

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

Syailendra Dwitama Iskandar¹, Ir. Endah Budi P., MT.², Dwi Fadila K., ST., MT.³

Abstrak— *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 penransmisi 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 penransmisiannya yang didasarkan pada pembagian waktu (*time division*) sedangkan OFDMA menggunakan pembagian frekuensi sebagai metode penransmisi.

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 (40,6 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).

Kata Kunci — IEEE 802.16, OFDM-TDMA, OFDMA

¹ Syailendra Dwitama Iskandar adalah mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya; email: debycahya.dc@gmail.com

² Ir. Endah Budi P., MT. adalah staf pengajar Teknik Elektro Universitas Brawijaya

³ Dwi Fadila K., ST., MT. adalah staf pengajar Teknik Elektro Universitas Brawijaya

I. PENDAHULUAN

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. Standar BWA yang saat ini umum diterima dan secara luas digunakan adalah standar yang dikeluarkan oleh *Institut of Electrical and Electronics Engineers* (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. 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 [9]. Untuk melayani jarak jangkauannya 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 akses 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. 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.\

I. TINJAUAN PUSTAKA

1.1. 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. 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. 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 20 Mbps. [3]

1.2. Worldwide Interoperability Microwave Access (WiMAX)

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. [1]

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). [1]

1.3. QoS pada WiMAX

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.

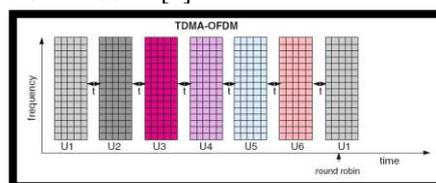
Perubahan parameter QoS bisa diminta oleh SS ke BS dengan sambungan masih tetap terjaga. Berdasarkan jenisnya, QoS pada WiMAX ini dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis yaitu *Real Time Packet Service* (*rtPS*), *Non-Real Time Packet Service* (*nrtPS*) dan *Best Effort* (BE). [4]

- **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*.
- **Non-Real Time Polling Service (nrtPS)**
Untuk pelanggan yang membutuhkan *bandwidth* yang besar, namun bisa mentolerir *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*.
- **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.

1.4. Kombinasi OFDM dengan Skema Multi-Akses

OFDM-TDMA

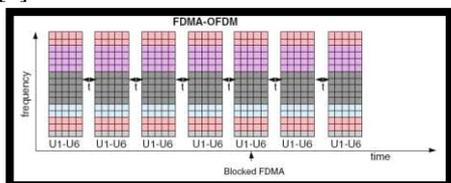
OFDM-TDMA membagi waktu menjadi peluang transmisi ortogonal untuk setiap pengguna seperti yang terlihat pada Gambar. 2.1. Setiap *user* mentransmisikan data menggunakan seluruh *subcarrier* yang dialokasikan secara *fixed* pada setiap *timeslot* dengan metode *round robin*. [1]



Gambar 2.1 OFDM-TDMA

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 2.2, alokasi yang *fixed* (tetap) tersebut tidak berubah terhadap waktu namun jumlah subcarrier di setiap user dapat berbeda-beda. [1]



Gambar 2.2 OFDMA

II. METODOLOGI

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

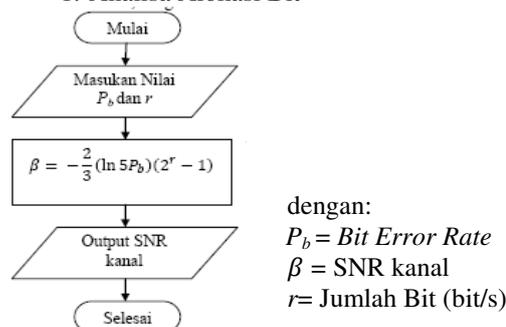
Pengambilan data dilakukan untuk memperoleh data – data yang diperlukan dalam menyelesaikan skripsi ini. Data-data yang diperlukan dalam kajian ini terdiri dari data sekunder yang bersumber dari buku referensi, jurnal, skripsi, internet, dan forum-forum resmi WIMAX dan OFDM. Data sekunder yang digunakan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

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

3.3 Perhitungan Dan Analisis Data

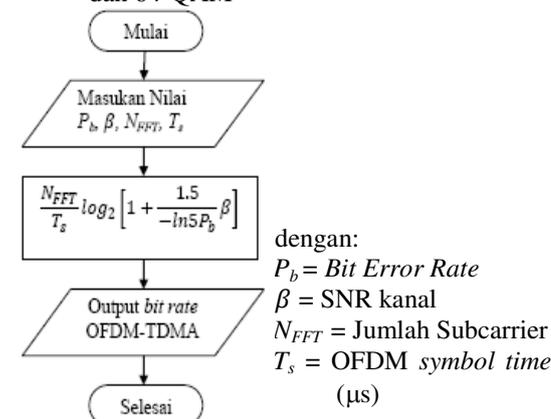
Perhitungan dalam skripsi ini menggunakan *software* Scilab 5.4.0. Perhitungan dan analisis data yang dilakukan dalam skripsi ini meliputi performansi sebagai berikut:

1. Analisa Alokasi Bit



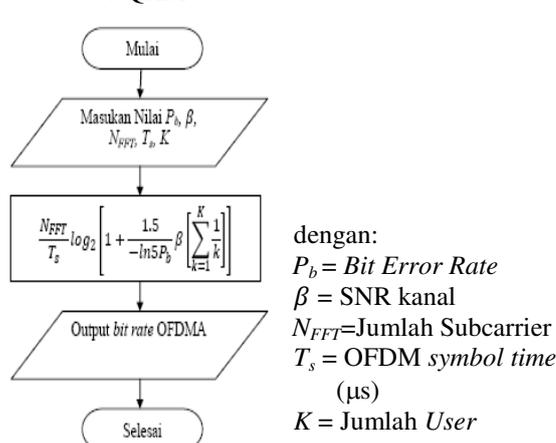
Gambar 3.1 Flowchar Analisis Alokasi Bit

2. Analisis *Bit Rate* OFDM-TDMA Modulasi 16- dan 64-QAM



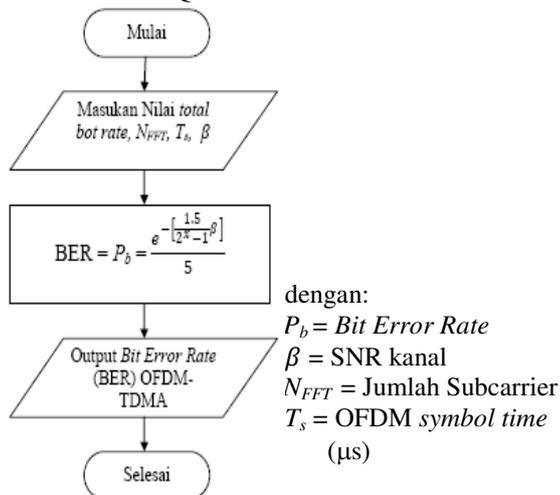
Gambar 3.2. Flowchart Analisis *bit rate* OFDM-TDMA

3. Analisis *Bit Rate* OFDMA Modulasi 16- dan 64-QAM



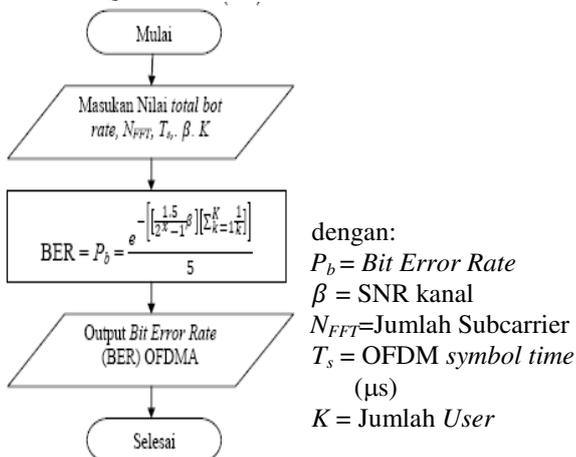
Gambar 3.3. Flowchart Analisis *bit rate* OFDMA

4. Analisis BER OFDM-TDMA Modulasi 16- dan 64-QAM



Gambar 3.4. Flowchart Analisis BER OFDM-TDMA

5. Analisis BER OFDMA Modulasi 16- dan 64-QAM



Gambar 3.5. Flowchart Analisis 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.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Alokasi Bit pada Modulasi Adaptif

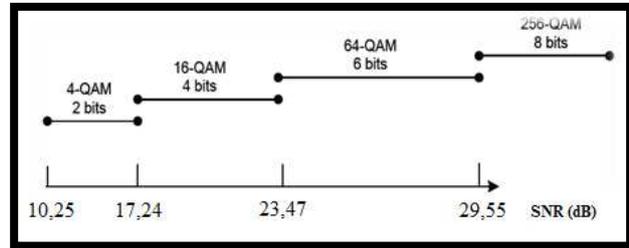
Pengalokasian bit digunakan metode modulasi adaptif, dengan cara, pertama, membagi-bagi nilai SNR kanal menjadi beberapa bagian dengan penentuan batas-batasnya berupa $\vec{\beta} = (\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4)$.

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} . [5]. Menggunakan persamaan berikut didapat,

$$\beta = -\frac{2}{3}(\ln 5P_b)(2^r - 1). \quad (4.1)$$

Dengan P_b merupakan BER target sebesar 10^{-3} dan jumlah bit $r = \{2, 4, 6, 8\}$ Semakin banyak jumlah bit yang dialokasikan berbanding lurus dengan semakin besarnya SNR kanal β .



Gambar 4.1 Skema Modulasi Adaptif sebagai Fungsi SNR

Gambar 4.1 menggambarkan pilihan skema modulasi adaptif pada jaringan WIMAX (IEEE 802.16) dimana nilai SNR kanal akan mempengaruhi pemilihan skema modulasi yang tepat dan juga akan menentukan kualitas layanan (*Quality of Service*) jaringan tersebut

3.2. Analisis *Bit Rate* Modulasi 16- & 64-QAM

a) *Bit Rate* 16-QAM

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 [6]

OFDM-TDMA

Neuk nilai P_b dan β yang telah diberikan, kita dapat menentukan besaran *but rate* menggunakan persamaan

$$\text{bit rate (bits/sec)} = \frac{N_{FFT}}{T_s} \log_2 \left[1 + \frac{1.5}{-\ln 5P_b} \beta \right] \quad (4.2)$$

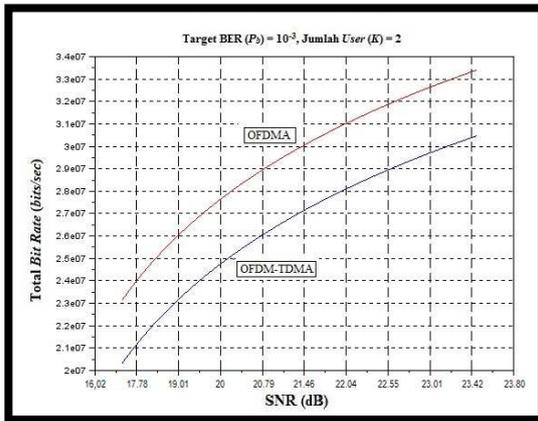
Dengan N_{FFT} merupakan jumlah *subcarrier* sebesar 512 dan $T_s = 100,8 \mu s$ merupakan OFDM *symbol time*.

OFDMA

Jumlah *User* (K) akan mempengaruhi nilai *bit rate* pada OFDMA

$$\text{Bit rate} = \frac{N_{FFT}}{T_s} \log_2 \left[1 + \frac{1.5}{-\ln 5P_b} \beta \left[\sum_{k=1}^K \frac{1}{k} \right] \right] \quad (4.3)$$

SNR pada modulasi 16-QAM digunakan sebesar 52,98 $\leq \beta < 222,53$



Gambar 4.2 Bit Rate OFDM-TDMA dan OFDMA 16-QAM

b) Bit Rate 64-QAM

OFDM-TDMA

Uneuk nilai P_b dan β yang telah diberikan, kita dapat menentukan besaran *but rate* menggunakan persamaan

$$\text{bit rate (bits/sec)} = \frac{N_{FFT}}{T_s} \log_2 \left[1 + \frac{1.5}{-\ln 5 P_b} \beta \right] \quad (4.2)$$

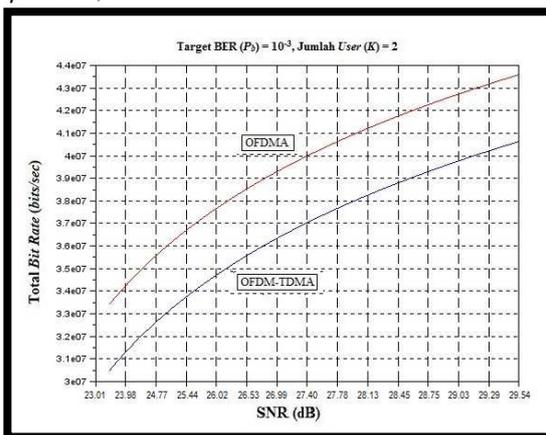
Dengan N_{FFT} merupakan jumlah *subcarrier* sebesar 512 dan $T_s = 100,8 \mu\text{s}$ merupakan OFDM *symbol time*.

OFDMA

Jumlah *User* (K) akan mempengaruhi nilai *bit rate* pada OFDMA

$$\text{Bit rate} = \frac{N_{FFT}}{T_s} \log_2 \left[1 + \frac{1.5}{-\ln 5 P_b} \beta \left[\sum_{k=1}^K \frac{1}{k} \right] \right] \quad (4.3)$$

SNR pada modulasi 64-QAM digunakan sebesar 222,53 $\leq \beta < 900,71$



Gambar 4.3 Bit Rate OFDM-TDMA dan OFDMA 64-QAM

3.3. Analisis Bit Error Rate (BER) Modulasi 16- & 64-QAM

a). BER 16-QAM

BER (*bit error rate*) didefinisikan sebagai perbandingan jumlah *bit error* terhadap total bit yang diterima [6]. BER didapat melalui persamaan:

OFDM-TDMA

Uneuk nilai *bit rate* dan β yang telah diberikan, kita dapat menentukan besaran BER menggunakan persamaan

$$\text{BER} = P_b = \frac{e^{-\left[\frac{1.5}{2^x - 1} \beta\right]}}{5} \quad (4.4)$$

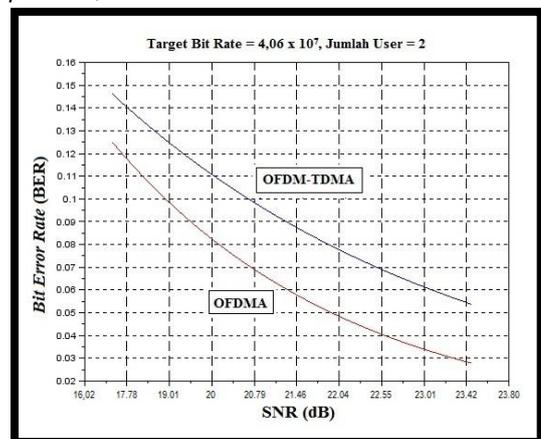
Dengan target *bit rate* $4,06 \times 10^7$ bit/sec, $N_{FFT}=512$ dan $T_s = 100,8 \mu\text{s}$

OFDMA

Seperti pada *bit rate*, jumlah *user* K mempengaruhi nilai BER pada OFDMA.

$$\text{BER} = P_b = \frac{e^{-\left[\frac{1.5}{2^x - 1} \beta \left[\sum_{k=1}^K \frac{1}{k} \right] \right]}}{5} \quad (4.5)$$

SNR pada modulasi 16-QAM digunakan sebesar 52,98 $\leq \beta < 222,53$



Gambar 4.4 BER OFDM-TDMA dan OFDMA 16-QAM

b). BER 64-QAM

OFDM-TDMA

Uneuk nilai *bit rate* dan β yang telah diberikan, kita dapat menentukan besaran BER menggunakan persamaan

$$\text{BER} = P_b = \frac{e^{-\left[\frac{1.5}{2^x - 1} \beta\right]}}{5} \quad (4.4)$$

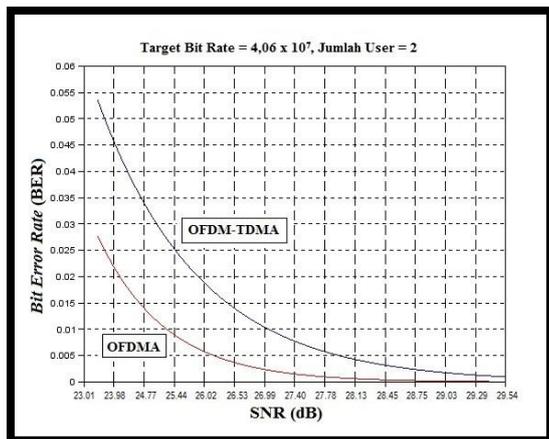
Dengan target *bit rate* $4,06 \times 10^7$ bit/sec, $N_{FFT}=512$ dan $T_s = 100,8 \mu\text{s}$

OFDMA

Seperti pada *bit rate*, jumlah *user* K mempengaruhi nilai BER pada OFDMA.

$$\text{BER} = P_b = \frac{e^{-\left[\frac{1.5}{2^x - 1} \beta \left[\sum_{k=1}^K \frac{1}{k} \right] \right]}}{5} \quad (4.5)$$

SNR pada modulasi 16-QAM digunakan sebesar 222,53 $\leq \beta < 900,71$



Gambar 4.5 BER OFDM-TDMA dan OFDMA 64-QAM

IV. PENUTUP

4.1. Kesimpulan

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.

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,

- 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).
- 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).

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),

- 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 ($2,79 \times 10^{-2}$).
- 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 ($6,85 \times 10^{-5}$).

4.2. Saran

Saran yang diberikan adalah:

- Menganalisis performansi *Quality of Service* (QoS pada IEEE 802.16 menggunakan data primer dalam metode pengambilan data.
- Menganalisis penerapan OFDM-TDMA dan OFDMA pada IEEE 802.16 (WiMAX) untuk parameter lain seperti *delay* dan *packet throughput*.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Andrews, Jeffrey G. 2006. *Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)*. United States: Pearson Education, Inc.
- Chen, Kwang-Cheng, J. Roberto B. De Marca. 2008. *Mobile WiMAX*. London : John Wiley & Sons, Inc.
- 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.
- H. Rohling and R. Grunheid, .Performance comparison of different multiple access schemes for the downlink of an OFDM communication system., in *Proc. IEEE Vehicular Technology Conf. (VTC'97)*, May 1997, pp. 1365.1369.
- Kumar, Amitabh. 2008. *Mobile Broadcasting with WiMAX :Principles, Technology, and Applications*. Oxford : Elsevier Inc.
- Prasad, Ramjee, Muhammad Imadur Rahman, Suvra Sekhar Das, Nicola Marchetti. 2009. *Single- and Multi-Carrier MIMO Transmission for Broadband Wireless System*. London : River Publisher.
- Wibisono, Gunawan dan Gunadi Dwi Hantoro. 2009. *Peluang dan Tantangan Bisnis WiMAX di Indonesia*. Bandung : Informatika.
- WiMAX Forum. 2006. *Mobile WiMAX - Part I : A Technical Overview and Performace Analysis*.