

ANALISIS KINERJA KOMBINASI MODULASI ADAPTIF DAN LAJU PENGKODEAN ADAPTIF PADA WIMAX 802.16M ARAH DOWNLINK

Safrian Andromeda¹, Rina Pudji Astuti², Dei Madya Saputri³

¹Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

Abstrak

Seiring berkembangnya teknologi informasi dan komunikasi, jenis layanan yang disediakan pun menjadi beragam dari layanan voice sampai multimedia yang membutuhkan kapasitas dan data rate yang tinggi. Salah satu komunikasi wireless yang menyediakan kapasitas dan data rate yang tinggi adalah WiMAX. Standar WiMAX yang terbaru adalah 802.16m yang dapat memberikan data rate hingga 1Gbps. Namun karena adanya perubahan kondisi kanal propagasi, dimungkinkan terjadinya penurunan kualitas sinyal pada sisi penerima. Untuk mengatasi masalah diatas, dalam tugas akhir ini diterapkan kombinasi modulasi adaptif dan laju pengkodean adaptif. Prinsip kerja dari modulasi adaptif dan laju pengkodean adaptif adalah dengan mengubah skema modulasi dan laju pengkodean yang digunakan sesuai dengan kondisi kanal sehingga throughput dapat ditingkatkan dengan tetap menjaga BER. SNR threshold pergantian dari tiap skema modulasi dan laju pengkodean diperoleh menggunakan pemodelan kanal ITU Pedestrian A dan Vehicular A dengan jumlah total pengguna adalah 2, 4, dan 8. Hasil Penelitian menunjukkan bahwa kombinasi modulasi adaptif dan laju pengkodean adaptif memberikan performansi yang lebih baik dari modulasi adaptif maupun modulasi tetap. Dengan kombinasi ini, throughput tiap pengguna pada total 4 pengguna mencapai 33.6 Mbps, sedang modulasi adaptif dengan laju pengkodean 1/2 hanya 22.4 Mbps. Pengaruh laju pengkodean sendiri pada modulasi adaptif mempengaruhi BER dan throughput yang dihasilkan. Semakin tinggi laju pengkodean, throughput yang dihasilkan semakin meningkat namun memiliki ketahanan terhadap noise yang lebih rendah dibanding laju pengkodean 1/2. Untuk 2/3, throughput meningkat menjadi 29.87 Mbps. Dalam penelitian ini juga ditinjau pengaruh jumlah pengguna, semakin banyak pengguna, throughput yang dihasilkan menurun. Throughput tiap pengguna dengan total 2, 4, dan 8 pengguna mencapai 67.2, 33.6, dan 16.8 Mbps. Sedang dari segi kecepatan, saat SNR 19 dB tiap pengguna dengan total 4 pengguna pada keadaan diam menghasilkan throughput 29.85 Mbps. Untuk SNR yang sama pada kecepatan 3 dan 120 km/jam throughput yang dihasilkan hanya mencapai 11.2 dan 7.46 Mbps.

Kata Kunci : WiMAX, Modulasi Adaptif, Laju Pengkodean Adaptif, Throughput

Telkom
University

Abstract

As the development of information and communication technology, the type of services also be varied from voice to multimedia services which require high data rate and capacity. One of wireless communication technologies that provides high data rate and capacity is WiMAX. The latest standard of WiMAX is 802.16m which can provide data rate of up to 1 Gbps. However, due to changes in the condition of propagation channel, it is possible that there will be a drop in signal quality at the receiver. To overcome this problem, in this final project, a combination of adaptive modulation and adaptive rate coding is applied. The working principle of adaptive modulation and adaptive rate coding are by changing the modulation scheme and code rate in accordance with the conditions of the channel so that the throughput can be improved while maintaining BER. SNR threshold for each modulation scheme and code rate will be determined by using ITU Pedestrian A and Vehicular A channel models. with the total number of users are 2, 4, and 8. The results show that the combination of adaptive modulation and adaptive rate coding provides better performance than adaptive modulation or fixed modulation. With this combination, the throughput for each user with total of 4 users reached 33.6 Mbps, while the adaptive modulation with code rate of 1/2 reached 22.4 Mbps. Different code rates on adaptive modulation affects BER and throughput, the higher the code rate, the throughput increases but has lower resistance to noise than code rate of 1/2. For code rate of 2/3, throughput increased to 29.87 Mbps. In this final project also analyze the effect of the number of users. If the number of users increase, throughput each user will decrease. Throughput each user with a total of 2, 4, and 8 users reached 67.2, 33.6, and 16.8 Mbps. Whereas in terms of velocity, while the channel SNR reached 19 dB, each user for a total of 4 users in fixed condition reached 29.85 Mbps. For the same SNR at 3 and 120 km/ hour, throughput only reached 11.2 and 7.46 Mbps.

Keywords : WiMAX , Adaptive Modulation , Adaptive Rate Coding, Throughput

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring berkembangnya teknologi informasi dan komunikasi, jenis layanan yang disediakan pun menjadi beragam dari layanan *voice* sampai multimedia seperti data, gambar, dan video sehingga dibutuhkan kapasitas yang besar dan *data rate* yang tinggi. Salah satu komunikasi *wireless* yang menyediakan kapasitas yang besar dan *data rate* yang tinggi adalah WiMAX. Standar WiMAX yang pertama adalah IEEE 802.16-2004 yang ditujukan kepada pengguna diam (*fixed*). Perkembangan selanjutnya adalah IEEE 802.16e-2005 yang dapat melayani pengguna diam maupun pengguna bergerak. Setelah itu pada tahun 2011 dikeluarkan standar terbaru yaitu 802.16m-2011 yang dapat memberikan *data rate* hingga 1 Gbps untuk kondisi pengguna diam dan 100 Mbps untuk pengguna bergerak^{[1][13][22]}. Namun karena adanya perubahan kondisi kanal propagasi yang antara lain dapat disebabkan oleh kanal *multipath*, pergerakan benda disekitar pengguna, maupun oleh pergerakan pengguna itu sendiri, dapat dimungkinkan terjadinya penurunan kualitas sinyal pada sisi *receiver*.

Penurunan kualitas ini dapat menyebabkan *throughput* yang diterima menurun karena BER meningkat. Untuk mengatasi masalah diatas pada penelitian Ricko C.P.^[14] telah diteliti dan dibuat sistem dengan AM (*Adaptive Modulation*) dan AMS (*Adaptive MIMO Switch*) untuk kondisi *single user* pada kecepatan 3 km/jam. Prinsip kerja dari AM serta AMS adalah dapat merubah skema modulasi dan tipe MIMO yang digunakan sistem agar sesuai dengan kondisi kanal sehingga performansi dapat maksimal. Pada penelitian ini dibuat kombinasi modulasi adaptif dan laju pengkodean adaptif agar *throughput* dapat lebih dimaksimalkan pada kondisi *multiuser* dan pada kecepatan yang berbeda. Tipe MIMO yang digunakan untuk kondisi *multiuser* adalah SM (*Spatial Multiplexing*). Prinsip kerja laju pengkodean adaptif ini sama dengan modulasi adaptif yaitu dapat merubah laju pengkodean pada sistem agar sesuai dengan kondisi kanal sehingga *throughput* yang dihasilkan dapat maksimal dengan tetap menjaga BER.

Berdasarkan masalah di atas, dalam tugas akhir ini dilakukan simulasi dan analisis kinerja dari kombinasi teknik modulasi adaptif dan laju pengkodean adaptif pada sistem WiMAXTM Release 2.0 IEEE 802.16m arah *downlink* dengan jumlah pengguna 2,4, dan 8. Hasil analisis dari kombinasi ini adalah grafik perbandingan BER terhadap SNR serta *throughput* yang dihasilkan sistem pada jumlah pengguna dan kondisi kanal yang berbeda.

1.2 Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisis perbandingan kinerja sistem dengan modulasi tetap dan sistem dengan modulasi adaptif
2. Menganalisis pengaruh laju pengkodean yang berbeda pada teknik modulasi adaptif
3. Menganalisis perbandingan kinerja kombinasi modulasi adaptif dan laju pengkodean adaptif terhadap modulasi adaptif dengan laju pengkodean tetap
4. Menganalisis pengaruh jumlah pengguna yang berbeda pada sistem dengan teknik kombinasi modulasi adaptif dan laju pengkodean adaptif
5. Menganalisis pengaruh kecepatan yang berbeda pada sistem dengan teknik kombinasi modulasi adaptif dan laju pengkodean adaptif.

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana perbandingan kinerja sistem dengan modulasi tetap dan sistem dengan modulasi adaptif?
2. Bagaimana pengaruh laju pengkodean yang berbeda pada teknik modulasi adaptif?
3. Bagaimana perbandingan kinerja kombinasi modulasi adaptif dan laju pengkodean adaptif terhadap modulasi adaptif dengan laju pengkodean tetap?
4. Bagaimana pengaruh jumlah pengguna yang berbeda pada sistem dengan teknik kombinasi modulasi adaptif dan laju pengkodean adaptif?

5. Bagaimana pengaruh kecepatan yang berbeda pada sistem dengan teknik kombinasi modulasi adaptif dan laju pengkodean adaptif?

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Performansi yang diamati berupa perbandingan BER terhadap SNR serta *throughput* yang dihasilkan sistem
2. Komunikasi yang diamati adalah komunikasi arah *downlink*
3. Teknik modulasi adaptif dan laju pengkodean adaptif yang digunakan berdasarkan algoritma *fixed threshold*
4. Skema modulasi yang dipakai dalam teknik modulasi adaptif adalah QPSK, 16 QAM, dan 64 QAM
5. *Channel coding* yang dipakai dalam teknik laju pengkodean adaptif adalah *convolutional code* dengan laju pengkodean 1/2, 2/3, dan 3/4
6. Jumlah pengguna yang disimulasikan adalah 2,4, dan 8 pengguna
7. Pengguna bergerak pada arah dan kecepatan yang sama
8. Tipe MIMO yang digunakan untuk *multiuser* adalah SM (*Spatial Multiplexing*) 2x2
9. Skema subkanalisasi yang digunakan adalah DL-FUSC dengan 2048 *subcarrier*
10. Kanal yang digunakan merupakan kanal *multipath fading rayleigh* dan dengan penambahan *noise AWGN (Additive White Gaussian Noise)*
11. Daerah yang dimodelkan adalah daerah urban dengan pemodelan kanal yang digunakan adalah model ITU *Pedestrian A* dan *Vehicular A*
12. Perubahan kecepatan yang dianalisis adalah 0,3, dan 120 km/jam
13. Tidak membahas *power control*
14. Estimasi dan prediksi kanal dianggap sempurna sehingga *feedback SNR* dianggap ideal.

1.5 Metode Penelitian

Tugas akhir ini menggunakan metode penelitian eksperimental sebagai berikut.

1. Studi literatur

Mempelajari tentang sistem WiMAX™ Release 2.0 IEEE 802.16m arah *downlink*, teknik modulasi adaptif, teknik laju pengkodean adaptif, MIMO-OFDM, OFDMA dan teori lain yang berhubungan dengan penelitian

2. Pemodelan sistem

Membuat pemodelan sistem WiMAX™ Release 2.0 IEEE 802.16m dengan menggunakan kombinasi teknik modulasi adaptif dan laju pengkodean adaptif

3. Simulasi

Membuat simulasi dari sistem yang dirancang dengan menggunakan *software* Matlab R2008a

4. Analisis

Menganalisis berbagai parameter yang digunakan pada simulasi sistem WiMAX™ Release 2.0 IEEE 802.16m.

1.6 Sistematika Penulisan

Tugas akhir ini terdiri dari lima bab bahasan yang ditambahkan dengan lampiran. Adapun lima bab tersebut antara lain adalah sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang masalah, tujuan, rumusan masalah, batasan masalah, serta metode penyelesaian masalah dari penelitian yang dilakukan

BAB II DASAR TEORI

Bab ini berisi dasar teori atau teori penunjang yang berhubungan dengan sistem WiMAX 802.16m

BAB III PEMODELAN DAN SIMULASI

Bab ini berisi pemodelan sistem WiMAX™ Release 2.0 IEEE 802.16m arah *downlink* dengan menggunakan kombinasi teknik modulasi adaptif dan laju pengkodean adaptif

BAB IV ANALISIS HASIL SIMULASI

Bab ini membandingkan BER terhadap SNR serta *throughput* dari sistem WiMAX 802.16m sebelum dan setelah digunakan kombinasi teknik modulasi adaptif dan laju pengkodean adaptif

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dari analisis kinerja kombinasi teknik modulasi adaptif dan laju pengkodean adaptif serta saran untuk penelitian selanjutnya.



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Beberapa kesimpulan dari hasil penelitian dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Modulasi adaptif dengan laju pengkodean tetap memiliki performansi yang lebih baik daripada skema modulasi tetap. Saat kondisi kanal baik dimana SNR yang diterima besar, maksimum *throughput* pada modulasi adaptif mencapai 22.4 Mbps sedang skema modulasi tetap QPSK dan 16 QAM hanya 7.46 dan 14.93 dB. Sedang saat SNR yang diterima kecil, sekitar 4.14 dB, modulasi adaptif menggunakan modulasi QPSK agar dapat mencapai BER 10^{-3} , sedang skema modulasi tetap 16 dan 64 QAM tidak dapat mencapai BER 10^{-3} .
2. Modulasi Adaptif dengan nilai laju pengkodean tinggi $2/3$ dan $3/4$ menghasilkan maksimum *throughput* sebesar 29.87 dan 33.6 Mbps sedang dengan laju pengkodean $1/2$ hanya sebesar 22.4 Mbps. Namun, saat kondisi kanal buruk, laju pengkodean $1/2$ mampu mencapai BER 10^{-3} dengan hanya membutuhkan SNR sebesar 4.14 dB dengan menggunakan modulasi QPSK. Sedang Modulasi adaptif dengan laju pengkodean $2/3$ dan $3/4$ membutuhkan SNR sebesar 6.04 dan 11.58 dB
3. Kombinasi modulasi adaptif dan laju pengkodean adaptif memiliki performansi yang lebih baik daripada modulasi adaptif maupun modulasi tetap. Saat SNR yang diterima besar, *throughput* yang dihasilkan mencapai 33.6 Mbps. Sedangkan saat terjadi penurunan SNR, kombinasi ini memiliki kelebihan dalam menjaga agar *throughput* yang diterima tidak mengalami penurunan yang besar dengan cara menurunkan terlebih dahulu nilai laju pengkodean dengan skema modulasi dipertahankan tetap. Dari hasil penelitian saat SNR mencapai 21 dB, tiap pengguna dengan total 4 pengguna dengan menggunakan kombinasi ini memiliki maksimum *throughput* yang sama dengan modulasi adaptif dengan laju pengkodean $3/4$ sebesar 33.58 Mbps. Namun saat SNR menurun menjadi 20 dB, untuk mencapai BER 10^{-3} modulasi adaptif dengan laju pengkodean $3/4$ melakukan penurunan orde modulasi menjadi 16 QAM

dengan *throughput* menjadi 22.4 Mbps. Sedang dengan teknik kombinasi hanya diturunkan laju pengkodeannya saja menjadi 2/3 dengan modulasi tetap 64 QAM sehingga didapat *throughput* sebesar 29.87 Mbps. Berikut adalah *threshold* untuk kombinasi modulasi adaptif dan laju pengkodean adaptif tiap pengguna dengan total 4 pengguna untuk keadaan diam

Skema Modulasi	Laju Pengkodean	SNR Saat BER 10 ⁻³	SNR Threshold
QPSK	1/2	4.14 dB	SNR < 6.72 dB
QPSK	3/4	6.72 dB	6.72 dB ≤ SNR < 11 dB
16 QAM	1/2	11 dB	11 dB ≤ SNR < 14 dB
16 QAM	3/4	14 dB	14 dB ≤ SNR < 18.55 dB
64 QAM	2/3	18.55 dB	18.55 dB ≤ SNR < 20.4 dB
64 QAM	3/4	20.4 dB	SNR ≥ 20.4 dB

4. Semakin banyak pengguna, SNR tiap pengguna untuk mencapai BER target semakin kecil karena *channel encoder* pada BS yang banyak (4 dan 8) sehingga kemungkinan *error* yang terjadi menjadi berkurang. Semakin banyak pengguna, *throughput* yang dihasilkan semakin rendah. Untuk total 4 dan 8 pengguna, tiap penggunanya menghasilkan *throughput* sebesar 33.6 dan 16.8 Mbps. Sedang saat total 2 pengguna, dapat mencapai 67.2 Mbps. Hal ini dikarenakan alokasi *subcarrier* yang lebih banyak. Berikut adalah *threshold* untuk kombinasi modulasi adaptif dan laju pengkodean adaptif tiap pengguna untuk total 4 dan 8 pengguna pada keadaan diam

Skema Modulasi	Laju Pengkodean	SNR Saat BER 10 ⁻³	SNR Threshold
QPSK	1/2	5.75 dB	SNR < 8.49dB
QPSK	3/4	8.49 dB	8.49 dB ≤ SNR < 13 dB
16 QAM	1/2	13 dB	13 dB ≤ SNR < 15.91 dB
16 QAM	3/4	15.91 dB	15.91 dB ≤ SNR < 20.28 dB
64 QAM	2/3	20.28 dB	20.28 dB ≤ SNR < 22.21 dB
64 QAM	3/4	22.21 dB	SNR ≥ 22.21 dB

5. Semakin tinggi kecepatan, SNR yang dibutuhkan untuk mencapai BER target semakin besar dan *throughput* yang dihasilkan semakin mengecil pada nilai SNR yang sama. Saat SNR yang didapat mencapai 19 dB, pada kondisi diam *throughput* tiap pengguna pada total 4 pengguna mencapai 29.85 Mbps, sedang

saat tiap pengguna bergerak dengan kecepatan 3 dan 120 km/jam *throughput* menurun menjadi 11.2 dan 7.46 Mbps. Hal ini dikarenakan pengaruh *doppler shift* yang semakin meningkat. Peningkatan ini dapat menyebabkan pergeseran frekuensi sinyal sehingga dapat terjadi distorsi pada sinyal yang dideteksi pada sisi penerima. Sehingga semakin tinggi *doppler shift* maka SNR yang dibutuhkan untuk mencapai BER 10^{-3} semakin besar. Berikut adalah *threshold* untuk kombinasi modulasi adaptif dan laju pengkodean adaptif tiap pengguna untuk total 4 pengguna pada kecepatan 3 dan 120 km/jam

Skema Modulasi	Laju Pengkodean	Kecepatan	SNR Saat BER 10^{-3}	SNR <i>Threshold</i>
QPSK	1/2	3 km/jam	15 dB	SNR < 18 dB
QPSK	3/4	3 km/jam	18 dB	18 dB ≤ SNR < 22.34 dB
16 QAM	1/2	3 km/jam	22.34 dB	22.34 dB ≤ SNR < 25 dB
16 QAM	3/4	3 km/jam	25 dB	25 dB ≤ SNR < 29 dB
64 QAM	2/3	3 km/jam	29 dB	29 dB ≤ SNR < 31.2 dB
64 QAM	3/4	3 km/jam	31.2 dB	SNR ≥ 31.2 dB

Skema Modulasi	Laju Pengkodean	Kecepatan	SNR Saat BER 10^{-3}	SNR <i>Threshold</i>
QPSK	1/2	120 km/jam	16 dB	SNR < 20 dB
QPSK	3/4	120 km/jam	20 dB	20 dB ≤ SNR < 23 dB
16 QAM	1/2	120 km/jam	23 dB	23 dB ≤ SNR < 26.74 dB
16 QAM	3/4	120 km/jam	26.74 dB	26.74 dB ≤ SNR < 29.22 dB
64 QAM	2/3	120 km/jam	29.22 dB	29.22 dB ≤ SNR < 34 dB
64 QAM	3/4	120 km/jam	34 dB	SNR ≥ 34 dB

5.2 Saran

1. Penelitian selanjutnya dapat membuat laju pengkodean adaptif dengan menggunakan *channel coding* jenis lain, semisal *turbo code* maupun LDPC dengan laju pengkodean yang berbeda
2. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan estimasi kanal
3. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan BER target 10^{-5} - 10^{-6} untuk layanan data

4. Penelitian selanjutnya dapat menganalisis perubahan lingkungan dengan pemodelan kanal SUI
5. Penelitian selanjutnya dapat membandingkan kinerja sistem dengan jumlah pengguna yang berbeda dan jumlah antena yang lebih banyak untuk standar WiMAX 802.16m
6. Penelitian selanjutnya dapat membuat asumsi tiap pengguna mempunyai kecepatan, arah, dan sudut, maupun dalam daerah yang berbeda.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahmadi, Sassan.2011."Mobile WiMAX A Systems Approach to Understanding IEEE 802.16m Radio Access Technology".USA:Elsevier, Inc.
- [2] Andrews, Jeffrey G, Arunabha Ghosh, and Rias Muhamed. "Fundamentals of WiMAX Understanding Broadband Wireless Networking". USA: Pearson Education, Inc.
- [3] Andini, Nur.2012."Analisis Pengaruh AMC-AMS terhadap Kinerja WiMAX Release 2.0".
- [4] Bhaskar, Vidhyacharan and Laurie L. Joiner."Adaptive Rate Coding for Wideband CDMA Wireless Networks".Huntsville:University of Alabama in Huntsville.
- [5] Budiman, Gelar..2011."Pelatihan Matlab Advanced, Technology 4G". Bandung: Institut Teknologi Telkom.
- [6] Gesbert, David.2007."Advances in Multiuser MIMO Systems (Tutorial Part II) Emerging Topic in Multiuser MIMO Networks".Mobile Communications Dept.
- [7] Haykin, Simon. "An Introduction to Analog & Digital Communications". John Wiley & Sons.
- [8] IEEE. 2012."IEEE Standard for Air Interface for Broadband Wireless Access System". New York.
- [9] Konishi, Satoshi, Takeshi Kitahara, Shinobu Nanba, and Shinichi Nomoto."An Experimental Study on Switching Threshold for Adaptive Modulation in Broadband FWA Systems".Ohara:KDDI R&D laboratories, Inc.
- [10] Kurnia Adi.2010."Analisis Performansi Mobile WiMAX Arah Downlink Menggunakan Skema MIMO-OFDM dan Adaptive MIMO Switching pada Kanal *Rayleigh*".
- [11] Li, Chih-Peng"Chapter 10 Convolutional code".National Sun Yat-sen University.
- [12] Maqbool Masood, Marceau Coupechoux and Philippe Godlewski. 2009."Subcarrier Permutation Types in IEEE 802.16e". Paris:Department Informatique et Reseaux TELECOM Paris Tech.
- [13] Pathak, Shantanu and Shagun Batra."Next Generation 4G WiMAX Networks – IEEE 802.16 Standard.India: SRM University
- [14] Putra, Ricko Caesar.2012."Analisis Kinerja Modulasi Adaptif dan MIMO Adaptif pada BTS bersama untuk WiMAX 802.16e dan WiMAX 802.16m".

- [15] Rappaport, Theodore S. 2002. "Wireless Communications Principles & Practice". USA:Prentice Hall.
- [16] Rian, Alfadin.2011. "Analisis Kinerja SC-FDM Pada LTE Arah Uplink dengan Menggunakan Adaptive MIMO".
- [17] Saad, Wasan K."Throughput Performance of Adaptive Modulation and Coding Scheme with Link Adaptation for MIMO-WiMAX Downlink Transmission".
- [18] Solihah, Nomarhinta.2009."Analisa Perbandingan Kinerja Penggunaan Teknik Subkanalisasi FUSC dan PUSC pada Mobile WiMAX IEEE 802.16e Arah Downlink".
- [19] Takeda, Daisuke, Yuk C Chow, Paul Strauch and Hiroshi Tsurumi."Threshold Controlling Scheme for Adaptive Modulation and Coding System".Kawasaki:IEEE.
- [20] Wahyudi, Didit."Evaluasi Kinerja Teknik Adaptive Modulation And Coding (AMC) Pada Mobile WiMAX MIMO-OFDM".Surabaya:ITS.
- [21] WiMAX Forum. 2007."Channel Models A Tutorial".
- [22] WiMAX Forum. 2010."WiMAX and the IEEE 802.16m Air Interface Standard".
- [23] Zerrouki, Hadj.2010"High Throughput of WiMAX MIMO-OFDM Including Adaptive Modulation and Coding". Tlemen:University Abou Baker Belkaid.