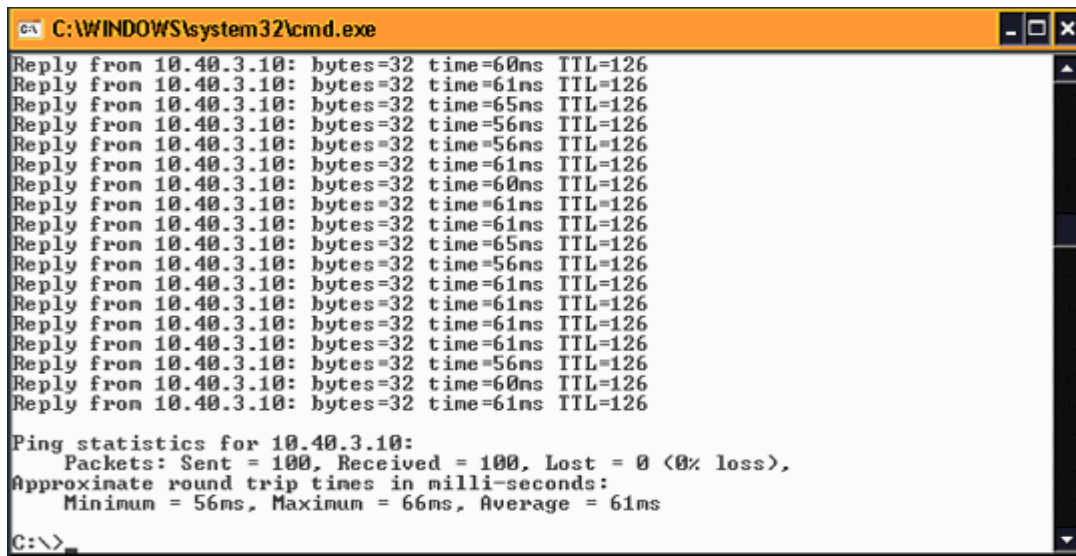
1. Development of smart antenna technology, final report, august 2006
2. Antenna diversity in wireless LAN devices, skycross, januari 2002
3. KIRAN K. SHETTY, A NOVEL ALGORITHM FOR UPLINK INTERFERENCE SUPPRESSION USING SMART ANTENNAS IN MOBILE COMMUNICATIONS, Thesis at Department of Electrical and Computer Engineering, September 2004, FLORIDA STATE UNIVERSITY
4. Carl B. Dietrich, Jr , Adaptive Arrays and Diversity Antenna Configurations for Handheld Wireless Communication Terminals, Faculty of the Virginia Polytechnic, 15 Februari 2000, Blackburg, Virginia.
5. Gordon L. Stuber. Principles of Mobile Communication. Kluwer Academic Publishers, Boston, 2nd edition, 2001.
6. Andreas Constantinides and Assaf Scham, MIMO Wireless Systems, final report, 14 Mei 2004
7. Dr. A. Paulraj, Professor at Stanford University, MIMO and Smart Antenna Techniques, Supervisor of the Stanford Smart Antenna Research Group since 1993 and a renowned pioneer in MIMO technologies.
8. Smart Antenna, Delivering personal broadband, Navini team.
9. Waleed Hosny, WiMAX Antennas Primer, A guide to MIMO and Beamforming, International Applications Engineer – Africa, Middle East & Central Asia, EION Wireless.
10. S.Schindler, Introduction to MIMO System, Rohde and Schwarz GmbH & Co. KG, Munchen
11. Allert van Zelst, “Physical Interpretation of MIMO Transmission,” in Proc. Of 10th SCVT in Benelux 2003. November 2003
12. Mengenal Teknologi Frequency Division Multiplexing (OFDM) pada Komunikasi Wireless, Elektro Indonesia, Nomor 24, Tahun V, Januari 1999

13. Dusan Matire, OFDM as a possible modulation technique for multimedia applications in the range of mm waves (Introduction to OFDM II, 2nd Edition), 30 Oktober 98
14. S.B. Weinstein and P.M. Ebert, "Data transmission by frequency-division multiplexing using the discrete Fourier transform", IEEE Trans. Commun. Technology, vol. COM-19, pp. 628-634, Oct. 1971.
15. Jia Liu, Erik Bergenudd, Vinod Patmanathan, Romain Masson, OFDM Project-Final Project, KTH, Stockholm, 30th May 2005
16. Qiu Xun, Zulfiqar Ali Qureshi, Syed Ali Abbas Zaidi, Zhang Fan, Yiwen Xu (Project Manager), OFDM in Multipath 2007
17. Mingyue JI, Zhe DU, Kristofer KJELLGREN, Irene Gonzalvez GARCIA, School of Electrical Engineering, Royal Institute of Technology, 1 Juni 2007
18. Project Group Brown 2003, MIMO - Smart Antenna, Communication over Radio, 2 June 2003
19. John Litva and Titus Kwok-Yeung Lo. Digital Beamforming in Wireless Communications, Artech House, Boston, 1996.
20. Lal, C. Godara. Applications of Antenna Arrays to mobile Communications, Part II: Beam-Forming and Direction-of-Arrival Consideration, Proceedings of the IEEE, Vol. 85, No. 8, August 1997.
21. Barry D. Van Veen and Kevin M. Buckley, Beamforming: A Versatile Approach to Spatial Filtering, IEEE ASSP Magazine, April 1998.
22. Ahmed El Zooghby, Smart Antenna Engineering, Artech Boston, 2005
23. Haykin, Simon. Adaptive Filter Theory, 3rd edition, Prentice Hall.
24. Loutfi Nuaymi, Wimax : Technology for broadband Wireless Access, John Wiley & Sons, Ltd, West Sussex-England, 2007.

- Downlink 64QAM 3/4, Uplink 16QAM 3/4

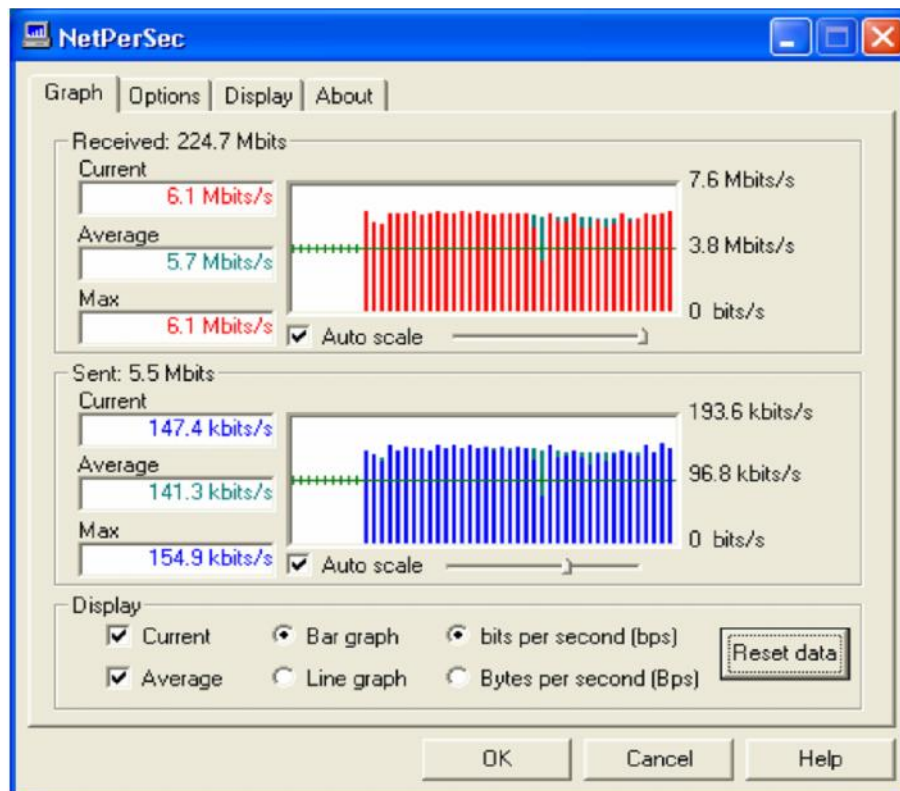


Gambar Tampilan Pengaturan MCS Pada *Wimax Access Point*

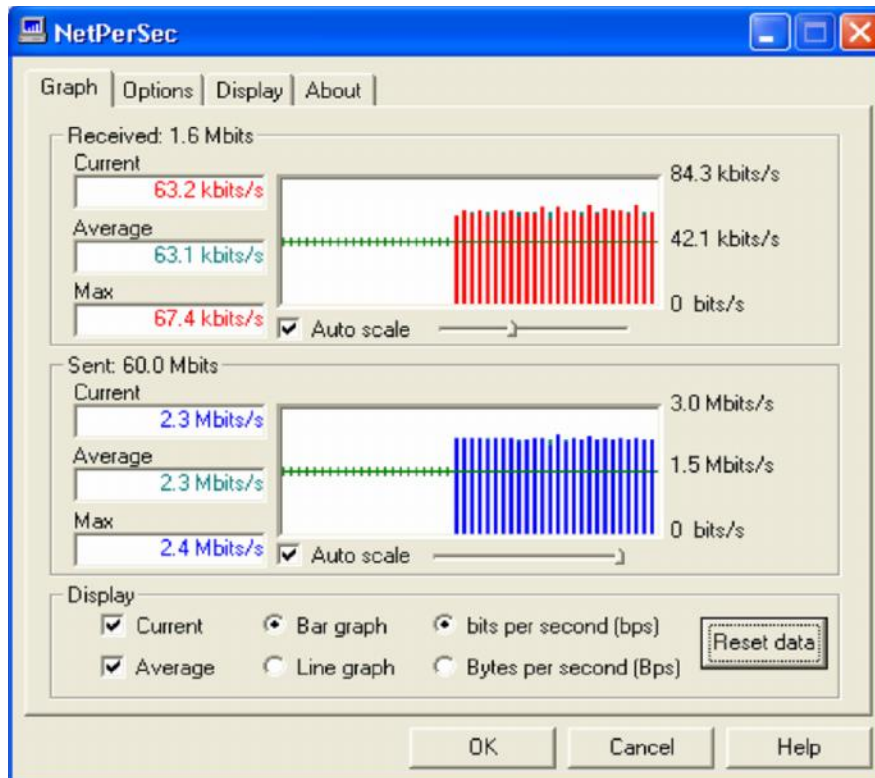


Gambar Tes Konektivitas CPE Dengan *Wimax Access Point*

(lanjutan)

Gambar Pengukuran Kecepatan *Download* Dari FTP ServerGambar Awal *Download*

(lanjutan)

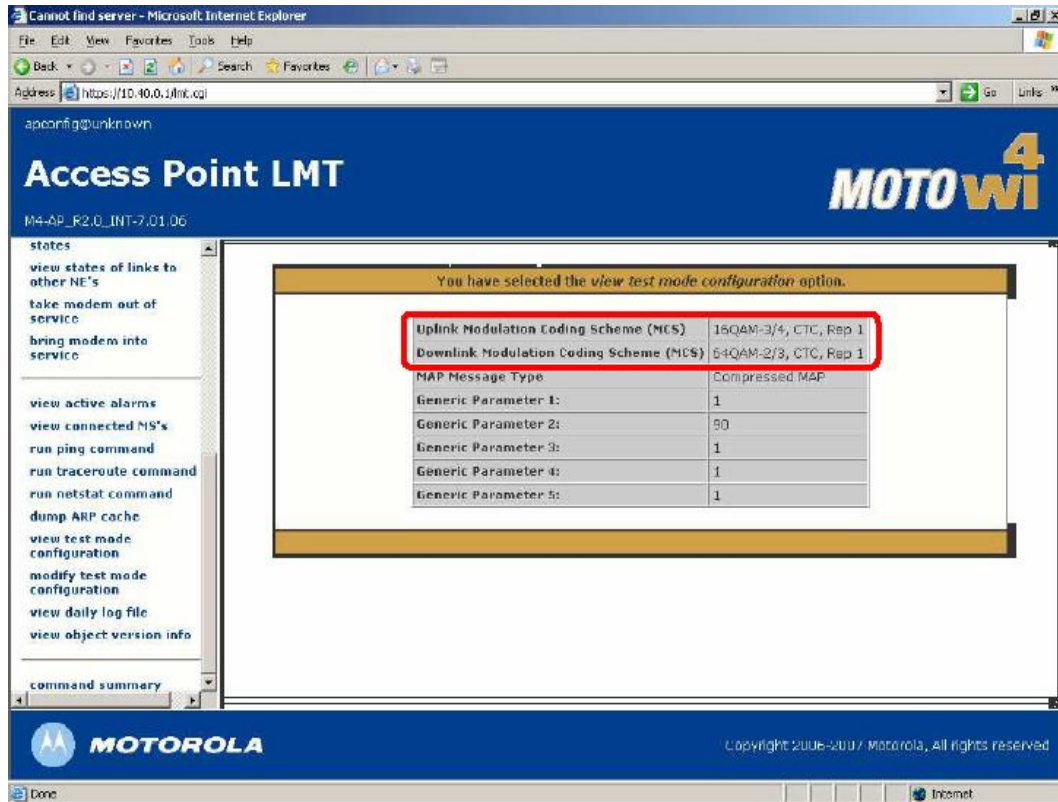
Gambar Tampilan Saat *Download* SelesaiGambar Pengukuran Kecepatan *Upload* Ke FTP Server

(lanjutan)

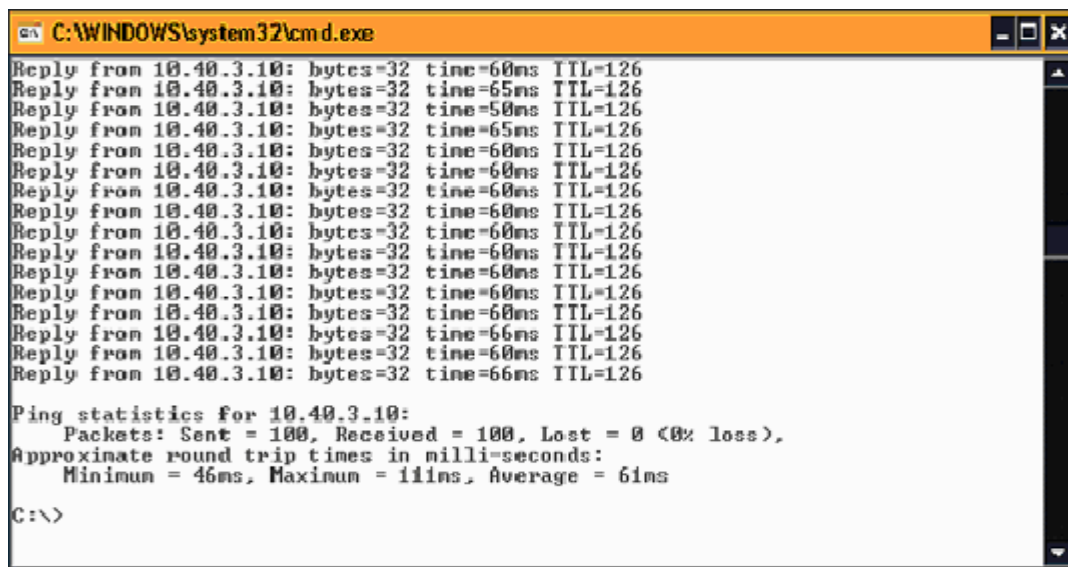
Gambar Awal *Upload*Gambar Tampilan Saat *Upload* Selesai

(lanjutan)

- Downlink 64QAM 2/3, Uplink 16QAM 3/4

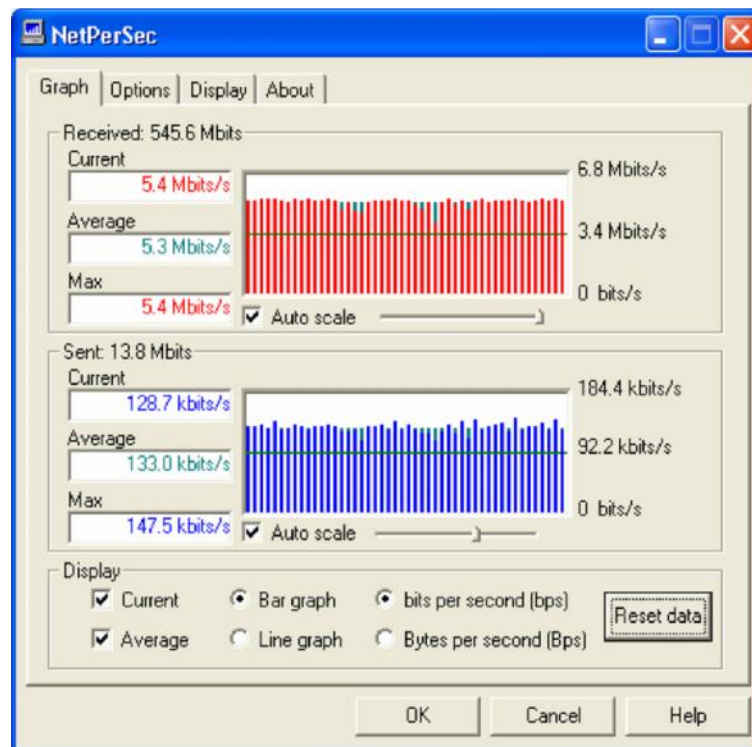


Gambar Tampilan Pengaturan MCS Pada *Wimax Access Point*



Gambar Tes Konektivitas CPE Dengan *Wimax Access Point*

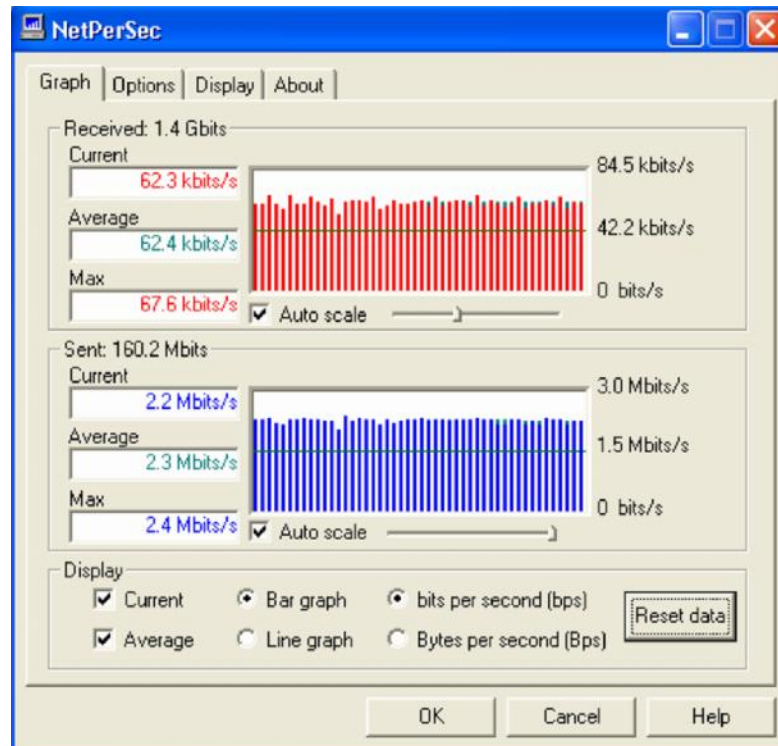
(lanjutan)

Gambar Pengukuran Kecepatan *Download* Dari FTP ServerGambar Awal *Download*

(lanjutan)



Gambar Tampilan Saat Download Selesai



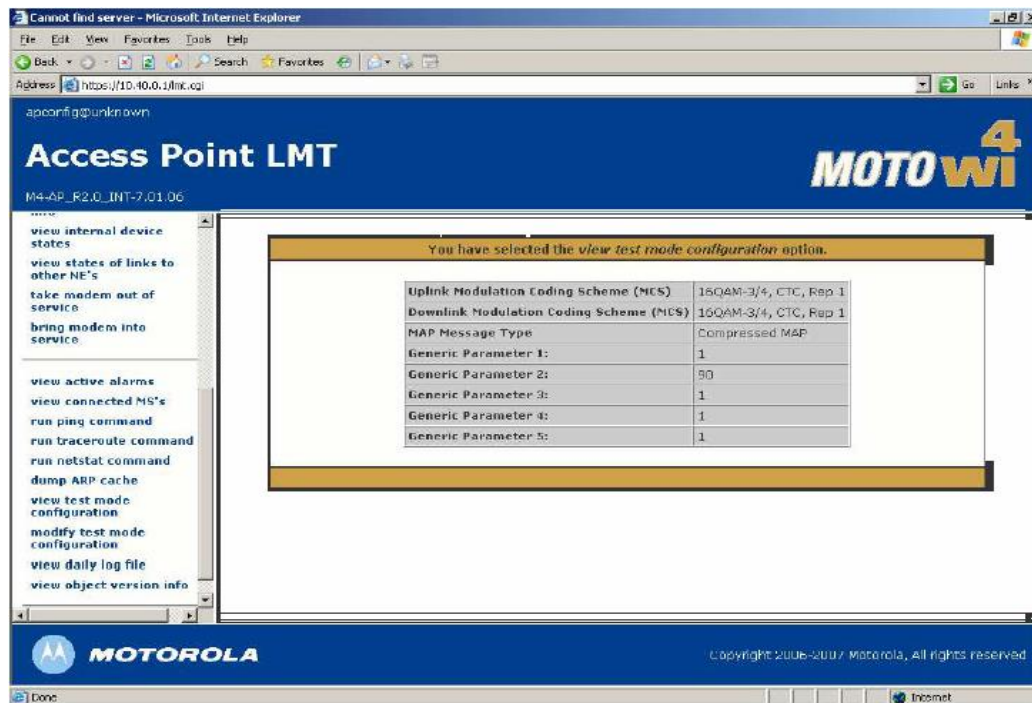
Gambar Pengukuran Kecepatan Upload Ke FTP Server

(lanjutan)

Gambar Awal *Upload*Gambar Tampilan Saat *Upload* Selesai

(lanjutan)

- Downlink 16QAM $\frac{3}{4}$, Uplink 16QAM $\frac{3}{4}$



Gambar Tampilan Pengaturan MCS Pada *Wimax Access Point*

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=59ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=65ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=110ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=60ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=60ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=60ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=60ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=60ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=60ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=60ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=60ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=60ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=60ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=60ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=60ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=60ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=60ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=60ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=60ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=60ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=60ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=60ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=60ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=60ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=60ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=60ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=390ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=60ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=64ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=60ms TTL=126

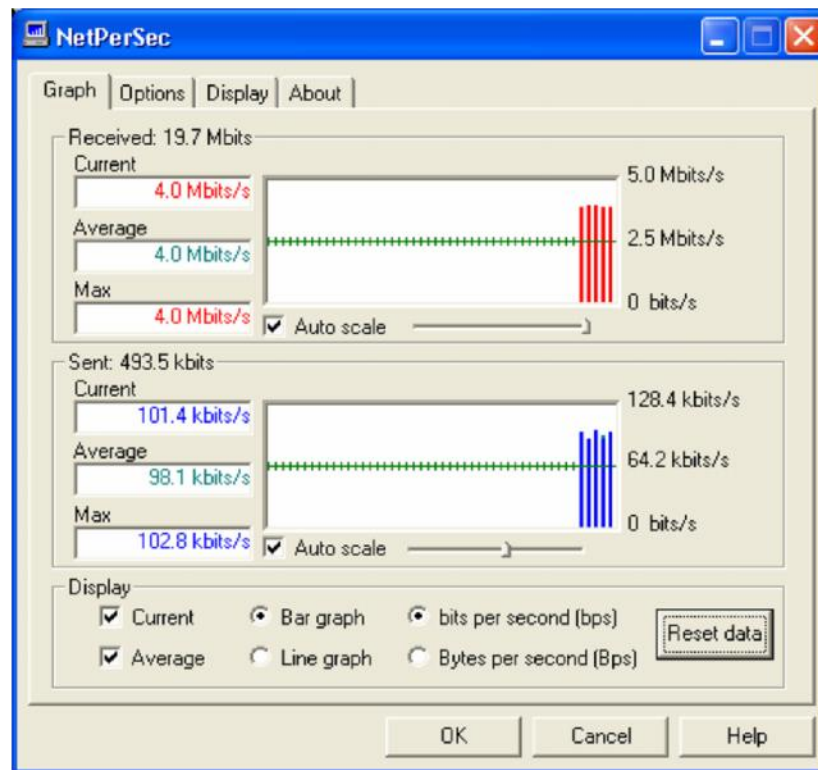
Ping statistics for 10.40.3.10:
    Packets: Sent = 100, Received = 100, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 45ms, Maximum = 390ms, Average = 65ms

C:\>

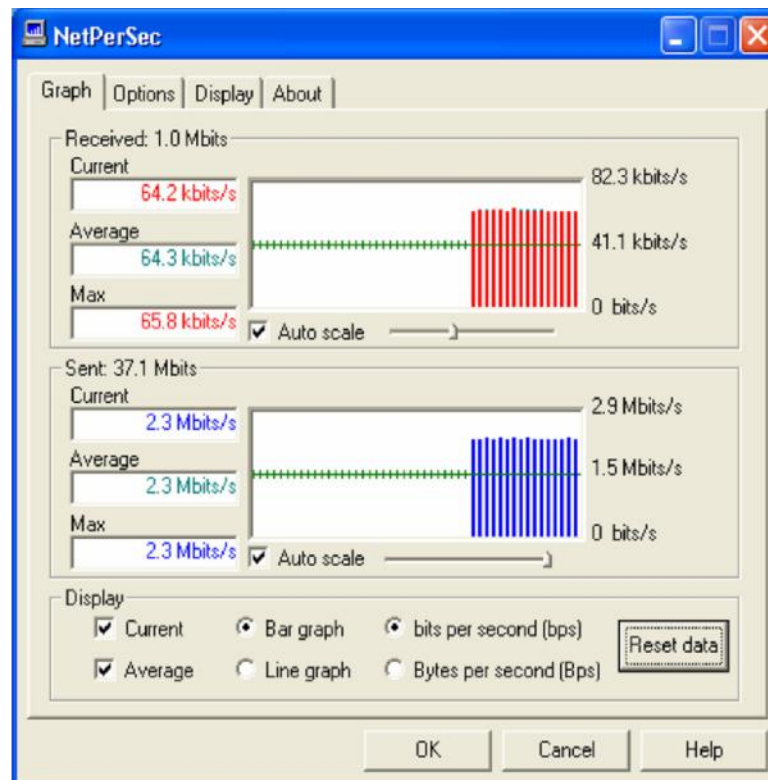
```

Gambar Tes Konektivitas CPE Dengan *Wimax Access Point*

(lanjutan)

Gambar Pengukuran Kecepatan *Download* Dari FTP ServerGambar Awal *Download*

(lanjutan)

Gambar Tampilan Saat *Download* SelesaiGambar Pengukuran Kecepatan *Upload* Ke FTP Server

(lanjutan)



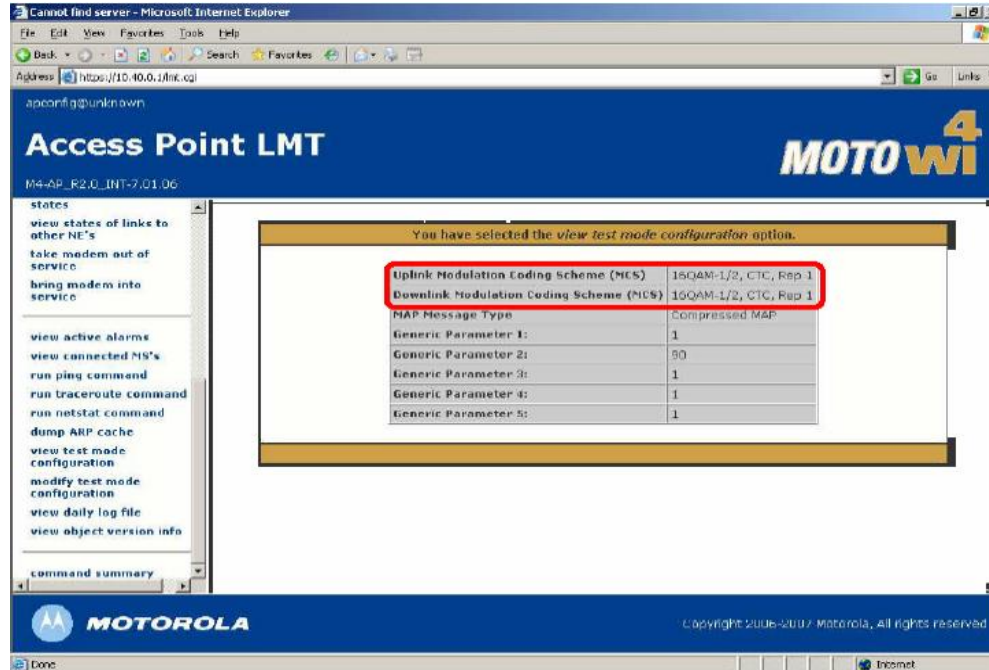
Gambar Awal Upload



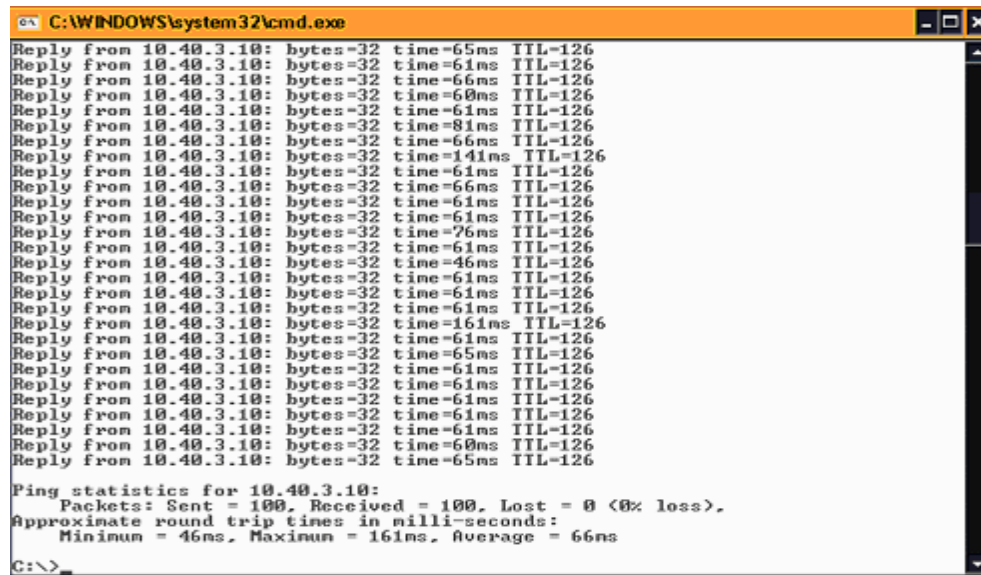
Gambar Tampilan Saat Upload Selesai

(lanjutan)

- Downlink 16QAM ½, Uplink 16QAM ½

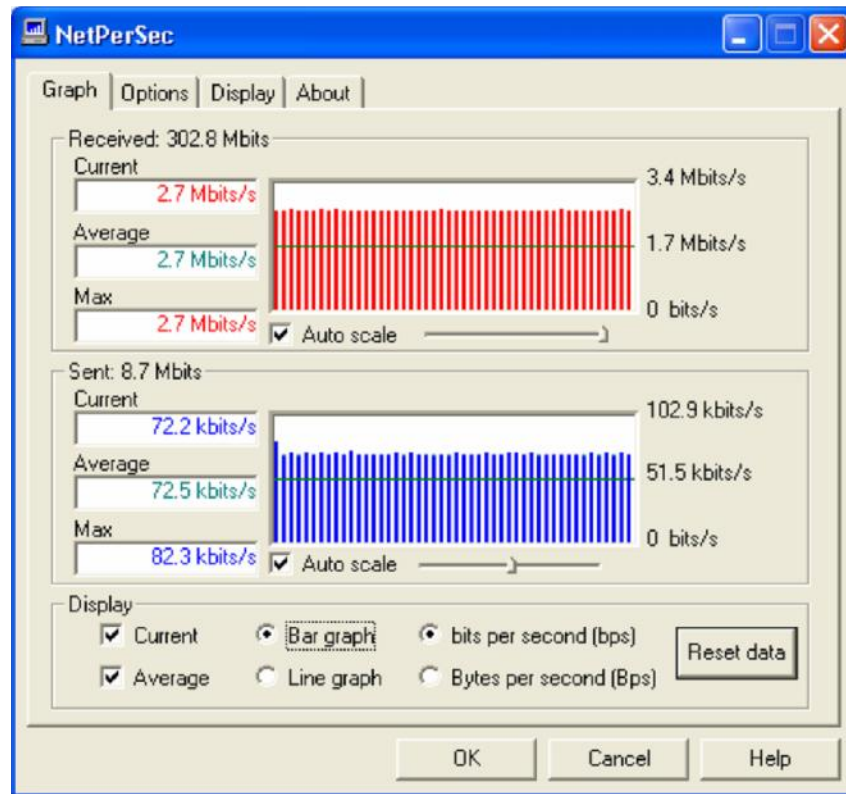


Gambar Tampilan Pengaturan MCS Pada Wimax Access Point

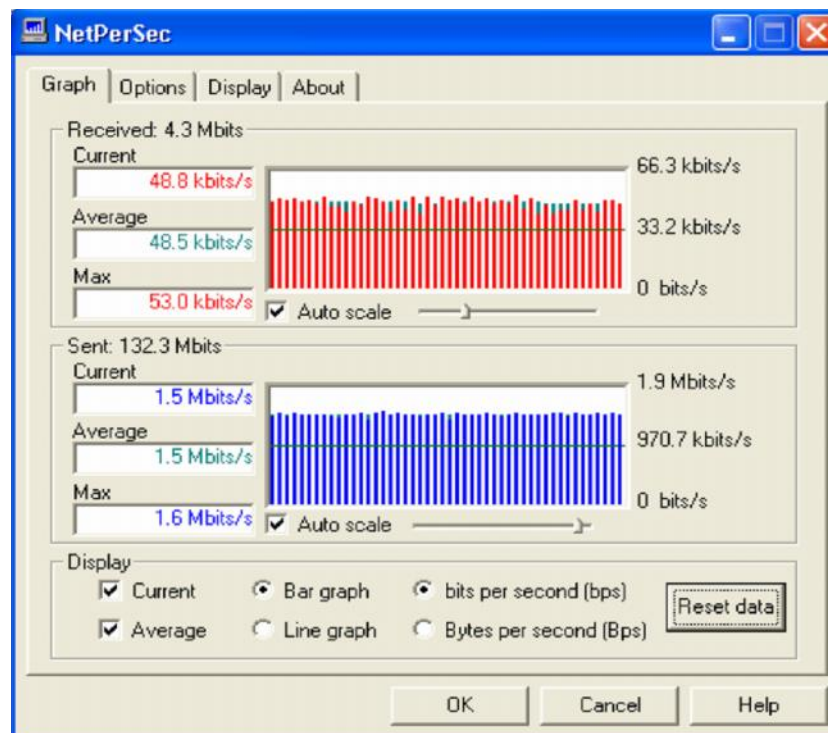


Gambar Tes Konektivitas CPE Dengan Wimax Access Point

(lanjutan)

Gambar Pengukuran Kecepatan *Download* Dari FTP ServerGambar Awal *Download*

(lanjutan)

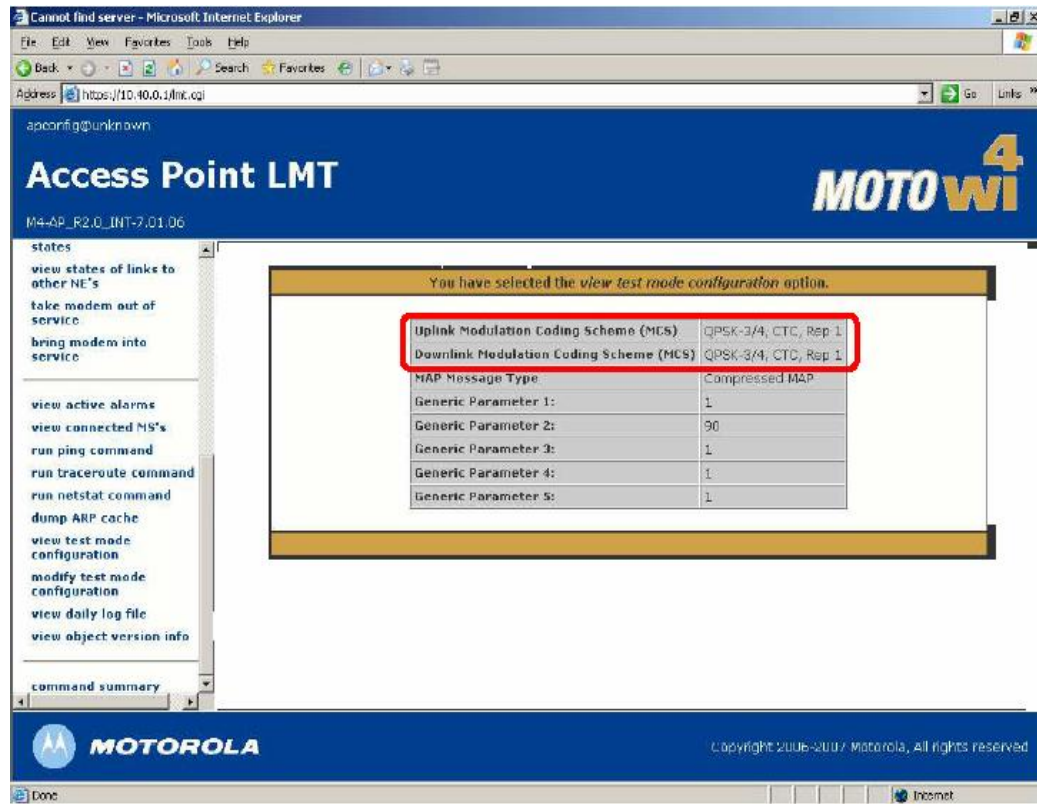
Gambar Tampilan Saat *Download* SelesaiGambar Pengukuran Kecepatan *Upload* Ke FTP Server

(lanjutan)

Gambar Awal *Upload*Gambar Tampilan Saat *Upload* Selesai

(lanjutan)

- Downlink QPSK 3/4, Uplink QPSK 3/4



Gambar Tampilan Pengaturan MCS Pada *Wimax Access Point*

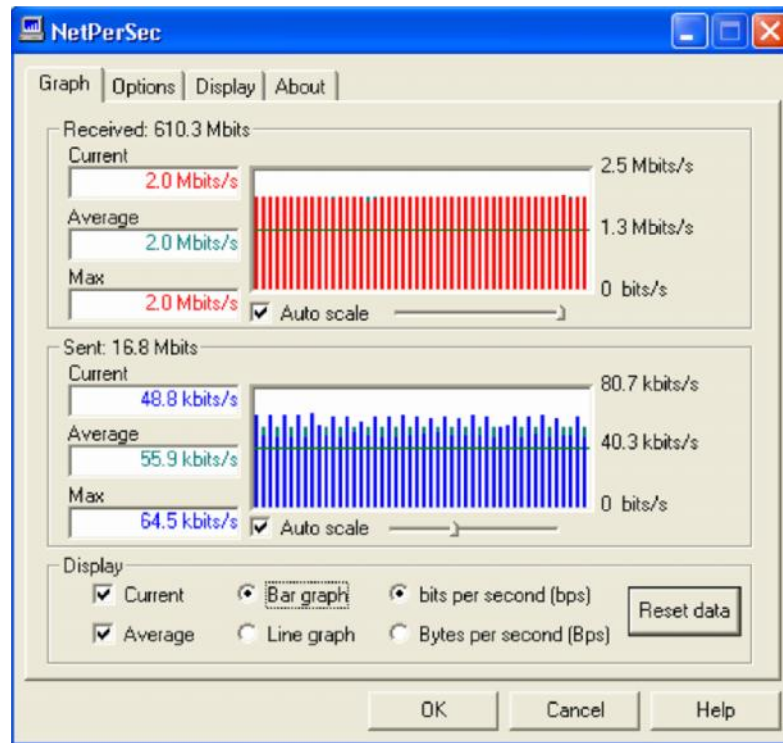
```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=66ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=61ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=61ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=60ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=60ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=80ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=60ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=60ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=66ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=60ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=61ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=121ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=61ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=66ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=61ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=61ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=61ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=66ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=65ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=61ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=66ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=66ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=61ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=61ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=61ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=61ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=61ms TTL=126
Reply from 10.40.3.10: bytes=32 time=126ms TTL=126
Ping statistics for 10.40.3.10:
    Packets: Sent = 100, Received = 100, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 59ms, Maximum = 126ms, Average = 67ms
C:\>

```

Gambar Tes Konektivitas CPE dengan *Wimax Access Point*

(lanjutan)

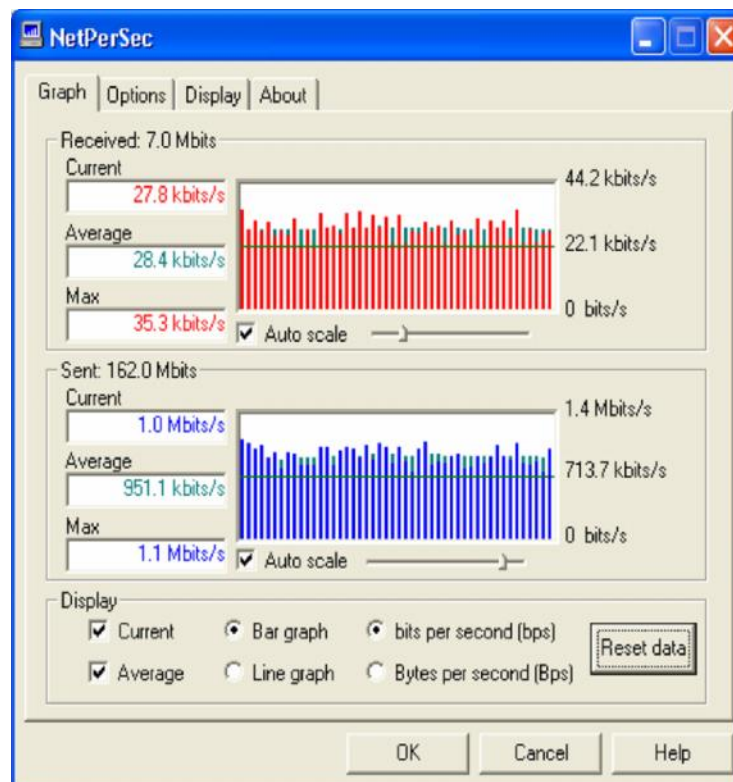


Gambar Pengukuran Kecepatan *Download* Dari FTP Server



Gambar Awal *Download*

(lanjutan)

Gambar Tampilan Saat *Download* SelesaiGambar Pengukuran Kecepatan *Upload* Ke FTP Server

(lanjutan)



Gambar Awal Upload



Gambar Tampilan Saat Upload Selesai