Simulasi Kinerja Modulasi Pada Jaringan *WiMAX* Dengan Menggunakan Simulator *OPNET Modeller* 14.0

Ilham Dwi Anshori*, Anhar, Yusnita Rahayu****
*Alumni Teknik Elektro Universitas Riau **Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Email: ilhamdwianshori@gmail.com

ABSTRACT

Access communication fast, flexible and reliable is needed to support the growing information technology. Therefore, needed a network that can meet those criterias, one of which is WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access). One of features that is given to optimize the quality of the WiMAX network is to use a modulation technique, such as QPSK, 16QAM, and 64QAM. The purpose of this study is to analyze the performance of WiMAX networks that include Bit Error Rate (BER), Signal to Noise Ratio (SNR), delay and throughput. In this research, the WiMAX network is simulated using OPNET simulator which consists of two scenarios. In Scenario 1 consists of 3 cell with 9 users, while the second scenario consists of 4 cell with 12 users. Research shows that the lowest BER value in scenarios 1 and 2 is achieved with QPSK modulation with a value of 8 x 10^{-6} and 8,05 x 10^{-}6. While the highest SNR value in scenario 1 and 2 is achieved with QPSK modulation with a value of 34.25 dB and 44.06 dB. The calculation of throughput, highest throughput in scenarios 1 and 2 is achieved with 64QAM modulation with a value of 60.79 Mbps and 52.60 Mbps. As for the delay calculation, the value of the lowest delay in scenarios 1 and 2 is achieved with QPSK modulation with a value of 7.16 ms and 4.20 ms.

Keywords : modulation techniques , BER, SNR, delay, throughput

I. PENDAHULUAN

Akses komunikasi yang cepat, fleksibel dan reliable sangat dibutuhkan untuk mendukung teknologi informasi yang semakin berkembang.Oleh karena itu, dibutuhkan jaringan yang dapat memenuhi kebutuhan tersebut yaitu teknologi *WiMAX* (*Worldwide Interoperability for Microwave Access)*.

Salah satu teknologi penting pada *WiMAX* adalah penggunaan teknik modulasi. Teknik modulasi merupakan salah satu fitur WiMAX, dimana kondisi kanal dan nilai SNR mempengaruhi penggunaan skema modulasi yang berbeda. Bila kondisi kanal buruk, maka digunakan skema modulasi dengan level yang lebih rendah sehingga komunikasi kontinyu tetap terjaga. Dan sebaliknya bila kondisi kanal bagus, maka digunakan skema modulasi dengan level yang lebih tinggi, sehingga menghasilkan sistem dengan kapasitas yang lebih besar. Dan untuk peningkatan akses yang cepat dapat dipenuhi dengan meningkatkan *data rate* dan spektrum efisiensi. Sedangkan ke-*reliable*-an sistem dapat ditingkatkan dengan menurunkan BER (*Bit Error Rate*). Hal inilah yang mendorong para pakar telekomunikasi untuk terus mengembangan inovasi teknologi akses nirkabel yang lebih baik lagi.(Sitepu,2010)

Skema modulasi yang dipakai pada sistem ini adalah QPSK, 16QAM, dan 64QAM. Dengan adanya kemampuan seperti ini, diharapkan dapat digunakan sebagai solusi yang menjanjikan untuk mengembangkan teknologi nirkabel yang lebih baik lagi ke depannya.

Analisa terhadap kinerja sebuah jaringan banyak dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak. Salah satu perangkat lunak yang banyak digunakan untuk menganalisa kinerja sebuah jaringan adalah *OPNET*. Pada skripsi ini, penulis akan

menggunakan perangkat lunak *OPNET* untuk memodelkan jaringan *WiMAX* dan menganalisa kinerja modulasinya.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian *WiMAX*

WiMAX adalah singkatan dari *Worldwide Interoperability for Microwave Access*, merupakan teknologi nirkabel akses pita lebar yang meyediakan performansi seperti halnya jaringan 802.11 (*Wi-Fi*) dengan jangkauan dan QOS jaringan seluler.(Daryanto,2010)

Teknologi *WiMAX* juga menyediakan berbagai keuntungan bila dibandingkan dengan teknologi DSL, yakni kemampuan untuk menjangkau daerah pelanggan hingga radius 30 mil, bekerja pada kondisi NLOS (*Non-Line of Sight*) dengan kecepatan laju data hingga mencapai 75Mbps (tergantung spesifikasi yang digunakan). Kemampuan ini membuat *WiMAX* menjadi teknologi yang sangat berkembang di seluruh dunia. (G. Andrews *et al*, 2007)

Seperti halnya *Wi-Fi*, *WiMAX* ini diatur oleh standar yang dikeluarkan oleh *IEEE* dengan standar 802.16. Standar tersebut merupakan standar Wireless MANs (*Wireless Metropolitan Area Network*). Standar 802.16 memiliki beberapa turunan standar. Untuk standar *WiMAX* sendiri yang paling sering digunakan adalah 802.16d pada tahun 2004 dan 802.16e pada tahun 2005. Untuk standar 802.16d digunakan untuk aplikasi *fixed wireless* sebaliknya untuk 802.16e dipakai untuk aplikasi *mobile wireless.* (Daryanto,2010)

Secara performa layanan, teknologi *WiMAX* ini memiliki kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan *Wi-Fi*. Teknologi ini mampu menyediakan akses pita lebar atau BWA (*Broadband Wireless Access*) dengan jangkauan yang luas. dengan teknologi *WiMAX* ini, untuk yang *fixed wireless* mampu menjangkau hingga 50 km sedangkan untuk yang *mobile wireless* mampu menjangkau hingga 5-15 km. Hal ini berdeda sekali dengan teknologi *Wi-Fi* yang hanya mampu menjangkau antara 30-100 km. (Daryanto,2010)

2.2 Perkembangan *WiMAX*

WiMAX telah melalui beberapa tahapan pengembangan dan standarisasi. Standar awal *WiMAX* yaitu 802.16 kemudian berkembang menjadi standar 802.16a, 802.16-2004, dan 802.16e-2005.

Tabel 2.1 Perbandingan Standar IEEE 802.16

	802.16	802.16-2004	802.16e-2005
Status	Desember 2001	Juni 2004	Desember 2005
Frekuensi Kerja	10GHz-66GHz	2GHz-11GHz	2GHz-11GHz untuk *fixed*, 2GHz-6GHz untuk *mobile*
Aplikasi	*Fixed* LOS	*Fixed* NLOS	*Fixed* dan *mobile* NLOS
Arsitektur MAC	*Point-to-multipoint, mesh*	*Point-to-multipoint, mesh*	*Point-to-multipoint, mesh*
Skema transmisi	*Single carrier*	*Single carrier*, 256 OFDM atau 2048 OFDM	*Single carrier*, 256 OFDM atau *scalable* OFDM dengan 128, 512, 1024 atau 2048 *subcarrier*
Modulasi	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
Laju data kotor	32Mbps-134.4Mbps	1Mbps-75Mbps	1Mbps-75Mbps
Multiplexing	*Burst* TDM/TDMA	*Burst* TDM/TDMA/OFDMA	*Burst* TDM/TDMA/OFDMA
Duplexing	TDD dan FDD	TDD dan FDD	TDD dan FDD
Lebar pita kanal	20MHz, 25MHz, 28MHz	1.75MHz, 3.5MHz, 7MHz, 14MHz, 1.25MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz, 8.75MHz	1.75MHz, 3.5MHz, 7MHz, 14MHz, 1.25MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz, 8.75MHz
Implementasi WiMAX	Tidak ada	256 – OFDM sebagai *Fixed* WiMAX	*Scalable* OFDM sebagai *Mobile* WiMAX

2.3 Prinsip Kerja *WiMAX*

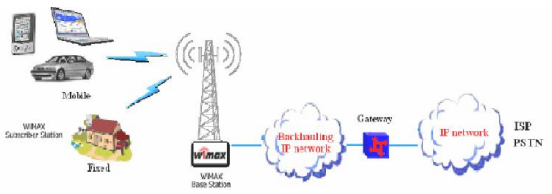
WiMAX dapat bekerja dengan memberikan 2 format layanan *wireless* : (Khmosiati:2009)

a. *Non Line Of Sight*, dimana sebuah antenna kecil dipasang pada komputer dihubungkan dengan menara pemancar
b. *Line Of Sight*, dimana sebuah antenna tetap dipasang pada menara WiMAX.

2.4 Arsitektur Jaringan *WiMAX*

Secara umum *subscriber station* (SS) dari sistem *WiMAX* terdiri atas dua bagian yaitu tetap (*fixed SS*) dan bergerak (*mobile SS*) , *Mobile subscriber* (MS) dapat berupa PDA, telepon seluler biasa, laptop yang *portable*,

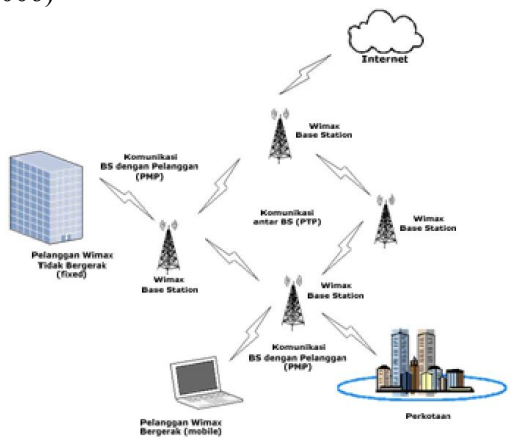
dan juga pada kendaraan yang bergerak. Untuk dapat mengakses jaringan *WiMAX*, pada setiap perangkat dari MS haruslah dilengkapi sebuah peralatan yang disebut dengan *Costumer Premises Equipment* (CPE), oleh karenanya perangkat CPE merupakan perangkat yang akan banyak dibutuhkan. Perangkat CPE tersusun atas komponen sistem radio yang terdiri atas antena, *filter*, *mixer*, *amplifier* dan alat *modulator*/*demodelator*. (Rambe, 2008)



Gambar 2.1 Arsitektur Dasar Sistem WiMAX
Sumber (Rambe, 2008)

2.5 Topologi Jaringan WiMAX

Saat ini WiMAX mendukung topologi jaringan PTP (*Point to Point*) maupun PMP (*Point to Multipoint*). Pada topologi jaringan PTP setiap BS akan terkoneksi dengan BS lainnya dengan menggunakan antena yang terarah satu dengan lainnya (*directional antenna*). Sedangkan pada jaringan PMP setiap BS akan melayani banyak pengguna dengan menggunakan antenna segala arah (*omnidirectional antenna*). Topologi jaringan WiMAX terlihat pada gambar 2. (Sauter ,2006)



Gambar 2.2. Topologi Jaringan WiMAX
Sauter (2006)

2.6 Modulasi

Modulasi merupakan teknik penumpangan sinyal informasi pada suatu sinyal carrier. Sinyal informasi memodulasi sinyal pembawa dengan cara amplitude, frekuensi, atau fasanya. (Aditya *et al,* 2013)

Berikut dijelaskan masing-masing dari modulasi digital yang dibahas pada skripsi ini:

a. Quadrature Phase Shift Keying (QPSK), Modulasi QPSK merupakan modulasi yang sama dengan BPSK, hanya saja pada modulasi QPSK terdapat 4 (empat) level sinyal, yang merepresentasikan 4 kode binary yaitu '00','01','11','10'. Masing-masing level sinyal disimbolkan pada perbedaan phasa dengan beda phasa sebesar 90^0.
b. Quadrature amplitude modulation (QAM) adalah Teknik modulasi QAM termasuk teknik modulasi digital yang merupakan gabungan antara teknik modulasi phasa dan modulasi amplitudo. Jadi beberapa bit dibawa oleh sinyal *carrier* dalam bentuk perubahan phase dan beberapa bit yang lainnya dalam bentuk perubahan amplitudo.
c. Modulasi 16 QAM yaitu, aliran bit data dikelompokan menjadi kelompok-kelompok yang terdiri dari 4 bit disebut kuabit, sehingga terdapat 24 atau 16 kombinasi.
d. Modulasi 64 QAM adalah teknik encoding M-er dengan M=64 dimana ada 64 keluaran yang mungkin dengan amplitudo dan fasa yang berbeda . Data masukan biner dibagi menjadi 6 bit (2^6=64) atau disebut heksabit.Data masukan biner dibagi menjadi 6 kanal yaitu : Q,Q',Q" I,I' dan I" laju bit pada masin-masing kanal sebesar 1/6 dari laju masukan (fb/6)

2.7 QOS Pada WiMAX

Teknologi *WiMAX* dapat menjalankan QoS dengan berbagai kebutuhan *bandwith* dan aplikasi. Sebagai contoh aplikasi *voice* dan *video* memerlukan *latency* yang rendah tetapi masih bisa mentolerir beberapa *error rate*. Kemampuan pengalokasian besarnya *bandwith* pada suatu kanal pada saat yang tepat merupakan konsep mekanisme penting pada standar WiMAX untuk menurunkan *latency* dan meningkatkan QoS.(Johan, 2008)

Perubahan parameter QoS bisa diminta oleh SS ke BS dengan sambungan masih tetap terjaga. Kemampuan ini memungkinkan WiMAX menjalankan layanan *Bandwith on*

Demand (BoD). Berdasarkan jenisnya, QoS pada WiMAX ini dapat dikelompokkan menjadi empat jenis yaitu *Unsolicited Grant Service (UGS), Real Time Packet Service (rtPS), Extended Real Time Service (ertPS), Non-Real Time Packet Service (nrtPS), dan Best Effort (BE).*(Johan, 2008)

2.8 Parameter Performansi Sistem

Pada jaringan wimax ada beberapa parameter yang digunakan untuk mengukur performansi sistem. Adapun parameter-parameter tersebut adalah :

a. Signal to Noise Ratio (SNR)

SNR adalah perbandingan antara sinyal yang dikirim terhadap *noise*. SNR digunakan untuk mengetahui besarnya pengaruh redaman sinyal terhadap sinyal yang ditransmisikan. SNR dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (1): (Kumar, 2008)

$$SNR = P_r - N_o \quad \text{.....(1)}$$

Daya yang diterima *receiver* (Pr) dipengaruhi oleh propagasi sinyal dari pemancar ke penerima. Daya terima dapat dinyatakan dalam Persamaan (2):

$$P_r = P_t + G_t + G_r - PL - 10log_{10}(N) \text{ .....(2)}$$

Perhitungan nilai *pathloss* (PL) berdasarkan kondisi NLOS (Hes-Shafi dkk, 2009)

$$P_L(dB) = P_L(dB) = A_{fs} + A_{bm} - G_b - G_r \text{ .....(3)}$$

Sedangkan untuk nilai daya *noise* (No), dihitung dengan menggunakan Persamaan (4) : (Diggelen, 2009)

$$N_o = 10.\ Log_{10}(k.T) + 10.Log_{10}(B_{sistem}) + NF \text{.....(4)}$$

b. Bit Error Rate (BER)

Perhitungan nilai BER sistem dipengaruhi oleh nilai Eb/No. Eb/No adalah suatu parameter yang berhubungan dengan SNR yang biasanya digunakan untuk menentukan laju data digital dan mutu standar kinerja sistem digital. Dari namanya, Eb/No dapat didefinisikan sebagai perbandingan energi sinyal per *bit* terhadap *noise*. Perhitungan nilai Eb/No dijelaskan dalam Persamaan (5) : (Siska *et al,* 2013)

$$\left(\frac{Eb}{No}\right) = SNR_{sistem} + 10 \log \frac{B_{sistem}}{R} \text{ .....(5)}$$

c. Delay

Merupakan waktu yang dibutuhkan data untuk menempuh jarak dari asal ke tujuan. (Ridwan *et al*, 2014)

Pada tabel 2.2 dapat dilihat standar pengelompokkan *delay.*

Tabel 2.8 Pengelompokan *delay*
(Prihatini, 2013)

Delay(ms)	**Kualitas**
$\mathbf{T_{end\ to\ end} < 150}$	Baik
$\mathbf{150 \leq T_{end\ to\ end} \leq 400}$	Cukup, masih dapat diterima
$\mathbf{T_{end\ to\ end} > 400}$	Buruk

d. Throughput

Throughput merupakan nilai yang menyatakan besarnya paket baik atau tanpa rusak yang diterima disisi *client* atau juga prosentase dari banyaknya paket bagus yang diterima pada penerima dibagi dengan jumlah paket yang dikirim setelah dikurangi dengan banyaknya paket loss yang terjadi. Adapun Persamaan *throughput :* (Ridwan *et al,* 2014)

$$Throughput = \frac{\textbf{\textit{Paket terima}}}{\textbf{\textit{Paket kirim}}} \text{ x } 100\ \% \text{.....(6)}$$

III. METODE PENELITIAN

Pada Bab ini akan dijabarkan tahap-tahap dalam melakukan perancangan simulasi kinerja modulasi jaringan *WiMAX* yang disimulasikan menggunakan *OPNET*. Studi literatur sebagai langkah awal dalam perancangan topologi jaringan digunakan untuk menambah wawasan tentang *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (WiMAX). Perancangan pertama kali dengan membentuk beberapa skenario simulasi. Skenario simulasi akan dibuat dalam dua skenario dengan modulasi yang berebeda, skenario1 terdiri dari 3 cell dan skenario 2 terdiri dari 4 cell . Adapun parameter kinerja yang akan ditinjau adalah *Signal to Noise*

Rasio (SNR), Bit Error Rate (BER), Delay, Throughput.

3.1 Perlengkapan yang digunakan

Pada skripsi ini penelitiannya hanya menggunakan *software* untuk mengetahui kinerja dari modulasi pada WiMAX, adapun software yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. (Optimized *Network* Engineering Tool) OPNET 14.0
2. *Microsoft Visio* 2006
3. *Microsoft Excel* 2007

3.2 Perlengkapan yang digunakan

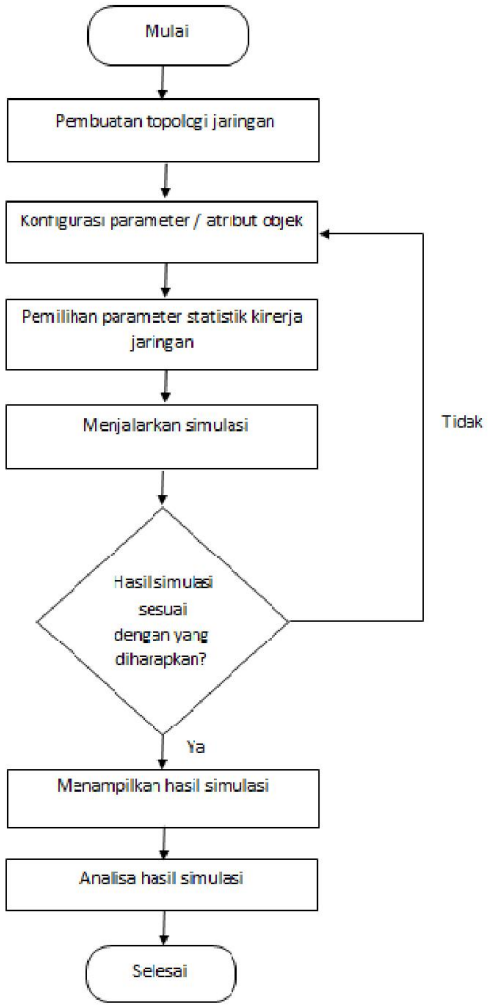
Pemilihan perangkat lunak (*software*) diperlukan untuk menggambarkan hasil design simulasi dengan yang sebenarnya.

Pada skripsi ini digunakan OPNET *Modeller* 14.0 untuk melakukan simulasi jaringan *WiMAX*. Adapun pemilihan OPNET untuk skripsi ini adalah karena OPNET memiliki banyak kelebihan diantaranya , dapat memodelkan keseluruhan komponen jaringan, termasuk router, switch, server.

3.3 Diagram Alir Perancangan Jaringan *WiMAX*

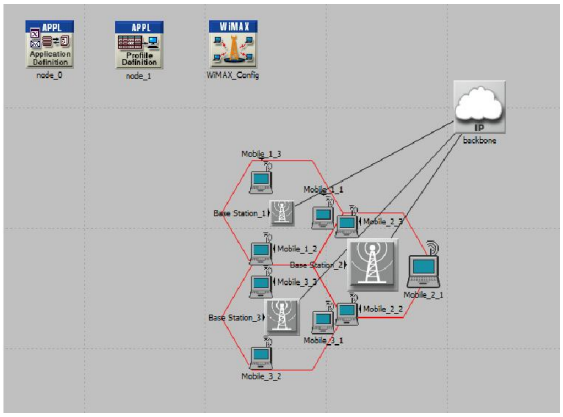
Pada skripsi ini akan dirancang jaringan wimax yang terdiri dari tiga cell wimax yaitu BS (base station) tunggal dan tiga SS (subsciber station) per cell. Setiap BS akan terhubung ke jaringan backbone. Perancangan jaringan ini menggunakan OPNET *Modeller* 14.0 .

Adapun langkah-langkah simulasi jaringan wimax menggunakan OPNET adalah sebagai berikut :

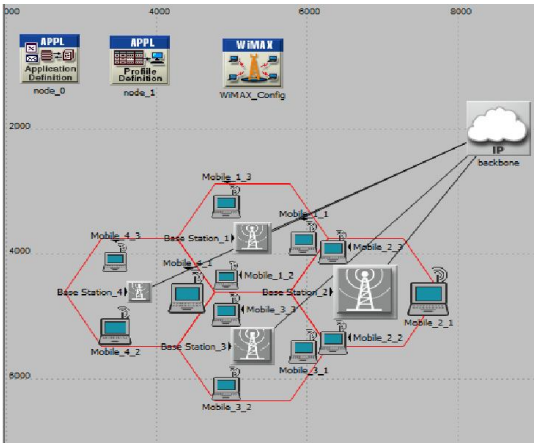


Gambar 3.2 Diagram Alir Simulasi Jaringan dengan *OPNET*

Pada simulasi perancangan jaringan *WiMAX* dibuat dalam dua skenario. Skenario pertama terdiri dari 3 cell dan skenario kedua terdiri dari 4 cell.



Gambar 3.1 Skenario 1



Gambar 3.2 Skenario 2

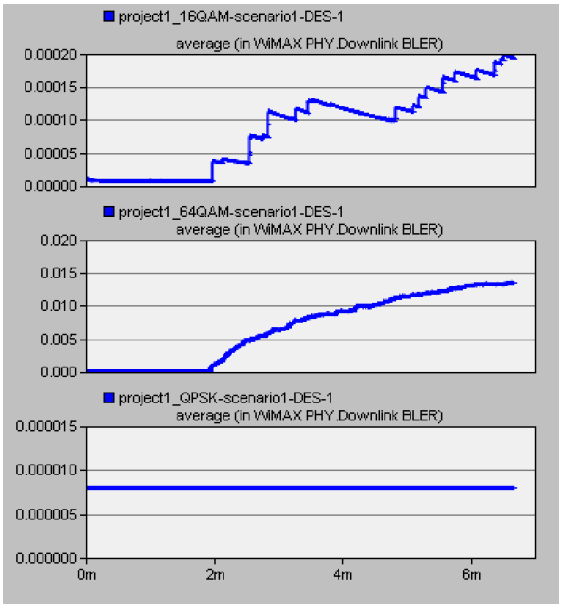
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai analisis performansi teknik modulasi pada jaringan *WiMAX* untuk layanan *voice traffic* yang disimulasikan menggunakan OPNET. Beberapa skenario simulasi akan dibuat untuk dilihat pengaruhnya terhadap kinerja jaringan *WiMAX*. Analisis yang dilakukan meliputi *Bit Error Rate* (BER), *Signal to Noise Rasio (SNR), delay*, dan *throughput* dengan menggunakan teknik modulasi, yaitu QPSK, 16 QAM, dan 64 QAM.

4.1 Analisis *Bit Error Rate* (BER)

BER atau probabilitas *error bit* merupakan perbandingan jumlah bit error yang diterima untuk sistem transmisi data digital. BER juga dapat didefinisikan sebagai perbandingan jumlah *bit* yang salah terhadap total *bit* yang diterima.

4.1.1 Analisis BER sistem pada skenario 1

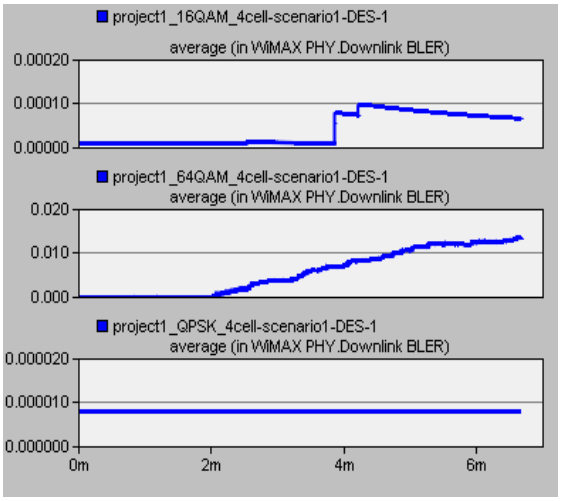


Gambar 4.1 Grafik Hasil Simulasi Perhitungan BER Pada WiMAX

Dari gambar 4.1 terlihat bahwa nilai rata-rata *BER* terendah dicapai dengan skema modulasi terendah, yakni QPSK sebesar 0.0000080009 atau 8,00009 x 10^{-6} . Sedangkan nilai *BER* tertinggi didapat dengan skema modulasi tertinggi, yakni 64QAM dengan nilai *BER* sebesar 0.004779583 atau 4.7795583 x 10^{-3}.

Nilai BER dapat mempengaruhi kualitas informasi yang diterima, semakin tinggi nilai BER yang didapat, maka semakin jelek kualitas informasi yang diterima dan sebaliknya, semakin rendah nilai BER yang didapat, maka semakin baik kualitas informasi yang diterima.

4.1.2 Analisis BER sistem pada skenario 2



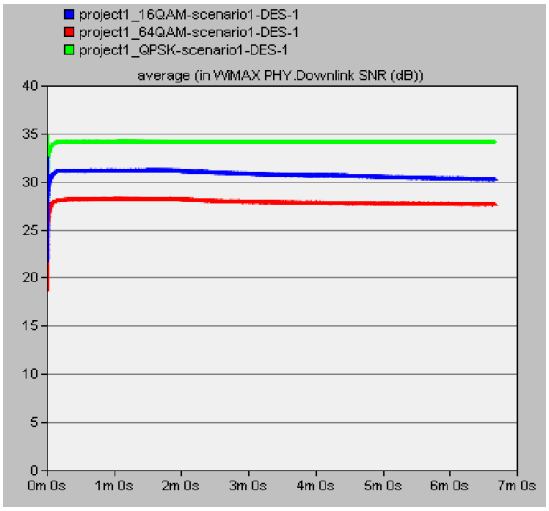
Gambar 4.2 Grafik Hasil Simulasi Perhitungan BER Pada WiMAX

Dari gambar 4.2 terlihat bahwa nilai rata-rata BER terendah dicapai dengan skema modulasi QPSK sebesar 0.0000080578 atau 8.0578×10^{-6} . Sedangkan nilai BER tertinggi didapat dengan skema modulasi 64-QAM dengan nilai BER sebesar 0.001657938 atau 1.657938×10^{-3}.

4.2 Analisis *Signal to Noise Ratio* (SNR)

SNR adalah perbandingan antara sinyal yang dikirim terhadap *noise*. SNR digunakan untuk mengetahui besarnya pengaruh redaman sinyal terhadap sinyal yang ditransmisikan.

4.2.1 Analisis SNR sistem pada skenario 1

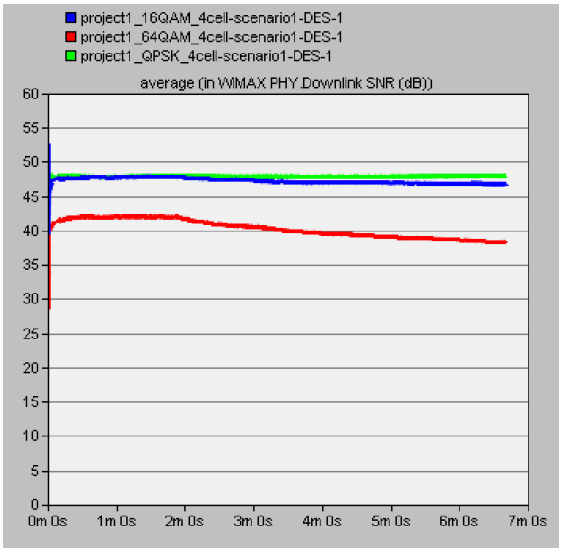


Gambar 4.3 Grafik Hasil Simulasi Perhitungan SNR Pada *WiMAX*

Dari gambar 4.3 terlihat bahwa nilai rata-rata SNR terendah dicapai dengan skema modulasi 64QAM sebesar 28,022 dB. Sedangkan nilai SNR tertinggi didapat dengan skema modulasi QPSK dengan nilai *SNR* sebesar 34,25 dB.

Berdasarkan simulasi yang diujikan nilai SNR mempengaruhi skema modulasi yang digunakan. Semakin tinggi nilai SNR, maka semakin bagus kualitas jaringan tersebut.

4.2.2 Analisis SNR sistem pada skenario 2



Gambar 4.4 Grafik Hasil Simulasi Perhitungan SNR Pada WiMAX

Dari gambar 4.4 terlihat bahwa nilai SNR terendah dicapai dengan skema modulasi 64QAM sebesar 44,0685 dB . Sedangkan nilai SNR tertinggi didapat dengan skema modulasi QPSK dengan nilai *SNR* sebesar 44,0685 dB.

4.3 Analisis *throughput* dan *delay*

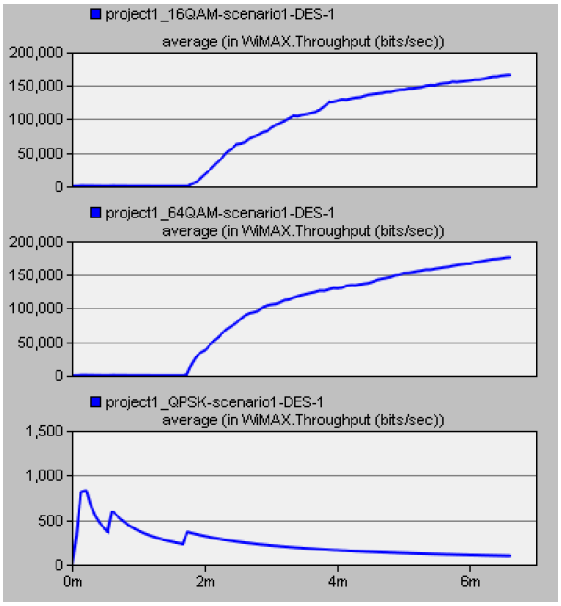
Throughput merupakan jumlah paket data yang diterima setiap detiknya. Biasanya *throughput* dinyatakan dalam satuan *bit per second* (bps). Dalam penelitian ini, besarnya *throughput* dapat dilihat dari statistik *WiMAX* untuk setiap pengguna masing-masing aplikasi pada setiap skenario.

Dalam penelitian ini juga akan menganalisis *delay* jaringan *WiMAX* untuk mengetahui besarnya *delay* keseluruhan pada saat transmisi dengan menggunakan informasi berupa audio dan video. Besarnya *delay* keseluruhan pada jaringan *WiMAX* merupakan waktu yang diperlukan dalam pentransmisian

dari ISP (*Internet Service Provider*) menuju ke BS (*Base Station*) hingga diterima di SS (*Subscriber Station*).

4.3.1 Analisis *throughput* dan *delay* pada skenario 1

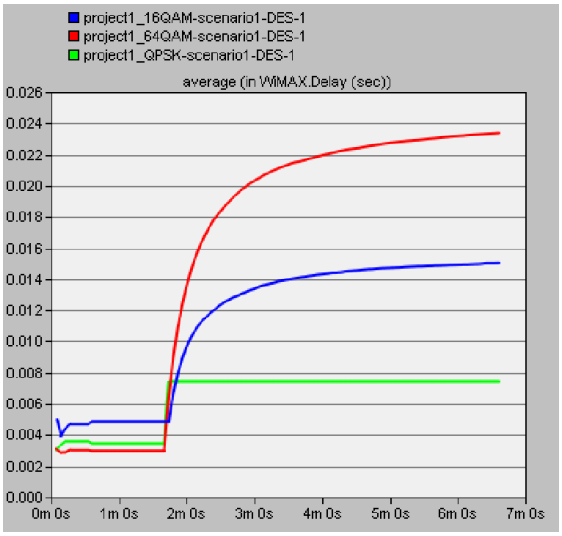
Berikut hasil perbandingan simulasi perhitungan *throughput* untuk sistem modulasi pada jaringan ditunjukkan pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Hasil Perbandingan Simulasi *Throughput* pada Jaringan WiMAX

Dari gambar 4.5 terlihat bahwa nilai *throughput* terendah dicapai dengan skema modulasi QPSK sebesar 533,3 bps dan nilai *throughput* tertinggi dicapai dengan skema modulasi 64QAM dengan nilai *throughput* sebesar 60.790,6 bps.

Berikut hasil perbandingan simulasi perhitungan *delay* untuk sistem modulasi pada jaringan ditunjukkan pada gambar 4.6.

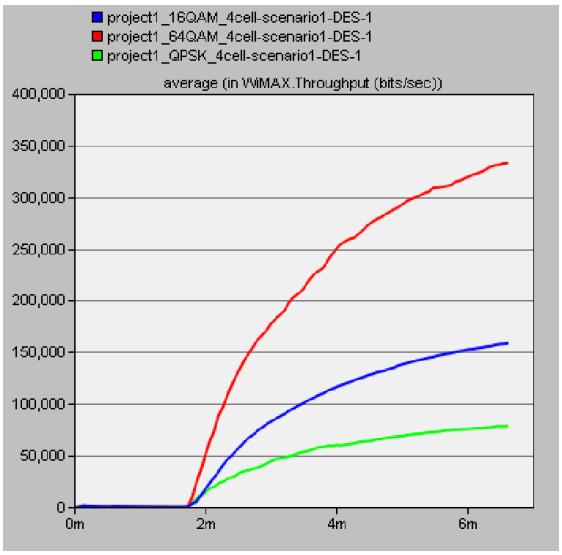


Gambar 4.6 Hasil Perbandingan Simulasi *delay* pada Jaringan WiMAX

Dari gambar 4.6 terlihat bahwa nilai *delay* terbesar dicapai dengan skema modulasi 64QAM sebesar 0,02192 s dan nilai *delay* terkecil dicapai dengan skema modulasi QPSK sebesar 0,00716141 s.

4.3.1 Analisis *throughput* dan *delay* pada skenario 2

Berikut hasil perbandingan simulasi perhitungan *throughput* untuk sistem modulasi pada jaringan ditunjukkan pada gambar 4.7.

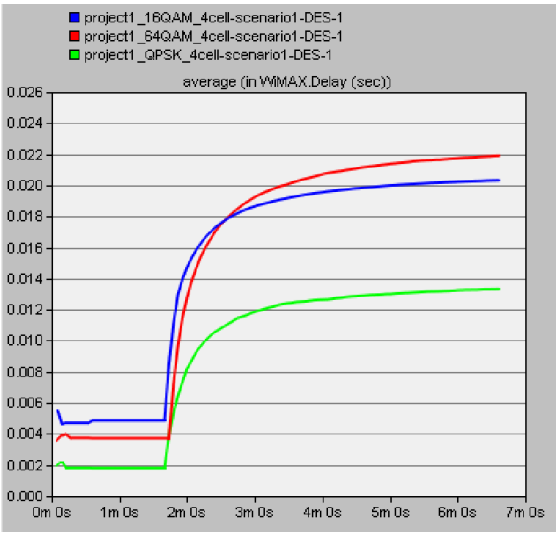


Gambar 4.7 Hasil Perbandingan Simulasi *throughput* pada Jaringan WiMAX

Dari Tabel 4.7 terlihat bahwa nilai *throughput* terendah dicapai dengan skema modulasi QPSK sebesar 16.568 bps dan nilai

throughput tertinggi dicapai dengan skema modulasi 64QAM dengan nilai *throughput* sebesar 52.609,5 bps.

Berikut hasil perbandingan simulasi perhitungan *delay* untuk sistem modulasi pada jaringan ditunjukkan pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Hasil Perbandingan Simulasi *delay* pada Jaringan *WiMAX*

Dari Tabel 4.8 terlihat bahwa nilai nilai *delay* terbesar dicapai dengan skema modulasi 64QAM sebesar 0,018286125 s dan nilai *delay* terendah dicapai dengan skema modulasi QPSK sebesar 0,004200825 s.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi serta analisis yang dilakukan tentang simulasi kinerja modulasi pada jaringan *WiMAX*, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil analisis teknik modulasi terhdap nilai BER pada simulasi jaringan *WiMAX* dapat disimpulkan bahwa nilai BER yang terendah pada skenario 1 adalah penggunaan modulasi QPSK sebesar $8x10^{-6}$. Pada skenario 2 adalah penggunaan modulasi QPSK sebesar 8.05×10^{-6}.
2. Berdasarkan hasil analisis teknik modulasi terhadap nilai SNR pada simulasi jaringan *WiMAX* dapat disimpulkan bahwa nilai SNR yang tertinggi pada skenario 1 adalah penggunaan modulasi QPSK sebesar 34,25 dB. Pada skenario 2 adalah penggunaan modulasi QPSK sebesar 44,06 dB.
3. Berdasarkan hasil analisis teknik modulasi terhadap nilai *througput* pada simulasi jaringan *WiMAX* dapat disimpulkan bahwa nilai *throughput* yang tertinggi pada skenario 1 adalah penggunaan modulasi 64QAM sebesar 60,79 mbps. Pada skenario 2 adalah penggunaan modulasi 64QAM sebesar 52.60 mbps.
4. Berdasarkan hasil analisis teknik modulasi terhadap nilai *delay* pada simulasi jaringan *WiMAX* dapat disimpulkan bahwa nilai *delay* yang terendah pada skenario 1 adalah penggunaan modulasi QPSK sebesar 7,16 ms. Pada skenario 2 adalah penggunaan modulasi QPSK sebesar 4,20 ms.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat membuat simulasi sistem *fixed WiMAX* dengan menganalisa QOS yang digunakan pada jaringan.

Daftar Pustaka

Aditya, Ari wijayanti,Tri budi santoso, 2013, *"Visualisasi teknik modulasi 16-QAM pada kanal AWGN"*, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Institut Teknologi Sepuluh Nopember(ITS) Surabaya.

Daryanto, 2010, "*Rancang Bangun Antena Mikrostrip Mimo 2x2 Elemen Peradiasi Segitiga Untuk Aplikasi Wimax*, Universitas Indonesia, Depok.

Diggelen, Frank Van. 2009. "*A-GPS : Assisted GPS,GNSS, and SBAS"*,Artech House. London.

G. Andrews, Jeffrey, Arunabha Ghosh, and Rias Muhamed, 2007, "*Fundamental of WiMAX – Understanding Broadband Wireless Networking"*. Prentice Hall, Massachusetts.

Johan, 2008, " *Perbandingan Bit Rate Antara Ofdm-Tdma Dengan Ofdma Pada Teknologi Wimax*", USU, Medan.

Kumar, Amitabh. 2008. "*Mobile Broadcasting with WiMAX :Principles, Technology, and Applications"*. Oxford : Elsevier Inc.

Khomsiati, K. 2009 Perancangan *Band Pass Filter* Untuk *Mobile* WiMAX Pada Frekuensi 2.3 GHz. Jakarta.

Mochamad Ridwan , Hafidudin, ST., MT, Gunadi Dwi H, ST , 2014, "*Analisa Perbandingan Performansi Wimax Dan Adsl Untuk Memberikan Layanan Multimedia*, Jurusan Teknik Elektro Sekolah Tinggi Teknologi Telkom, Bandung.

Prihatini, Anisari Mei, 2013, *"Analisis Performansi Teknik Modulasi Pada Jaringan Mobile WiMAX Untuk Layanan Video Conference "*, Unibra, Malang.

Rambe, Ali Hanafiah, 2008, "*Rancang Bangun Antena Mikrostrip Patch Segiempat Plannar Array Empat Elemen Dengan Pencatuan Aperture Coupled Untuk Aplikasi Cpe Pada Wimax"*, Universitas Indonesia, Depok.

Sauter, Martin, 2006, *Communication Systems for the Mobile Information Society*, John Wiley & Sons Ltd, Inggris.

Siska Dyah Susanti, Ir. Erfan Achmad Dahlan, MT., M. Fauzan Edy Purnomo. ST., MT, Juli 2013, **"***Analisis Penerapan Model Propagasi Ecc 33 Pada Jaringan Mobile Worldwide Interoperability For Microwave Access (Wimax)",* Universitas Brawijaya, Malang.

Sitepu, Alex Kristian , 2010, "*Analisis Kinerja Modulasi dan Pengkodean Adaptif pada Jaringan Wimax*. USU, Medan.