

**PERFORMANSI *QUALITY OF SERVICE* (QOS) FRAMEWORK ANTARA
ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING-TIME DIVISION
MULTIPLE ACCESS (OFDM-TDMA) DAN ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION
MULTIPLE ACCESS (OFDMA) PADA IEEE 802.16**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**SYAILENDRA DWITAMA I.
NIM: 0810630096 - 63**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
MALANG
2013**

PENGANTAR

Alhamdulillah, segenap puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Performansi *Quality Of Service (Qos) Framework* Antara *Orthogonal Frequency Division Multiplexing-Time Division Multiple Access (Ofdm-Tdma)* dan *Orthogonal Frequency Division Multiple Access (Ofdma)* pada IEEE 802.16” yang diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik. Tidak lupa pula shalawat serta salam selalu penulis sampaikan kepada junjungan besar Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita menuju ke jalan yang terang.

Sungguh hanya melalui Pertolongan dan Perlindungan Allah SWT semata sehingga kami dapat menyelesaikan skripsi ini. Dengan seizin Allah SWT, Penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah membantu dan mendukung dalam penyelesaian skripsi ini, yaitu :

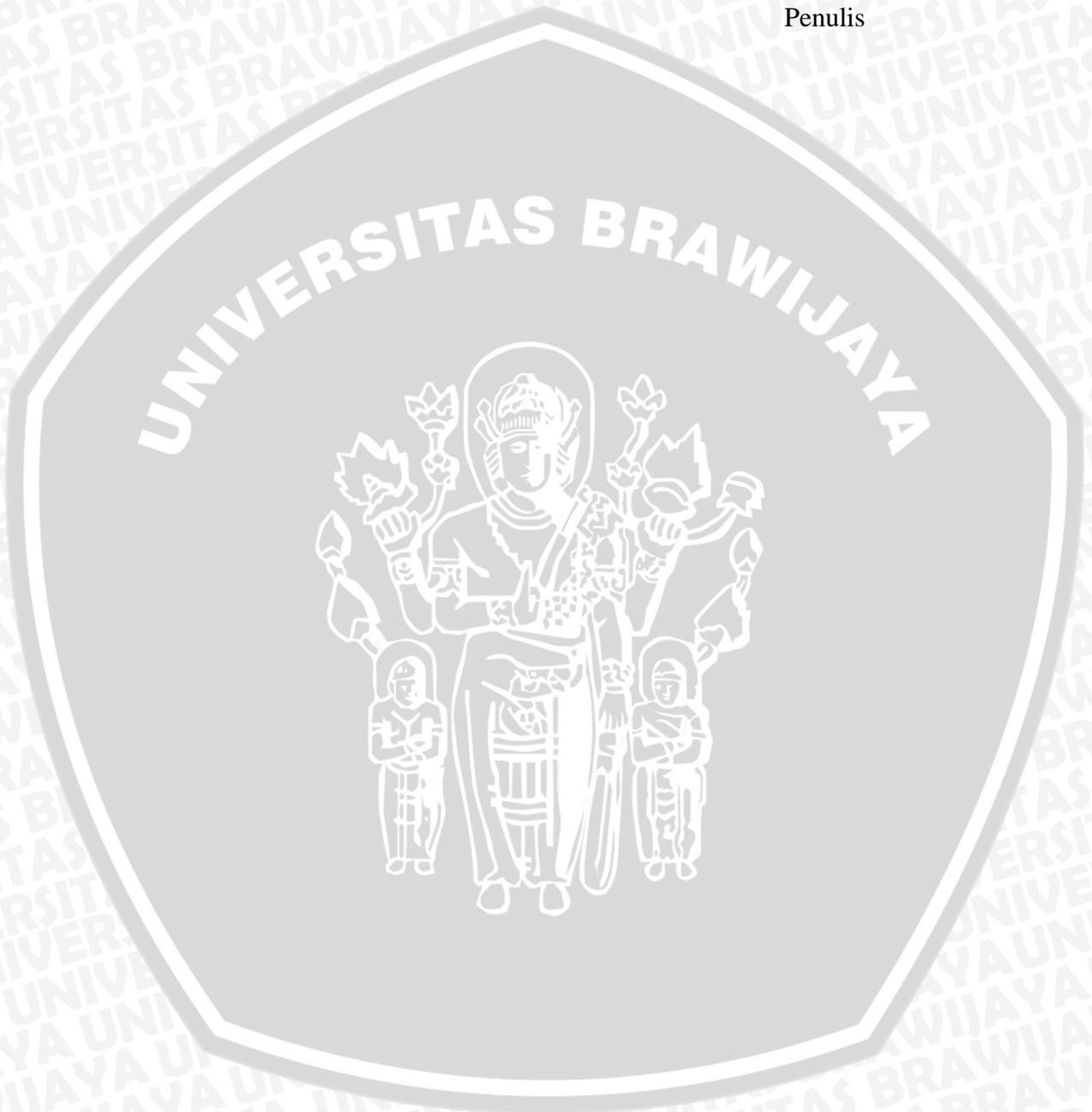
1. Keluarga tercinta, Ibunda Sri Winarni, Ayahanda Nur Rachman Iskandar, kakak Airlangga Winaditya Iskandar dan adik Udayana Nurtriadi Iskandar serta Yuslina Chandra Dewi tercinta yang selalu memberikan doa, kasih sayang, semangat, dukungan dan kepercayaan yang tiada akhir hingga hari ini.
2. Ibu Ir. Endah Budi Purnomowati, MT. dan Bapak Dwi Fadila K., ST., MT. selaku dosen pembimbing skripsi yang banyak memberikan saran, konsultasi, kesabaran, dan waktu.
3. Dr. Ir. Soleh Hadi Pramono, MSc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro dan Bapak M. Aziz Muslim, ST. MT., Ph.D, selaku sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
4. Bapak dan Ibu dosen serta segenap staf dan karyawan Jurusan Teknik Elektro.
5. Keluarga besar angkatan 2008 “Concorde” terima kasih atas persahabatan, semangat dan untuk segalanya.
6. Rekan-rekan seperjuangan di rumah Griya Shanta A50 Malang
7. Sahabat-sahabat setia yang selalu memberikan nasehat dan motivasi di kala senang maupun sedih.
8. Dan untuk semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis menyadari adanya kekurangan dan ketidak sempurnaan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang

membangun untuk kelengkapan dan kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi rekan-rekan mahasiswa.

Malang, Juli 2013

Penulis



DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| PENGANTAR | i |
| DAFTAR ISI | iii |
| DAFTAR GAMBAR | vi |
| DAFTAR TABEL | viii |
| DAFTAR LAMPIRAN | ix |
| ABSTRAK | x |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3 Ruang Lingkup..... | 2 |
| 1.4 Tujuan | 3 |
| 1.5 Kontribusi | 3 |
| 1.6 Sistematika Penulisan | 3 |
| | |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Standar IEEE 802.16..... | 5 |
| 2.1.1 <i>Broadband Wireless Access (BWA)</i> | 5 |
| 2.2 <i>Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)</i> | 6 |
| 2.2.1 Umum | 6 |
| 2.2.2 Konfigurasi Jaringan WiMAX..... | 7 |
| 2.2.3 <i>Quality of Service (QoS)</i> pada WiMAX | 7 |
| 2.2.4 Prinsip Kerja WiMAX..... | 9 |
| 2.2.5 Protokol IEEE 802.16..... | 10 |
| 2.3 Kelebihan dan Kelemahan WiMAX 802.16..... | 12 |
| 2.4 <i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)</i> | 13 |
| 2.4.1 Definisi Ortogonal..... | 13 |
| 2.4.2 Prinsip Kerja OFDM | 14 |
| 2.4.3 Blok Pemancar | 15 |
| 2.4.4 Blok Penerima | 17 |
| 2.4.5 Kanal Propagasi..... | 18 |



| | | |
|--|---|-----------|
| 2.4.6 | Modulator dan Demodulator <i>Baseband</i> | 19 |
| 2.5 | Kombinasi OFDM dengan skema Multi Akses | 20 |
| 2.6 | Performansi Sistem OFDM-TDMA dan OFDMA pada WiMAX..... | 21 |
| 2.6.1 | Alokasi Bit..... | 22 |
| 2.6.2 | <i>Bit Rate</i> | 23 |
| 2.6.3 | <i>Bit Error Rate</i> (BER) | 25 |
| 2.7 | Kelebihan dan Kelemahan OFDMA terhadap OFDM-TDMA | 26 |
| 2.7.1 | Kelebihan..... | 26 |
| 2.7.2 | Kelemahan..... | 27 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | | 28 |
| 3.1 | Studi Literatur | 28 |
| 3.2 | Pengambilan Data | 28 |
| 3.3 | Perhitungan dan Analisis Data..... | 29 |
| 3.4 | Pengambilan Kesimpulan dan Saran | 32 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | | 33 |
| 4.1 | Umum | 33 |
| 4.1.1 | Penugasan Subcarrier (<i>Subcarrier Assignment</i>) | 33 |
| 4.2 | Analisis Performansi <i>Quality of Service (QoS) Framework</i> antara OFDM-TDMA dan OFDMA pada IEEE 802.16..... | 34 |
| 4.2.1 | Analisis Alokasi Bit pada Modulasi Adaptif..... | 34 |
| 4.2.2 | Analisis <i>Bit Rate</i> OFDM-TDMA dan OFDMA Modulasi 16-QAM pada IEEE 802.16..... | 36 |
| 4.2.2.1 | <i>Bit Rate</i> OFDM-TDMA Modulasi 16-QAM | 37 |
| 4.2.2.2 | <i>Bit Rate</i> OFDMA Modulasi 16-QAM | 38 |
| 4.2.3 | Analisis <i>Bit Rate</i> OFDM-TDMA dan OFDMA Modulasi 64-QAM pada IEEE 802.16..... | 41 |
| 4.2.3.1 | <i>Bit Rate</i> OFDM-TDMA Modulasi 64-QAM | 41 |
| 4.2.3.2 | <i>Bit Rate</i> OFDMA Modulasi 64-QAM | 42 |
| 4.2.4 | Analisis <i>Bit Error Rate</i> (BER) OFDM-TDMA dan OFDMA Modulasi 16-QAM pada IEEE 802.16..... | 47 |
| 4.2.4.1 | <i>Bit Error Rate</i> (BER) OFDM-TDMA Modulasi 16-QAM..... | 47 |
| 4.2.4.2 | <i>Bit Error Rate</i> (BER) OFDMA Modulasi 16-QAM..... | 48 |



4.2.5 Analisis *Bit Error Rate* (BER) OFDM-TDMA dan OFDMA Modulasi 64-QAM pada IEEE 802.16..... 51

4.2.5.1 *Bit Error Rate* (BER) OFDM-TDMA Modulasi 64-QAM..... 51

4.2.5.2 *Bit Error Rate* (BER) OFDMA Modulasi 64-QAM..... 52

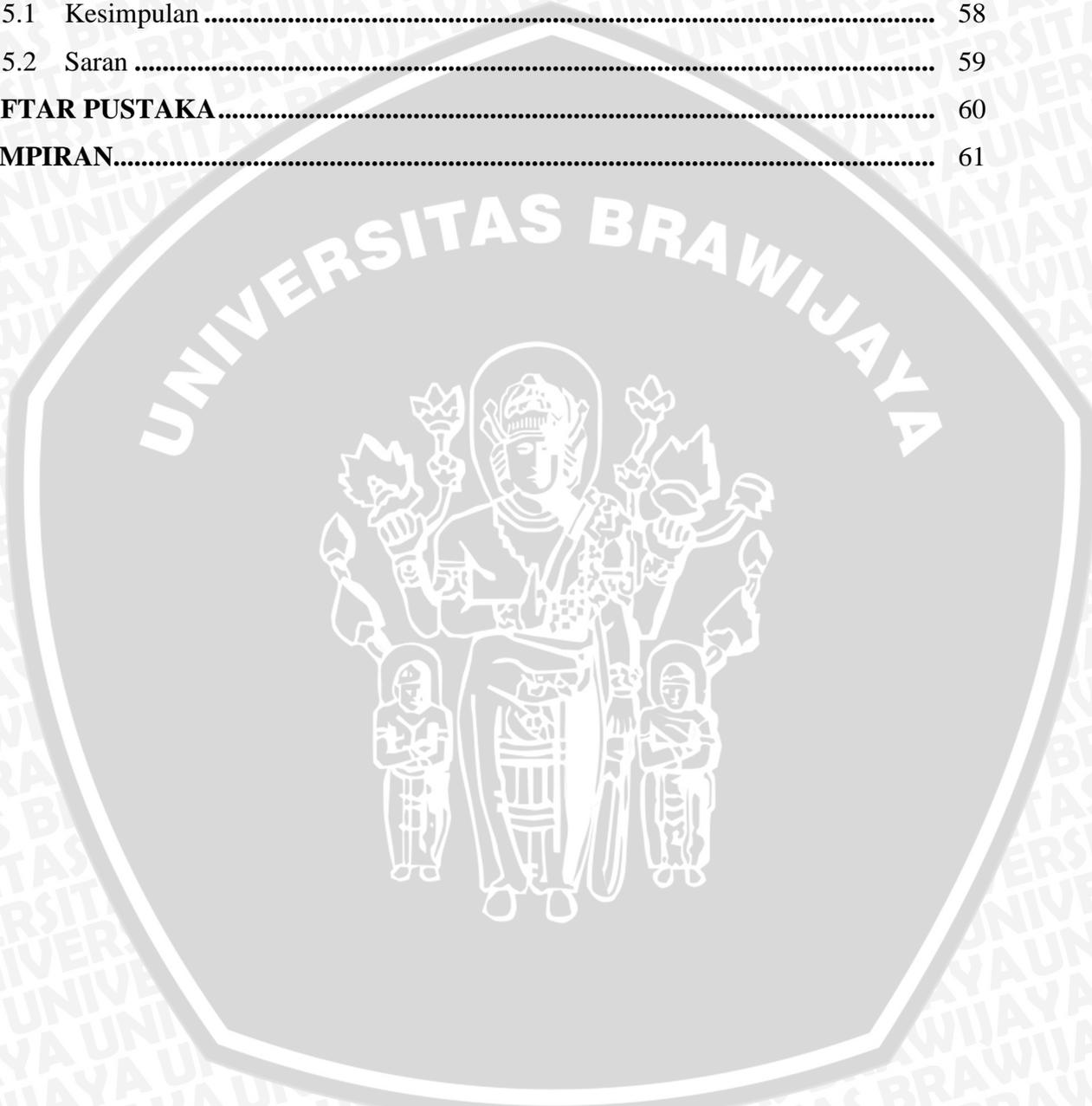
BAB V PENUTUP..... 58

5.1 Kesimpulan 58

5.2 Saran 59

DAFTAR PUSTAKA..... 60

LAMPIRAN..... 61



DAFTAR GAMBAR

| | halaman |
|---|---------|
| Gambar 2.1 Konfigurasi Jaringan WiMAX..... | 7 |
| Gambar 2.2 Prinsip Kerja WiMAX | 9 |
| Gambar 2.3 Protokol IEEE 802.16/16e | 10 |
| Gambar 2.4 Hubungan Radius Jangkauan dengan Sistem Modulasi | 11 |
| Gambar 2.5 <i>Multipath</i> (Lintasan Jamak) pada Sistem Komunikasi <i>Wireless</i> | 12 |
| Gambar 2.6 Perbandingan Teknik FDM dan OFDM | 13 |
| Gambar 2.7 Representasi Orthogonalitas antar <i>Subcarrier</i> | 14 |
| Gambar 2.8 Pembagian Aliran Data | 14 |
| Gambar 2.9 Konversi Serial ke Paralel..... | 16 |
| Gambar 2.10 Proses IFFT..... | 16 |
| Gambar 2.11 Konversi Paralel ke Serial..... | 16 |
| Gambar 2.12 Proses FFT | 18 |
| Gambar 2.13 Blok Diagram Modulator QAM..... | 20 |
| Gambar 2.14 OFDM-TDMA: Terdapat 6 <i>User</i> (U) dan Skema TDMA telah Memperbaiki Interval Waktu antar <i>Frame</i> dan <i>Packet Size</i> tiap <i>Frame</i> .. | 21 |
| Gambar 2.15 OFDMA: Terdapat 6 <i>User</i> Skema Blok FDMA Memperbaiki Interval Waktu antar <i>Frame</i> (T) dan Memperbaiki Alokasi <i>Subcarrier</i> | 22 |
| Gambar 2.16 Batas Nilai SNR Kanal | 23 |
| Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Menentukan Alokasi Bit..... | 29 |
| Gambar 3.2 <i>Flowchart</i> Menentukan <i>Bit Rate</i> OFDM-TDMA | 30 |
| Gambar 3.3 <i>Flowchart</i> Menentukan <i>Bit Rate</i> OFDMA | 30 |
| Gambar 3.4 <i>Flowchart</i> Menentukan <i>Bit Error Rate</i> (BER) OFDM-TDMA..... | 31 |
| Gambar 3.5 <i>Flowchart</i> Menentukan <i>Bit Error Rate</i> (BER) OFDMA..... | 31 |
| Gambar 4.1 Contoh Sebuah <i>Frame</i> yang terdiri dari 10 Simbol OFDM | 33 |
| Gambar 4.2 Skema Modulasi Adaptif sebagai Fungsi SNR..... | 36 |
| Gambar 4.3 Perbandingan <i>Bit Rate</i> antara OFDM-TDMA dan OFDMA dengan Modulasi 16-QAM..... | 41 |
| Gambar 4.4 Perbandingan <i>Bit Rate</i> antara OFDM-TDMA dan OFDMA dengan Modulasi 64-QAM..... | 45 |
| Gambar 4.5 Perbandingan <i>Bit Rate</i> antara OFDM-TDMA dan OFDMA dengan Modulasi 16-QAM dan 64-QAM..... | 46 |

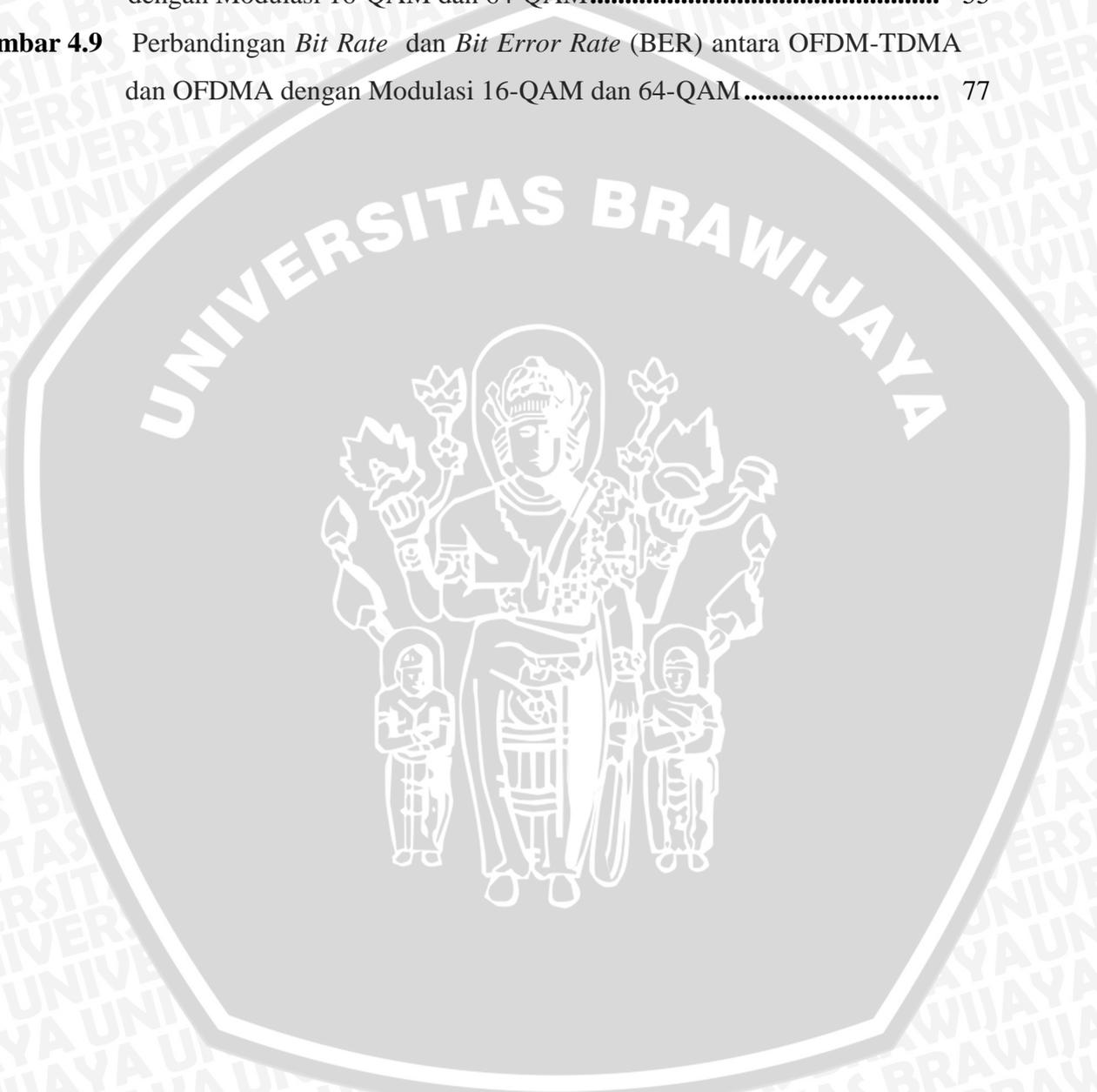


Gambar 4.6 Perbandingan *Bit Error Rate* (BER) antara OFDM-TDMA dan OFDMA dengan Modulasi 16-QAM..... 50

Gambar 4.7 Perbandingan *Bit Error Rate* (BER) antara OFDM-TDMA dan OFDMA dengan Modulasi 64-QAM..... 54

Gambar 4.8 Perbandingan *Bit Error Rate* (BER) antara OFDM-TDMA dan OFDMA dengan Modulasi 16-QAM dan 64-QAM..... 55

Gambar 4.9 Perbandingan *Bit Rate* dan *Bit Error Rate* (BER) antara OFDM-TDMA dan OFDMA dengan Modulasi 16-QAM dan 64-QAM..... 77



DAFTAR TABEL

| | | |
|-------------------|--|----|
| Tabel 4.1 | Perbandingan Jumlah Alokasi Bit terhadap Nilai SNR Kanal untuk Target BER=10 ⁻³ | 36 |
| Tabel 4.2 | Parameter OFDM-TDMA dan OFDMA | 37 |
| Tabel 4.3 | Total <i>Bit Rate</i> OFDM-TDMA Modulasi 16-QAM..... | 38 |
| Tabel 4.4 | Total <i>Bit Rate</i> OFDMA Modulasi 16-QAM..... | 39 |
| Tabel 4.5 | Perbandingan Total <i>Bit Rate</i> OFDM-TDMA dan OFDMA pada Modulasi 16-QAM | 40 |
| Tabel 4.6 | Total <i>Bit Rate</i> OFDM-TDMA Modulasi 64-QAM..... | 42 |
| Tabel 4.7 | Total <i>Bit Rate</i> OFDMA Modulasi 64-QAM..... | 43 |
| Tabel 4.8 | Perbandingan Total <i>Bit Rate</i> OFDM-TDMA dan OFDMA pada Modulasi 64-QAM | 44 |
| Tabel 4.9 | <i>Bit Error Rate</i> (BER) OFDM-TDMA Modulasi 16-QAM | 48 |
| Tabel 4.10 | <i>Bit Error Rate</i> (BER) OFDMA Modulasi 16-QAM..... | 49 |
| Tabel 4.11 | Perbandingan <i>Bit Error Rate</i> (BER) OFDM-TDMA dan OFDMA pada Modulasi 16-QAM | 50 |
| Tabel 4.12 | <i>Bit Error Rate</i> (BER) OFDM-TDMA Modulasi 64-QAM | 52 |
| Tabel 4.13 | <i>Bit Error Rate</i> (BER) OFDMA Modulasi 64-QAM..... | 53 |
| Tabel 4.14 | Perbandingan <i>Bit Error Rate</i> (BER) OFDM-TDMA dan OFDMA pada Modulasi 64-QAM | 54 |



DAFTAR LAMPIRAN

| | | |
|--------------------|---|----|
| Lampiran 1 | <i>Listing Program Scilab 5.4.0 Menghitung Alokasi Bit</i> | 61 |
| Lampiran 2 | <i>Listing Program Scilab 5.4.0 Menghitung Bit Rate OFDM-TDMA Modulasi 16-QAM</i> | 62 |
| Lampiran 3 | <i>Listing Program Scilab 5.4.0 Menghitung Bit Rate OFDMA Modulasi 16-QAM</i> | 63 |
| Lampiran 4 | <i>Listing Program Scilab 5.4.0 Menghitung Bit Rate OFDM-TDMA Modulasi 64-QAM</i> | 65 |
| Lampiran 5 | <i>Listing Program Scilab 5.4.0 Menghitung Bit Rate OFDMA Modulasi 64-QAM</i> | 67 |
| Lampiran 6 | <i>Listing Program Scilab 5.4.0 Menghitung Bit Error Rate (BER) OFDM-TDMA Modulasi 16-QAM</i> | 70 |
| Lampiran 7 | <i>Listing Program Scilab 5.4.0 Menghitung Bit Error Rate (BER) OFDMA Modulasi 16-QAM</i> | 72 |
| Lampiran 8 | <i>Listing Program Scilab 5.4.0 Menghitung Bit Error Rate (BER) OFDM-TDMA Modulasi 64-QAM</i> | 74 |
| Lampiran 9 | <i>Listing Program Scilab 5.4.0 Menghitung Bit Error Rate (BER) OFDMA Modulasi 64-QAM</i> | 76 |
| Lampiran 10 | <i>Spesifikasi WiMAX</i> | 79 |

ABSTRAK

SYAILENDRA DWITAMA I., Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2013, Performansi *Quality of Service (QoS) Framework* antara *Orthogonal Frequency Division Multiplexing-Time Division Multiple Access (OFDM-TDMA)* dan *Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)* pada IEEE 802.16, Dosen Pembimbing: Ir. Endah Budi P., MT. dan Dwi Fadila K., ST., MT.

Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) merupakan asosiasi profesional yang mendedikasikan diri dalam pengembangan teknologi bidang kelistrikan dan elektronika. IEEE menetapkan standar *Broadband Wireless Access (BWA)* yang disebut standar IEEE 802.16 pada 1998. Dalam sistem komunikasi multi akses seperti teknologi WiMAX, diperlukan adanya sebuah manajemen data. OFDM-TDMA dan OFDMA merupakan dua sistem multi akses yang diadopsi oleh IEEE 802.16 (WiMAX) sebagai opsi pentransmisi data pada kanal 2-11 GHz.

OFDM-TDMA dan OFDMA merupakan hasil penggabungan sistem OFDM dengan TDMA (pada OFDM-TDMA) dan FDMA (pada OFDMA). OFDM-TDMA sebagai sistem multi akses memiliki perbedaan mendasar dibandingkan dengan OFDMA yaitu metode pentransmisiannya yang didasarkan pada pembagian waktu (*time division*) sedangkan OFDMA menggunakan pembagian frekuensi sebagai metode pentransmisi.

Berdasarkan hasil analisis dan simulasi diperoleh bahwa penggunaan skema modulasi yang berbeda-beda pada IEEE 802.16 (WiMAX) berpengaruh pada *bit rate* dan *Bit Error Rate (BER)* baik pada sistem OFDM-TDMA maupun OFDMA. Menggunakan modulasi 16-QAM dan 64-QAM, serta target BER sebesar 10^{-3} , sistem OFDM-TDMA dan OFDMA menunjukkan semakin besar nilai SNR, maka semakin besar nilai *bit rate*.

Sebagai contoh pada SNR 23,46 dB (modulasi 16-QAM), *bit rate* OFDMA = $3,34 \times 10^7$ bps (33,4 Mbps), lebih besar dibandingkan *bit rate* OFDM-TDMA = $3,06 \times 10^7$ bps (30,6 Mbps). Pada SNR 29,54 dB (modulasi 64-QAM), *bit rate* OFDMA = $4,36 \times 10^7$ bps (43,6 Mbps), lebih besar dibandingkan *bit rate* OFDM-TDMA = $4,06 \times 10^7$ bps (30,6 Mbps).

Analisis BER menggambarkan bahwa baik pada sistem OFDM-TDMA maupun OFDMA semakin besar SNR maka BER semakin kecil dengan target *bit rate* sebesar $4,06 \times 10^7$ bps (40,6 Mbps).

Sebagai contoh pada SNR 23,46 dB (modulasi 16-QAM), BER OFDMA = 0.0279411 ($2,79 \times 10^{-2}$), lebih kecil dibandingkan BER OFDM-TDMA = 0.0538484 ($5,38 \times 10^{-2}$). Pada SNR 29,54 dB (modulasi 64-QAM), BER OFDMA = 0,0000685 ($6,85 \times 10^{-5}$), lebih kecil dibandingkan BER OFDM-TDMA = 0,0009790 ($9,79 \times 10^{-4}$).

Kata Kunci: IEEE 802.16, OFDM-TDMA, OFDMA

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pesatnya perkembangan teknologi komunikasi pada saat ini adalah suatu tanggapan dari kebutuhan manusia akan teknologi komunikasi yang handal dalam mengirimkan data dengan kecepatan tinggi dan efisien. *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (WiMAX) merupakan salah satu teknologi yang mampu memberikan layanan data dengan kecepatan tinggi dan teknologi yang efisien, dikarenakan teknologi ini cenderung ke arah *Broadband Wireles Access* (BWA) yang tidak membatasi pergerakan manusia dalam berkomunikasi.

Standar BWA yang saat ini umum diterima dan secara luas digunakan adalah standar yang dikeluarkan oleh *Institut of Electrical and Electronics Engineering* (IEEE). Ada beberapa varian standar BWA keluaran IEEE salah satunya adalah standar 802.16 untuk jaringan *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (WiMAX). Teknologi WiMAX merupakan evolusi dari teknologi BWA yang sebelumnya, memberikan perspektif baru dengan mengakses internet dengan cakupan area yang lebih luas dan kecepatan tinggi tanpa tergantung pada jaringan kabel atau modem. Salah satu varian 802.16 adalah 802.16e atau yang dikenal dengan *mobile* WiMAX yang merupakan pengembangan dari varian 802.16a untuk pengguna yang *mobile*.

Berdasarkan standar 802.16, teknologi WiMAX digunakan untuk mengirimkan data/aplikasi multimedia pada konfigurasi *point to point* dan *point to multi point* dengan jatak jangkau ± 50 km dan memiliki kecepatan transfer data sebesar 75 Mbps pada kanal 20 MHz (Wimax Forum, 2006). Untuk melayani jarak jangkanya yang sangat luas termasuk di dalamnya daerah-daerah yang secara geografis belum dimungkinkan untuk dilalui kabel baik kabel tembaga ataupun kabel serat optik, maka dibutuhkan persyaratan *Quality of Service* yang sangat baik. Karena pada kenyataannya, kerangka QoS di *layer Medium Access Control* (MAC) telah terintegrasi dengan sistem transmisi multi-access jika merunut pada standar IEEE 802.16.

Time Division Multiple Access (TDMA) dan *Frequency Division Multiple Access* (FDMA) merupakan dua teknik multi-akses yang telah umum digunakan pada banyak sistem telekomunikasi. Jika kedua teknik multi-akses tersebut dikombinasikan dengan *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM), masing-masing disebut OFDM-TDMA dan

OFDMA. Kedua teknik multi-akses tersebut diadopsi dari standard IEEE 802.16 sebagai dua macam pilihan dalam proses transmisi pada *band* 2-11 GHz.

Referensi utama skripsi ini merujuk pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Chang Yu-Jung, Chien Feng-Tsun dan C. C. Jay Kuo dengan judul “*Performance Comparison of OFDM-TDMA and OFDMA with Cross Layer Consideration*”. Dengan menggunakan Scilab sebagai *software* pendukung, akan dibahas performansi dua teknik multi-akses pada teknologi WiMAX yaitu OFDM-TDMA untuk spesifikasi 802.16d dan OFDMA untuk spesifikasi 802.16e. analisis performansi kedua teknik multi-akses ini lebih difokuskan pada seberapa besar *bit-rate* yang dihasilkan dan bagaimana nilai *bit error rate* (BER) yang dihasilkan oleh kedua teknik multi akses dalam kerangka QoS yang sama.

Analisis perhitungan yang membandingkan OFDM-TDMA dan OFDMA pada kerangka QoS IEEE 802.16 ini dilakukan dengan membandingkan masing-masing *bit rate* dan *bit error rate* (BER) keduanya dan mengasumsikan paket-paket data akan dilewatkan pada sebuah kanal informasi yang ideal. Menggunakan nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) yang berbeda-beda akan didapatkan hasil pengukuran yang membedakan antara kedua teknik multi-akses tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan pada latar belakang maka dapat dirumuskan beberapa hal antara lain:

1. Bagaimana analisis pengaruh alokasi bit pada QoS *framework* IEEE 802.16?
2. Bagaimana perbandingan *bit rate* antara OFDM-TDMA dan OFDMA pada QoS *framework* IEEE 802.16 terhadap kondisi *Signal to Noise Ratio* (SNR) yang berbeda-beda?
3. Bagaimana perbandingan *Bit Error Rate* (BER) antara OFDM-TDMA dan OFDMA pada QoS *framework* IEEE 802.16 terhadap kondisi *Signal to Noise Ratio* (SNR) yang berbeda-beda?

1.3 Ruang Lingkup

Berdasarkan perumusan masalah di atas maka pembahasan dibatasi pada :

1. Membahas mengenai OFDM-TDMA dan OFDMA pada QoS *framework* IEEE 802.16 dari segi analisis,
2. Analisis QoS *framework* dibatasi hanya pada perbandingan *bit-rate* dan *Bit Error Rate* (BER) dari OFDM-TDMA dan OFDMA,

- repository.ub.ac.id
3. Kanal yang digunakan diasumsikan sebagai kanal ideal,
 4. Jumlah *user* sebanyak 2 *user*,
 5. Jumlah *subcarrier* sebanyak 512,
 6. Modulasi yang digunakan yaitu 16-QAM dan 64-QAM,
 7. Data yang digunakan merupakan data sekunder
 - Jurnal
 - Buku Referensi
 - Skripsi
 - Internet
 - Forum-forum resmi WiMAX dan OFDM
 8. Analisis data dilakukan dengan menggunakan software Scilab 5.4.0.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan penulisan pada skripsi ini adalah menganalisis dan memberikan perbandingan performansi QoS framework antara sistem OFDM-TDMA dan OFDMA pada IEEE 802.16 melalui parameter *bit rate* dan *Bit Error Rate* (BER).

1.5 Kontribusi

Adapun kontribusi yang dapat diberikan dengan penulisan skripsi ini, diantaranya adalah sebagai berikut :

- 1 Dapat digunakan sebagai bahan pembelajaran mengenai teknologi OFDMA maupun OFDM-TDMA terutama dalam pengaruhnya terhadap QoS *framework* pada IEEE 802.16
- 2 *Broadband Wireless Access* (BWA) memberikan solusi bagi pelanggan komunikasi dalam menikmati layanan data dengan cakupan yang besar dan memiliki kualitas layanan yang lebih baik dibandingkan dengan teknologi-teknologi generasi sebelumnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dan gambaran untuk setiap bab pada skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Memuat tentang latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, kontribusi, dan sistematika penulisan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Memuat dasar teori yang membahas mengenai teknologi WIMAX sebagai jaringan yang digunakan pada standar IEEE 802.16 baik dari prinsip kerja, penggunaan kanal maupun modulasi yang diadopsi dan beberapa parameter yang digunakan dalam perhitungan.

Memuat dasar teori yang membahas mengenai OFDM secara umum dan bagaimana sistem ini bekerja dalam teknologi WIMAX khususnya pada standar IEEE 802.16d (OFDM-TDMA0 dan IEEE 802.16e (OFDMA).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

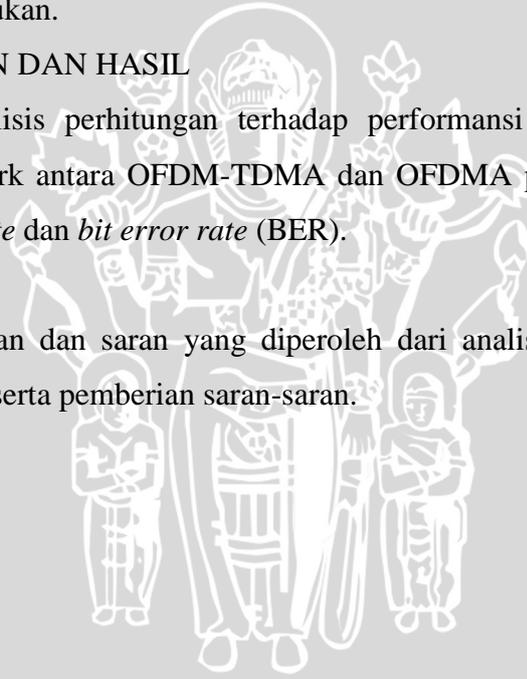
Memuat studi literatur mengenai VoIP dan *mobile* WiMAX, metode pengambilan data-data sekunder yang digunakan dalam skripsi, metode analisis data, dan metode pengambilan kesimpulan dari analisis perhitungan yang akan dilakukan.

BAB IV PEMBAHASAN DAN HASIL

Melakukan analisis perhitungan terhadap performansi *Quality Of Service* (QOS) framework antara OFDM-TDMA dan OFDMA pada IEEE 802.16 di parameter *bit rate* dan *bit error rate* (BER).

BAB V PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran yang diperoleh dari analisis perhitungan yang telah dilakukan serta pemberian saran-saran.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Standar IEEE 802.16

Tahun 1998, IEEE membentuk grup yang dikenal dengan nama grup IEEE 802.16 yang bertujuan untuk mengembangkan standar antar muka untuk teknologi nirkabel pita lebar. Pada tahun 2001, WiMAX forum berhasil mendefinisikan WiMAX sebagai standar teknologi yang memungkinkan akses *broadband wireless last mile* sebagai alternatif pengganti pita lebar kabel.

Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) merupakan standar industri yang bertugas menginterkoneksi berbagai standar teknis yang bersifat *global* menjadi satu kesatuan. WiMAX merupakan saluran komunikasi radio yang memungkinkan terjadinya jalur *internet* dua arah dari jarak puluhan kilometer. Dengan memanfaatkan gelombang radio, teknologi ini bisa dipakai dengan frekuensi berbeda, sesuai dengan kondisi dan peraturan penggunaan frekuensi di negara pengguna.

Standar WiMAX dibentuk oleh gabungan industri-industri perangkat nirkabel dan *chip-chip* komputer di seluruh dunia. Industri-industri ini bergabung dalam suatu forum kerja yaitu WiMAX Forum. WiMAX Forum bertugas untuk merumuskan standar interkoneksi antar teknologi BWA yang mereka miliki pada produk-produknya. (Wibisono, Gunawan dan Gunadi Dwi Hantoro. 2009)

2.1.1 *Broadband Wireless Access* (BWA)

Saat ini teknologi *wireless* mulai bergerak ke arah teknologi *Broadband Wireless Access* (BWA). Teknologi ini dipersiapkan untuk layanan *multimedia* generasi keempat (4G). Teknologi *Broadband Wireless Access* (BWA) adalah suatu teknologi akses yang menjanjikan *bandwidth* yang lebar dengan kecepatan data yang tinggi. Terdapat perbedaan antara teknologi BWA dengan teknologi *nirkabel* yang sudah ada (*mobile communication* seperti GSM), yaitu pada tujuan penggunaan dan kecepatannya. Penggunaan teknologi nirkabel diutamakan untuk layanan suara (*voice*) sedangkan untuk menyalurkan data hanya digunakan kecepatan sebesar 9,6 kbps. Dibandingkan dengan teknologi nirkabel, teknologi *broadband wireless* menjanjikan layanan pengiriman data (bisa berisi data *multimedia*) dengan kecepatan antara 1,5 Mbps sampai dengan 128 Mbps. Menurut rekomendasi ITU-T no.I.113, komunikasi *broadband* didefinisikan sebagai komunikasi dengan kecepatan transmisi antara 1,5 Mbps hingga 2 Mbps.

Standar *Broadband Wireless Access* (BWA) yang saat ini umum diterima dan secara luas digunakan adalah standar yang dikeluarkan oleh *Institute of Electrical and Electronics Engineering* (IEEE). Beberapa standar BWA antara lain adalah standar 802.11 untuk jaringan *Wireless Fidelity* (WiFi), 802.15 untuk *Personal Area Network* (PAN), dan 802.16 untuk jaringan *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (WiMAX). (Wibisono, Gunawan dan Gunadi Dwi Hantoro. 2009)

2.2 Worldwide Interoperability Microwave Access (WiMAX)

2.2.1 Umum

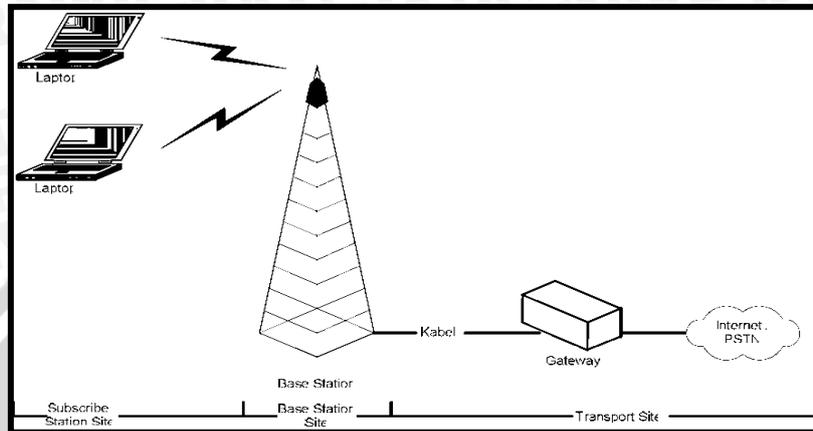
Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) merupakan teknologi yang didasarkan pada standar *Wireless Metropolitan Area Networking* (WMAN) yang diadopsi baik oleh *Institute Of Electrical and Electronic Engineering* (IEEE) maupun oleh ETSI HiperMAN (*European Telecommunications Standard Institute-High Performance Metropolitan Area Network*). Pada saat sekarang ini teknologi WiMAX lebih dikenal dengan teknologi IEEE 802.16x. (Andrews, Jeffrey G. 2006)

Teknologi WiMAX secara umum dapat digunakan untuk mendukung akses internet pita lebar bagi pelanggan bersifat tetap (*fixed*), maupun untuk pelanggan bersifat nomaden (*nomadic*) dan memiliki pergerakan tinggi (*mobile*). Selain itu, teknologi WiMAX juga menyediakan berbagai keuntungan bila dibandingkan dengan teknologi sebelumnya yakni pada kemampuan untuk menjangkau daerah pelanggan yang mencapai radius 30 mil, bekerja pada kondisi NLOS (*Non-Line of Sight*) dengan kecepatan laju data hingga mencapai 75 Mbps (tergantung spesifikasi yang dipakai). (Andrews, Jeffrey G. 2006)

Kemampuan yang dimiliki WiMAX membuat WiMAX menjadi teknologi yang sangat berkembang di seluruh dunia. Implementasi WiMAX yang mudah dengan kemampuan teknologi yang memadai memungkinkan bagi WiMAX untuk dikembangkan dan dipakai di daerah yang berbentuk kepulauan dan memiliki wilayah yang luas. Secara umum, WiMAX dipakai sebagai jaringan *backhaul* yang bersifat tetap. Selain itu WiMAX juga dapat digunakan untuk mendukung koneksi LOS terhadap pengguna di rumah yang memiliki perangkat komputer yang bersifat bergerak (*portable*) maupun melayani jaringan NLOS terhadap pelanggan di dalam gedung perkantoran, jaringan *hotspot*, dan pelanggan yang bersifat *mobile*. (Andrews, Jeffrey G. 2006)

2.2.2 Konfigurasi Jaringan WiMAX

Secara umum konfigurasi jaringan WiMAX dibagi menjadi 3 bagian yaitu *subscriber station* (SS), *base station* (BS), dan *transport site* (bagian *backend*). SS terletak di lingkungan pelanggan (bisa *fixed* atau *mobile* untuk 802.16e), sedangkan BS biasanya satu lokasi dengan jaringan operator (jaringan *internet* atau jaringan PSTN).



Gambar 2.1 Konfigurasi Jaringan WiMAX.

(Sumber : Wibisono, Gunawan dan Gunadi Dwi Hantoro. 2009)

Gambar 2.1 menunjukkan konfigurasi jaringan WiMAX. Dalam Gambar 2.1 digambarkan bahwa konfigurasi WiMAX terdiri dari :

- *transport site* (bagian *back-end*) : bagian ini terdiri dari jaringan *internet*/PSTN. Bagian ini berfungsi untuk menghubungkan *base station* dengan *internet*,
- *base station* (BS) *site* : bagian ini terdiri dari *base station* (BS). Bagian ini berfungsi untuk menghubungkan *subscriber station* (SS) *site* dengan *transport site*,
- *subscriber station* (SS) *site* : bagian ini terdiri dari *Customer Premise Equipment* (CPE) atau yang lebih canggih berupa laptop. Bagian ini berfungsi sebagai peralatan yang digunakan oleh *user*/pengguna. Dalam sistem IEEE 802.16 terdapat dua tipe *pengguna* yaitu *pengguna fixed* dan *mobile*.

2.2.3 Quality of Service (QoS) pada WiMAX

Quality of Service (QoS) merupakan standar dalam suatu jaringan untuk memastikan kualitas kinerja yang baik bagi sebuah/beberapa aplikasi yang bekerja di dalamnya. Dengan menggunakan standar QoS, sebuah jaringan dapat mengatur efisiensi dan memastikan tingkat kebutuhan suatu layanan tanpa melakukan tindakan antisipasi yang berlebihan.

Teknologi WiMAX dapat menjalankan QoS dengan berbagai kebutuhan aplikasi. Sebagai contoh aplikasi *streaming* dan *conferencing* memerlukan *latency* yang rendah tetapi masih bisa mentolerir beberapa *error rate*. Sebaliknya aplikasi-aplikasi data pada umumnya

sangat sensitif terhadap *error rate*, sedangkan faktor *latency* bukan menjadi pertimbangan kritis.

Perubahan parameter QoS bisa diminta oleh SS ke BS dengan sambungan masih tetap terjaga. Berdasarkan jenisnya, QoS pada WiMAX ini dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis yaitu *Real Time Packet Service (rtPS)*, *Non-Real Time Packet Service (nrtPS)* dan *Best Effort (BE)*.

- **Real Time Polling Service (rtPS)**

Real Time Packet Service. Layanan ini memiliki karakteristik :Efektif untuk layanan yang sensitif terhadap *throughput* dan *latency*., garansi *rate* dan syarat *delay* telah ditentukan. Contohnya MPEG video, VoIP, *video conference*.

Dengan kualifikasi layanan (VoIP):

- Pada *codec* ITU G114 *delay end-to- end* yang dapat ditoleransi < 150 ms
- *Bit rate* yang dibutuhkan 256 kbps
- Panjang paket rata-rata 320 byte (2560 bit) tiap *frame*
- *Frame rate* 10 ms (Cisco *Journal: IOS Quality of Service*, 2010)

- **Non-Real Time Polling Service (nrtPS)**

Untuk pelanggan yang membutuhkan *bandwidth* yang besar, namun bisa mentolelir *latency*, memiliki ciri-ciri sebagai berikut, efektif untuk aplikasi yang membutuhkan *throughput* yang baik. garansi *rate* diperlukan namun *delay* tidak digaransi. contohnya aplikasi seperti *video* dan *audio streaming*.

Dengan kualifikasi (sebagai contoh *video streaming*):

- *Frame rate* 1-30 fps
- *Bit rate* terkonfigurasi hingga mencapai 300 kbps.

- **Best Effort (BE)**

Best Effort adalah mode yang digunakan jika masalah kecepatan data dan *delay* tidak terlalu diperhatikan namun sensitif terhadap *error rate*, berikut adalah ciri-ciri dari mode *Best Effort*, untuk trafik yang tidak membutuhkan jaminan kecepatan data (*best effort*), tidak ada jaminan (*requirement*) pada *rate* dan *delay*-nya, sensitif terhadap *error rate*.. Contohnya aplikasi internet (*web browsing*), *email*, dan FTP. (Cisco *Journal: IOS Quality of Service*, 2010)

WiMAX juga dapat mengoptimalkan data rate di sisi pengguna dengan cara menentukan tipe modulasinya. Bila penggunaanya cukup dekat ke BS, maka modulasinya

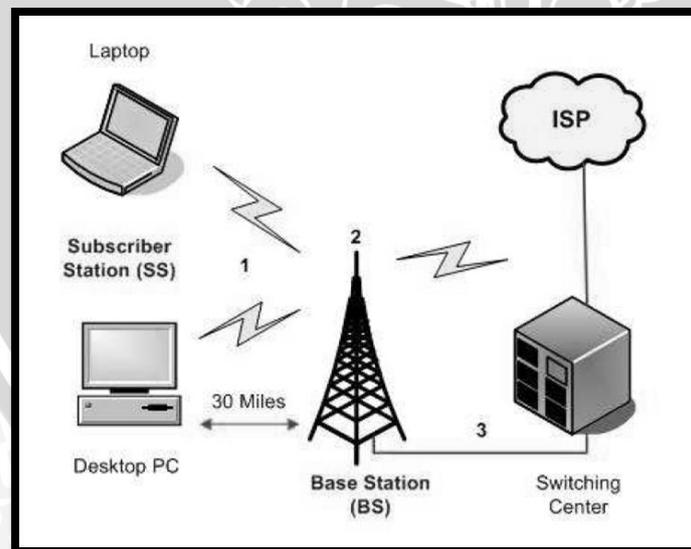
yang cocok adalah 64QAM sedangkan yang lebih jauh menggunakan 16QAM atau modulasi yang lebih rendah. Namun demikian WiMAX dapat menentukan tipe modulasinya mana yang berlaku secara otomatis tergantung dari kualitas *link* antara BS dan SS. Setiap layanan pada WiMAX membutuhkan persyaratan khusus agar layanan tersebut dapat diterima dengan baik oleh pengguna. (WiMAX Forum, 2006)

2.2.4 Prinsip Kerja WiMAX

Secara umum, WiMAX yang merupakan teknologi *broadband wireless* memiliki prinsip kerja sebagai berikut (Wibisono, Gunawan dan Gunadi Dwi Hantoro, 2009) :

1. Pelanggan mengirimkan data dari *subscriber station* (SS) ke *base station* (BS) melalui media gelombang radio,
2. BS akan menerima sinyal dari berbagai pelanggan dan mengirimkan pesan secara nirkabel atau melalui kabel ke *switching center* melalui protokol 802.16,
3. *Switching center* akan mengirimkan pesan ke *internet service provider* atau *public switched telephone network* (PSTN) melalui kabel.

Ketiga proses tersebut di atas dapat dilihat pada Gambar 2.2. Pada Gambar 2.2, *laptop* dan *personal computer* (PC) berfungsi sebagai *subscriber station* (SS), *tower*, antena, beserta perangkatnya berfungsi sebagai *base station* (BS) dan *switching center* sebagai pengatur pilihan koneksi ke *internet service provider* (ISP).

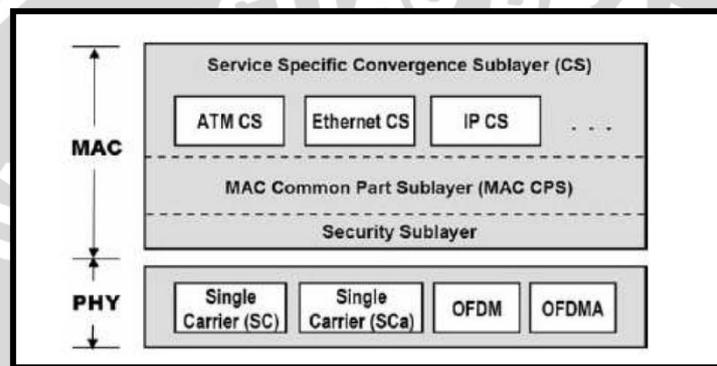


Gambar 2.2 Prinsip Kerja WiMAX.

(Sumber : Wibisono, Gunawan dan Gunadi Dwi Hantoro, 2009)

2.2.5 Protokol IEEE 802.16

Fungsi-fungsi komunikasi dibagi menjadi suatu rangkaian *layer*. Masing-masing *layer* menampilkan sub rangkaian fungsi-fungsi yang masih berkaitan yang diperlukan untuk berkomunikasi dengan sistem yang lain. Karakteristik standar 802.16/16e ditentukan oleh spesifikasi teknis dari *layer Physycal (PHY)* dan *Medium Access Control (MAC)*. Perbedaan karakteristik kedua *layer* ini akan membedakan varian-varianya. *Physical layer* berfungsi untuk mengalirkan data di *level* fisik. Sedangkan *Medium Access Control (MAC)* *layer* berfungsi sebagai penterjemah protokol-protokol yang ada di atasnya seperti ATM, *Ethernet*, dan IP. Gambar 3 menunjukkan protokol IEEE 802.16/16e. (Chen, Kwang-Cheng, J. Roberto B. De Marca, 2008)



Gambar 2.1 Protokol IEEE 802.16/16e.

(Sumber : Kwang-Cheng Chen and J. Roberto B. de Marca, 2008)

Physical Layer (PHY)

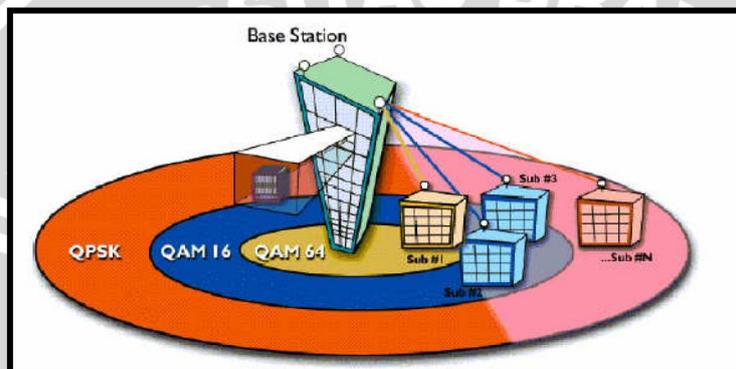
Berdasarkan Gambar 2.3, terdapat 4 pilihan standar *air interface* yang digunakan dalam *physical layer* IEEE 802.16/16e dengan masing-masing standar memiliki spesifikasi yang berbeda diantaranya adalah :

- *Wireless MAN-SC* : *air interface* yang menggunakan teknik modulasi *single carrier* yang bekerja pada frekuensi 10-66 GHz,
- *Wireless MAN-SCa* : *air interface* yang menggunakan teknik modulasi *single carrier* yang bekerja pada frekuensi di bawah 11 GHz,
- *Wireless MAN-OFDM* : *air interface* yang menggunakan skema *Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)* dengan menggunakan *carrier* sebanyak 256. Tipe ini bekerja pada frekuensi dibawah 11 GHz,
- *Wireless MAN-OFDMA* : *air interface* yang menggunakan skema *Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)* dengan jumlah *carrier* hingga 2048 dan bekerja pada frekuensi di bawah 11 GHz. Metode ini juga mendukung penggunaan *scalable FFT* sebesar 128, 512, 1024, dan 2048.

Selain pemilihan standar *air interface* yang akan digunakan, hal-hal lain yang berkaitan dengan *physical layer*, yaitu

- **Modulasi Adaptif**

Modulasi adaptif, secara efektif dapat mengatur keseimbangan kebutuhan *bandwidth* dan kualitas sambungan (*link quality*) atau biasanya dapat diukur dengan *Signal to Noise Ratio* (SNR). Apabila kualitas sinyal cukup baik, maka digunakan modulasi yang lebih tinggi untuk memberikan kapasitas *bandwidth* yang lebih besar. Apabila kualitas *link* menurun, sistem modulasinya digeser menjadi lebih rendah untuk menjaga kestabilan dan kualitas sambungan. Perpindahan modulasi dapat diatur secara otomatis dan dinamis dari 64-QAM, 16-QAM, dan QPSK.



Gambar 2.4 Hubungan Radius Jangkauan dengan Sistem Modulasi.
(Sumber : Kumar, Amitabh, 2008)

Semakin jauh jarak yang akan ditempuh maka redaman akan semakin besar dan ini akan menyebabkan laju bit akan semakin rendah. Gambar 2.4 memperlihatkan hubungan antara radius jangkauan dengan sistem modulasi yang digunakan. (Kumar, Amitabh, 2008)

Media Access Control Layer (MAC)

MAC layer dibagi lagi menjadi tiga *sublayer* yaitu *Service Specific Convergence Sublayer* (SS-CS) yaitu *sublayer* untuk mengakomodasi perkembangan teknologi masa depan, *MAC Common Part Sublayer* dan *Security Sublayer*. MAC layer juga berfungsi untuk mengakomodasi *throughput* data kecepatan tinggi melalui *physical layer*. MAC layer mempunyai karakteristik *connection identifier* (CID). CID digunakan untuk membedakan kanal *uplink* dan *downlink*. Setiap SS memiliki MAC address dengan lebar standar 48 bit. (Wibisono, Gunawan dan Gunadi Dwi Hantoro, 2009)

2.3 Kelebihan dan Kelemahan WiMAX 802.16

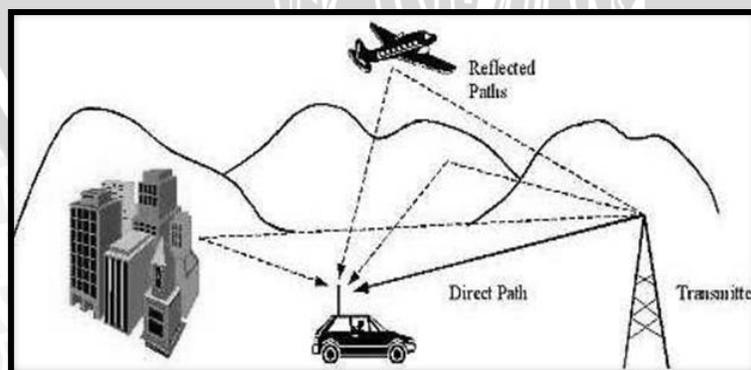
Ada beberapa kelebihan dan kelemahan yang dimiliki oleh WiMAX, diantaranya adalah sebagai berikut (Wibisono, Gunawan dan Gunadi Dwi Hantoro. 2009) :

a. Kelebihan

- dapat meningkatkan SNR tiap pengguna,
- *bandwidth* yang digunakan bersifat *scalable*,
- dapat melayani pengguna baik pengguna *fixed* maupun pengguna *mobile*,
- arsitektur yang lebih sederhana, dibandingkan dengan teknologi akses lainnya seperti CDMA dan GSM,
- jaringan telah berbasis IP, WiMAX mudah diintegrasikan dengan jaringan berbasis IP tanpa memerlukan *layer adaptation* lagi, dan
- mudah dikembangkan.

b. Kelemahan

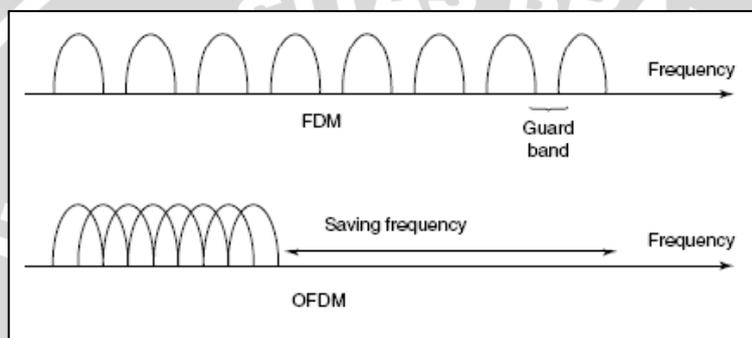
WiMAX juga memiliki kelemahan di dalam sistemnya, diantaranya yaitu timbulnya *fading* yang diakibatkan adanya penghalang pada saat sebuah sinyal dikirimkan. Sehingga sinyal tersebut terpantulkan oleh penghalang. Pada saat sinyal terpantulkan, maka akan terbentuk sinyal-sinyal pantulan. Pada saat sinyal utama mencapai penerima, maka sinyal pantulan akan juga berusaha mencapai penerima. Ketika keduanya berada pada posisi yang sama, maka keduanya akan saling menguatkan atau saling melemahkan. Gambar 2.5 menggambarkan terjadinya proses perambatan lintasan jamak (*multipath*) yang disebabkan oleh pantulan-pantulan dari struktur bangunan gedung atau medan (*terrain*) yang tidak rata antara antena pemancar dengan penerima. Hal inilah yang akan menyebabkan terjadinya *multipath fading*.



Gambar 2.5 *Multipath* (Lintasan Jamak) pada Sistem Komunikasi *Wireless*.
(Sumber : Wibisono, Gunawan dan Gunadi Dwi Hantoro. 2009)

2.4 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) adalah sebuah teknik transmisi *multicarrier*, dimana aliran data serial laju tinggi dibagi kedalam sekumpulan sub aliran data paralel dengan laju yang rendah. Masing-masing sub aliran data paralel ini dimodulasikan pada *subcarrier* yang terpisah. OFDM merupakan salah satu jenis dari teknik transmisi *multicarrier* FDM yang memiliki efisiensi pemakaian spektrum frekuensi jauh lebih baik. OFDM juga menggunakan sinyal *orthogonal*, dimana *null sideband* dari salah satu *subcarrier* bertumpukan dengan *main lobe frequency* dari *subcarrier* yang selanjutnya sehingga *overlapping* dari frekuensi *carrier* tidak mempengaruhi sinyal. Dengan demikian akan menghilangkan adanya *band guard*, sehingga penggunaan *bandwidth* lebih efisien.

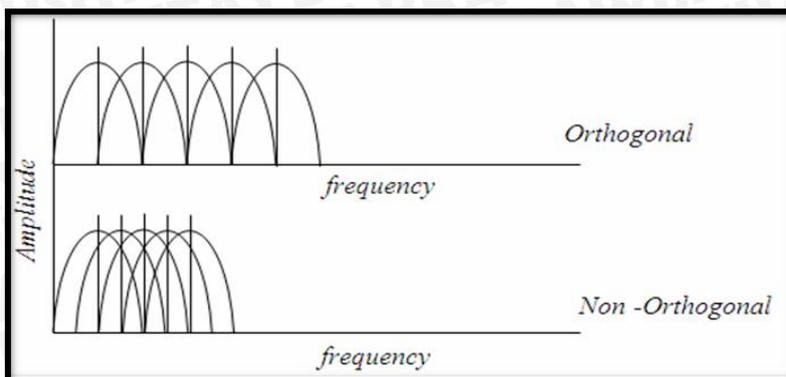


Gambar 2.6 Perbandingan Teknik FDM dan OFDM
(Sumber : Wallace, Kevin. 2009)

Gambar 2.6 menunjukkan bahwa pada OFDM *overlap* antar frekuensi yang bersebelahan diperbolehkan, karena masing-masing subcarrier didalam OFDM sudah saling orthogonal. Sedangkan pada sistem *multicarrier* konvensional (FDM) untuk mencegah interferensi antar frekuensi yang bersebelahan perlu disisipkan frekuensi penghalang yang berakibat menurunnya efisiensi penggunaan spektrum frekuensi.

2.4.1 Definisi Ortogonal

Teknologi OFDM menggunakan sinyal ortogonal, ortogonal merupakan keadaan apabila *null sideband* dari salah satu *subcarrier* bertumpukan dengan *main lobe frequency* dari *subcarrier* yang selanjutnya. Sehingga *overlapping* dari frekuensi *carrier* tidak akan mempengaruhi sinyal. Kehilangan ortogonalitas menyebabkan pengkaburan (*blurring*) diantara sinyal-sinyal informasi dan penurunan performansi sistem komunikasi. Gambaran dari spektrum OFDMA dan ortogonalitas antar *subcarrier* dapat dilihat pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 Representasi Orthogonalitas antar *Subcarrier*.
(Sumber : Wallace, Kevin. 2009)

Setiap *subcarrier* dalam suatu sinyal OFDM dijaga sedekat mungkin secara teoritis agar diperoleh ortogonalitas pada setiap *subcarrier*. OFDM mencapai ortogonalitas di dalam *domain* frekuensi dengan mengalokasikan setiap sinyal informasi yang terpisah ke dalam *subcarrier* yang berbeda.

Jarak antar *subcarrier* (Δf) pada spektrum sinyal dapat dinyatakan dengan persamaan berikut (Hara & Prasad, 2000) :

$$\Delta f = \frac{1}{T_{sub} - T_{cp}} \tag{2.1}$$

dengan :

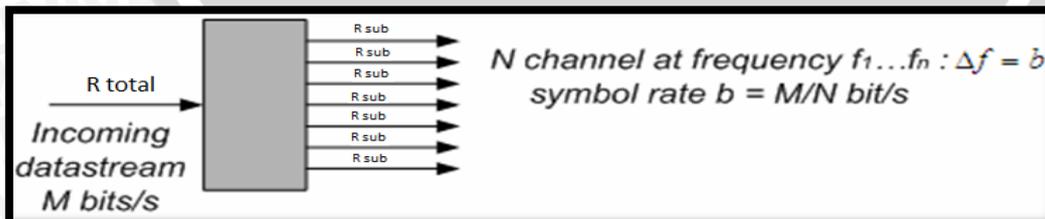
Δf = selang antar frekuensi tiap *subcarrier* (Hz)

T_{sub} = durasi simbol masing-masing *subcarrier* (s)

T_{cp} = durasi *cyclic prefix* (s).

2.4.2 Prinsip Kerja OFDM

Prinsip dasar dari sistem OFDM ini adalah membagi sebuah M laju data yang tinggi (*single high-rate bit stream*) menjadi N laju data rendah. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.8 berikut ini.



Gambar 2.8 Pembagian Aliran Data.
(Sumber : Wallace, Kevin. 2009)

Laju transmisi untuk masing-masing *subcarrier* dari laju transmisi total yang tersedia dapat dinyatakan dengan persamaan berikut (Wallace, Kevin. 2009) :

$$R_{sub} = \frac{R_{tot}}{N} \quad (2.2)$$

dengan :

R_{sub} = laju transmisi masing-masing *subcarrier* (bps)

R_{tot} = laju tranmsi total (bps)

N = jumlah *subcarrier*

Dan durasi simbol untuk suatu modulasi pada masing-masing *subcarrier* dinyatakan dengan persamaan berikut (Wallace, Kevin. 2009) :

$$T_{sub} = \frac{\log_2 \cdot M}{R_{sub}} = \frac{N \cdot \log_2 \cdot M}{R_{tot}} \quad (2.3)$$

dengan :

T_{sub} = durasi simbol masing-masing *subcarrier* (s)

R_{sub} = laju transmisi masing-masing *subcarrier* (bps)

R_{tot} = laju tranmsi total (bps)

N = jumlah *subcarrier*

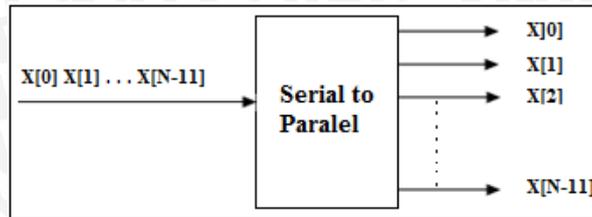
M = jumlah sinyal

2.4.3 Blok Pemancar

Pemancar adalah sebuah perangkat komunikasi yang berfungsi untuk memancarkan sinyal informasi atau mengirimkan sumber informasi kepada penerima.

- **Konversi Serial ke Paralel**

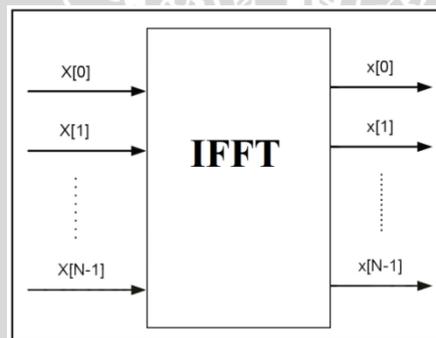
Data yang akan dipancarkan umumnya dalam bentuk aliran data serial. Pada OFDM, proses konversi serial ke paralel dibutuhkan untuk mengubah masukan aliran bit data serial ke dalam data-data paralel yang akan dipancarkan dalam setiap simbol OFDM. Sehingga jika *bit rate* semula adalah R maka *bit rate* di tiap jalur paralel adalah R/N dimana N adalah jumlah jalur *subcarrier*. Hasil keluaran dari proses konversi serial ke paralel merupakan proses pengisian/*payload* data untuk setiap *subcarrier*. Gambar 2.9 menunjukkan konversi serial ke paralel.



Gambar 2.9 Konversi Serial ke Paralel
(Sumber : Wallace, Kevin. 2009)

- **Blok Inverse Fast Fourier Transform (IFFT)**

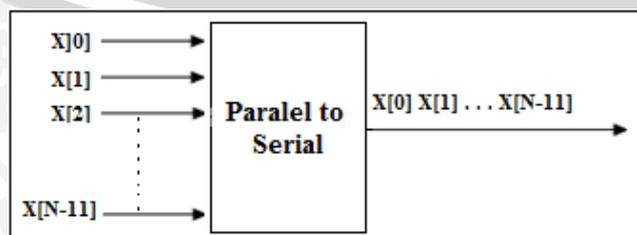
Simbol OFDM disusun dalam sebuah frame yang diubah dalam bentuk *domain* waktu dengan menggunakan IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform*). IFFT dapat berfungsi sebagai *baseband modulator*, dimana setiap simbol akan memodulasi frekuensi *subcarrier* yang dibangkitkan oleh blok IFFT. Penggunaan IFFT akan menjamin ortogonalitas antar *subcarrier*. Ortogonalitas antar tiap *subcarrier* dalam satu kanal transmisi terjadi pada waktu yang berbeda. Keluaran dari setiap proses transformasi IFFT akan membentuk sebuah deretan simbol OFDM. Gambar 2.10 merupakan proses IFFT dimana N adalah jumlah *subcarrier*.



Gambar 2.10 Proses IFFT
(Sumber: Wallace, Kevin. 2009)

- **Konversi Paralel ke Serial**

Deretan sinyal keluaran dari IFFT dimasukkan ke dimasukkan ke *Parallel to Serial Converter*. Jika *bit rate* semula adalah R/N N adalah jumlah jalur *subcarrier*, maka *bit rate* di jalur serial adalah R dimana. Konversi data paralel ke serial diilustrasikan oleh Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Konversi Paralel ke Serial
(Sumber : Wallace, Kevin. 2009)

- **Add Cyclic Prefix**

Pada OFDM, sinyal didesain sedemikian rupa agar *orthogonal*, sehingga bila tidak ada distorsi pada jalur komunikasi yang menyebabkan ISI (*intersymbol interference*) dan ICI (*intercarrier interference*), maka setiap *subchannel* akan bisa dipisahkan stasiun penerima dengan menggunakan FFT. Tetapi pada kenyataannya tidak semudah itu, pada komunikasi nirkabel ada masalah yang terpenting yaitu *delay spread*. Dengan adanya *delay spread* menyebabkan pembatasan spektrum dari sinyal OFDM tidak tepat, sehingga terjadi distorsi linear yang mengakibatkan energi pada tiap-tiap *subchannel* menyebar ke *subchannel* di sekitarnya, dan pada akhirnya ini akan menyebabkan interferensi antar simbol (ISI). Selain itu, ISI dapat pula terjadi dengan meningkatnya *bandwidth carrier* dan laju simbol *subcarrier*.

- **Konversi Digital to Analog (D/A)**

Pengkonversi *digital-to-analogue* (D/A) pada sisi pemancar berfungsi untuk mengkonversikan sinyal digital OFDM ke dalam format analog

2.4.4 Blok Penerima

Penerima adalah sebuah perangkat yang berfungsi untuk menerima sinyal informasi yang dikirim oleh pemancar

- **Konverter Analog to Digital (A/D)**

Pada sisi penerima, pengkonversi *analog to digital* mengkonversikan sinyal analog OFDM ke dalam format digital.

- **Remove Cyclic Prefix**

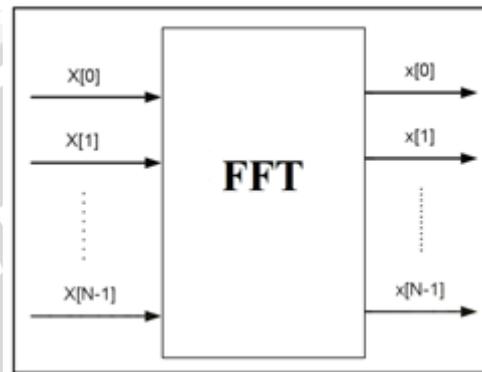
Pada blok ini, *cyclic prefix* yang tadi dimasukkan di stasiun pemancar dikeluarkan kembali di bagian penerima. Hal ini dilakukan untuk memisahkan sinyal sebenarnya dengan *cyclic prefix* yang kemungkinan telah terkena efek *intersymbol interference* (ISI) dan *intercarrier interference* (ICI), selain itu simbol yang harus diterima oleh stasiun penerima adalah simbol asli yang dikirimkan yaitu simbol tanpa *cyclic prefix*.

- **Konversi Serial ke Paralel**

Deretan sinyal-sinyal diskrit tersebut dimasukkan ke *Serial to parallel converter* dengan jumlah paralel sebanyak jumlah point pada IFFT. Hal ini dilakukan agar sinyal OFDM tersebut dapat diproses oleh blok-blok selanjutnya.

- **Blok *Fast Fourier Transform* (FFT)**

Blok FFT berfungsi sebagai *baseband demodulator* dengan cara mengubah sinyal wilayah waktu ke wilayah frekuensi. Titik FFT diset sama seperti titik IFFT. Kemudian simbol-simbol disusun kembali sesuai dengan teknik pengalokasian *pengguna* yang digunakan di pemancar. Gambar 2.12 merupakan proses FFT dimana N adalah jumlah *subcarrier*.



Gambar 2.12 Proses FFT
(Sumber : Wallace, Kevin. 2009)

- **Demodulator**

Pada blok ini simbol-simbol diubah menjadi bit-bit informasi data kembali sesuai dengan teknik modulasi yang digunakan.

- **Konversi Paralel ke Serial**

Hasil keluaran dari blok demodulator adalah bit-bit data yang berupa matriks jumlah *subcarrier* \times jumlah simbol. Matriks tersebut harus dikonversikan menjadi bit serial sehingga bit-bit tersebut dapat dibandingkan dengan bit asli yang dikirimkan secara serial.

2.4.5 Kanal Propagasi

Kanal merupakan suatu media transmisi yang digunakan untuk mentransmisikan informasi dari pemancar ke penerima. Dalam sistem nirkabel, yang tentunya menggunakan medium nirkabel, terdapat dua macam gangguan yang dinilai memiliki efek signifikan terhadap sistem. Gangguan tersebut adalah (Wibisono, Gunawan dan Gunadi Dwi Hantoro. 2009) :

- 1) *Noise* atau derau

Noise merupakan gelombang elektromagnetik yang terdapat di alam, dapat bersumber dari matahari, bumi, atmosfer, galaksi, busi kendaraan bermotor, dan lain-

lain. Dalam sistem nirkabel, sinyal asli dapat bercampur dengan sinyal *noise*. Sehingga *magnitude* sinyal total per satuan waktu merupakan penjumlahan kedua sinyal ini.

2) *Fading*

Fading merupakan fluktuasi amplitudo sinyal secara cepat dalam periode waktu tertentu yang disebabkan oleh diterimanya dua atau lebih sinyal oleh penerima akibat banyaknya lintasan sinyal. Pada proses transmisi, sinyal yang sampai di penerima tidak hanya melewati satu jalur tetapi datang dari berbagai jalur (*multipath*). Sinyal-sinyal *multipath* tersebut akan mengalami pergeseran fasa dan *delay* yang selalu berubah. Pengaruh dari perbedaan panjang lintasan sinyal akan mengakibatkan pergeseran realtif fasa antara komponen fasa utama yang bersuperposisi dengan komponen fasa lintasan lain. Hal ini akan mengakibatkan penguatan atau pelemahan sinyal yang diterima. Akibat dari perlakuan demikian maka level sinyal terima di penerima akan mengalami fluktuasi. *Fading* yang terjadi akibat adanya *multipath* dinamakan *multipath fading*.

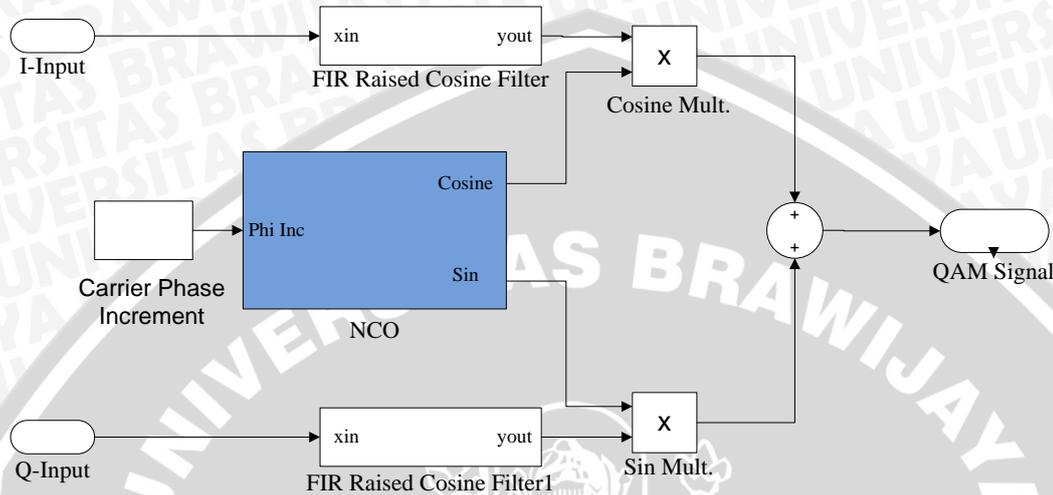
2.4.6 Modulator dan Demodulator *Baseband*

Modulator bertugas mengkodekan informasi dari sebuah pesan menjadi simbol yang cocok untuk pengiriman. Karena pada sistem ini sumber informasinya berupa data digital, maka digunakan modulator *baseband* digital yang memodulasikan M -bit menjadi satu simbol yang disebut juga dengan modulasi M -ary. Contoh dari modulasi ini adalah *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM).

Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

Quadrature Amplitude Modulation (QAM) merupakan teknik yang mengkombinasikan antara teknik *Amplitude Shift Keying* (ASK) dan teknik *Phase Shift Keying* (PSK). Berarti pada QAM, amplitudo dan fasa sinyal *carrier* berubah terhadap perubahan amplitudo sinyal informasi. Sehingga, sinyal direpresentasikan dalam besaran amplitudo dan pergeseran fasa. Dikatakan *quadrature* karena jumlah minimum bit pada tiap simbolnya adalah 2 bit. Sehingga pada QAM dikenal teknik 4-QAM, 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM, 128-QAM, dan 256-QAM tergantung banyaknya jumlah bit dalam satu simbol. Tetapi sesuai standar yang telah diterapkan oleh IEEE 802.16e *mobile WiMAX*, teknik QAM yang digunakan pada teknologi *mobile WiMAX* adalah 16-QAM dan 64-QAM. (WiMAX Forum, 2006)

Untuk 16-QAM terdapat 4 bit setiap simbolnya, sehingga disebut juga dengan *quadbit*. Sedangkan untuk 64-QAM terdapat 6 bit pada tiap simbolnya, sehingga disebut juga dengan *hexabit*. Teknik 64-QAM merupakan teknik yang paling cepat mentransmisikan data pada teknologi *mobile* WiMAX, karena jumlah bit per simbolnya adalah yang tertinggi dibandingkan dengan teknik modulasi digital yang lain, yaitu 6 bit.



Gambar 2.13 Blok Diagram Modulator QAM
(Sumber : Forouzan, Behrouz A. 2000)

Gambar 2.13 menjelaskan bangun sistem *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM). *Numerically Controlled Oscillator* (NCO) tersusun dari osilator dengan dua keluaran yang dapat mengendalikan fasa sinyal masukan (*in-phase*) dan menghasilkan *sinyal carrier* (*quadrature carrier*) secara akurat yang akan digunakan oleh modulator QAM. Frekuensi *carrier* setiap sinyal sinusoida dapat diatur secara tepat dengan menentukan kenaikan fasa sinyal yang masuk ke NCO. Sebuah filter *Finite Impulse Response* (FIR) yang membangkitkan sinyal cosinus digunakan untuk menyeleksi (*filtering*) aliran data sebelum dimodulasikan dengan sinyal *carrier*. ketika melewati kanal dengan *bandwidth* terbatas sinyal berbentuk pulsa persegi mengalami efek dispersi waktu dan cenderung untuk tercampur satu sama lain. FIR berfungsi untuk mengeliminasi terjadinya *inter symbol interference* (ISI) semacam itu dengan memastikan bahwa pada proses sampling kontribusi terhadap respon dari semua simbol lainnya adalah nol. (Forouzan, Behrouz A. 2000)

2.5 Kombinasi OFDM dengan Skema Multi-Akses

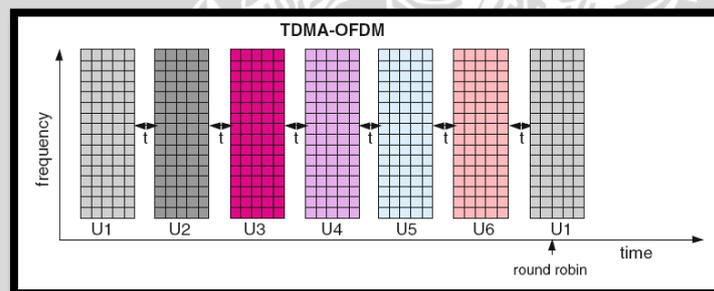
Tingkat fleksibilitas dan adaptivitas yang sangat tinggi diperlukan untuk sistem komunikasi *mobile* terbaru dan untuk *air Interface* 4G. Kombinasi antara beberapa skema akses dan teknik transmisi OFDM merupakan faktor penting dalam hal ini. Pada prinsipnya,

beberapa skema akses untuk teknik transmisi OFDM dapat dikategorikan sebagai OFDM-FDMA, OFDM-CDMA dan OFDM-TDMA. Jelas, skema hybrid dapat diterapkan berdasar pada kombinasi dari teknik-teknik di atas.

a) *Orthogonal Frequency Division Multiplexing-Time Division Multiple Access (OFDM-TDMA)*

OFDM-TDMA membagi waktu menjadi peluang transmisi ortogonal untuk setiap pengguna seperti yang terlihat pada Gambar. 2.14. Setiap *user* mentransmisikan data menggunakan seluruh *subcarrier* yang dialokasikan secara *fixed* pada setiap *timeslot* dengan metode *round robin*. *Round robin* merupakan algoritma penjadwalan (*scheduling algorithm*) sederhana yang biasa digunakan dalam penjadwalan (*scheduling*) paket data di jaringan komputer. Prinsipnya adalah membagi-bagi data dalam setiap pemrosesan menjadi bagian-bagian yang sama besar dalam satuan waktu dan bersifat periodik tanpa adanya istilah prioritas (*priority term*).

OFDM-TDMA menghindari saling tumpang tindih antar *timeslot* dengan penentuan dan pengendalian waktu transmisi.



Gambar 2.14 OFDM-TDMA: Terdapat 6 *User (U)* dan Skema TDMA telah Memperbaiki Interval Waktu antar *Frame* dan *Packet Size* tiap *Frame*
(Sumber: Ergen, Mustafa. 2009)

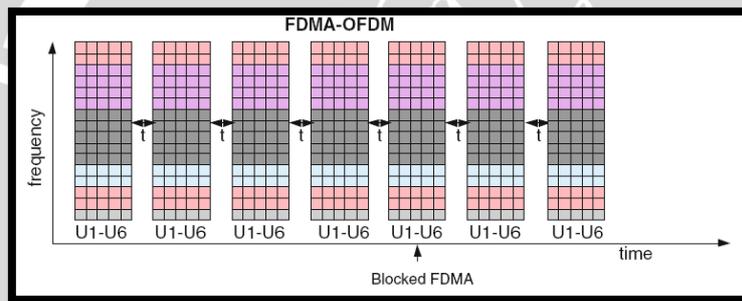
Di sisi lain, OFDM-TDMA memperbaiki ukuran paket (*packet size*) dengan modulasi yang tersedia. Sistem OFDM-TDMA cocok untuk sistem dengan *bit rate* konstan. Namun sebuah sistem berbasis paket umumnya membutuhkan lebih banyak fleksibilitas dalam pentransmisiannya dikarenakan ukuran paket yang bervariasi. Modulasi dalam hal ini diterapkan untuk keseluruhan *subcarrier*. Jika saluran (*channel*) yang digunakan oleh sebuah user pada suatu *timeslot* memiliki kualitas yang rendah baik dikarenakan besarnya nilai *bit error rate* (BER) pada modulasi tinggi ataupun modulasi rendah, maka pengalokasian dipilih dengan

menurunkan *bit rate* untuk menghasilkan kualitas kanal yang lebih baik. Jika tidak terdapat data yang ditransmisikan, maka bandwidth yang tersedia akan sia-sia.

b) Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)

Hampir serupa dengan OFDM-TDMA, OFDMA menciptakan sumber (*resource*) ortogonal dengan membagi-bagi *subcarrier* yang tersedia menjadi beberapa *fixed set*. Dimana setiap *set*-nya digunakan oleh seorang user seperti oada Gambar 2.15, alokasi yang *fixed* (tetap) tersebut tidak berubah terhadap waktu namun jumlah subcarrier di setiap user dapat berbeda-beda.

OFDMA memungkinkan lebih dari satu pengguna untuk menggunakan *subcarrier* dalam satu simbol OFDM secara bersama-sama. Dalam hal ini sebuah *subcarrier* dialokasikan kepada pengguna dengan SNR terbaik yang terlihat di tiap-tiap *subcarrier*. Penugasan *subcarrier* ini diimplementasikan di setiap permulaan dari *frame*



Gambar 2.15 OFDMA: Terdapat 6 User Skema Blok FDMA Memperbaiki Interval Waktu antar *Frame* (T) dan Memperbaiki Aokasi *Subcarrier*
(Sumber: Ergen, Mustafa. 2009)

2.6 Performansi sistem OFDM-TDMA dan OFDMA pada WiMAX

2.6.1 Alokasi Bit

Untuk alokasi bit, akan diadopsi metode modulasi adaptif nilai diskrit, yaitu pertama adalah membagi nilai SNR kedalam beberapa daerah yang tidak saling terhubung dan menentukan batasan dari $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4\}$ seperti ditunjukkan pada Gambar 2.30 hanya modulasi kuadrat M-QAM yang akan dipergunakan (4-,16-,64-, dan 256- QAM). Baik OFDM-TDMA maupun OFDMA menentukan nilai SNR untuk setiap area dan menentukan metode modulasi yang sesuai. Nilai dari batasan-batasan β dapat ditentukan dengan persamaan:

$$P_b = 0.2 \exp \left[\frac{3\beta}{2(M-1)} \right] \tag{2.4}$$

Dimana β adalah nilai SNR karena $M = 2^r$, nilai dari β yang diperlukan untuk mengirimkan r bit dengan nilai P_b adalah sama dengan

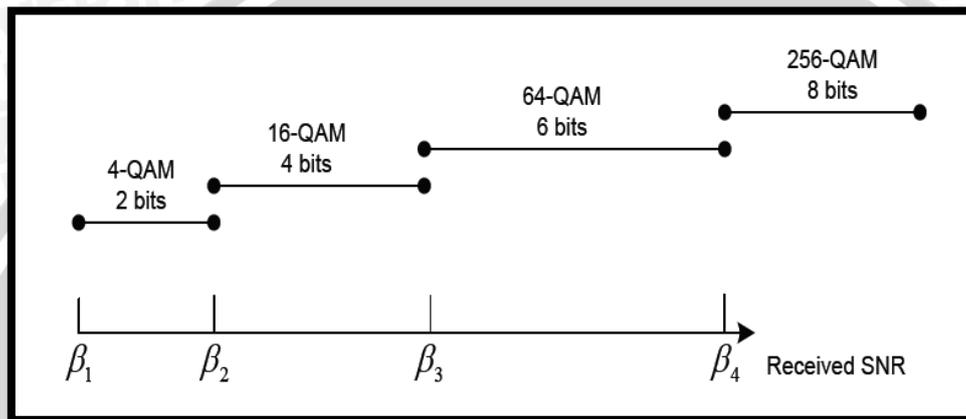
$$\beta = -\frac{2}{3}(\ln 5P_b)(2^r - 1) \tag{2.5}$$

dengan:

P_b = nilai *Bit Error Rate* (BER)..(taerget/yang diinginkan)

β = *signal to noise ratio* (SNR) (dB)

r = Jumlah *bit* yang digunakan dalam modulasi



Gambar 2.16 Batas Nilai SNR

(sumber: Chang Yu-Jung, Chien Feng-Tsun dan C. C. Jay Kuo. 2010)

2.6.2 Bit Rate

Bit rate adalah ukuran kecepatan bit suatu data dari satu tempat ke tempat lain yang biasanya diukur dengan waktu seperti Kbps (Kilobit per second), Mbps (Megabit per second) dan seterusnya (Ergen, Mustafa 2009)

- **OFDM-TDMA**

Unek nilai P_b dan β yang telah diberikan, kita dapat menentukan besaran *but rate* per *subcarrier* menggunakan persamaan (2.7): (sumber: Chang Yu-Jung, Chien Feng-Tsun dan C. C. Jay Kuo. 2010)

$$r(\beta) = \lg M(\beta) = \log_2 \left(1 + \frac{1.5}{-\ln 5P_b} \beta \right) \tag{2.6}$$

Dengan:

P_b = nilai *Bit Error Rate* (BER)..(taerget/yang diinginkan)

β = *signal to noise ratio* (SNR) (dB)

\log_2 = logaritma basis 2



Dengan mengalikan *bit rate* dengan perbandingan dari *subcarrier* dan waktu dari masing-masing *timeslot*, maka *total bit rate*:

$$\text{total bit rate (bits/sec)} = \frac{N_{FFT}}{T_s} \log_2 \left[1 + \frac{1.5}{-\ln 5P_b} \beta \right] \quad (2.7)$$

dengan:

- P_b = nilai *Bit Error Rate* (BER)
- β = *signal to noise ratio* (SNR) (dB)
- N_{FFT} = jumlah *subcarrier*
- T_s = OFDM *symbo time* (μ s)

• **OFDMA :**

Bit rate pada OFDMA dapat ditentukan dengan menggunakan cara yang sama dengan *bit rate* pada OFDM-TDMA. Namun pada OFDMA perlu diperhatikan faktor jumlah user (K) yang berada dalam sistem, dimana (berbeda dengan OFDM-TDMA) pada OFDMA sejumlah user dapat ditransmisikan dalam waktu yang bersamaan, dapat dituliskan melalui persamaan berikut: (sumber: Y.J. Chang, F.J. Chien, C.C. Jay-Kuo, 2010)

$$r(\beta) = \lg M(\beta) = \log_2 \left(1 + \frac{1.5}{-\ln 5P_b} \beta \left[\sum_{k=1}^K \frac{1}{k} \right] \right) \quad (2.8)$$

Dengan:

- P_b = nilai *Bit Error Rate* (BER)..(taerget/yang diinginkan)
- β = *signal to noise ratio* (SNR) (dB)
- \log_2 = logaritma basis 2
- K = Jumlah *User*

Dengan mengalikan *bit rate* dengan perbandingan dari *subcarrier* dan waktu dari masing-masing *timeslot*, maka *total bit rate*:

$$\text{total bit rate (bits/sec)} = \frac{N_{FFT}}{T_s} \log_2 \left[1 + \frac{1.5}{-\ln 5P_b} \beta \left[\sum_{k=1}^K \frac{1}{k} \right] \right] \quad (2.9)$$

dengan:

- P_b = nilai *Bit Error Rate* (BER)
- β = *signal to noise ratio* (SNR) (dB)
- N_{FFT} = jumlah *subcarrier*
- T_s = OFDM *symbo time* (μ s)
- K = Jumlah *User*

2.6.3 Bit Error Rate (BER)

BER (*bit error rate*) atau dengan sebutan lain probabilitas *bit error* merupakan nilai ukur kualitas sinyal yang diterima untuk sistem transmisi data digital. BER juga dapat didefinisikan sebagai perbandingan jumlah *bit error* terhadap total bit yang diterima.

BER juga dipengaruhi oleh *signal to noise ratio* (SNR). BER pada sistem dapat ditulis (Ergen, Mustafa 2009)

- **OFDM-TDMA**

Persamaan *bit error rate* untuk OFDM-TDMA dapat dituliskan sebagai berikut: (Chang Yu-Jung, Chien Feng-Tsun dan C. C. Jay Kuo. 2010)

$$\text{total bit rate (bits/sec)} = \frac{N_{FFT}}{T_s} \log_2 \left[1 + \frac{1.5}{-\ln 5 P_b} \beta \right] \quad (2.10)$$

dengan:

- P_b = nilai *Bit Error Rate* (BER)
- β = *signal to noise ratio* (SNR) (dB)
- N_{FFT} = jumlah *subcarrier*
- T_s = OFDM *symbo time* (μs)

kemudian dengan memisalkan $x = \frac{\text{total bit rate}}{\frac{N_{FFT}}{T_s}}$ dimana, $x = \log_2 \left[1 + \frac{1.5}{-\ln 5 P_b} \beta \right]$ maka,

$$\text{BER} = P_b = \frac{e^{-\left[\frac{1.5}{2^x - 1} \beta\right]}}{5} \quad (2.11)$$

dengan:

- P_b = nilai *Bit Error Rate* (BER)
- γ_0 = *average signal to noise ratio* (SNR) (dB)
- N_{FFT} = jumlah *subcarrier*
- T_s = OFDM *symbo time* (μs)

- **OFDMA**

Persamaan *bit error rate* untuk OFDMA dapat dituliskan sebagai berikut: (Chang Yu-Jung, Chien Feng-Tsun dan C. C. Jay Kuo. 2010)

$$\text{total bit rate (bits/sec)} = \frac{N_{FFT}}{T_s} \log_2 \left[1 + \frac{1.5}{\ln 5 P_b} \beta \left[\sum_{k=1}^K \frac{1}{k} \right] \right] \quad (2.12)$$

dengan:

- P_b = nilai *Bit Error Rate* (BER)
- β = *signal to noise ratio* (SNR) (dB)
- N_{FFT} = jumlah *subcarrier*
- T_s = OFDM *symbo time* (μs)
- K = Jumlah *User*

kemudian dengan memisalkan $x = \frac{\text{total bit rate}}{\frac{N_{FFT}}{T_s}}$ dimana,

$$x = \log_2 \left[1 + \frac{1.5}{\ln 5 P_b} \beta \left[\sum_{k=1}^K \frac{1}{k} \right] \right] \text{ maka,}$$

$$BER = P_b = \frac{e^{-\left[\frac{1.5}{2^x - 1} \beta \right] \left[\sum_{k=1}^K \frac{1}{k} \right]}}{5} \quad (2.13)$$

dengan:

P_b = nilai *Bit Error Rate* (BER)..

β = *average signal to noise ratio* (SNR) (dB)

N_{FFT} = jumlah *subcarrier*

T_s = *t OFDM symbol time* (μ s)

K = Jumlah User

2.7 Kelebihan dan kelemahan OFDMA Terhadap OFDM-TDMA

2.7.1 Kelebihan

OFDMA pada dasarnya adalah gabungan dari FDMA dan TDMA: pengguna secara dinamis dialokasikan *subcarrier* (FDMA) pada slot waktu yang berbeda (TDMA). Kelebihan dari OFDMA dalam hal ketahanan terhadap pengendalian *multipath* dan diversitas dari frekuensi. Sebagai tambahan, OFDMA adalah sebuah teknik akses jamak fleksibel yang bisa mengakomodasi beragam aplikasi yang luas, data rate, dan ketentuan QoS. Karena sistem akses jamak ini diterapkan pada domain digital, sebelum operasi IFFT, alokasi *bandwidth* yang dinamis dan efisien dapat dimungkinkan. Hal ini memungkinkan penerapan algoritma penjadwalan terhadap domain frekuensi dan waktu.

Pada OFDMA, *Base Station* (BS) mengalokasikan sebagian kecil dari *subcarrier* untuk diberikan kepada pengguna-pengguna yang berbeda. Satu kelebihan utama OFDMA dari OFDM-TDMA adalah kemampuannya menyesuaikan daya transmit yang keluar dan meregangkan masalah *Peak-to-Average-Power Ratio* (PAPR). Masalah PAPR ini khususnya besar di *uplink*, dimana besarnya efisiensi daya dan biaya dari *power amplifier* adalah merupakan besaran yang sensitif. Dengan membagi seluruh *bandwidth* diantara MS pada sel, dengan masing-masing MS hanya menggunakan sebagian kecil dari subcarrier. Karena itu, setiap MS mengirim data dengan PAPR yang lebih kecil, dengan anggapan bahwa PAPR meningkat dengan jumlah dari subcarrier, dan dengan total daya yang jauh lebih rendah jika

dibandingkan pengiriman dengan menggunakan seluruh *bandwidth*. Gambar 2.18 adalah gambar perbandingan nilai daya antara pengguna tunggal OFDM-TDMA dengan OFDMA. OFDM-TDMA dengan 256 *subcarrier* dan OFDMA dengan 64 *subcarrier*. Total daya yang digunakan sama, namun pada OFDMA dimungkinkan daya puncak yang lebih rendah

Pada OFDMA data rate yang lebih rendah dan data yang lebih pendek dapat dikendalikan dengan efisiensi yang lebih tinggi jika dibandingkan sistem OFDM-TDMA satu user, karena OFDMA memungkinkan *data rate* yang sama dikirimkan dengan periode waktu yang lebih panjang namun total daya yang lebih rendah.

2.7.2 Kelemahan

OFDMA bukanlah sistem tanpa kelemahan, adapun kelemahan sistem ini antara lain:

1. *Carrier frequency offset* (CFO)

Sistem OFDMA memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap CFO yang disebabkan oleh *jitter* pada gelombang pembawa dan juga terhadap efek Doppler yang disebabkan oleh pergerakan stasiun pengirim atau penerima.

2. *Distorsi nonlinear*

Teknologi OFDMA menggunakan sistem *multi*-frekuensi dan *multi*-amplitudo, sehingga sistem ini mudah terkontaminasi oleh *distorsi nonlinear* yang terjadi pada penguat dari daya transmisi.

3. Sinkronisasi sinyal

Pada stasiun penerima, menentukan *start point* untuk memulai operasi *Fast Fourier Transform* (FFT) ketika sinyal OFDMA tiba di stasiun penerima adalah relatif sulit. Dengan kata lain, sinkronisasi sinyal OFDMA adalah sulit.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Kajian yang digunakan dalam skripsi ini adalah kajian yang bersifat analisis, yaitu analisis perhitungan *bit-rate* dan *Bit Error Rate* (BER) antara OFDM-TDMA dan OFDMA pada IEEE 802.16 *QoS framework* yang mengacu pada studi literatur. Tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan skripsi ini, yaitu menganalisis dan memberikan perbandingan performansi QoS framework antara sistem OFDM-TDMA dan OFDMA pada IEEE 802.16 melalui parameter *bit rate* dan *Bit Error Rate* (BER).

Metodologi yang digunakan pada skripsi ini meliputi :

1. Studi Literatur
2. Pengambilan Data
3. Perhitungan dan Analisa Data
4. Pengambilan Kesimpulan

3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari dan memahami konsep yang terkait dengan faktor-faktor yang mempengaruhi analisis *bit rate* dan *Bit Error Rate* (BER) antara OFDM-TDMA dan OFDMA pada jaringan IEEE 802.16 *QoS framework*. Studi literatur yang dilakukan adalah mengenai karakteristik, parameter, serta teori pengantar lain yang menunjang dalam penulisan skripsi ini.

3.2 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan untuk memperoleh data – data yang diperlukan dalam menyelesaikan skripsi ini. Data-data yang diperlukan dalam kajian ini terdiri dari data sekunder yang bersumber dari buku referensi, jurnal, skripsi, internet, dan forum-forum resmi WiMAX dan OFDM. Data sekunder yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini antara lain sebagai berikut :

- a. Konsep dasar IEEE 802.16 *QoS framework* /WiMAX,
- b. Konsep dasar OFDM-TDMA dan OFDMA
- c. Parameter OFDM-TDMA dan OFDMA pada teknologi WiMAX
 - Alokasi Bit
 - *Bit Rate*
 - *Bit Error Rate* (BER)

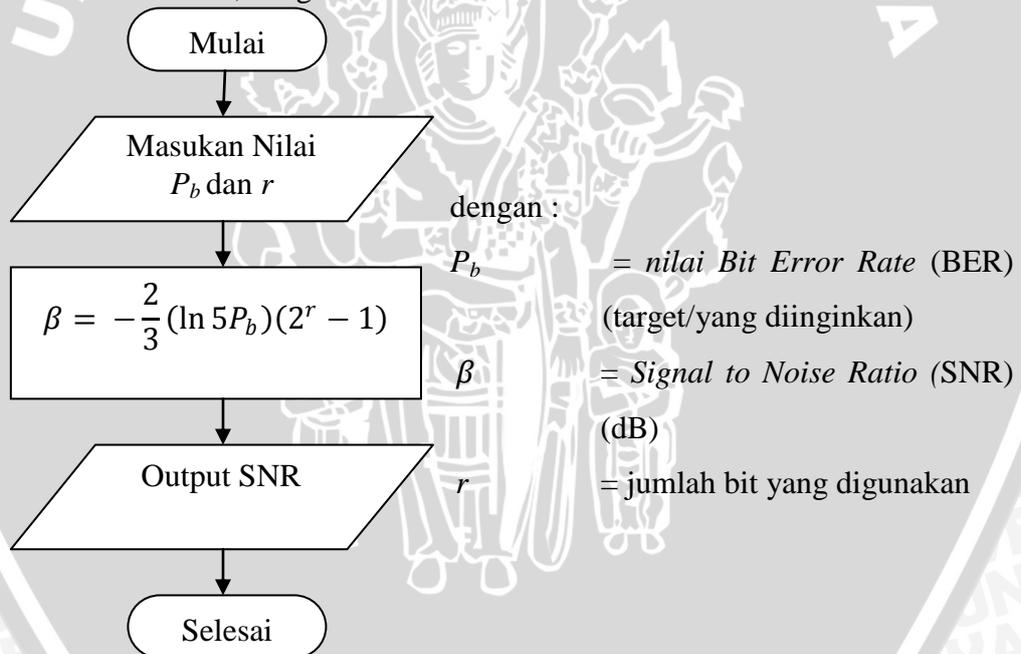
3.3 Perhitungan Dan Analisis Data

Metode perhitungan dan analisis data yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini adalah mengumpulkan beberapa nilai parameter dari data sekunder. Parameter-parameter yang diperoleh digunakan untuk analisis berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan sebelumnya. Perhitungan dalam skripsi ini menggunakan *software* Scilab 5.4.0. Perhitungan dan analisis data yang dilakukan dalam skripsi ini meliputi performansi sebagai berikut:

1. Analisis alokasi bit
2. Analisis *bit rate* OFDM-TDMA Modulasi 16-QAM dan 64-QAM
3. Analisis *bit rate* OFDMA Modulasi 16-QAM dan 64-QAM
4. Analisis *Bit Error Rate* (BER) OFDM-TDMA Modulasi 16-QAM dan 64-QAM
5. Analisis *Bit Error Rate* (BER) OFDMA Modulasi 16-QAM dan 64-QAM

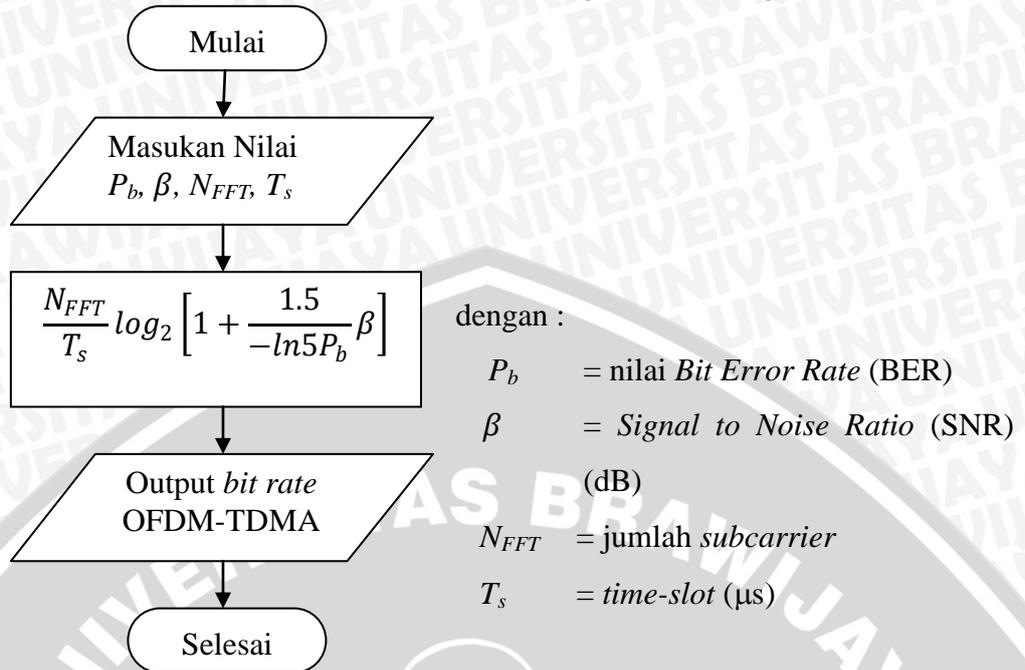
Berikut langkah-langkah perhitungan untuk mendapatkan performansi-performansi yang diinginkan :

1. Analisis Alokasi Bit, dengan cara:



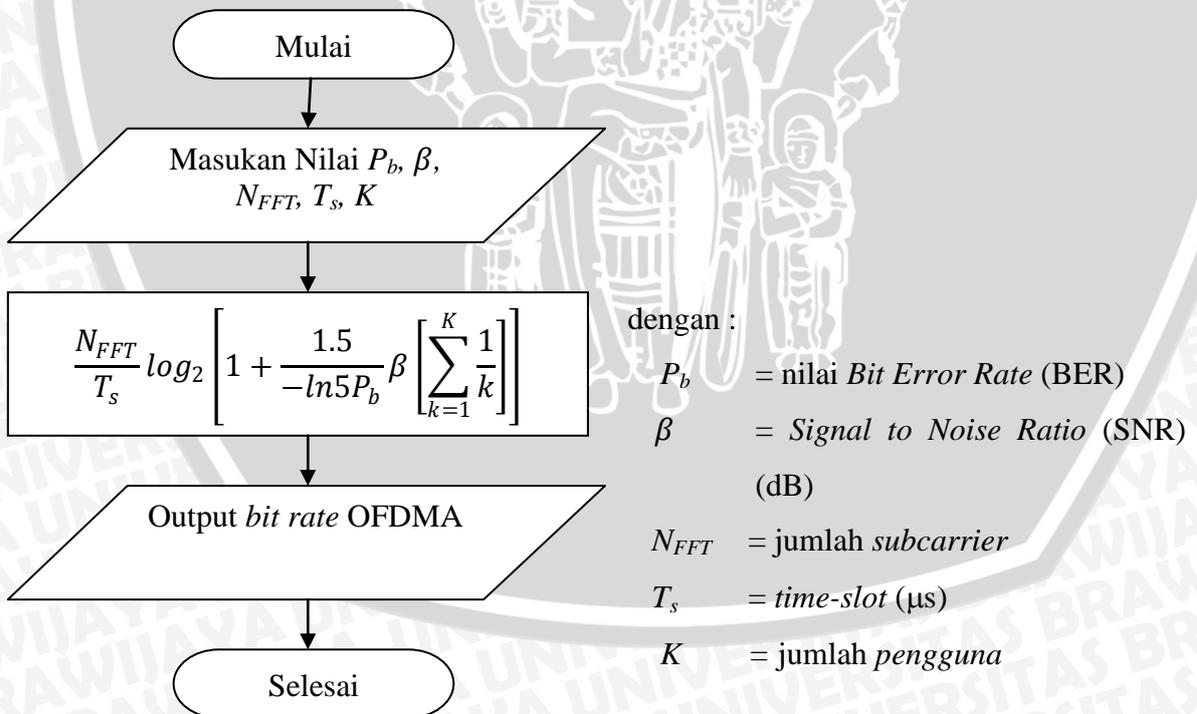
Gambar 3.1. Flowchart Menentukan Alokasi Bit

2. Analisis *bit rate* OFDM-TDMA Modulasi 16-QAM dan 64-QAM,



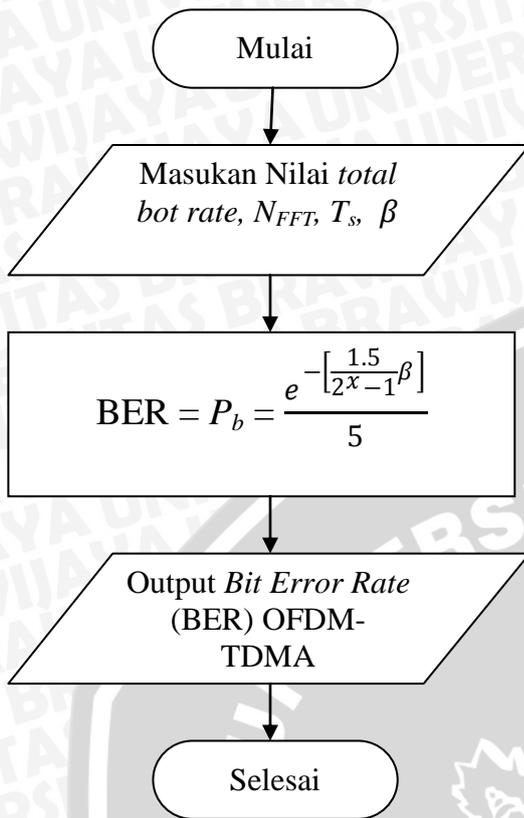
Gambar 3.2. Flowchart Menentukan *Bit Rate* OFDM-TDMA

3. Analisis *bit rate* OFDMA Modulasi 16-QAM dan 64-QAM



Gambar 3.3. Flowchart menentukan *bit rate* OFDMA

4. Analisis *Bit Error Rate* (BER) OFDM-TDMA Modulasi 16-QAM dan 64-QAM



dengan :

P_b = nilai *Bit Error Rate* (BER)

β = *Signal to Noise Ratio* (SNR) (dB)

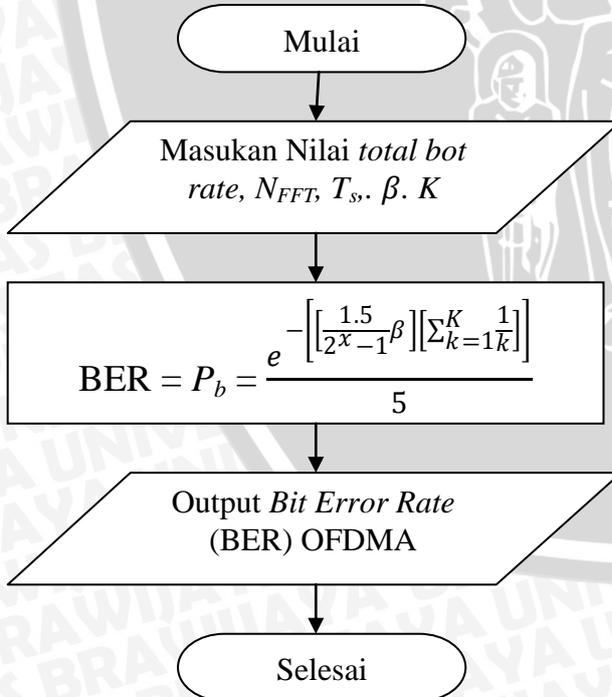
N_{FFT} = jumlah *subcarrier*

T_s = *time-slot* (μs)

x = $\frac{\text{total bit rate}}{N_{FFT}} T_s$

Gambar 3.4. Flowchart Menentukan *Bit Error Rate* (BER) OFDM-TDMA

5. Analisis *Bit Error Rate* (BER) OFDMA Modulasi 16-QAM dan 64-QAM



dengan :

P_b = nilai *Bit Error Rate* (BER)

β = *Signal to Noise Ratio* (SNR) (dB)

N_{FFT} = jumlah *subcarrier*

T_s = *time-slot* (μs)

K = jumlah *pengguna*

x = $\frac{\text{total bit rate}}{N_{FFT}} T_s$

Gambar 3.5. Flowchart menentukan *Bit Error Rate* (BER) OFDMA

3.4 Metode Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Pada tahapan ini dilakukan pengambilan kesimpulan berdasarkan dari teori, hasil simulasi serta analisis. Dan juga dilakukan pemberian saran yang dimaksudkan kepada pembaca yang akan melakukan studi tentang skripsi ini, ataupun sebagai pendukung dari penelitiannya.



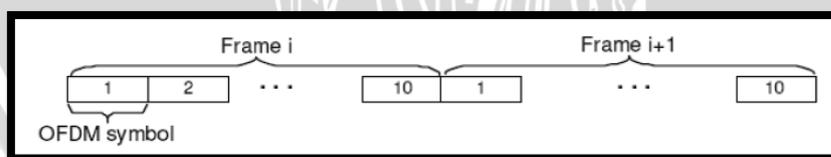
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Analisis performansi *Quality of Service (QoS) framework* antara OFDM-TDMA dan OFDMA pada IEEE 802.16 (WiMAX) yang dilakukan pada bab ini berdasarkan pada teori dan persamaan yang terdapat pada Bab II. Performansi *Quality of Service (QoS) framework* pada IEEE 802.16 dengan menggunakan teknik multi akses OFDM-TDMA dan OFDMA didapatkan melalui beberapa perhitungan yang meliputi alokasi bit, perhitungan *bit rate* baik dengan menggunakan teknik OFDM-TDMA maupun OFDMA, perhitungan *bit error rate (BER)* menggunakan teknik OFDM-TDMA dan OFDMA. Dalam perhitungan *bit rate* dan *bit error rate* menggunakan dua skema modulasi yang digunakan pada jaringan WiMAX yaitu 16-QAM dan 64-QAM. Hasil analisis akan disimulasikan dengan menggunakan program SciLab 5.4.0. Perbandingan dari hasil perhitungan performansi *Quality of Service (QoS) framework* pada IEEE 802.16 menggunakan kedua teknik multi akses dan kedua jenis modulasi tersebut merupakan hasil yang ingin dicapai dalam penelitian skripsi ini.

4.1.1 Penugasan *Subcarrier (Subcarrier Assignment)*

TDMA dan FDMA merupakan teknik multi akses dari OFDM yang melaksanakan akses jamak dengan masing-masing berdasarkan domain waktu dan domain frekuensi. OFDM-TDMA mengalokasikan simbol OFDM (*OFDM symbol*) kepada pengguna (*user*). Disini diasumsikan terdapat banyak *frame* dengan masing-masing frame terdiri dari beberapa simbol OFDM seperti diperlihatkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Contoh Sebuah *Frame* yang terdiri dari 10 Simbol OFDM
(sumber: Chang Yu-Jung, Chien Feng-Tsun dan C. C. Jay Kuo. 2010)

Kanal diasumsikan mendekati statis (*quasy static*), dalam pengertian, kondisi kanal bervariasi diantara frame namun tetap sama dalam satu frame. Dengan struktur *frame* ini, kita membandingkan dua sistem multi akses yaitu OFDM-TDMA dan OFDMA.

Pada OFDM-TDMA *frame-frame* dialokasikan kepada pengguna dengan metode *round-robin* dimana tiap *frame*-nya dialokasikan kepada pengguna dengan *channel gain*

yang paling baik. Pengguna yang terpilih dialokasikan semua *subcarrier* secara eksklusif untuk semua simbol OFDM dalam satu frame.

Lain halnya dengan OFDMA yang memungkinkan lebih dari satu pengguna untuk menggunakan *subcarrier* dalam satu simbol OFDM secara bersama-sama. Dalam hal ini *subcarrier* dialokasikan kepada pengguna dengan SNR terbaik. Penugasan *subcarrier* ini diimplementasikan di setiap permulaan dari *frame*.

4.2 Analisis Performansi *Quality of Service (QoS) framework* antara OFDM-TDMA dan OFDMA pada IEEE 802.16

Dalam subbab ini akan dibahas performansi *QoS framework* pada IEEE 802.16 dengan OFDM-TDMA dan OFDMA sebagai teknik multi akses yang digunakan dan 16-QAM serta 64-QAM sebagai skema modulasi. Analisis akan mencakup alokasi bit, *bit rate* OFDM-TDMA, *bit rate* OFDMA, *bit error rate (BER)* OFDM-TDMA dan *bit error rate (BER)* OFDMA.

Pada sistem multi akses, alokasi sumber daya (*source allocation*) pada lapisan fisik (*Physical Layer*) dapat dilaksanakan dengan penugasan *subcarrier (subcarrier assignment)* dan alokasi *bit (bit allocation)*. Dalam hal ini sistem bisa atau tidak bisa memiliki fleksibilitas dalam penugasan *subcarrier* kepada pengguna (*user*) dilihat berdasarkan kondisi dari kanal. Lebih jauh, jika teknik modulasi adaptif diterapkan, jumlah dari bit yang diisi kepada *subcarrier* bisa ditentukan secara dinamis. Prinsip utama dari modulasi adaptif yaitu untuk mengimplementasikan skema modulasi tingkat tinggi pada *subcarrier* dengan nilai *Signal to Noise Ratio (SNR)* yang tinggi dan begitu pula sebaliknya. Dengan menggunakan modulasi adaptif, performansi dari sistem yang menggunakan OFDM-TDMA dan OFDMA dapat ditingkatkan secara signifikan.

4.2.1 Analisis Alokasi Bit pada Modulasi Adaptif

Pengalokasian bit digunakan metode modulasi adaptif, dengan cara, pertama, membagi-bagi nilai SNR menjadi beberapa bagian dengan penentuan batas-batasnya berupa $\vec{\beta} = (\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4)$. Hanya modulasi *square M-QAM* (4-, 16-, 64- dan 256-QAM) yang dihitung dalam analisis ini. Melalui analisis tersebut kemudian dapat ditentukan metode modulasi yang tepat berdasarkan nilai *Signal to Noise Ratio (SNR)* yang diterima baik untuk OFDM-TDMA maupun OFDMA.

Pada pengujian yang telah dilakukan sebelumnya menunjukkan bahwa OFDMA dengan penugasan *subcarrier* yang ideal (*subcarrier* dialokasikan pada pengguna dengan SNR terbaik) dan skema alokasi bit adaptif memiliki *Signal to Noise Ratio* (SNR) lebih baik sebesar 7 dB dibandingkan OFDM-TDMA pada nilai *Bit Error Rate* (BER) 10^{-3} . (H Rohling dan R. Grunheid, 1997).

Kemudian dengan memasukkan

$$P_b = 10^{-3} \text{ [target Bit Error Rate (BER)],}$$

$$r = \{2,4,6,8\} \text{ (jumlah bit),}$$

ke dalam persamaan (2.5) maka akan didapat skema modulasi dengan batasan SNR sebagai berikut (sebagai catatan bahwa hasil dari skema modulasi akan menggaransi nilai BER tidak lebih dari 10^{-3}).

M-QAM dengan $M = 2^r$, maka:

Untuk,

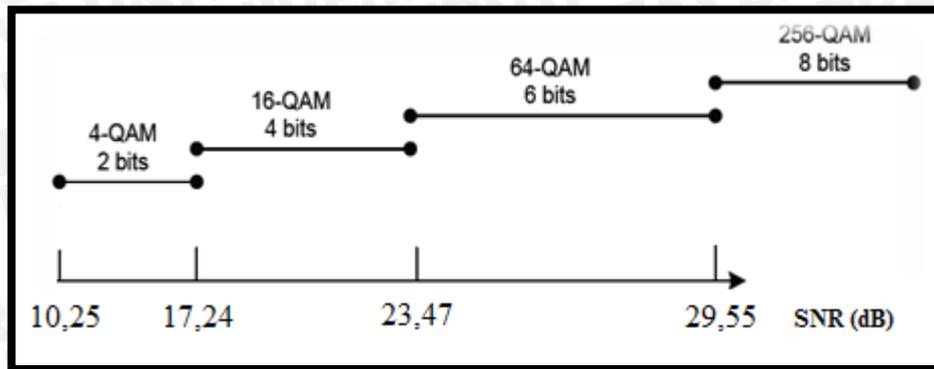
$$\begin{aligned} r = 2, \quad \text{SNR} = \beta &= -\frac{2}{3}(\ln 5P_b)(2^r - 1) \\ &= -\frac{2}{3}(\ln 5 \cdot 10^{-3})(2^2 - 1) \\ &= 10,60 \approx 10,25 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r = 4, \quad \text{SNR} = \beta &= -\frac{2}{3}(\ln 5P_b)(2^r - 1) \\ &= -\frac{2}{3}(\ln 5 \cdot 10^{-3})(2^4 - 1) \\ &= 52,98 \approx 17,24 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r = 6, \quad \text{SNR} = \beta &= -\frac{2}{3}(\ln 5P_b)(2^r - 1) \\ &= -\frac{2}{3}(\ln 5 \cdot 10^{-3})(2^6 - 1) \\ &= 222,53 \approx 23,47 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r = 8 \quad \text{SNR} = \beta &= -\frac{2}{3}(\ln 5P_b)(2^r - 1) \\ &= -\frac{2}{3}(\ln 5 \cdot 10^{-3})(2^6 - 1) \\ &= 900,71 \approx 29,55 \text{ dB} \end{aligned}$$

Melalui data-data yang diperoleh, skema modulasi adaptif sebagai fungsi dari nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) seperti pada Gambar 4.2 berikut:



Gambar 4.2 Skema Modulasi Adaptif sebagai Fungsi SNR

Gambar 4.2 menggambarkan pilihan skema modulasi adaptif pada jaringan WiMAX (IEEE 802.16) dimana nilai SNR akan mempengaruhi pemilihan skema modulasi yang tepat dan juga akan menentukan kualitas layanan (*Quality of Service*) jaringan tersebut. Untuk skema modulasi 4-QAM, digunakan pada saat nilai SNR berada diantara 10,25 sampai 17,24 dB, sedangkan untuk nilai SNR yang lebih tinggi yaitu antara 17,24 sampai 23,47 dB maka digunakan modulasi yang lebih tinggi dengan jumlah alokasi bit yang lebih banyak yaitu 16-QAM dan begitu seterusnya seperti pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Perbandingan jumlah alokasi bit terhadap nilai SNR untuk target BER= 10^{-3}

| Modulasi | Jumlah Bit | SNR (dB) |
|----------|------------|----------------------------|
| 4-QAM | 2 | $10,25 \leq \beta < 17,24$ |
| 16QAM | 4 | $17,24 \leq \beta < 23,47$ |
| 64-QAM | 6 | $23,47 \leq \beta < 29,55$ |
| 256-QAM | 8 | $\beta \geq 29,55$ |

4.2.2 Analisis *Bit Rate* OFDM-TDMA dan OFDMA Modulasi 16-QAM pada IEEE 802.16 (WiMAX)

Skema modulasi 16-QAM dan 64-QAM merupakan dua skema modulasi tertinggi yang dihunakan dalam teknologi WiMAX. Pemilihan skema modulasi yang tepat akan dipengaruhi oleh nilai SNR sesuai dengan prinsip dari modulasi adaptif

Baik pada sistem OFDM-TDMA maupun OFDMA, laju data yang tinggi akan dibagi ke dalam beberapa *subcarrier* untuk kemudian dialirkan secara paralel dengan nilai laju data yang lebih rendah.

Menggunakan kedua skema modulasi tersebut kemampuan sistem dalam mentransmisikan bit sebuah data dari satu titik (*point*) ke titik yang lain (*another point*) dapat dianalisis menggunakan persamaan (2.6) dan (2.7). Dengan target BER $P_b = 10^{-3}$ dan parameter performansi seperti ditunjukkan Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Parameter OFDM-TDMA dan OFDMA

| | |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| OFDM <i>symbol time</i> (T_s) | 100.8 μ s |
| <i>Useful symbol time</i> (T_b) | 89.6 μ s |
| <i>Guard time</i> (T_g) | 11.2 μ s |
| <i>FFT size</i> (N_{FFT}) | 512 |
| <i>Sample time</i> (T) | 175 ns (= 89.6 μ s/512) |

(sumber: WIMAX Forum, 2006)

4.2.2.1 Bit Rate OFDM-TDMA Modulasi 16-QAM

Dalam skema modulasi 16-QAM, bit yang dialokasikan untuk setiap simbol OFDM sebanyak 4 bit/simbol OFDM $M = 2^4 = 16$. Maka *range* SNR yang digunakan yaitu $17,24 \leq \beta < 23,47$ dB. Dengan memasukkan parameter-parameter tersebut ke dalam persamaan (2.6), maka didapat *bit rate* OFDM-TDMA.

Untuk SNR = 17,24 dB,

$$\begin{aligned} r(\beta) &= \log_2 \left(1 + \frac{1.5}{-\ln 5 P_b} \beta \right) \\ &= \log_2 \left(1 + \frac{1.5}{-\ln 510^{-3}} 17,24 \right) \\ &= 4 \text{ bits/subcarrier} \end{aligned}$$

Kemudian total *bit rate* (*bits/second*) didapatkan dengan mengalikan *bit rate* (*bits/subcarrier*) dengan jumlah *subcarrier* (N_{FFT}) per *symbol time* (T_s) seperti pada persamaan (2.7).

$$\begin{aligned} \text{total bit rate (bits/sec)} &= \frac{N_{FFT}}{T_s} r(\beta) \\ &= \frac{N_{FFT}}{T_s} \log_2 \left[1 + \frac{1.5}{-\ln 5 P_b} \beta \right] \\ &= \frac{512}{100,8 \times 10^{-6}} \log_2 \left[1 + \frac{1.5}{-\ln 510^{-3}} 17,24 \right] \\ &= 2,02 \times 10^7 \text{ bits/sec} \end{aligned}$$

Menggunakan cara yang sama untuk nilai SNR = 17,24; 17,78; 19,03; 20; 20,79, 21,46; 22,04; 22,55; 23,01 dan 23,46 dB . Sehingga total *bit rate* pada OFDM-TDMA dengan modulasi 16-QAM adalah sebagai berikut:

Tabel 4.3 Total *Bit Rate* OFDM-TDMA modulasi 16-QAM

| SNR (dB) | Total <i>Bit Rate</i> (bits/sec) |
|----------|----------------------------------|
| 17,24 | $2,02 \times 10^7$ |
| 17,78 | $2,12 \times 10^7$ |
| 19,03 | $2,31 \times 10^7$ |
| 20 | $2,48 \times 10^7$ |
| 20,79 | $2,60 \times 10^7$ |
| 21,46 | $2,71 \times 10^7$ |
| 22,04 | $2,80 \times 10^7$ |
| 22,55 | $2,89 \times 10^7$ |
| 23,01 | $2,96 \times 10^7$ |
| 23,46 | $3,06 \times 10^7$ |

Melalui Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa semakin besar nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) maka semakin besar pula nilai bit rate. Gambar 4.3 di bawah menggambarkan grafik nilai *bit rate* OFDM-TDMA terhadap SNR.

4.2.2.2 *Bit Rate* OFDMA Modulasi 16-QAM

Pada OFDMA dimungkinkan adanya penggunaan *subcarrier* secara bersama-sama oleh lebih dari satu pelanggan. Oleh karena itu jumlah pelanggan (K) akan memberi pengaruh pada performansi sistem ini. Karena konsep dari multi akses dari OFDMA, jumlah pelanggan yang akan diperhitungkan adalah jumlah minimal dari definisi multi itu sendiri ($K > 1$) yaitu 2 pelanggan (*user*). Dengan:

$$P_b = 10^{-3} \text{ (target BER)}$$

$$\text{SNR} = 17,24 \leq \beta < 23,47 \text{ dB}$$

Mewgunakan persamaan (2.8), didapatkan *bit rate* sebesar:

Untuk SNR = 17,24 dB

$$\begin{aligned} r(\beta) &= \log_2 \left(1 + \frac{1.5}{-\ln 5 P_b} \beta \left[\sum_{k=1}^K \frac{1}{k} \right] \right) \\ &= \log_2 \left(1 + \frac{1.5}{-\ln 5 \cdot 10^{-3}} 17,24 \left[\frac{1}{1} + \frac{1}{2} \right] \right) \\ &= 4,58 \text{ bits/subcarrier} \end{aligned}$$

Kemudian total *bit rate* (*bits/second*) didapatkan dengan mengalikan *bit rate* (*bits/subcarrier*) dengan jumlah subcarrier (N_{FFT}) per *symbol time* (T_s) seperti pada persamaan (2.9).

$$\begin{aligned} \text{total bit rate (bits/sec)} &= \frac{N_{FFT}}{T_s} r(\beta) \\ &= \frac{N_{FFT}}{T_s} \log_2 \left[1 + \frac{1.5}{-\ln 5 P_b} \beta \left[\sum_{k=1}^K \frac{1}{k} \right] \right] \\ &= \frac{512}{100,8 \times 10^{-6}} \log_2 \left[1 + \frac{1.5}{-\ln 5 10^{-3}} 17,24 \left[\frac{1}{1} + \frac{1}{2} \right] \right] \\ &= 2,31 \times 10^7 \text{ bits/sec} \end{aligned}$$

Menggunakan cara yang sama untuk nilai SNR = 17,24; 17,78; 19,03; 20; 20,79; 21,46; 22,04; 22,55; 23,01 dan 23,46 dB. Sehingga total *bit rate* pada OFDMA dengan modulasi 16-QAM adalah sebagai berikut:

Tabel 4.4 Total *Bit Rate* OFDMA modulasi 16-QAM

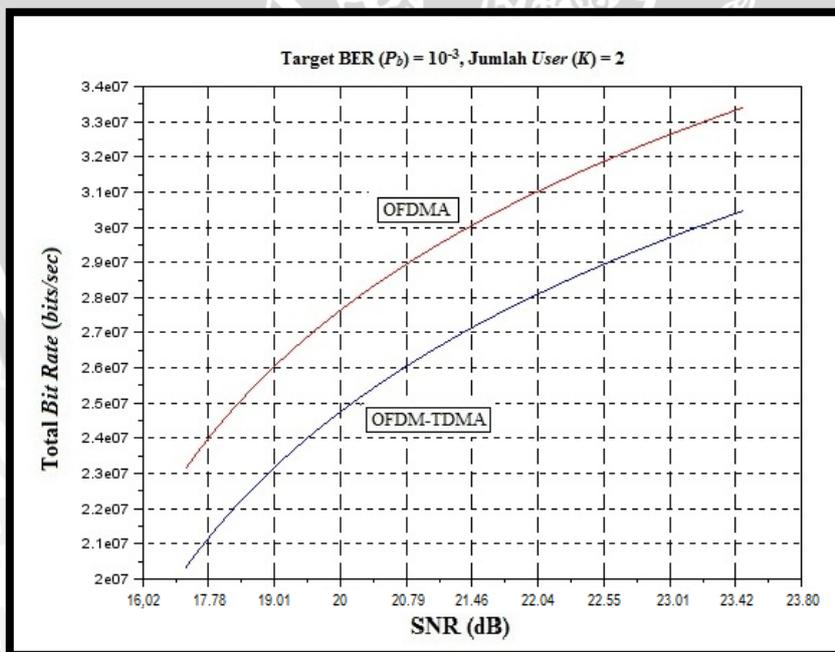
| SNR (dB) | Total <i>Bit Rate</i> (<i>bits/sec</i>) |
|----------|---|
| 17,24 | $2,31 \times 10^7$ |
| 17,78 | $2,41 \times 10^7$ |
| 19,03 | $2,60 \times 10^7$ |
| 20 | $2,75 \times 10^7$ |
| 20,79 | $2,90 \times 10^7$ |
| 21,46 | $3,03 \times 10^7$ |
| 22,04 | $3,10 \times 10^7$ |
| 22,55 | $3,17 \times 10^7$ |
| 23,01 | $3,25 \times 10^7$ |
| 23,46 | $3,34 \times 10^7$ |

Dari Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 dapat ditarik kesimpulan bahwa dengan modulasi 16-QAM, baik pada OFDM-TDMA maupun OFDMA semakin besar nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) maka semakin besar *bit rate* dan berlaku pula sebaliknya. Berdasarkan pengujian yang dilakukan H. Rohling dan R. Grunheid, OFDMA memiliki SNR yang lebih baik sebesar 7 dB pada nilai *Bit Error Rate* 10^{-3} . Oleh karena itu, perhitungan bit rate antara kedua sistem *multicarrier* akan menggaransi BER tidak lebih dari target sebesar 10^{-3} . Pada nilai SNR terbesar yang diujikan dengan modulasi 16-QAM yaitu 23,46, OFDMA menunjukkan nilai

bit rate yang lebih besar yaitu $3,33 \times 10^7$ *bits/second* dibandingkan dengan OFDM-TDMA dengan nilai *bit rate* sebesar $3,02 \times 10^7$ *bits/second*. Perbandingan keduanya ditunjukkan pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.3

Tabel 4.5 Perbandingan Total *Bit Rate* OFDM-TDMA dan OFDMA pada Modulasi 16-QAM

| SNR (dB) | Total <i>Bit Rate</i> (bits/sec) | |
|----------|----------------------------------|--------------------|
| | OFDM-TDMA | OFDMA |
| 17,24 | $2,02 \times 10^7$ | $2,31 \times 10^7$ |
| 17,78 | $2,12 \times 10^7$ | $2,41 \times 10^7$ |
| 19,03 | $2,31 \times 10^7$ | $2,60 \times 10^7$ |
| 20 | $2,48 \times 10^7$ | $2,75 \times 10^7$ |
| 20,79 | $2,60 \times 10^7$ | $2,90 \times 10^7$ |
| 21,46 | $2,71 \times 10^7$ | $3,03 \times 10^7$ |
| 22,04 | $2,80 \times 10^7$ | $3,10 \times 10^7$ |
| 22,55 | $2,89 \times 10^7$ | $3,17 \times 10^7$ |
| 23,01 | $2,96 \times 10^7$ | $3,25 \times 10^7$ |
| 23,46 | $3,06 \times 10^7$ | $3,34 \times 10^7$ |



Gambar 4.3 Perbandingan *Bit Rate* antara OFDM-TDMA dan OFDMA dengan modulasi 16-QAM

4.2.3 Analisis Bit Rate OFDM-TDMA dan OFDMA Modulasi 64-QAM pada IEEE 802.16 (WiMAX)

4.2.3.1 Bit Rate OFDM-TDMA Modulasi 64-QAM

Dalam skema modulasi 64-QAM, bit yang dialokasikan untuk setiap simbol OFDM sebanyak 6 bit/symbol OFDM $M = 2^6 = 64$. Maka range SNR yang digunakan yaitu $23,47 \leq \beta < 29,55$ dB Dengan memasukkan parameter-parameter tersebut ka dalam persamaan (2.6), maka didapat *bit rate* OFDM-TDMA.

Untuk SNR = 23,47 dB,

$$\begin{aligned} r(\beta) &= \log_2 \left(1 + \frac{1.5}{-\ln 5P_b} \beta \right) \\ &= \log_2 \left(1 + \frac{1.5}{-\ln 510^{-3}} 23,47 \right) \\ &= 6 \text{ bits/subcarrier} \end{aligned}$$

Kemudian total *bit rate (bits/second)* didapatkan dengan mengalikan *bit rate (bits/subcarrier)* dengan jumlah subcarrier (N_{FFT}) per *symbol time* (T_s) seperti pada persamaan (2.7).

$$\begin{aligned} \text{total bit rate (bits/sec)} &= \frac{N_{FFT}}{T_s} r(\beta) \\ &= \frac{N_{FFT}}{T_s} \log_2 \left[1 + \frac{1.5}{-\ln 5P_b} \beta \right] \\ &= \frac{512}{100,8 \times 10^{-6}} \log_2 \left[1 + \frac{1.5}{-\ln 510^{-3}} 23,47 \right] \\ &= 3,05 \times 10^7 \text{ bits/sec} \end{aligned}$$

Menggunakan cara yang sama untuk nilai SNR 23,47; 23,98; 24,77; 25,44; 26,02; 26,53; 26,99; 27,40; 27,78; 28,13; 28,45; 28,75; 29,03; 29,29 dan 29,54 dB. Sehingga total *bit rate* pada OFDM-TDMA dengan mogulasi 64-QAM adalah sebagai berikut:

Tabel 4.6 Total Bit Rate OFDM-TDMA modulasi 64-QAM

| SNR (dB) | Total Bit Rate (bits/sec) |
|----------|---------------------------|
| 23,47 | $3,05 \times 10^7$ |
| 23,98 | $3,14 \times 10^7$ |
| 24,77 | $3,26 \times 10^7$ |
| 25,44 | $3,37 \times 10^7$ |
| 26,02 | $3,47 \times 10^7$ |
| 26,53 | $3,55 \times 10^7$ |

Tabel 4.6 (Lanjutan) Total *Bit Rate* OFDM-TDMA modulasi 64-QAM

| SNR (dB) | Total <i>Bit Rate</i> (bits/sec) |
|----------|----------------------------------|
| 26,99 | $2,64 \times 10^7$ |
| 27,40 | $3,70 \times 10^7$ |
| 27,78 | $3,76 \times 10^7$ |
| 28,13 | $3,82 \times 10^7$ |
| 28,45 | $3,88 \times 10^7$ |
| 28,75 | $3,92 \times 10^7$ |
| 29,03 | $3,88 \times 10^7$ |
| 29,29 | $4,02 \times 10^7$ |
| 29,54 | $4,06 \times 10^7$ |

4.2.3.2 Bit Rate OFDMA Modulasi 64-QAM

Pada OFDMA dimungkinkan adanya penggunaan *subcarrier* secara bersama-sama oleh lebih dari satu pelanggan. Oleh karena itu jumlah pelanggan (K) akan memberi pengaruh pada performansi sistem ini. Karena konsep dari multi akses dari OFDMA, jumlah pelanggan yang akan diperhitungkan adalah jumlah minimal dari definisi multi itu sendiri ($K > 1$) yaitu 2 pelanggan (*user*). Dengan:

$$P_b = 10^{-3} \text{ (target BER)}$$

$$\text{SNR} = 23,47 \leq \beta < 29,55 \text{ dB}$$

Menggunakan persamaan (2.8), didapatkan *bit rate* sebesar:

Untuk $\text{SNR} = 23,47 \text{ dB}$

$$\begin{aligned} r(\beta) &= \log_2 \left(1 + \frac{1.5}{-\ln 5 P_b} \beta \left[\sum_{k=1}^K \frac{1}{k} \right] \right) \\ &= \log_2 \left(1 + \frac{1.5}{-\ln 5 \cdot 10^{-3}} 23,47 \left[\frac{1}{1} + \frac{1}{2} \right] \right) \\ &= 6,58 \text{ bits/subcarrier} \end{aligned}$$

Kemudian total *bit rate* (bits/second) didapatkan dengan mengalikan *bit rate* (bits/subcarrier) dengan jumlah *subcarrier* (N_{FFT}) per *symbol time* (T_s) seperti pada persamaan (2.9).

$$\begin{aligned}
\text{total bit rate (bits/sec)} &= \frac{N_{FFT}}{T_s} r(\beta) \\
&= \frac{N_{FFT}}{T_s} \log_2 \left[1 + \frac{1.5}{-\ln 5 P_b} \beta \left[\sum_{k=1}^K \frac{1}{k} \right] \right] \\
&= \frac{512}{100,8 \times 10^{-6}} \log_2 \left[1 + \frac{1.5}{-\ln 5 10^{-3}} 23,47 \left[\frac{1}{1} + \frac{1}{2} \right] \right] \\
&= 3,34 \times 10^7 \text{ bits/sec}
\end{aligned}$$

Menggunakan cara yang sama untuk nilai SNR 23,47; 23,98; 24,77; 25,44; 26,02; 26,53; 26,99; 27,40; 27,78; 28,13; 28,45; 28,75; 29,03; 29,29 dan 29,54 dB. Sehingga total *bit rate* pada OFDMA dengan modulasi 64-QAM adalah sebagai berikut:

Tabel 4.7 Total *Bit Rate* OFDMA modulasi 64-QAM

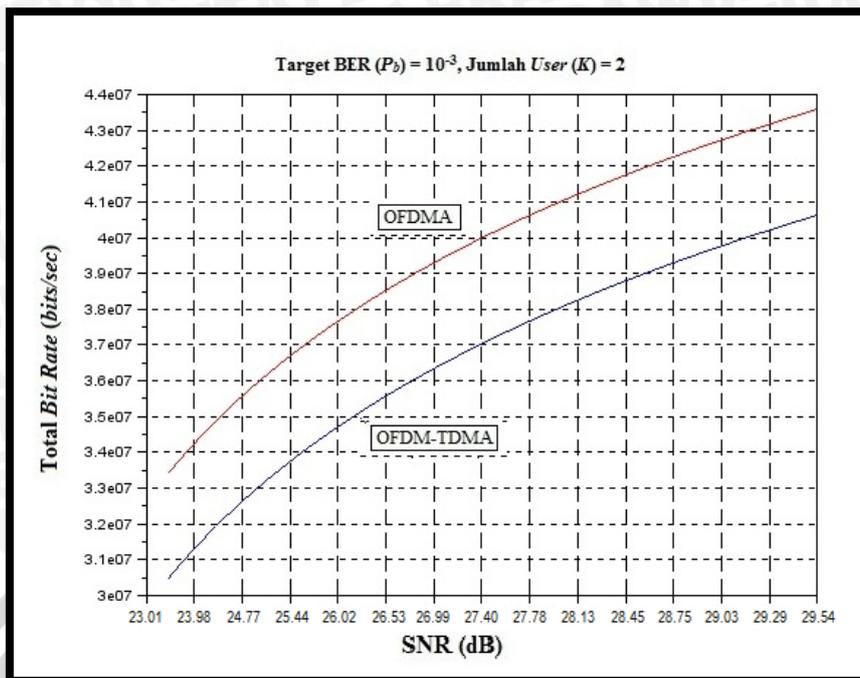
| SNR (dB) | Total <i>Bit Rate</i> (bits/sec) |
|----------|----------------------------------|
| 23,47 | $3,34 \times 10^7$ |
| 23,98 | $3,42 \times 10^7$ |
| 24,77 | $3,55 \times 10^7$ |
| 25,44 | $3,66 \times 10^7$ |
| 26,02 | $3,76 \times 10^7$ |
| 26,53 | $3,85 \times 10^7$ |
| 26,99 | $3,93 \times 10^7$ |
| 27,40 | $4,00 \times 10^7$ |
| 27,78 | $4,05 \times 10^7$ |
| 28,13 | $4,11 \times 10^7$ |
| 28,45 | $4,18 \times 10^7$ |
| 28,75 | $4,21 \times 10^7$ |
| 29,03 | $4,28 \times 10^7$ |
| 29,29 | $4,31 \times 10^7$ |
| 29,54 | $4,36 \times 10^7$ |

Dari Tabel 4.6 dan Tabel 4.7 dapat ditarik kesimpulan bahwa dengan modulasi 64-QAM, baik pada OFDM-TDMA maupun OFDMA semakin besar nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) maka semakin besar *bit rate* dan berlaku pula sebaliknya. Berdasarkan pengujian yang dilakukan H. Rohling dan R. Grunheid, OFDMA memiliki SNR yang lebih baik sebesar 7 dB pada nilai *Bit Error Rate* 10^{-3} . Oleh karena itu, perhitungan bit rate antara kedua sistem

multicarrier akan menggaransi BER tidak lebih dari target sebesar 10^{-3} . Pada nilai SNR terbesar yang diujikan dengan modulasi 64-QAM yaitu 29,54 dB, OFDMA menunjukkan nilai *bit rate* yang lebih besar yaitu $4,06 \times 10^7$ *bits/second* dibandingkan dengan OFDM-TDMA dengan nilai *bit rate* sebesar $4,36 \times 10^7$ *bits/second*. Perbandingan keduanya ditunjukkan pada Tabel 4.8 dan Gambar 4.4

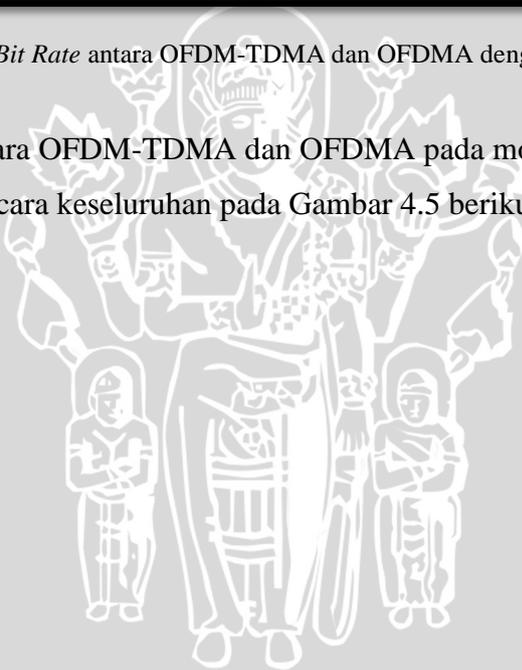
Tabel 4.8 Perbandingan Total *Bit Rate* OFDM-TDMA dan OFDMA pada Modulasi 64-QAM

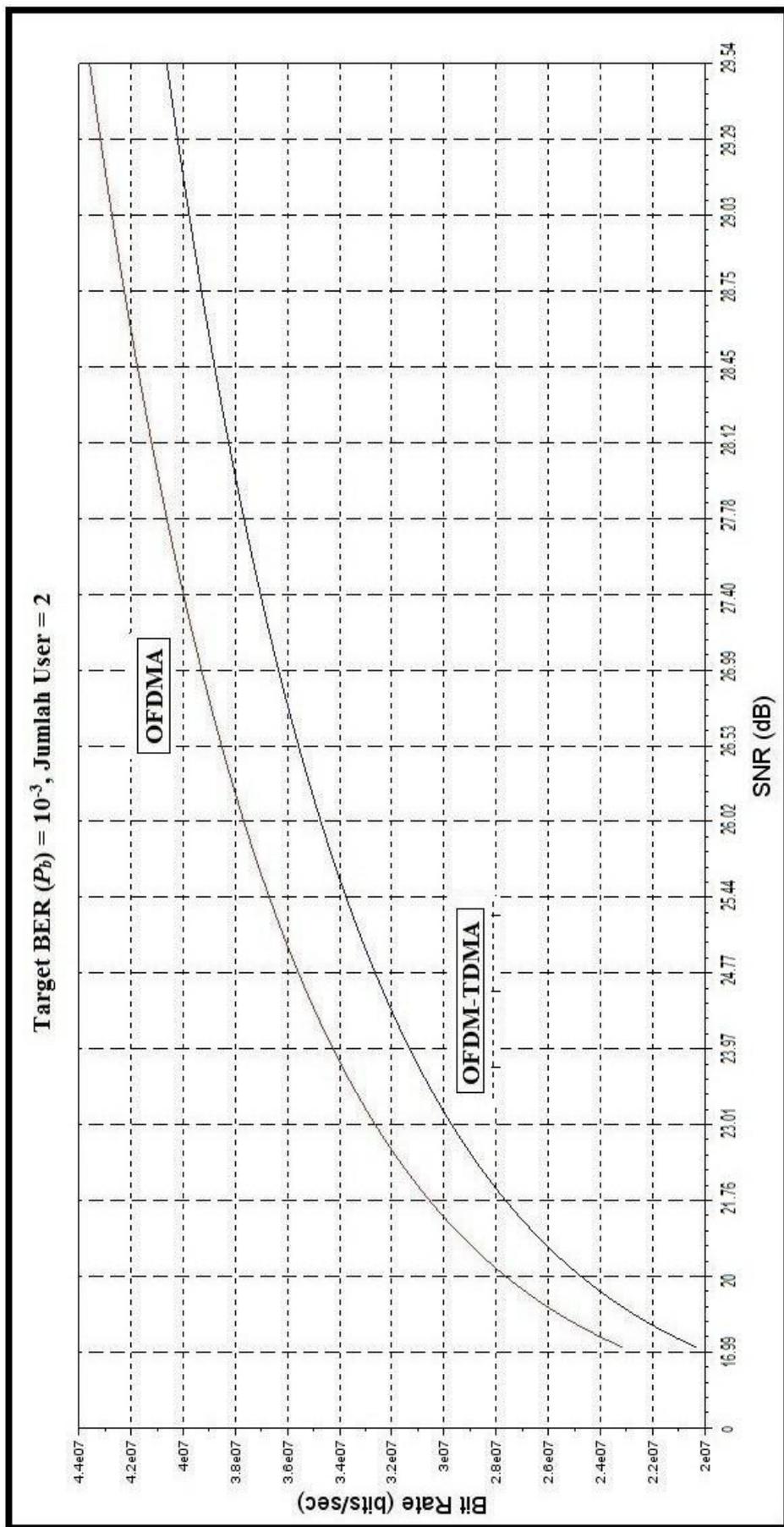
| SNR (dB) | Total <i>Bit Rate</i> (<i>bits/sec</i>) | |
|----------|---|--------------------|
| | OFDM-TDMA | OFDMA |
| 23,47 | $3,05 \times 10^7$ | $3,34 \times 10^7$ |
| 23,98 | $3,14 \times 10^7$ | $3,42 \times 10^7$ |
| 24,77 | $3,26 \times 10^7$ | $3,55 \times 10^7$ |
| 25,44 | $3,37 \times 10^7$ | $3,66 \times 10^7$ |
| 26,02 | $3,47 \times 10^7$ | $3,76 \times 10^7$ |
| 26,53 | $3,55 \times 10^7$ | $3,85 \times 10^7$ |
| 26,99 | $2,64 \times 10^7$ | $3,93 \times 10^7$ |
| 27,40 | $3,70 \times 10^7$ | $4,00 \times 10^7$ |
| 27,78 | $3,76 \times 10^7$ | $4,05 \times 10^7$ |
| 28,13 | $3,82 \times 10^7$ | $4,11 \times 10^7$ |
| 28,45 | $3,88 \times 10^7$ | $4,18 \times 10^7$ |
| 28,75 | $3,92 \times 10^7$ | $4,21 \times 10^7$ |
| 29,03 | $3,88 \times 10^7$ | $4,28 \times 10^7$ |
| 29,29 | $4,02 \times 10^7$ | $4,31 \times 10^7$ |
| 29,54 | $4,06 \times 10^7$ | $4,36 \times 10^7$ |



Gambar 4.4 Perbandingan *Bit Rate* antara OFDM-TDMA dan OFDMA dengan modulasi 64-QAM

Perbandingan *bit rate* antara OFDM-TDMA dan OFDMA pada modulasi 16-QAM dan 64-QAM dapat digambarkan secara keseluruhan pada Gambar 4.5 berikut:





Gambar 4.5 Perbandingan Bit Rate antara OFDM-TDMA dan OFDMA dengan modulasi 16-QAM dan 64-QAM

4.2.4 Analisis *Bit Error Rate* (BER) OFDM-TDMA dan OFDMA Modulasi 16-QAM pada IEEE 802.16 (WiMAX)

Pada analisis *Bit Error Rate*, telah dijelaskan sebelumnya bahwa baik pada analisis skema alokasi bit maupun analisis *bit rate* bahwa nilai BER akan digaransi tidak akan melebihi nilai $P_b = 10^{-3}$ dimana nilai tersebut merupakan target BER yang digunakan untuk membandingkan dua sistem multi akses OFDM-TDMA dan OFDMA. Dengan kata lain, bagaimanapun, dua sistem multi akses tersebut akan memenuhi nilai BER yang diinginkan dengan skema alokasi bit seperti yang telah ditentukan..

Untuk menganalisa lebih jauh mengenai perbandingan BER antara OFDM-TDMA dan OFDMA diperlukan nilai *bit rate* yang tetap (*fixed bit rate*) sebagai target. Karena nilai *bit rate* yang ditentukan dengan metode skema alokasi bit pada umumnya akan berbeda dengan nilai target *bit rate* yang diinginkan, maka akan diadopsi metode yang hampir serupa untuk menambah atau mengurangi *bit* secara berturut-turut hingga tercapai nilai *bit rate* yang diinginkan. (Prasad, Ramjee. 2004)

Nilai *bit rate* akan ditetapkan dari nilai *bit rate* tertinggi dari sistem OFDM-TDMA pada analisis sebelumnya yaitu pada modulasi 64-QAM, nilai *bit rate* terbesar yang dicapai oleh OFDM-TDMA yaitu sebesar $4,06 \times 10^7$ *bits/sec* pada nilai SNR = 29,54 dB.

4.2.4.1 Bit Error Rate (BER) OFDM-TDMA Modulasi 16-QAM

Bit Error Rate (BER) merepresentasikan perbandingan jumlah *bit* yang *error* terhadap total *bit* keseluruhan yang diterima. BER juga dipengaruhi oleh *Signal to Noise Ratio* (SNR) yang diterima oleh penerima pada sistem.

Persamaan BER OFDM-TDMA dapat diturunkan dari persamaan (2.7) dengan target *bit rate* = $4,06 \times 10^7$ *bits/sec* dan SNR yang diterima $17,24 \leq \beta < 23,47$ dB

$$\text{total bit rate (bits/sec)} = \frac{N_{FFT}}{T_s} \log_2 \left[1 + \frac{1.5}{-ln 5 P_b} \beta \right]$$

untuk SNR= 17,24 dB dengan memisalkan

$$\begin{aligned} x = r &= \frac{\text{total bit rate}}{N_{FFT}} T_s \\ &= \frac{4,06 \times 10^7}{512} 100,8 \times 10^{-6} \\ &= 8 \text{ bits/subcarrier} \end{aligned}$$

Dengan memasukkan nilai x ke persamaan (2.11), didapatkan nilai BER:

$$\begin{aligned} BER = P_b &= \frac{e^{-\left[\frac{1.5}{2^x-1}\beta\right]}}{5} \\ &= \frac{e^{-\left[\frac{1.5}{2^8-1}17,24\right]}}{5} \\ &= 0.1462293 \end{aligned}$$

Menggunakan cara yang sama untuk nilai SNR 17,24; 17,78; 19,03; 20; 20,79, 21,46; 22,04; 22,55; 23,01 dan 23,46 dB. Sehingga nilai BER pada OFDM-TDMA dengan modulasi 16-QAM adalah sebagai berikut:

Tabel 4.9 Bit Error Rate (BER) OFDM-TDMA Modulasi 16-QAM

| SNR (dB) | Bit Error Rate (BER) |
|----------|----------------------|
| 17,24 | 0.1462293 |
| 17,78 | 0.1402861 |
| 19,03 | 0.1246453 |
| 20 | 0.1107484 |
| 20,79 | 0.0984009 |
| 21,46 | 0.0874300 |
| 22,04 | 0.0776823 |
| 22,55 | 0.0690214 |
| 23,01 | 0.0613261 |
| 23,46 | 0.0538484 |

4.2.4.2 Bit Error Rate (BER) OFDMA Modulasi 16-QAM

Sama halnya dengan analisis *bit rate*, pada analisis OFDMA, jumlah pengguna (*user*) dapat mempengaruhi nilai BER. Jumlah pengguna ditetapkan sebanyak $K = 2$ pengguna.

Persamaan BER OFDMA dapat diturunkan dari persamaan (2.9) dengan target *bit rate* = $3,36 \times 10^7$ bits/sec dan SNR yang diterima $17,24 \leq \beta < 23,47$

$$\text{total bit rate (bits/sec)} = \frac{N_{FFT}}{T_s} \log_2 \left[1 + \frac{1.5}{-\ln 5 P_b} \beta \right]$$

untuk SNR = 17,24 dB dengan memisalkan

$$\begin{aligned} x = r &= \frac{\text{total bit rate}}{N_{FFT}} T_s \\ &= \frac{4,06 \times 10^7}{512} 100,8 \times 10^{-6} \\ &= 8 \text{ bits/subcarrier} \end{aligned}$$

Dengan memasukkan x ke persamaan (2.13), didapatkan nilai BER:

$$\begin{aligned} BER &= P_b = \frac{e^{-\left[\frac{1.5}{2^x-1}\beta\right]}}{5} \\ &= \frac{e^{-\left[\frac{1.5}{2^8-1}17,24\right]}}{5} \\ &= 0.1250364 \end{aligned}$$

Menggunakan cara yang sama untuk nilai SNR 17,24; 17,78; 19,03; 20; 20,79, 21,46; 22,04; 22,55; 23,01 dan 23,46 dB. Sehingga nilai BER pada OFDM-TDMA dengan modulasi 16-QAM adalah sebagai berikut:

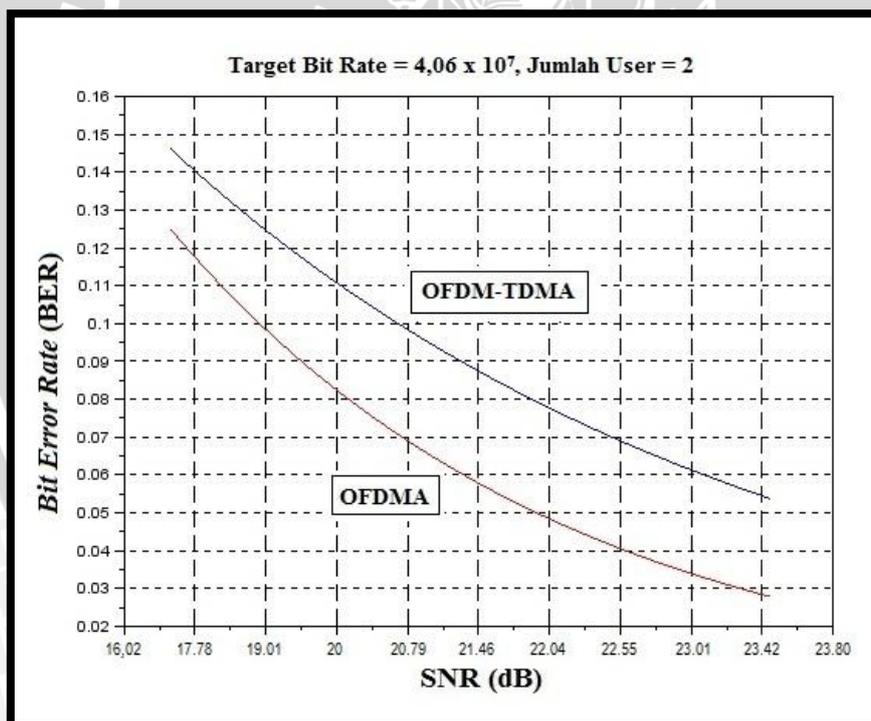
Tabel 4.10 Bit Error Rate (BER) OFDMA Modulasi 16-QAM

| SNR (dB) | Bit Error Rate (BER) |
|----------|----------------------|
| 17,24 | 0.1250364 |
| 17,78 | 0.1174916 |
| 19,03 | 0.0984009 |
| 20 | 0.0824122 |
| 20,79 | 0.0690214 |
| 21,46 | 0.0578064 |
| 22,04 | 0.0484137 |
| 22,55 | 0.0405472 |
| 23,01 | 0.0339588 |
| 23,46 | 0.0279411 |

Dari Tabel 4.9 dan Tabel 4.10 dapat ditarik kesimpulan bahwa dengan modulasi 16-QAM, baik pada OFDM-TDMA maupun OFDMA, semakin besar nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) maka semakin besar *Bit Error Rate* (BER) dan berlaku pula sebaliknya. Berdasarkan pengujian yang dilakukan H. Rohling dan R. Grunheid, baik OFDMA maupun OFDM-TDMA tidak memenuhi target $BER < 10^{-3}$ meskipun telah mencapai nilai SNR terbesar dalam modulasi 16-QAM yaitu 23,47 dB. Perbandingan keduanya ditunjukkan pada Tabel 4.11 dan Gambar 4.5

Tabel 4.11 Perbandingan *Bit Error Rate* (BER) OFDMA Modulasi 16-QAM

| SNR (dB) | <i>Bit Error Rate</i> (BER) | |
|----------|-----------------------------|-----------|
| | OFDM-TDMA | OFDMA |
| 17,24 | 0.1462293 | 0.1250364 |
| 17,78 | 0.1402861 | 0.1174916 |
| 19,03 | 0.1246453 | 0.0984009 |
| 20 | 0.1107484 | 0.0824122 |
| 20,79 | 0.0984009 | 0.0690214 |
| 21,46 | 0.0874300 | 0.0578064 |
| 22,04 | 0.0776823 | 0.0484137 |
| 22,55 | 0.0690214 | 0.0405472 |
| 23,01 | 0.0613261 | 0.0339588 |
| 23,46 | 0.0538484 | 0.0279411 |



Gambar 4.6 Perbandingan *Bit Error Rate* (BER) antara OFDM-TDMA dan OFDMA dengan modulasi 16-QAM

4.2.5 Analisis Bit Error Rate (BER) OFDM-TDMA dan OFDMA Modulasi 64-QAM pada IEEE 802.16 (WiMAX)

4.2.5.1 Bit Error Rate (BER) OFDM-TDMA Modulasi 64-QAM

Dalam skema modulasi 64-QAM, bit yang dialokasikan untuk setiap simbol OFDM sebanyak 6 bit/symbol OFDM $M = 2^6 = 64$. Maka range SNR yang digunakan yaitu $23,47 \leq \beta < 29,55$ dB.

Persamaan BER OFDM-TDMA dapat diturunkan dari persamaan (2.7) dengan target *bit rate* = $4,06 \times 10^7$ bits/sec dan SNR yang diterima $23,47 \leq \beta < 29,55$ dB

$$\text{total bit rate (bits/sec)} = \frac{N_{FFT}}{T_s} \log_2 \left[1 + \frac{1.5}{-\ln 5 P_b} \beta \right]$$

Untuk SNR= 23,47 dB dengan memisalkan

$$\begin{aligned} x = r &= \frac{\text{total bit rate}}{N_{FFT}} T_s \\ &= \frac{4,06 \times 10^7}{512} 100,8 \times 10^{-6} \\ &= 7,99 \text{ bits/subcarrie} \end{aligned}$$

Dengan memasukkan x ke persamaan (2.11), didapatkan nilai BER:

$$\begin{aligned} BER = P_b &= \frac{e^{-\left[\frac{1.5}{2^x - 1} \beta\right]}}{5} \\ &= \frac{e^{-\left[\frac{1.5}{2^{6,03} - 1} 23,47\right]}}{5} \\ &= 0.0536800 \end{aligned}$$

Menggunakan cara yang sama untuk nilai SNR 23,47; 23,98; 24,77; 25,44; 26,02; 26,53; 26,99; 27,40; 27,78; 28,13; 28,45; 28,75; 29,03; 29,29 dan 29,54 dB. Sehingga nilai BER pada OFDM-TDMA dengan modulasi 64-QAM adalah sebagai berikut:

Tabel 4.12 Bit Error Rate OFDM-TDMA Modulasi 64-QAM

| SNR (dB) | Bit Error Rate (BER) |
|----------|----------------------|
| 23,47 | 0,0536800 |
| 23,98 | 0,0456351 |
| 24,77 | 0,0339588 |
| 25,44 | 0,0252701 |
| 26,02 | 0,0188044 |
| 26,53 | 0,0139931 |
| 26,99 | 0,0104128 |

Tabel 4.12 (Lanjutan) *Bit Error Rate* OFDM-TDMA Modulasi 64-QAM

| SNR (dB) | Bit Error Rate (BER) |
|----------|----------------------|
| 27,40 | 0,0077486 |
| 27,78 | 0,0057660 |
| 28,13 | 0,0042907 |
| 28,45 | 0,0031929 |
| 28,75 | 0,0023759 |
| 29,03 | 0,0017680 |
| 29,29 | 0,0013157 |
| 29,54 | 0,0009790 |

4.2.5.2 Bit Error Rate (BER) OFDMA Modulasi 64-QAM

Pada OFDMA dimungkinkan adanya penggunaan *subcarrier* secara bersama-sama oleh lebih dari satu pelanggan.

Persamaan BER OFDMA dapat diturunkan dari persamaan (2.9) dengan target *bit rate* = $4,06 \times 10^7$ *bits/sec* dan SNR yang diterima $23,47 \leq \beta < 29,55$ dB

$$\text{total bit rate (bits/sec)} = \frac{N_{FFT}}{T_s} \log_2 \left[1 + \frac{1,5}{\ln 5 P_b} \beta \left[\sum_{k=1}^K \frac{1}{k} \right] \right]$$

Untuk SNR= 23,47 dB dengan memisalkan

$$\begin{aligned} x = r &= \frac{\text{total bit rate}}{N_{FFT}} T_s \\ &= \frac{4,06 \times 10^7}{512} 100,8 \times 10^{-6} \\ &= 7,99 \text{ bits/subcarrie} \end{aligned}$$

Dengan memasukkan x ke persamaan (2.13), didapatkan nilai BER:

$$\begin{aligned} BER = P_b &= \frac{e^{-\left[\frac{1,5}{2^x - 1} \beta\right]}}{5} \\ &= \frac{e^{-\left[\frac{1,5}{2^{6,03} - 1} 23,47\right]}}{5} \\ &= 0.0278102 \end{aligned}$$

Menggunakan cara yang sama untuk nilai SNR 23,47; 23,98; 24,77; 25,44; 26,02; 26,53; 26,99; 27,40; 27,78; 28,13; 28,45; 28,75; 29,03; 29,29 dan 29,54 dB. Sehingga nilai BER pada OFDMA dengan modulasi 64-QAM adalah sebagai berikut:

Tabel 4.13 *Bit ErrorRate* OFDMA Modulasi 64-QAM

| SNR (dB) | <i>Bit Error Rate</i> (BER) |
|----------|-----------------------------|
| 23,47 | 0.027810 |
| 23,98 | 0,0217988 |
| 24,77 | 0,0139931 |
| 25,44 | 0.0089824 |
| 26,02 | 0,0057660 |
| 26,53 | 0,0037013 |
| 26,99 | 0,0023759 |
| 27,40 | 0,0015252 |
| 27,78 | 0,0009790 |
| 28,13 | 0,0006285 |
| 28,45 | 0,0004034 |
| 28,75 | 0,0002590 |
| 29,03 | 0,0001662 |
| 29,29 | 0,0001067 |
| 29,54 | 0,0000685 |

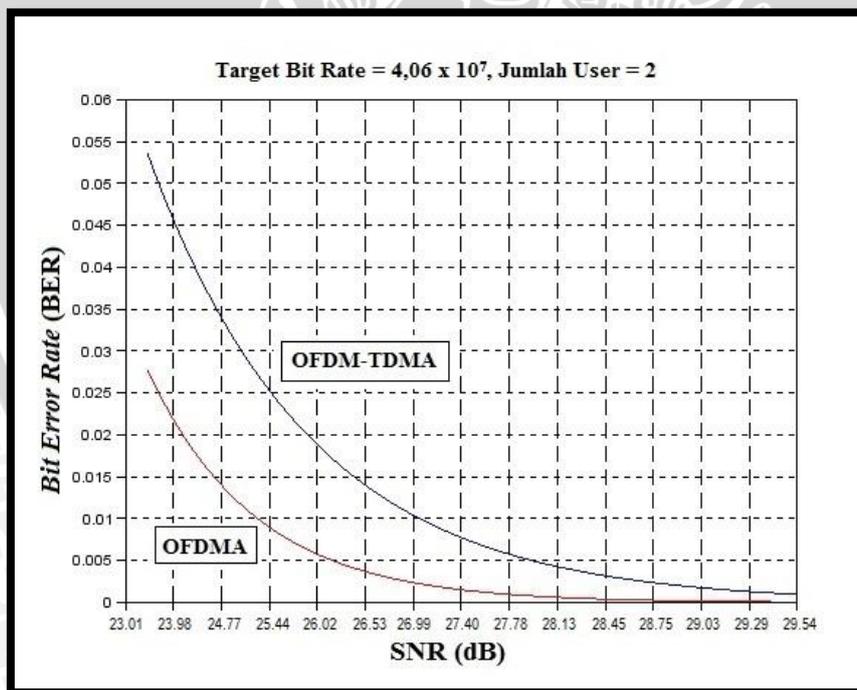
Dari Tabel 4.12 dan Tabel 4.13 dapat ditarik kesimpulan bahwa dengan modulasi 64-QAM, baik pada OFDM-TDMA maupun OFDMA, semakin besar nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) maka semakin besar *Bit Error Rate* (BER) dan berlaku pula sebaliknya. Berdasarkan pengujian yang dilakukan H. Rohling dan R. Grunheid, OFDMA memiliki SNR yang lebih baik sebesar 7 dB pada nilai *Bit Error Rate* 10^{-3} . Untuk OFDMA target BER $< 10^{-3}$ tercapai pada saat nilai SNR menunjukkan angka 600 dengan BER sebesar 0,0009790. Sementara OFDM-TDMA mencapai target BER $< 10^{-3}$. Pada saat SNR terbesar 29,55 dB dengan nilai BER 0,0009790. Perbandingan keduanya ditunjukkan pada Tabel 4.14 dan Gambar 4.6

Tabel 4.14 Perbandingan *Bit ErrorRate* OFDM-TDMA dan OFDMA Modulasi 64-QAM

| SNR (dB) | <i>Bit Error Rate</i> (BER) | |
|----------|-----------------------------|-----------|
| | OFDM-TDMA | OFDMA |
| 23,47 | 0,0536800 | 0.027810 |
| 23,98 | 0,0456351 | 0,0217988 |
| 24,77 | 0,0339588 | 0,0139931 |

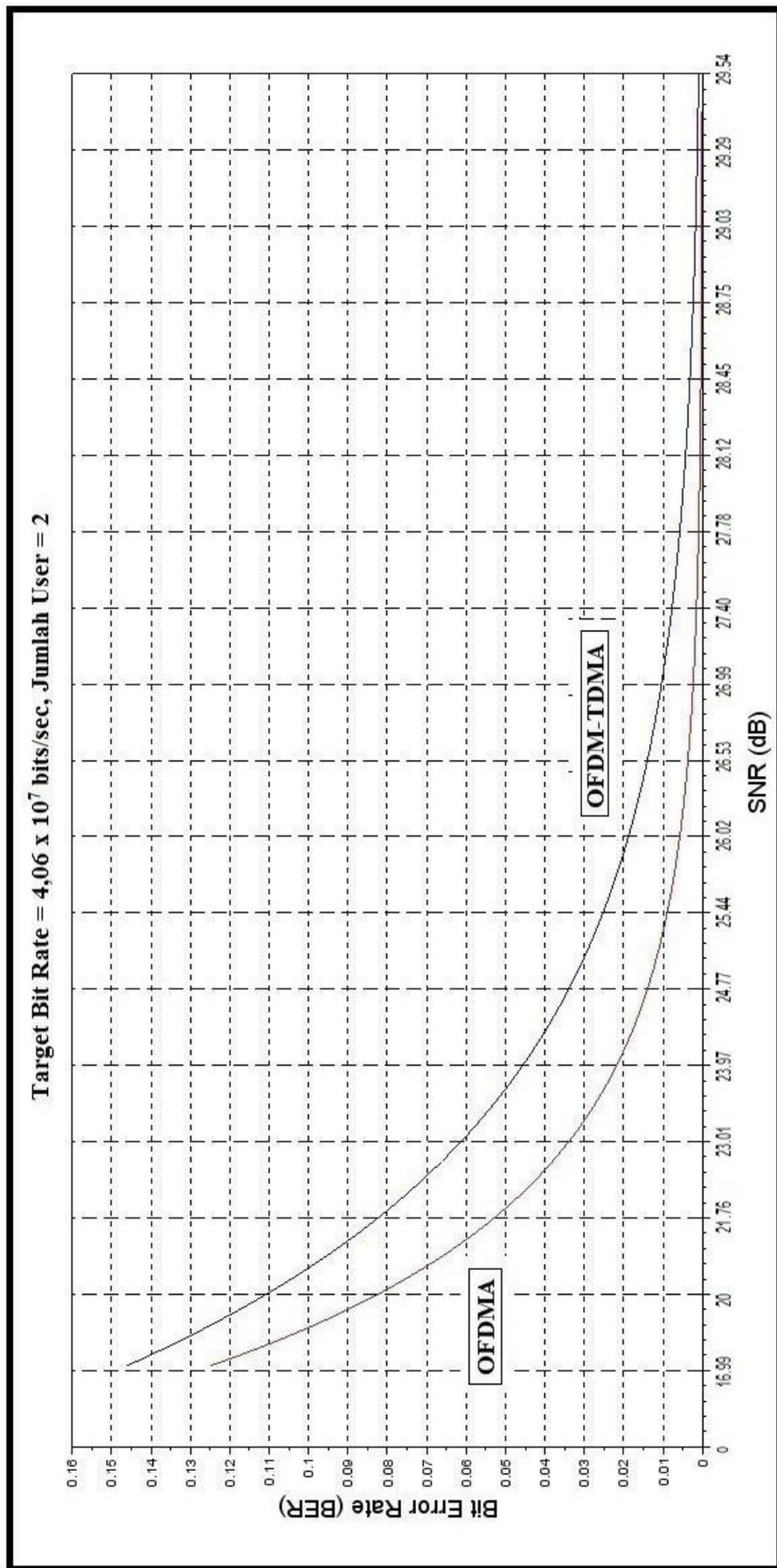
Tabel 4.14 (Lanjutan) Perbandingan *Bit Error Rate* OFDM-TDMA dan OFDMA Modulasi 64-QAM

| SNR (dB) | <i>Bit Error Rate</i> (BER) | |
|----------|-----------------------------|-----------|
| | OFDM-TDMA | OFDMA |
| 25,44 | 0,0252701 | 0.0089824 |
| 26,02 | 0,0188044 | 0,0057660 |
| 26,53 | 0,0139931 | 0,0037013 |
| 26,99 | 0,0104128 | 0,0023759 |
| 27,40 | 0,0077486 | 0,0015252 |
| 27,78 | 0,0057660 | 0,0009790 |
| 28,13 | 0,0042907 | 0,0006285 |
| 28,45 | 0,0031929 | 0,0004034 |
| 28,75 | 0,0023759 | 0,0002590 |
| 29,03 | 0,0017680 | 0,0001662 |
| 29,29 | 0,0013157 | 0,0001067 |
| 29,54 | 0,0009790 | 0,0000685 |



Gambar 4.7 Perbandingan *Bit Error Rate* (BER) antara OFDM-TDMA dan OFDMA dengan modulasi 64-QAM

Pada Gambar 4.8 dapat dilihat perbandingan *bit error rate* (BER) antara OFDM-TDMA dan OFDMA pada modulasi 16-QAM dan 64-QAM secara keseluruhan.



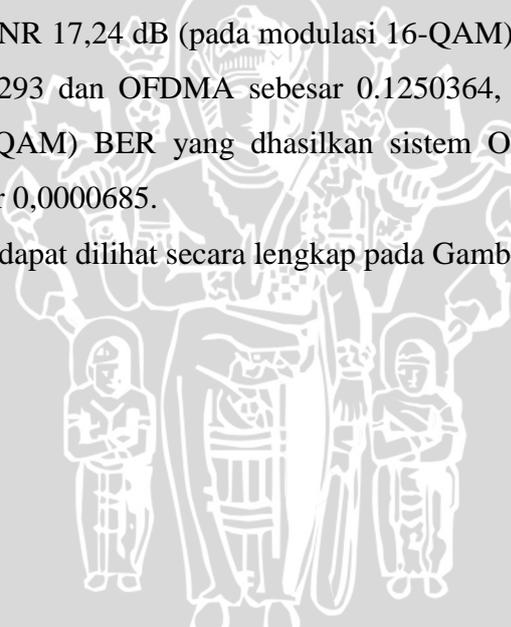
Gambar 4.8 Perbandingan *Bit Error Rate* (BER) antara OFDM-TDMA dan OFDMA dengan modulasi 16-QAM dan 64-QAM

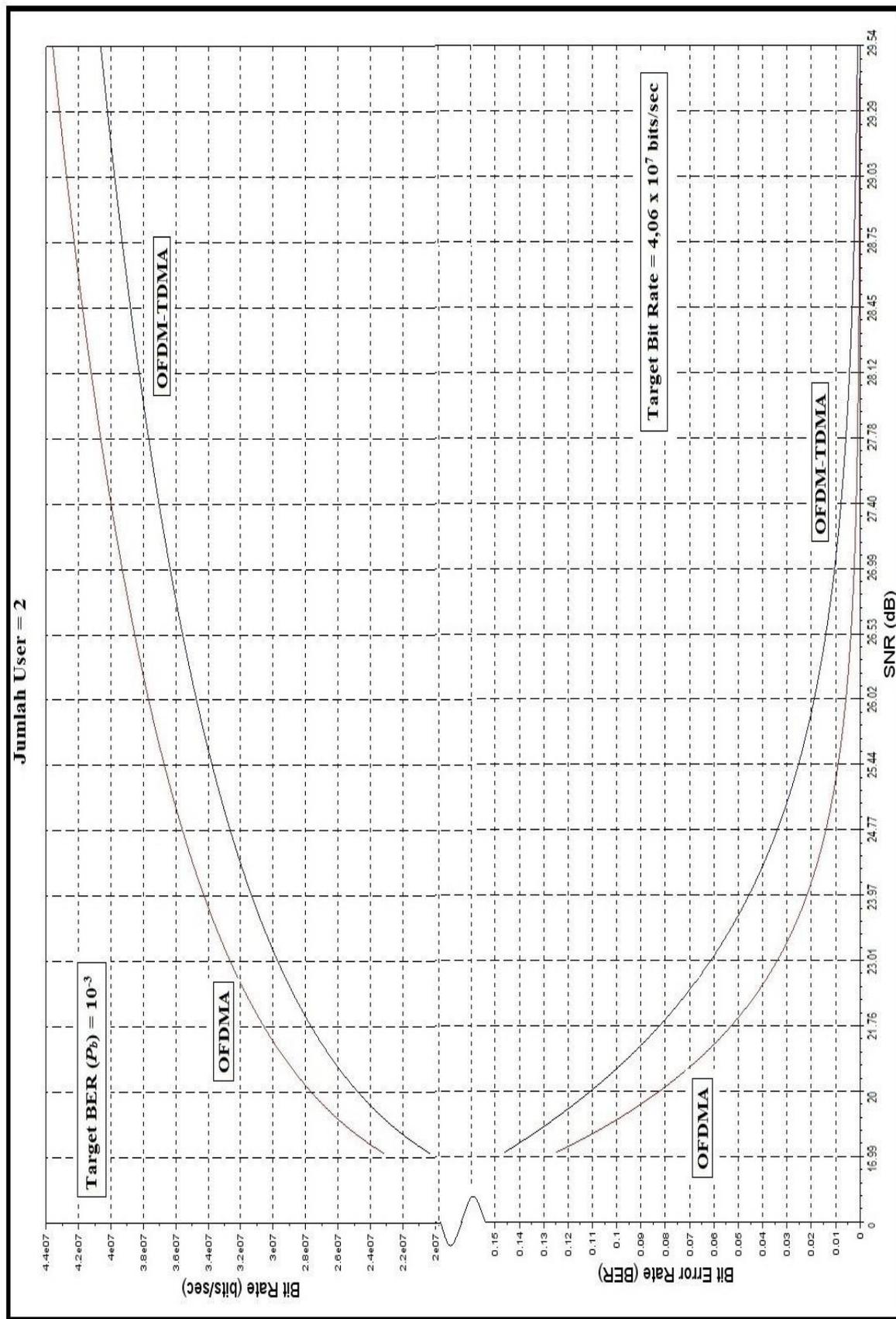
Selanjutnya dengan menganalisa Gambar 4.5 dan Gambar 4.8 yang membandingkan *bit rate* dan *bit error rate* (BER) antara sistem multi akses OFDM-TDMA dengan OFDMA pada skema modulasi 16-QAM dan 64-QAM dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan sifat perbandingan antara parameter *bit rate* dengan *bit error rate* (BER) jika dibandingkan terhadap nilai *signal to noise ratio* (SNR).

Perbandingan *bit rate* dengan SNR menunjukkan bahwa kedua parameter berbanding lurus, semakin besar nilai SNR maka *bit rate* juga semakin besar dan sebaliknya, terlihat pada saat nilai SNR 17,24 dB (pada modulasi 16-QAM) *bit rate* yang dihasilkan sistem OFDM-TDMA sebesar $2,02 \times 10^7$ bits/sec dan OFDMA sebesar $2,31 \times 10^7$ bits/sec. Sementara pada nilai SNR 29,55 dB (pada modulasi 64-QAM) *bit rate* yang dihasilkan sistem OFDMA sebesar $4,06 \times 10^7$ bits/sec dan OFDM-TDMA sebesar $4,36 \times 10^7$ bits/sec.

Berbeda halnya pada perbandingan BER dengan SNR terlihat bahwa kedua parameter berbanding terbalik satu sama lain, semakin besar nilai SNR maka semakin kecil BER dan sebaliknya. Terlihat pada saat SNR 17,24 dB (pada modulasi 16-QAM) BER yang dihasilkan OFDM-TDMA sebesar 0.1462293 dan OFDMA sebesar 0.1250364, sementara pada SNR 29,55 dB (pada modulasi 64-QAM) BER yang dihasilkan sistem OFDM-TDMA sebesar 0,0009790 dan OFDMA sebesar 0,0000685.

Perbandingan keduanya dapat dilihat secara lengkap pada Gambar 4.9 berikut:





Gambar 4.9 Perbandingan Bit Rate dan Bit Error Rate (BER) antara OFDM-TDMA dengan OFDMA pada Modulasi 16-QAM dan 64-QAM

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

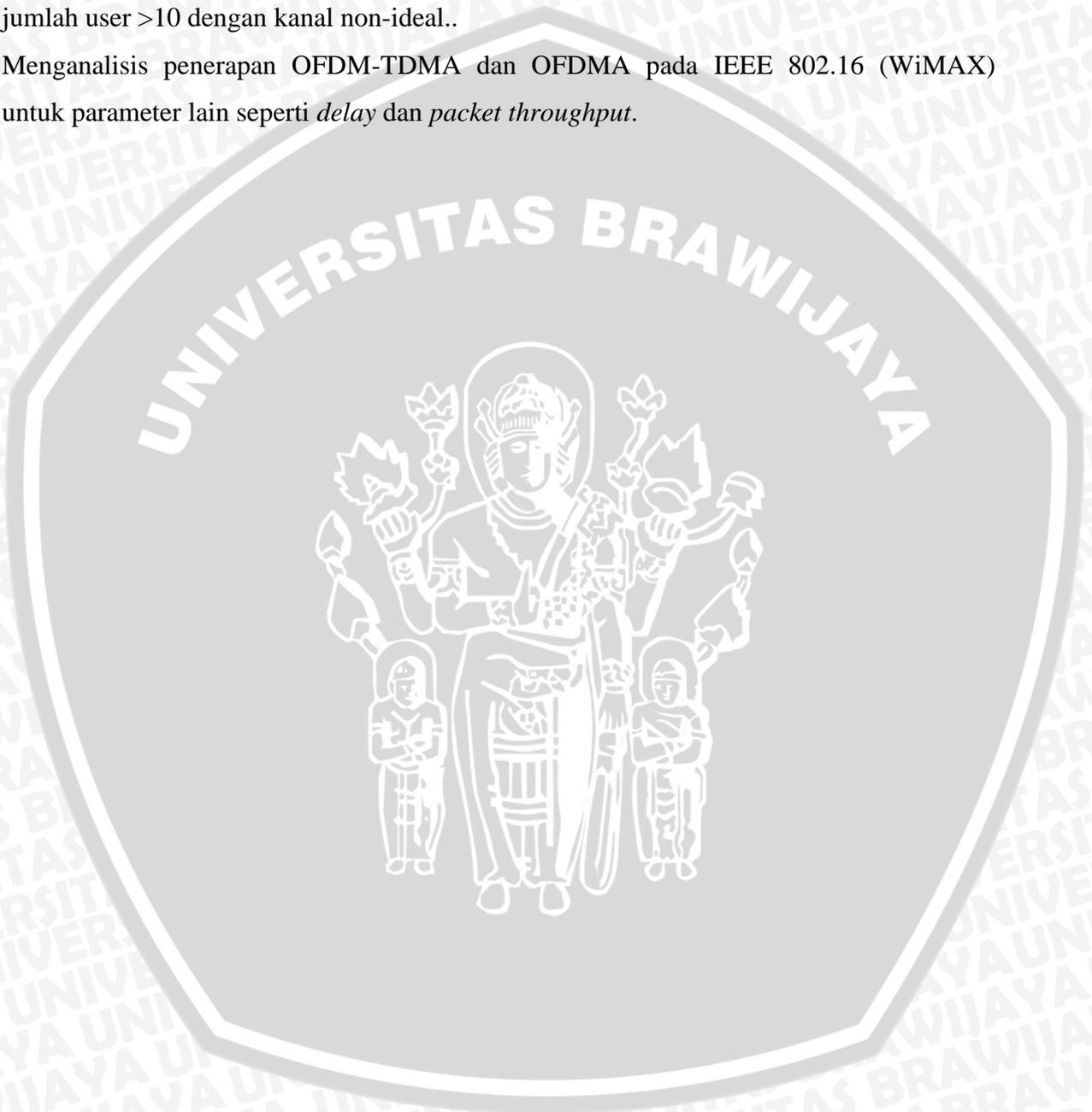
Berdasarkan hasil analisis dan simulasi perhitungan dengan menggunakan SciLab 5.4.0 , maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Analisis alokasi bit menunjukkan semakin banyak jumlah bit yang dialokasikan maka akan semakin besar nilai SNR yang dihasilkan. Sebagai contoh modulasi 16-QAM, mengalokasikan 4 bit ($M = 2^4$) dengan SNR 17,24 dB hingga 23,47 dB. Sedangkan modulasi 64-QAM mengalokasikan jumlah bit yang lebih banyak sebesar 6 bit ($M = 2^6$), dengan SNR 23,47 dB hingga 29,55 dB.
2. Berdasarkan hasil analisis *bit rate* menggunakan modulasi 16-QAM dan 64-QAM, didapat bahwa semakin besar nilai SNR maka semakin besar *bit rate* yang dihasilkan,
 - a. Pada modulasi 16-QAM, menggunakan target BER sebesar 10^{-3} dan SNR sebesar 23,46 dB, OFDM-TDMA menunjukkan *bit rate* sebesar $3,06 \times 10^7$ bps (30,6 Mbps). Sedangkan OFDMA menunjukkan *bit rate* yang lebih besar yaitu $3,34 \times 10^7$ bps (33,4 Mbps).
 - b. Pada modulasi 64-QAM, menggunakan target BER sebesar 10^{-3} dan SNR sebesar 29,54 dB, OFDM-TDMA menunjukkan *bit rate* sebesar $4,06 \times 10^7$ bps (40,6 Mbps). Sedangkan OFDMA menunjukkan *bit rate* yang lebih besar yaitu $4,36 \times 10^7$ bps (43,6 Mbps).
3. Berdasarkan hasil analisis *Bit Error Rate* (BER) sistem menggunakan modulasi 16-QAM dan 64-QAM didapat bahwa semakin besar SNR maka semakin kecil *Bit Error Rate* (BER),
 - a. Pada modulasi 16-QAM, menggunakan target *bit rate* sebesar $4,06 \times 10^7$ bps (40,6 Mbps) dan SNR sebesar 23,46 dB, OFDM-TDMA menunjukkan *Bit Error Rate* (BER) sebesar 0.0538484 ($5,38 \times 10^{-2}$). Sedangkan OFDMA menunjukkan *Bit Error Rate* (BER) yang lebih kecil yaitu 0.0279411 ($2,79 \times 10^{-2}$).
 - b. Pada modulasi 64-QAM, menggunakan target *bit rate* sebesar $4,06 \times 10^7$ bps (40,6 Mbps) dan SNR sebesar 29,56 dB, OFDM-TDMA menunjukkan *Bit Error Rate* (BER) sebesar 0,0009790 ($9,79 \times 10^{-4}$). Sedangkan OFDMA menunjukkan *Bit Error Rate* (BER) yang lebih kecil yaitu 0,0000685 ($6,85 \times 10^{-5}$).

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan adalah :

1. Menganalisis performansi *Quality of Service* (QoS pada IEEE 802.16 menggunakan data primer dalam metode pengambilan data.
2. Menganalisis performansi *Quality of Service* (QoS pada IEEE 802.16 menggunakan jumlah user >10 dengan kanal non-ideal..
3. Menganalisis penerapan OFDM-TDMA dan OFDMA pada IEEE 802.16 (WiMAX) untuk parameter lain seperti *delay* dan *packet throughput*.



DAFTAR PUSTAKA

- Andrews, Jeffrey G. 2006. *Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)*. United States : Pearson Education, Inc.
- Andrews, Jeffrey G., Arunabha Ghosh, Rias Muhamed. *Fundamentals of WiMAX : Understanding Broadband Wireless Networking*. 2007. United States : Pearson Education, Inc.
- Chen, Kwang-Cheng, J. Roberto B. De Marca. 2008. *Mobile WiMAX*. London : John Wiley & Sons, Inc.
- Cisco.2010. *IOS Quality of Service*.<http://www.newport-network.com>.
- Ergen, Mustafa. 2009. *Mobile Broadband Including WiMAX and LTE*. United States : Springer.
- Forouzan, Behrouz A. 2000. *Data Communications and Networking 2nd edition*. Mc Graw-Hill International Edition.
- Hara, Shisuke, Ramjee Prasaad. 2003. *Multicarrier Technique for 4G mobile communications*. London : Artech House.
- Kumar, Amitabh. 2008. *Mobile Broadcasting with WiMAX :Principles, Technology, and Applications*. Oxford : Elsevier Inc.
- Prasad, Ramjee. 2004. *OFDM for wireless communications systems*. London : Artech House.
- H. Rohling and R, Grunheid. 1997. *Performance Comparison Of Different Multiple Access Schemes For The Downlink Of An OFDM Communication System*. Proc. IEEE Vehicular Technology Conf.
- Srikanth, Kumaran V., Manikandan C., Murugesapandian. 2007. *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*. Anna University Press, Chennai, India.
- Sugeng, Winarno. 2007. *Membangun telepon berbasis VoIP*. Informatika. Bandung.
- Wallace, Kevin. 2009. *Komponen Delay jaringan VoIP*. Malang
- Wibisono, Gunawan dan Gunadi Dwi Hantoro. 2009. *Peluang dan Tantangan Bisnis WiMAX di Indonesia*. Bandung : Informatika.
- WiMAX Forum. 2006. *Mobile WiMAX : The Best Personal Broadband Experience*.
- Chang Yu-Jung, Chien Feng-Tsun dan C. C. Jay Kuo. 2010. *Performance Comparison of OFDM-TDMA and OFDMA with Cross Layer Consideration*. California IEEE

LAMPIRAN - LAMPIRAN



Lampiran 1. Listing Program Scilab 5.4.0 Menghitung Alokasi Bit

```
function outSNR=SNR(r) % Variabel Bebas = r
    outSNR=-(2/3)*(log(0.001*5))*(2^r-1)
endfunction
```

```
function outSNR=SNR(2) % Untuk Alokasi Bit = 2 Bit
    outSNR=-(2/3)*(log(0.001*5))*(2^2-1)
endfunction
```

```
function outSNR=SNR(4) % Untuk Alokasi Bit = 4 Bit
    outSNR=-(2/3)*(log(0.001*5))*(2^4-1)
endfunction
```

```
function outSNR=SNR(6) % Untuk Alokasi Bit = 6 Bit
    outSNR=-(2/3)*(log(0.001*5))*(2^6-1)
endfunction
```

```
function outSNR=SNR(8) % Untuk Alokasi Bit = 8 Bit
    outSNR=-(2/3)*(log(0.001*5))*(2^8-1)
endfunction
```



Lampiran 2. Listing Program Scilab 5.4.0 Menghitung Bit Rate OFDM-TDMA Modulasi 16-QAM

```
function outOFDM=OFDM(pb, yo, Nfft, Ts) %Variabel Bebas : pb, yo, Nfft dan Ts
    lg=-log(5*pb)
    temp=(Nfft/Ts)*log2(1+1.5*yo/lg)
    outOFDM=temp
endfunction
```

```
function outOFDM=OFDM(pb, yo, Nfft, Ts) %pb=10-3; Nfft=512; Ts=100,8x10-6
    lg=-log(5*10-3)
    temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*52,98/lg) %Untuk yo=52,98
    outOFDM=temp
    lg=-log(5*10-3)
    temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*60/lg) %Untuk yo=60
    outOFDM=temp
    lg=-log(5*10-3)
    temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*80/lg) %Untuk yo=80
    outOFDM=temp
    lg=-log(5*10-3)
    temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*100/lg) %Untuk yo=100
    outOFDM=temp
    lg=-log(5*10-3)
    temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*120/lg) %Untuk yo=120
    outOFDM=temp
    lg=-log(5*10-3)
    temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*140/lg) %Untuk yo=140
    outOFDM=temp
    lg=-log(5*10-3)
    temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*160/lg) %Untuk yo=160
    outOFDM=temp
    lg=-log(5*10-3)
    temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*180/lg) %Untuk yo=180
    outOFDM=temp
    lg=-log(5*10-3)
    temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*200/lg) %Untuk yo=200
    outOFDM=temp
    lg=-log(5*10-3)
    temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*222/lg) %Untuk yo=222
    outOFDM=temp
endfunction
```

Lampiran 3. Listing Program Scilab 5.4.0 Menghitung Bit Rate OFDMA Modulasi 16-QAM

```
function outbtOFDM=bitOFDM(pb, yo, Nfft, Ts, k) % Variabel Bebas : pb, yo, Nfft, Ts, k
    sumk=0
    for nk=1:k
        sumk=sumk+1/nk
    end
    lg=-log(5*pb)
    temp=(Nfft/Ts)*log2(1+1.5*yo*sumk/lg)
    outbtOFDM=temp
endfunction
```

```
function outbtOFDM=bitOFDM(pb, yo, Nfft, Ts, k) % pb=10-3; Nfft=512; Ts=100,8x10-6
    sumk=0
    for nk=1:k %Untuk k = 2
        sumk=sumk+1/nk
    end
    lg=-log(5*10-3)
    temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*52,98*sumk/lg) %Untuk nilai yo = 52,98
    outbtOFDM=temp
```

```
sumk=0
    for nk=1:k %Untuk k = 2
        sumk=sumk+1/nk
    end
    lg=-log(5*10-3)
    temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*60*sumk/lg) %Untuk nilai yo = 60
    outbtOFDM=temp
```

```
sumk=0
    for nk=1:k %Untuk k = 2
        sumk=sumk+1/nk
    end
    lg=-log(5*10-3)
    temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*80*sumk/lg) %Untuk nilai yo = 80
    outbtOFDM=temp
```

```
sumk=0
    for nk=1:k %Untuk k = 2
        sumk=sumk+1/nk
    end
    lg=-log(5*10-3)
    temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*100*sumk/lg) %Untuk nilai yo = 100
    outbtOFDM=temp
```

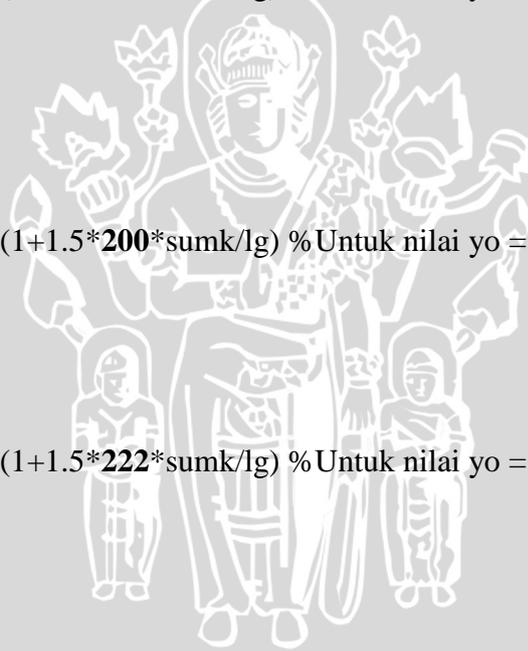
```
sumk=0
    for nk=1:k %Untuk k = 2
        sumk=sumk+1/nk
    end
    lg=-log(5*10-3)
    temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*120*sumk/lg) %Untuk nilai yo = 120
    outbtOFDM=temp
```

```
sumk=0
```

```

for nk=1:k %Untuk k = 2
    sumk=sumk+1/nk
end
lg=-log(5*10-3)
temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*140*sumk/lg) %Untuk nilai yo = 140
outbtOFDM=temp
sumk=0
for nk=1:k %Untuk k = 2
    sumk=sumk+1/nk
end
lg=-log(5*10-3)
temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*160*sumk/lg) %Untuk nilai yo = 160
outbtOFDM=temp
sumk=0
for nk=1:k %Untuk k = 2
    sumk=sumk+1/nk
end
lg=-log(5*10-3)
temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*180*sumk/lg) %Untuk nilai yo = 180
outbtOFDM=temp
sumk=0
for nk=1:k %Untuk k = 2
    sumk=sumk+1/nk
end
lg=-log(5*10-3)
temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*200*sumk/lg) %Untuk nilai yo = 200
sumk=0
for nk=1:k %Untuk k = 2
    sumk=sumk+1/nk
end
lg=-log(5*10-3)
temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*222*sumk/lg) %Untuk nilai yo = 222
outbtOFDM=temp
endfunction

```



Lampiran 4. Listing Program Scilab 5.4.0 Menghitung Bit Rate OFDM-TDMA Modulasi 64-QAM

```
function outOFDM=OFDM(pb, yo, Nfft, Ts) %Variabel Bebas : pb, yo, Nfft dan Ts
lg=-log(5*pb)
temp=(Nfft/Ts)*log2(1+1.5*yo/lg)
outOFDM=temp
endfunction
```

```
function outOFDM=OFDM(pb, yo, Nfft, Ts) %pb=10-3; Nfft=512; Ts=100,8x10-6
lg=-log(5*10-3)
temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*222,53/lg) %Untuk yo=222,53
outOFDM=temp
lg=-log(5*10-3)
temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*250/lg) %Untuk yo=250
outOFDM=temp
lg=-log(5*10-3)
temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*300/lg) %Untuk yo=300
outOFDM=temp
lg=-log(5*10-3)
temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*350/lg) %Untuk yo=350
outOFDM=temp
lg=-log(5*10-3)
temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*400/lg) %Untuk yo=400
outOFDM=temp
lg=-log(5*10-3)
temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*450/lg) %Untuk yo=450
outOFDM=temp
lg=-log(5*10-3)
temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*500/lg) %Untuk yo=500
outOFDM=temp
lg=-log(5*10-3)
temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*550/lg) %Untuk yo=550
outOFDM=temp
lg=-log(5*10-3)
temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*600/lg) %Untuk yo=600
outOFDM=temp
lg=-log(5*10-3)
temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*650/lg) %Untuk yo=650
outOFDM=temp
lg=-log(5*10-3)
temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*650/lg) %Untuk yo=650
outOFDM=temp
lg=-log(5*10-3)
temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*700/lg) %Untuk yo=700
outOFDM=temp
lg=-log(5*10-3)
temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*750/lg) %Untuk yo=750
outOFDM=temp
lg=-log(5*10-3)
```

```

temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*800/lg) % Untuk yo=800
outOFDM=temp
lg=-log(5*10-3)
temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*850/lg) % Untuk yo=850
outOFDM=temp
lg=-log(5*10-3)
temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*900/lg) % Untuk yo=900
outOFDM=temp\
endfunction
    
```



Lampiran 5. Listing Program Scilab 5.4.0 Menghitung Bit Rate OFDMA Modulasi 64-QAM

```
function outbtOFDM=bitOFDM(pb, yo, Nfft, Ts, k) % Variabel Bebas : pb, yo, Nfft, Ts, k
    sumk=0
    for nk=1:k
        sumk=sumk+1/nk
    end
    lg=-log(5*pb)
    temp=(Nfft/Ts)*log2(1+1.5*yo*sumk/lg)
    outbtOFDM=temp
endfunction
```

```
function outbtOFDM=bitOFDM(pb, yo, Nfft, Ts, k) % pb=10-3; Nfft=512; Ts=100,8x10-6
    sumk=0
    for nk=1:k %Untuk k = 2
        sumk=sumk+1/nk
    end
    lg=-log(5*10-3)
    temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*222,53*sumk/lg) % Untuk nilai yo = 222,53
    outbtOFDM=temp
```

```
sumk=0
    for nk=1:k %Untuk k = 2
        sumk=sumk+1/nk
    end
    lg=-log(5*10-3)
    temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*250*sumk/lg) %Untuk nilai yo = 250
    outbtOFDM=temp
```

```
sumk=0
    for nk=1:k %Untuk k = 2
        sumk=sumk+1/nk
    end
    lg=-log(5*10-3)
    temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*300*sumk/lg) %Untuk nilai yo = 300
    outbtOFDM=temp
```

```
sumk=0
    for nk=1:k %Untuk k = 2
        sumk=sumk+1/nk
    end
    lg=-log(5*10-3)
    temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*350*sumk/lg) %Untuk nilai yo = 350
    outbtOFDM=temp
```

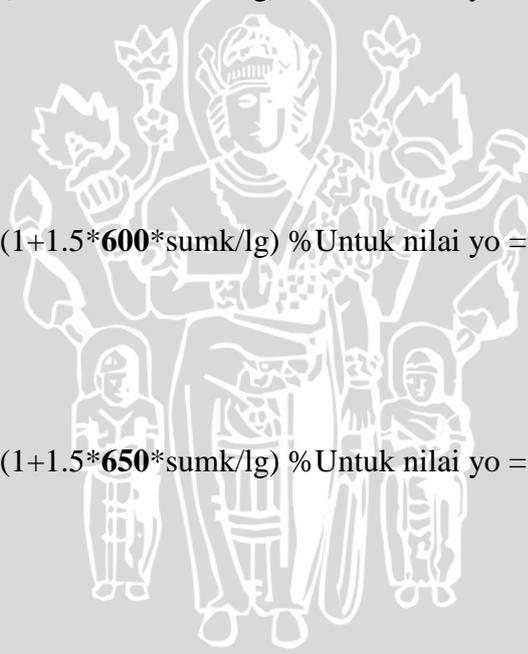
```
sumk=0
    for nk=1:k %Untuk k = 2
        sumk=sumk+1/nk
    end
    lg=-log(5*10-3)
    temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*400*sumk/lg) %Untuk nilai yo = 400
    outbtOFDM=temp
```

```
sumk=0
```

```

for nk=1:k %Untuk k = 2
    sumk=sumk+1/nk
end
lg=-log(5*10-3)
temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*450*sumk/lg) %Untuk nilai yo = 450
outbtOFDM=temp
sumk=0
for nk=1:k %Untuk k = 2
    sumk=sumk+1/nk
end
lg=-log(5*10-3)
temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*500*sumk/lg) %Untuk nilai yo = 500
outbtOFDM=temp
sumk=0
for nk=1:k %Untuk k = 2
    sumk=sumk+1/nk
end
lg=-log(5*10-3)
temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*550*sumk/lg) %Untuk nilai yo = 550
outbtOFDM=temp
sumk=0
for nk=1:k %Untuk k = 2
    sumk=sumk+1/nk
end
lg=-log(5*10-3)
temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*600*sumk/lg) %Untuk nilai yo = 600
sumk=0
for nk=1:k %Untuk k = 2
    sumk=sumk+1/nk
end
lg=-log(5*10-3)
temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*650*sumk/lg) %Untuk nilai yo = 650
outbtOFDM=temp
for nk=1:k %Untuk k = 2
    sumk=sumk+1/nk
end
lg=-log(5*10-3)
temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*700*sumk/lg) %Untuk nilai yo = 700
outbtOFDM=temp
for nk=1:k %Untuk k = 2
    sumk=sumk+1/nk
end
lg=-log(5*10-3)
temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*750*sumk/lg) %Untuk nilai yo = 750
outbtOFDM=temp
for nk=1:k %Untuk k = 2
    sumk=sumk+1/nk
end
lg=-log(5*10-3)
temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*800*sumk/lg) %Untuk nilai yo = 800

```



```

outbtOFDM=temp
for nk=1:k %Untuk k = 2
    sumk=sumk+1/nk
end
lg=-log(5*10-3)
temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*850*sumk/lg) %Untuk nilai yo = 850
outbtOFDM=temp
for nk=1:k %Untuk k = 2
    sumk=sumk+1/nk
end
lg=-log(5*10-3)
temp=(512/100,8x10-6)*log2(1+1.5*900*sumk/lg) %Untuk nilai yo = 900
outbtOFDM=temp
endfunction
    
```



Lampiran 6. Listing Program Scilab 5.4.0 Menghitung Bit Rate OFDM-TDMA Modulasi 16-QAM

```
function BEROUT=BER(tflbitrate, Ts, Nfft, yo) % Variabel: tflbitrate, Ts, Nfft, yo
x=tflbitrate*Ts/Nfft
denum=2^x-1
tempatas=-1.5*yo/denum
BEROUT=(%e^tempatas)/5
endfunction
```

```
function BEROUT=BER(tflbitrate, Ts, Nfft, yo) % tflbitrate=4,06x107; Nfft=512;
x=4,06x107*100,8x10-6/512
```

```
denum=2^x-1
```

```
tempatas=-1.5*52,98/denum %Untuk yo=52,98
```

```
BEROUT=(%e^tempatas)/5
```

```
x=4,06x107*100,8x10-6/512
```

```
denum=2^x-1
```

```
tempatas=-1.5*60/denum %Untuk yo=60
```

```
BEROUT=(%e^tempatas)/5
```

```
x=4,06x107*100,8x10-6/512
```

```
denum=2^x-1
```

```
tempatas=-1.5*80/denum %Untuk yo=80
```

```
BEROUT=(%e^tempatas)/5
```

```
x=4,06x107*100,8x10-6/512
```

```
denum=2^x-1
```

```
tempatas=-1.5*100/denum %Untuk yo=100
```

```
BEROUT=(%e^tempatas)/5
```

```
x=4,06x107*100,8x10-6/512
```

```
denum=2^x-1
```

```
tempatas=-1.5*120/denum %Untuk yo=120
```

```
BEROUT=(%e^tempatas)/5
```

```
x=4,06x107*100,8x10-6/512
```

```
denum=2^x-1
```

```
tempatas=-1.5*140/denum %Untuk yo=140
```

```
BEROUT=(%e^tempatas)/5
```

```
x=4,06x107*100,8x10-6/512
```

```
denum=2^x-1
```

```
tempatas=-1.5*160/denum %Untuk yo=160
```

```
BEROUT=(%e^tempatas)/5
```

```
x=4,06x107*100,8x10-6/512
```

```
denum=2^x-1
```

```
tempatas=-1.5*180/denum %Untuk yo=180
```

```
BEROUT=(%e^tempatas)/5
```

```
x=4,06x107*100,8x10-6/512
```

```
denum=2^x-1
```

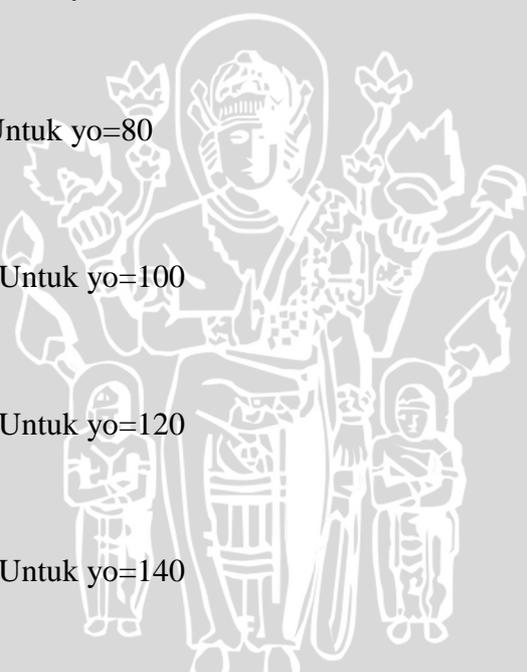
```
tempatas=-1.5*200/denum %Untuk yo=200
```

```
BEROUT=(%e^tempatas)/5
```

```
x=4,06x107*100,8x10-6/512
```

```
denum=2^x-1
```

```
tempatas=-1.5*222/denum %Untuk yo=222
```



BEROUT=(%e^tempatas)/5
Endfunction



Lampiran 7. Listing Program Scilab 5.4.0 Menghitung Bit Rate OFDMA Modulasi 16-QAM

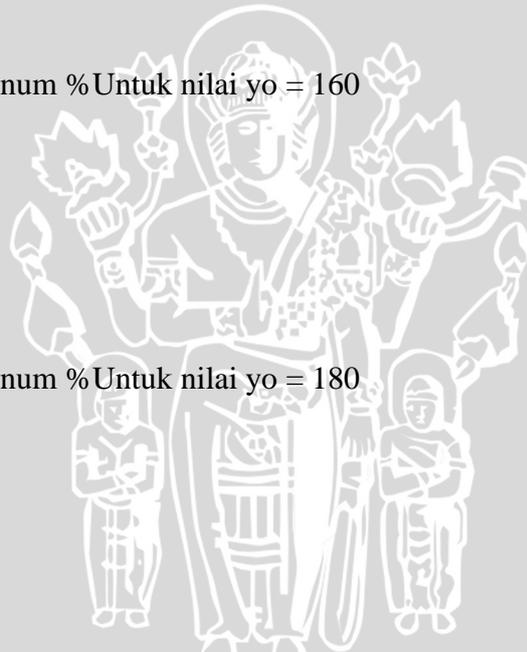
```
function BEROUT=BER2(ttlbitrate, Ts, Nfft, yo, k) % Variabel: ttlbitrate, Ts, Nfft, yo,k
sumk=0
for nk=1:k
    sumk=sumk+1/nk
end
x=ttlbitrate*Ts/Nfft
denum=2^x-1
tempatas=-1.5*yo*sumk/denum
BEROUT=(%e^tempatas)/5
endfunction
```

```
function BEROUT=BER2(ttlbitrate, Ts, Nfft, yo, k) %ttlbitrate=4,06x107; Nfft=512;
Ts=100,8x10-6
sumk=0
for nk=1:k %Nilai k = 2
    sumk=sumk+1/nk
end
x=4,06x107*100,8x10-6/512
denum=2^x-1
tempatas=-1.5*52,98*sumk/denum % Untuk nilai yo = 52,98
BEROUT=(%e^tempatas)/5
sumk=0
for nk=1:k %Nilai k = 2
    sumk=sumk+1/nk
end
x=4,06x107*100,8x10-6/512
denum=2^x-1
tempatas=-1.5*60*sumk/denum % Untuk nilai yo = 60
BEROUT=(%e^tempatas)/5
sumk=0
for nk=1:k %Nilai k = 2
    sumk=sumk+1/nk
end
x=4,06x107*100,8x10-6/512
denum=2^x-1
tempatas=-1.5*80*sumk/denum % Untuk nilai yo = 80
BEROUT=(%e^tempatas)/5
sumk=0
for nk=1:k %Nilai k = 2
    sumk=sumk+1/nk
end
x=4,06x107*100,8x10-6/512
denum=2^x-1
tempatas=-1.5*100*sumk/denum % Untuk nilai yo = 100
BEROUT=(%e^tempatas)/5
sumk=0
for nk=1:k %Nilai k = 2
```

```

    sumk=sumk+1/nk
end
x=4,06x107*100,8x10-6/512
denum=2x-1
tempatas=-1.5*120*sumk/denum %Untuk nilai yo = 120
BEROUT=(%etempatas)/5
sumk=0
for nk=1:k %Nilai k = 2
    sumk=sumk+1/nk
end
x=4,06x107*100,8x10-6/512
denum=2x-1
tempatas=-1.5*140*sumk/denum %Untuk nilai yo = 140
BEROUT=(%etempatas)/5
sumk=0
for nk=1:k %Nilai k = 2
    sumk=sumk+1/nk
end
x=4,06x107*100,8x10-6/512
denum=2x-1
tempatas=-1.5*160*sumk/denum %Untuk nilai yo = 160
BEROUT=(%etempatas)/5
sumk=0
for nk=1:k %Nilai k = 2
    sumk=sumk+1/nk
end
x=4,06x107*100,8x10-6/512
denum=2x-1
tempatas=-1.5*180*sumk/denum %Untuk nilai yo = 180
BEROUT=(%etempatas)/5
sumk=0
for nk=1:k %Nilai k = 2
    sumk=sumk+1/nk
end
x=4,06x107*100,8x10-6/512
denum=2x-1
tempatas=-1.5*200*sumk/denum %Untuk nilai yo = 200
BEROUT=(%etempatas)/5
sumk=0
for nk=1:k %Nilai k = 2
    sumk=sumk+1/nk
end
x=4,06x107*100,8x10-6/512
denum=2x-1
tempatas=-1.5*222*sumk/denum %Untuk nilai yo = 222
BEROUT=(%etempatas)/5
endfunction

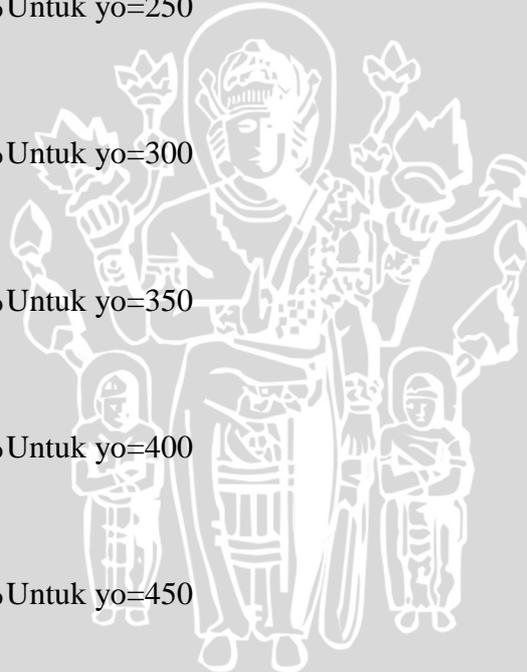
```



Lampiran 8. Listing Program Scilab 5.4.0 Menghitung Bit Rate OFDM-TDMA Modulasi 64-QAM

```
function BEROUT=BER(tntlbitrate, Ts, Nfft, yo) % Variabel: tntlbitrate, Ts, Nfft, yo
    x=tntlbitrate*Ts/Nfft
    denum=2x-1
    tempatas=-1.5*yo/denum
    BEROUT=(%etempatas)/5
endfunction
```

```
function BEROUT=BER(tntlbitrate, Ts, Nfft, yo) % tntlbitrate=4,06x107; Nfft=512;
    x=4,06x107*100,8x10-6/512
    denum=2x-1
    tempatas=-1.5*222,53/denum % Untuk yo=222,53
    BEROUT=(%etempatas)/5
    x=4,06x107*100,8x10-6/512
    denum=2x-1
    tempatas=-1.5*250/denum % Untuk yo=250
    BEROUT=(%etempatas)/5
    x=4,06x107*100,8x10-6/512
    denum=2x-1
    tempatas=-1.5*300/denum % Untuk yo=300
    BEROUT=(%etempatas)/5
    x=4,06x107*100,8x10-6/512
    denum=2x-1
    tempatas=-1.5*350/denum % Untuk yo=350
    BEROUT=(%etempatas)/5
    x=4,06x107*100,8x10-6/512
    denum=2x-1
    tempatas=-1.5*400/denum % Untuk yo=400
    BEROUT=(%etempatas)/5
    x=4,06x107*100,8x10-6/512
    denum=2x-1
    tempatas=-1.5*450/denum % Untuk yo=450
    BEROUT=(%etempatas)/5
    x=4,06x107*100,8x10-6/512
    denum=2x-1
    tempatas=-1.5*500/denum % Untuk yo=500
    BEROUT=(%etempatas)/5
    x=4,06x107*100,8x10-6/512
    denum=2x-1
    tempatas=-1.5*550/denum % Untuk yo=550
    BEROUT=(%etempatas)/5
    x=4,06x107*100,8x10-6/512
    denum=2x-1
    tempatas=-1.5*600/denum % Untuk yo=600
    BEROUT=(%etempatas)/5
    x=4,06x107*100,8x10-6/512
    denum=2x-1
```



tempatas=-1.5*650/denum % Untuk yo=650

BEROUT=(%e^tempatas)/5

x=4,06x10⁷*100,8x10⁻⁶/512

denum=2^x-1

tempatas=-1.5*700/denum % Untuk yo=700

BEROUT=(%e^tempatas)/5

x=4,06x10⁷*100,8x10⁻⁶/512

denum=2^x-1

tempatas=-1.5*750/denum % Untuk yo=750

BEROUT=(%e^tempatas)/5

x=4,06x10⁷*100,8x10⁻⁶/512

denum=2^x-1

tempatas=-1.5*800/denum % Untuk yo=800

BEROUT=(%e^tempatas)/5

x=4,06x10⁷*100,8x10⁻⁶/512

denum=2^x-1

tempatas=-1.5*850/denum % Untuk yo=850

BEROUT=(%e^tempatas)/5

x=4,06x10⁷*100,8x10⁻⁶/512

denum=2^x-1

tempatas=-1.5*900/denum % Untuk yo=900

BEROUT=(%e^tempatas)/5

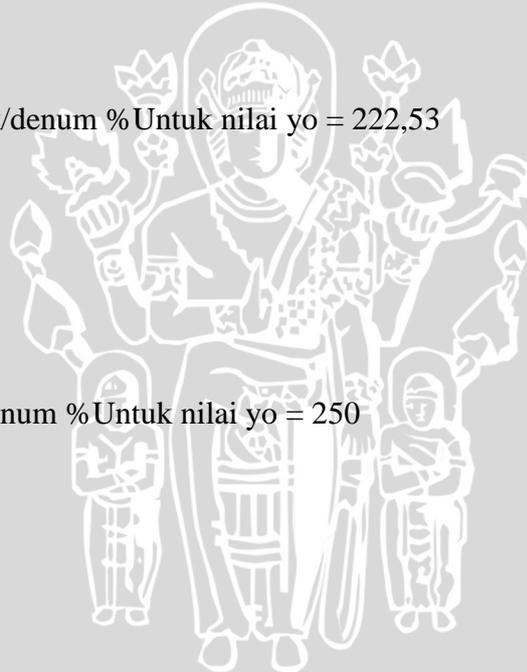
Endfunction



Lampiran 9. Listing Program Scilab 5.4.0 Menghitung Bit Rate OFDM-TDMA Modulasi 64-QAM

```
function BEROUT=BER2(ttlbitrate, Ts, Nfft, yo, k) % Variabel: ttlbitrate, Ts, Nfft, yo,k
    sumk=0
    for nk=1:k
        sumk=sumk+1/nk
    end
    x=ttlbitrate*Ts/Nfft
    denum=2^x-1
    tempatas=-1.5*yo*sumk/denum
    BEROUT=(%e^tempatas)/5
endfunction
```

```
function BEROUT=BER2(ttlbitrate, Ts, Nfft, yo, k) %ttlbitrate=4,06x107; Nfft=512;
Ts=100,8x10-6
    sumk=0
    for nk=1:k %Nilai k = 2
        sumk=sumk+1/nk
    end
    x=4,06x107*100,8x10-6/512
    denum=2^x-1
    tempatas=-1.5*222,53*sumk/denum % Untuk nilai yo = 222,53
    BEROUT=(%e^tempatas)/5
    sumk=0
    for nk=1:k %Nilai k = 2
        sumk=sumk+1/nk
    end
    x=4,06x107*100,8x10-6/512
    denum=2^x-1
    tempatas=-1.5*250*sumk/denum % Untuk nilai yo = 250
    BEROUT=(%e^tempatas)/5
    sumk=0
    for nk=1:k %Nilai k = 2
        sumk=sumk+1/nk
    end
    x=4,06x107*100,8x10-6/512
    denum=2^x-1
    tempatas=-1.5*300*sumk/denum % Untuk nilai yo = 300
    BEROUT=(%e^tempatas)/5
    sumk=0
    for nk=1:k %Nilai k = 2
        sumk=sumk+1/nk
    end
    x=4,06x107*100,8x10-6/512
    denum=2^x-1
    tempatas=-1.5*350*sumk/denum % Untuk nilai yo = 350
    BEROUT=(%e^tempatas)/5
    sumk=0
    for nk=1:k %Nilai k = 2
        sumk=sumk+1/nk
    end
```



```

end
x=4,06x107*100,8x10-6/512
denum=2x-1
tempatas=-1.5*400*sumk/denum %Untuk nilai yo = 400
BEROUT=(%etempatas)/5
sumk=0
for nk=1:k %Nilai k = 2
    sumk=sumk+1/nk
end
x=4,06x107*100,8x10-6/512
denum=2x-1
tempatas=-1.5*450*sumk/denum %Untuk nilai yo = 450
BEROUT=(%etempatas)/5
sumk=0
for nk=1:k %Nilai k = 2
    sumk=sumk+1/nk
end
x=4,06x107*100,8x10-6/512
denum=2x-1
tempatas=-1.5*500*sumk/denum %Untuk nilai yo = 500
BEROUT=(%etempatas)/5
sumk=0
for nk=1:k %Nilai k = 2
    sumk=sumk+1/nk
end
x=4,06x107*100,8x10-6/512
denum=2x-1
tempatas=-1.5*550*sumk/denum %Untuk nilai yo = 550
BEROUT=(%etempatas)/5
sumk=0
for nk=1:k %Nilai k = 2
    sumk=sumk+1/nk
end
x=4,06x107*100,8x10-6/512
denum=2x-1
tempatas=-1.5*600*sumk/denum %Untuk nilai yo = 600
BEROUT=(%etempatas)/5
sumk=0
for nk=1:k %Nilai k = 2
    sumk=sumk+1/nk
end
x=4,06x107*100,8x10-6/512
denum=2x-1
tempatas=-1.5*650*sumk/denum %Untuk nilai yo = 650
BEROUT=(%etempatas)/5
sumk=0
for nk=1:k %Nilai k = 2
    sumk=sumk+1/nk
end
x=4,06x107*100,8x10-6/512

```



```

denum=2^x-1
tempatas=-1.5*700*sumk/denum %Untuk nilai yo = 700
BEROUT=(%e^tempatas)/5
sumk=0
for nk=1:k %Nilai k = 2
    sumk=sumk+1/nk
end
x=4,06x107*100,8x10-6/512
denum=2^x-1
tempatas=-1.5*750*sumk/denum %Untuk nilai yo = 750
BEROUT=(%e^tempatas)/5
sumk=0
for nk=1:k %Nilai k = 2
    sumk=sumk+1/nk
end
x=4,06x107*100,8x10-6/512
denum=2^x-1
tempatas=-1.5*800*sumk/denum %Untuk nilai yo = 800
BEROUT=(%e^tempatas)/5
sumk=0
for nk=1:k %Nilai k = 2
    sumk=sumk+1/nk
end
x=4,06x107*100,8x10-6/512
denum=2^x-1
tempatas=-1.5*850*sumk/denum %Untuk nilai yo = 850
BEROUT=(%e^tempatas)/5
sumk=0
for nk=1:k %Nilai k = 2
    sumk=sumk+1/nk
end
x=4,06x107*100,8x10-6/512
denum=2^x-1
tempatas=-1.5*900*sumk/denum %Untuk nilai yo = 900
BEROUT=(%e^tempatas)/5
endfunction

```



Lampiran 10. Spesifikasi WIMAX

| Parameter | Value |
|---|----------------------|
| <i>Operating Frequency</i> | 2300 MHz |
| <i>Duplex</i> | TDD |
| <i>Channel Bandwidth</i> | 5 MHz |
| <i>Modulation Techniques</i> | QPSK, 16-QAM, 64-QAM |
| <i>BS Height</i> | 32 meters |
| <i>Mobile Terminal Height</i> | 1,5 meters |
| <i>BS Maximum Amplifier Power</i> | 35 dBm |
| <i>BS Antena Gain</i> | 16 dBi |
| <i>MS Antena Gain</i> | 0 dBi |
| Parameter | Value |
| <i>Mobile Terminal Maximum PA power</i> | 23 dBm |
| <i>Operating Temperature</i> | 0°C - 40°C |

(Sumber : WiMAX Forum, 2006)