

Evaluasi VoIP Menggunakan *Mean Opinion Score* pada Jaringan *Testbed-WiMAX* Berbasis IEEE 802.16-2004

Prasetyono Hari Mukti¹, Ardhan Eka Prabowo², Gatot Kusrahardjo³

Abstract—In this paper, an implementation of VoIP Services over WiMAX *testbed* based on IEEE Standard 802.16-2004 will be described. The quality of VoIP services over the proposed network is evaluated in terms of delay, jitter, packet loss, throughput, and Mean Opinion Score (MOS). The proposed network is implemented in both of the recommended network topologies that are point-to-point and point-to-multipoint. The VoIP Services is evaluated in the variation of *background traffic* with certain *scheduling* types. *Background traffic* is injected into the system to give the sense that the proposed system has variation traffic load. *Scheduling* types which are used in this paper are Best Effort (BE), Non-Real-Time Polling Service (nrtPS), Real-Time Polling Service (rtPS) and Unsolicited Grant Service (UGS). From the experimental results, it shows that VoIP services in P2P topology with UGS *Scheduling* has the minimum average of delay, jitter, packet loss is 12.688 ms, 7.472 ms, and 7.87%, respectively. Meanwhile, the highest MOS value of 3.39 is achieved when throughput equal to 134 kbps. Moreover, for VoIP Services in PMP topology has the minimum average of delay, jitter, packet loss of 12.872 ms, 7.222 ms, and 6.918%, respectively. The highest throughput of 133 kbps gives the MOS value of 3.52.

Intisari—Pada makalah ini akan dibahas implementasi layanan VoIP pada *Testbed* WiMAX berbasis Standar IEEE 802.16-2004. Hasil dari implementasi tersebut kemudian dievaluasi berdasarkan parameter *delay*, *jitter*, *packet loss*, *throughput*, dan *Mean Opinion Score* (MOS). Evaluasi kinerja layanan tersebut dilakukan pada kedua kemungkinan topologi jaringan bagi Teknologi WiMAX, yaitu *point-to-point* dan *point-to-multipoint*, dengan variasi *background traffic* pada jenis *scheduling* yang berbeda. Pemberian *background traffic* ini dilakukan untuk mengondisikan jaringan yang dibangun agar memiliki beban trafik yang bervariasi. Sedangkan jenis *scheduling* yang digunakan adalah Best Effort (BE), Non-Real-Time Polling Service (nrtPS), Real-Time Polling Service (rtPS) dan Unsolicited Grant Service (UGS). Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada layanan VoIP dengan topologi P2P, service class UGS memiliki nilai rata-rata *delay*, *jitter*, *packet loss* terkecil yaitu masing-masing sebesar 12.688 ms, 7.472 ms, dan 7.87%. Sedangkan pada nilai MOS yang terbesar, yaitu 3,39, diperoleh nilai rata-rata throughput sebesar 134 kbps. Pada topologi PMP, service class UGS juga memiliki nilai rata-rata *delay*, *jitter*, *packet loss* terkecil yaitu masing-masing 12.872 ms, 7.222 ms, dan 6.918%. Nilai *throughput* terbesar pada MOS terbaik (MOS=3,52) adalah sebesar 133 kbps.

Kata Kunci—QoS, Service Class, Voice over IP, WiMAX

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Jalan Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111, Indonesia (tel: 031-5947302; fax: 031-5931237; e-mail: ¹prasetyono@elect-eng.its.ac.id, ²ardhan.ekaprabowo@gmail.com, ³gatot_kus@ee.its.ac.id)

I. PENDAHULUAN

Kecepatan transmisi atau *data rate* yang tinggi serta dukungan terhadap tingkat mobilitas pengguna yang tinggi menjadi daya tarik tersendiri bagi para pengguna dalam memilih layanan telekomunikasi yang akan digunakan. Hal ini mendorong para pelaku industri dan peneliti untuk senantiasa meningkatkan kemampuan dari teknologi yang sudah ada. Perkembangan sistem telekomunikasi nirkabel tersebut sangat pesat, ditandai dengan munculnya berbagai teknologi dan standar dengan masing-masing karakteristik yang berbeda dalam beberapa tahun terakhir ini.

Salah satu teknologi telekomunikasi yang mendukung kebutuhan akan layanan tersebut adalah teknologi WiMAX. WiMAX merupakan salah satu teknologi berbasis *Broadband Wireless Access* dengan standar layanan yang dikembangkan oleh IEEE 802.16 *working group* [1]. Teknologi yang dirancang untuk layanan *Wireless Metro Area Network* (WMAN) ini menawarkan kecepatan transmisi hingga 100 Mbps dan kemampuan transmisi yang baik pada kondisi *non-Line-of-Sight* (NLOS) dengan wilayah cakupan yang cukup luas hingga radius 50km. Dengan kemampuannya tersebut, WiMAX dapat menyediakan konektivitas *last-mile* maupun layanan pita lebar residensial [2]. Hal ini mendorong beberapa peneliti dan lembaga mengembangkan *testbed* sebagai sarana evaluasi kinerja berbagai layanan telekomunikasi di dalam platform WiMAX.

Salah satu layanan multimedia yang didukung oleh teknologi WiMAX adalah VoIP. VoIP merupakan teknologi yang melewati percakapan dengan menggunakan koneksi internet berbasis pita lebar [3]. Dalam hal ini, layanan VoIP memanfaatkan *packet-switching* berbasis IP. Salah satu tantangan dalam layanan VoIP adalah sensitivitas terhadap QoS dan membutuhkan jaminan *real-time*. Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan memanfaatkan Teknologi WiMAX yang memiliki kemampuan pengaturan lalu lintas data baik di sisi *uplink* maupun *downlink* dengan memberlakukan skema tertentu yang sesuai dengan karakteristik QoS setiap layanan multimedia.

Evaluasi layanan VoIP di dalam platform atau *testbed* WiMAX telah banyak dilaporkan [4]-[6]. Pada [4] dan [5], Scalabrino melaporkan implementasi *testbed Fixed* WiMAX di Turin. Di dalam penelitian ini, kinerja layanan VoIP pada jaringan WiMAX dievaluasi dengan menggunakan jenis QoS yang berbeda. Evaluasi layanan ini dilakukan terhadap parameter *throughput*, *packet loss*, dan *R-scores*. Akan tetapi, penelitian ini hanya memanfaatkan konfigurasi *point-to-point* dan tidak melibatkan hasil pengujian ketika pengguna VoIP melakukan koneksi secara bersamaan. Mignanti, pada [6], juga melaporkan evaluasi kinerja VoIP pada *testbed* WiMAX di Ivrea, Italia. Dalam penelitian ini, Mignanti hanya menginvestigasi kemungkinan penerapan VoIP berbasis

WiMAX pada beberapa aplikasi. Hasil investigasi tidak menunjukkan secara jelas kinerja layanan VoIP terhadap berbagai parameter layanan.

Mayoritas evaluasi kinerja layanan VoIP yang telah disebutkan di atas, hanya memperhatikan persepsi kualitas layanan di sisi *Physical Layer*. Beberapa hasil evaluasi kinerja layanan VoIP pada *testbed* WiMAX dengan memperhatikan persepsi pengguna sebagai dasar evaluasinya telah dilaporkan pada [3] dan [7]. Kedua hasil evaluasi tersebut melaporkan bahwa kualitas kinerja layanan VoIP dievaluasi terhadap parameter *delay*, *throughput*, *packet loss*, dan *E-model* yang merupakan representasi dari persepsi pengguna terhadap kualitas layanan.

Di sisi lain, WiMAX forum telah mengembangkan sebuah *Reference Network Architecture* [8]-[9] untuk jaringan WiMAX yang dapat digunakan pada topologi jaringan *point-to-point* dan *point-to-multipoint*. Perbandingan kinerja layanan yang memanfaatkan kedua topologi jaringan tersebut, tentu akan memberikan hasil yang signifikan dan dapat menjadi masukan berarti bagi para penyedia layanan.

Oleh karena itu, pada makalah ini dilakukan evaluasi kinerja layanan VoIP pada *testbed* Fixed WiMAX dengan menggunakan topologi jaringan *point-to-point* dan *point-to-multipoint*. Kinerja layanan diukur berdasarkan parameter *throughput*, *delay*, *packet loss*, dan *E-Model*.

Pembahasan selanjutnya dari makalah ini disusun dengan sistematis sebagai berikut. Bagian 2 akan membahas mengenai implementasi layanan VoIP pada *testbed* WiMAX, sedangkan Bagian 3 akan mendeskripsikan proses dan hasil pengujian terhadap sistem *testbed* WiMAX yang diusulkan. Kesimpulan mengenai implementasi layanan VoIP pada jaringan *testbed* WiMAX ini dibahas pada Bagian 4.

II. IMPLEMENTASI LAYANAN VOIP PADA TESTBED WiMAX

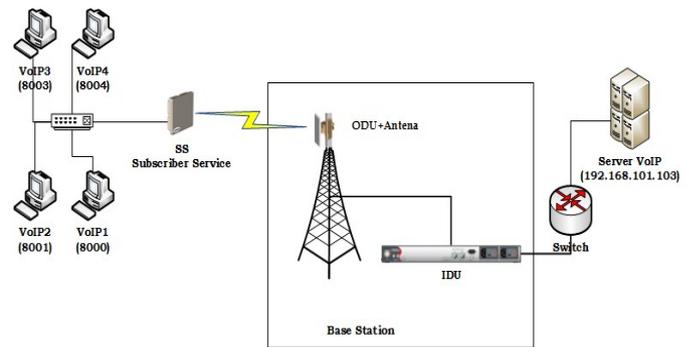
Sebagai langkah awal dalam melakukan evaluasi kinerja layanan VoIP pada jaringan *testbed* WiMAX, maka pada bagian ini akan dipaparkan implementasi layanan VoIP pada *testbed* WiMAX, yang meliputi Konfigurasi jaringan *testbed* WiMAX dan Konfigurasi Layanan VoIP.

Testbed adalah sebuah platform yang dilengkapi berbagai instrumen untuk melakukan pengujian dan pengembangan dalam kondisi kerja tertentu pada suatu penelitian. Karena fungsinya dalam melakukan pengujian, maka *testbed* menyediakan kemampuan berupa fleksibilitas dalam melakukan konfigurasi. Dalam makalah ini, sebagaimana telah dilaporkan dalam [8]-[9] mengenai kemungkinan implementasi topologi untuk jaringan WiMAX, konfigurasi jaringan *testbed* yang akan digunakan adalah topologi *point-to-point* (P2P) dan *point-to-multipoint* (PMP). Topologi kedua konfigurasi tersebut dapat dilihat pada Gbr. 1 dan Gbr. 2.

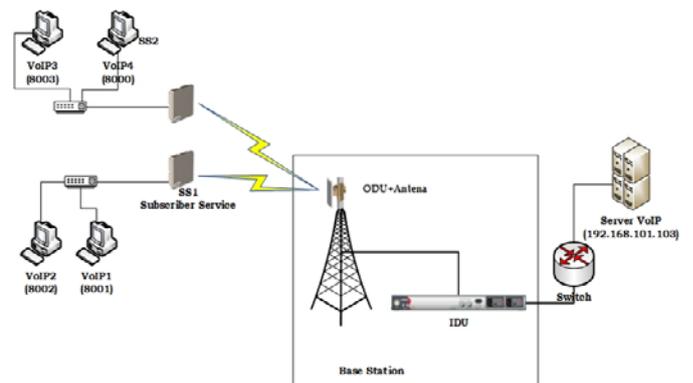
Berdasarkan kedua gambar tersebut, maka jaringan *testbed* yang dibangun terdiri atas dua sistem utama, yaitu Jaringan Akses dan *Core Network*. Jaringan akses merupakan koneksi *radio link* yang menghubungkan *user* dan *core network* dalam melakukan komunikasi menggunakan layanan VoIP. Sedangkan *core network* merupakan bagian di dalam *testbed* yang memiliki peran menyediakan layanan VoIP bagi *user*.

Perangkat jaringan akses yang digunakan dalam makalah ini adalah perangkat pengujian Teknologi WiMAX yang dimiliki oleh Jurusan Teknik Elektro ITS. Perangkat tersebut

terdiri atas *RedMAX Base Station Transceiver* (BS) sebagai pemancar yang bekerja pada pita frekuensi 3,5 GHz dan *RedMAX Subscriber Unit* sebagai penerima. Sebagai upaya untuk menghindari interferensi dengan layanan satelit yang ada di sekitar lokasi pengujian, maka daya pancar dari *RedMAX Base Station Transceiver* diatur pada nilai 0 dBm atau 1 mW. Selain itu, *bandwidth* kanal radio yang diatur pada *RedMAX Base Station Transceiver* adalah 7 MHz. Kapasitas transmisi data untuk komunikasi antara *RedMAX Base Station Transceiver* dan *RedMAX Subscriber Unit* diatur sebesar 4 Mbps untuk masing-masing sisi *uplink* maupun *downlink*. Jenis *scheduling* yang digunakan dalam memberikan layanan kepada pengguna diatur menggunakan *Best Effort* (BE), *Non-Real-Time Polling Service* (nrtPS), *Real-Time Polling Service* (rtPS), dan *Unsolicited Grant Service* (UGS). Pengujian ini dilakukan di dalam ruangan dengan luas sekitar 112 m². Spesifikasi rinci mengenai sistem *testbed* yang digunakan disajikan pada Tabel I.



Gbr. 1 Topologi jaringan Testbed WiMAX P2P.



Gbr. 2 Topologi jaringan Testbed WiMAX PMP.

TABEL I
SPESIFIKASI TESTBED JARINGAN WiMAX

Paramater	Spesifikasi
Unit Pemancar	RedMAX AN-100U
Unit Penerima	RedMAX SU-O
Pita Frekuensi	3500 MHz
Frekuensi Kerja	3.550.250 KHz
Lebar kanal	7 MHz
<i>Physical Layer</i>	WiMAX 802.16-2004, FDD-OFDM 256
BS Tx Power	0 dBm (1mW)
Jenis <i>Scheduling</i>	BE, nrtPS, rtPS, dan UGS

Tahap selanjutnya dalam melakukan implementasi layanan VoIP pada *testbed* WiMAX ini adalah konfigurasi layanan VoIP. Layanan VoIP dibangun dengan menggunakan perangkat *open-source Asterisk 1.8.10.1* berbasis Linux yang berfungsi sebagai *server* VoIP. Selain itu, *testbed* ini menggunakan juga *Asterisk GUI* untuk mempermudah proses konfigurasi *server* VoIP. Perangkat *server* VoIP ini terhubung ke RedMAX Base Station Transceiver di sisi *core network*. Sedangkan di sisi pengguna, *testbed* ini menggunakan *software Jitsi* yang berfungsi sebagai *client server*. *Software Jitsi* ini di-*install* pada PC yang terhubung ke RedMAX Subscriber Unit di sisi jaringan akses. Standar komunikasi VoIP yang digunakan adalah SIP.

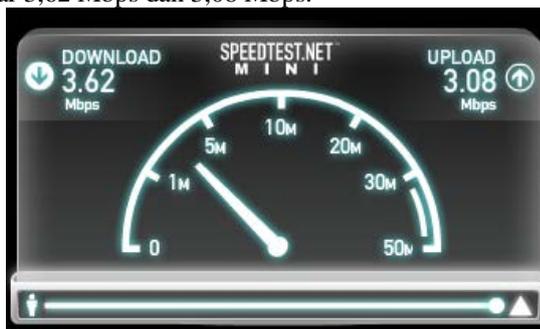
III. PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Pengujian terhadap sistem yang telah dibangun merupakan hal yang sangat penting untuk mengetahui kualitas kinerja dari sistem tersebut. Evaluasi kinerja terhadap *testbed* WiMAX yang dipaparkan pada bagian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan *testbed* tersebut dalam mendukung layanan VoIP. Berdasarkan konfigurasi jaringan yang telah dipaparkan sebelumnya, maka evaluasi kinerja ini dilakukan dengan skenario sebagai berikut.

1. Pada topologi *point-to-point* yang direpresentasikan dengan satu buah SS, terdapat sebanyak empat *user* yang terhubung pada SS yang sama.
2. Pada topologi *point-to-multipoint* yang direpresentasikan dengan dua buah SS, terdapat sebanyak masing-masing dua *user* yang terhubung pada setiap SS.

Evaluasi kinerja tersebut dilakukan terhadap parameter *delay*, *jitter*, *throughput*, dan *packet loss*. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *WireShark* yang di-*install* pada masing-masing *client* untuk menangkap paket data komunikasi VoIP. Selain itu, evaluasi kinerja sistem ini pun dilakukan terhadap parameter *Mean Opinion Score (MOS)*. Pengukuran MOS ini dilakukan secara objektif berdasarkan ITU-T *E-Model* dan subjektif.

Sebelum melakukan pengujian terhadap parameter tersebut, untuk mengetahui kemampuan dasar dari sistem yang telah dibangun ini maka perlu dilakukan pengukuran laju data transmisi dalam kondisi kapasitas penuh. Pengukuran tersebut dilakukan dengan aplikasi *Mini Speed Test* yang sudah ter-*install* pada sisi *server* yang terhubung dengan BS. Aplikasi ini kemudian diakses oleh *user* di sisi SS dengan menggunakan halaman *browser*. Sebagaimana dapat dilihat pada Gbr. 3, hasil pengujian menunjukkan bahwa kapasitas rata-rata untuk *download* dan *upload* masing-masing adalah sebesar 3,62 Mbps dan 3,08 Mbps.



Gbr. 1 Hasil uji kapasitas sistem.

Setelah mengetahui kapasitas maksimum dari sistem yang telah dibangun tersebut, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian kemampuan sistem untuk dapat mendukung layanan VoIP dengan beberapa kondisi sebagai berikut.

1. Jenis *scheduling* yang berbeda-beda, terdiri atas *best effort*, *non-real-time polling service*, *real-time polling service*, dan *unsolicited grand service*. Tujuan pengujian dengan jenis *scheduling* yang berbeda ini untuk mengetahui jenis *scheduling* yang memiliki performa terbaik untuk mendukung layanan VoIP.
2. Terdapat trafik data lainnya ketika melakukan komunikasi VoIP yang direpresentasikan dengan *background traffic*. *Background traffic* ini diperoleh dengan mengirimkan paket UDP dari *client* ke *server*. *Background traffic* adalah paket dalam transmisi jaringan yang digunakan untuk menguji perilaku suatu sistem dalam jaringan. Nilai *background traffic* yang dibangkitkan bervariasi dimulai dari 0Mbps, 2Mbps, 4Mbps, 6Mbps, dan 8Mbps. Dengan begitu maka dapat diketahui kehandalan jaringan ketika terjadi peningkatan trafik data pada jaringan *testbed* WiMAX.
3. *Codec* VoIP yang dipakai G.711u.

A. Hasil Pengujian Delay

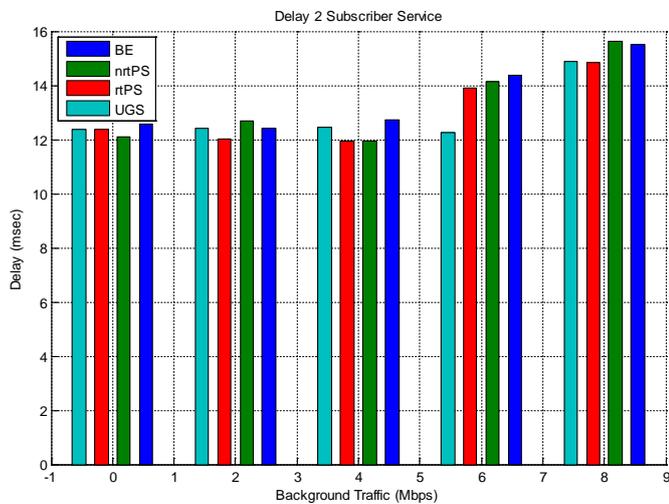
Delay adalah total waktu tunda dalam proses pengiriman paket yang diakibatkan oleh adanya proses transmisi dan pengolahan paket. Dalam komunikasi data, *delay* merupakan suatu permasalahan yang perlu diperhatikan untuk menjaga kualitas layanan agar tetap pada kondisi yang baik. Berdasarkan Rekomendasi ITU-T G.1010, disebutkan bahwa batas maksimum *delay* yang diizinkan dalam suatu komunikasi data adalah 150 ms. Oleh karena itu, kinerja layanan VoIP terhadap parameter *delay* dalam *testbed* WiMAX ini sangat penting untuk dievaluasi.

Hasil pengujian *delay* pada komunikasi *end-to-end* antar *user* dalam jaringan WiMAX dengan konfigurasi topologi jaringan *point-to-point (P2P)* dan *point-to-multipoint (PMP)* ditunjukkan masing-masing pada Gbr. 4 dan Gbr. 5. *Delay* yang ditunjukkan pada kedua gambar tersebut diperoleh dengan variasi *background traffic* pada jenis *scheduling* yang berbeda.



Gbr. 2 Grafik hasil pengukuran *delay* (P2P).

Dari hasil pengujian *delay* tersebut (pada kondisi P2P dan PMP) diperoleh informasi bahwa seiring dengan bertambahnya *background traffic* di dalam sistem, terjadi kenaikan *delay* walaupun dengan rentang nilai yang cukup kecil yaitu antara 11 – 17 ms. Hal ini menunjukkan bahwa *delay* yang terjadi di dalam sistem yang dibangun masih dapat ditoleransi berdasarkan standar yang disyaratkan. Adapun kenaikan *delay* yang terjadi lebih disebabkan oleh besarnya *processing delay* akibat panjangnya waktu antrian dalam pengolahan paket yang sangat banyak.



Gbr. 3 Grafik hasil pengukuran *delay* (PMP).

Di sisi lain, besaran *delay* dalam jaringan dengan topologi *point-to-point* dan *point-to-multipoint* menunjukkan kecenderungan perubahan nilai yang berbeda. Topologi *point-to-point* dengan *background traffic* sebesar 0 Mbps dan 2 Mbps memberikan nilai *delay* yang cenderung lebih kecil dibandingkan *delay* yang terjadi pada jaringan dengan topologi *point-to-multipoint*. Sedangkan jika sistem diberikan *background traffic* sebesar 4 Mbps, 6 Mbps, dan 8 Mbps nilai *delay* pada topologi *point-to-multipoint* lebih kecil dibandingkan dengan pada topologi *point-to-point*.

B. Pengujian Jitter

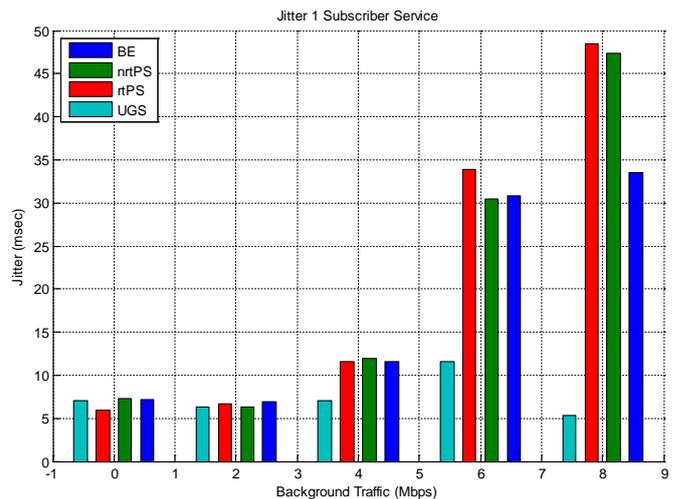
Jitter merupakan variasi *delay* kedatangan suatu paket data. Paket data yang dikirim dari pengirim ke penerima memiliki waktu tempuh yang berbeda karena terjadinya perbedaan lintasan tempuh dalam pengiriman paket. Hasil pengujian *jitter* pada jaringan dengan *background traffic* dan jenis *scheduling* yang berbeda ditunjukkan pada Gbr. 6 dan Gbr. 7 untuk masing-masing topologi *point-to-point* dan topologi *point-to-multipoint*.

Dengan merujuk kepada kedua gambar tersebut, dapat diperoleh informasi bahwa perubahan nilai *background traffic* yang terjadi di dalam sistem memberikan pengaruh yang cenderung linear terhadap perubahan nilai *jitter*. Akan tetapi, jaringan dengan jenis *scheduling* UGS memiliki nilai *jitter* yang cenderung tetap karena adanya jaminan prioritas dalam pengiriman trafik. Hal ini terjadi pada kedua jenis topologi yang dievaluasi, yaitu *point-to-point* dan *point-to-multipoint*.

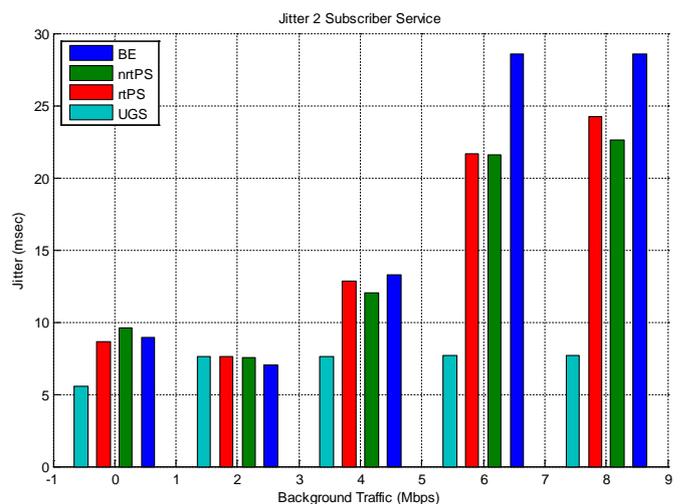
Di sisi lain, besaran nilai *jitter* yang terjadi pada kedua konfigurasi topologi jaringan tersebut memberikan kecenderungan yang berbeda. Variasi *background traffic* sebesar 0 Mbps, 2 Mbps, dan 4 Mbps memberikan nilai *jitter* yang cenderung lebih baik pada topologi *point-to-point*, sedangkan topologi *point-to-multipoint* dengan variasi *background traffic* sebesar 6 Mbps dan 8 Mbps memberikan nilai *jitter* yang lebih baik dibandingkan pada topologi *point-to-point*.

C. Pengujian Packet Loss

Packet loss adalah suatu kejadian hilangnya paket yang dikirim ketika jaringan dalam keadaan *peak loaded*. Hal ini terjadi karena adanya kemacetan transmisi paket akibat padatnya trafik yang harus dilayani dalam batas waktu tertentu. Kemacetan ini mengakibatkan hilangnya paket yang dikirimkan karena sudah terlampainya *live time* dari suatu paket.



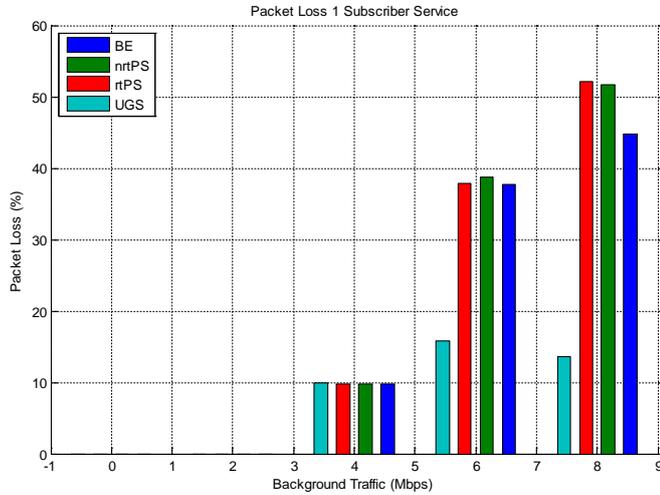
Gbr. 4 Grafik hasil pengukuran *jitter* (P2P).



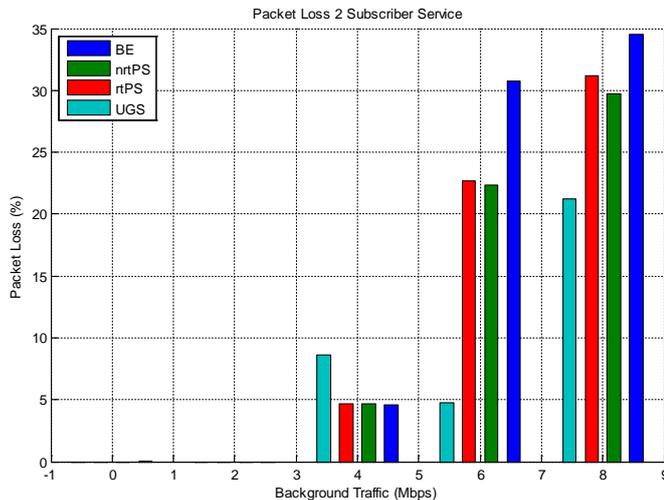
Gbr. 5 Grafik hasil pengukuran *jitter* (PMP).

Packet loss dihitung dengan membandingkan jumlah paket yang hilang terhadap seluruh paket yang dikirimkan. Hasil pengujian *packet loss* ditunjukkan pada Gbr. 8 dan Gbr. 9, untuk topologi *point-to-point* dan *point-to-multipoint*.

Berdasarkan kedua gambar hasil pengujian tersebut, secara umum dapat diperoleh informasi bahwa *packet loss* baru terjadi ketika *background traffic* yang diberikan ke dalam sistem diatur lebih besar dari 4 Mbps. Ketika *background traffic* yang diberikan lebih besar dari 4 Mbps maka terjadi kenaikan *packet loss* yang cenderung linear dengan perubahan *background traffic* tersebut. Hal ini terjadi pada seluruh konfigurasi jaringan dengan tipe *scheduling* yang berlainan. Jika mengacu kepada kapasitas sistem yang ditunjukkan pada Gbr. 3, maka hal ini dapat dipahami karena terjadi antrian paket yang sangat panjang ketika beban trafik yang harus dilayani sudah melebihi kapasitas sistem.



Gbr. 6 Grafik hasil pengukuran *packet loss* (P2P).



Gbr. 7 Grafik hasil pengukuran *packet loss* (PMP).

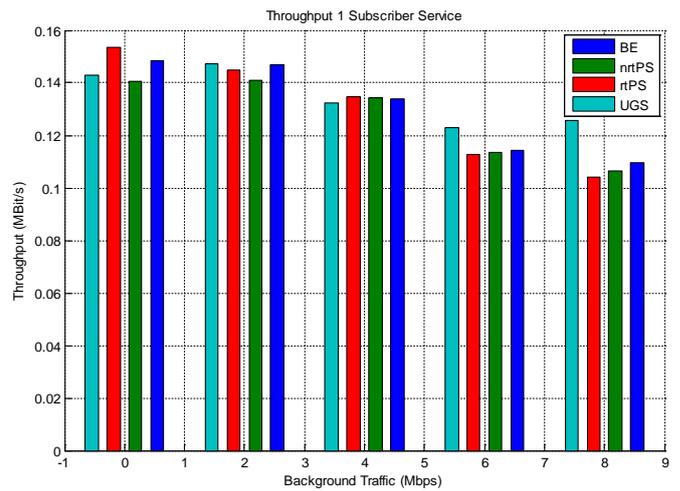
D. Pengujian Throughput

Throughput adalah salah satu parameter lain dalam evaluasi kinerja jaringan yang juga cukup penting. Nilai *throughput* dapat diperoleh dengan membandingkan jumlah data atau informasi yang diterima dengan sukses di terminal penerima terhadap seluruh data atau informasi yang dikirim per satuan waktu (detik). Hasil dari pengujian *throughput* dalam satuan Mbps ini dapat dilihat pada Gbr. 10 dan Gbr. 11, untuk

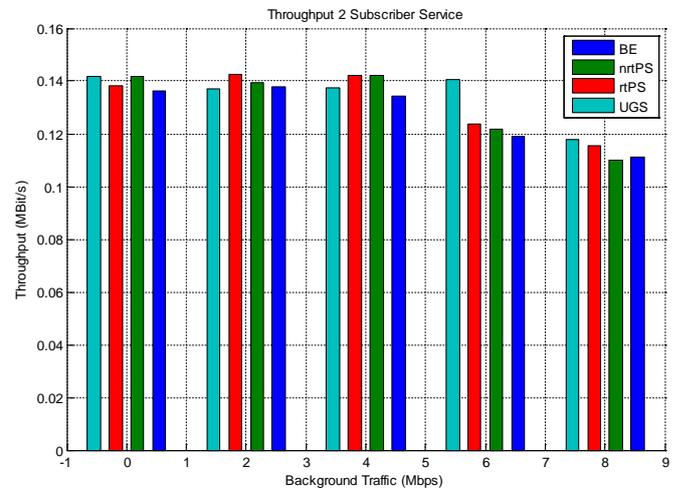
masing-masing topologi *point-to-point* dan *point-to-multipoint*.

Dari kedua gambar hasil pengujian tersebut, kita dapat memperoleh informasi bahwa hasil pengujian *throughput* memiliki kecenderungan yang sama dengan hasil pengujian untuk parameter *packet loss*. Hal ini disebabkan oleh adanya keterkaitan antara *packet loss* dan *throughput*. Semakin tinggi *packet loss* yang terjadi mengakibatkan semakin turunnya *throughput* yang diperoleh.

Secara umum, perubahan *throughput* yang cukup signifikan baru terjadi ketika beban trafik yang harus dilayani melebihi kapasitas sistem yang tersedia. Hal ini terjadi ketika beban trafik, yang direpresentasikan oleh *background traffic*, yang dimasukkan ke dalam sistem lebih besar 4 Mbps. Perubahan *background traffic* yang melebihi kapasitas sistem tersebut menyebabkan terjadinya penurunan *throughput* yang cenderung proporsional seiring dengan perubahan *background traffic* yang semakin besar. Kecenderungan perubahan nilai *throughput* tersebut terjadi pada pengujian seluruh konfigurasi jaringan dengan tipe *scheduling* yang berbeda.



Gbr. 8 Grafik hasil pengukuran *throughput* (P2P).



Gbr. 9 Grafik hasil pengukuran *throughput* (PMP).

E. Pengujian QoS berdasarkan Mean Opinion Score

E-Model ITU merupakan suatu metode evaluasi terhadap kinerja suatu transmisi data yang dilakukan secara objektif berdasarkan nilai-nilai parameter kualitas layanan yang telah diperoleh. Hasil dari evaluasi kinerja dengan metode ini direpresentasikan dalam bentuk Mean Opinion Score (MOS). Karena prosesnya yang mengandalkan parameter uji terukur, maka hasil evaluasi ini biasa disebut dengan Objective MOS. Berdasarkan Rekomendasi ITU-T P.107, maka nilai MOS dapat diperoleh dengan terlebih dahulu menghitung R factor sebagai berikut:

$$R = 94.2 - I_d - I_{ef} \tag{1}$$

dengan,

$$I_d = 0,024d + 0,11(d - 177,3)H_{(d-177,3)} \tag{2}$$

dan

$$I_{ef} = 7 + 30 \ln(1 + 15e) \tag{3}$$

dengan I_d adalah faktor penurunan kualitas yang disebabkan oleh pengaruh delay atau d , sedangkan I_{ef} adalah faktor penurunan kualitas yang disebabkan oleh teknik kompresi dan packet loss yang terjadi atau e , dan H adalah suatu fungsi tangga dengan ketentuan seperti pada (4).

$$H = \begin{cases} 0 & \text{jika } x < 0 \\ 1 & \text{jika } x \geq 0 \end{cases} \tag{4}$$

Dengan nilai R-factor yang telah diperoleh tersebut, maka akan diperoleh nilai MOS dengan korelasi sebagai berikut:

MOS	Tingkat Kepuasa	R Faktor
4,4	Sangat Baik	100
4,3	Baik	94 ← Nilai Maksimum ITU – T G.107
4,0	Cukup Baik	80
3,6	Kurang Baik	70
3,1	Buruk / Berkualitas rendah	60
2,6	Buruk / Tidak diperkenankan	50
1,0		0

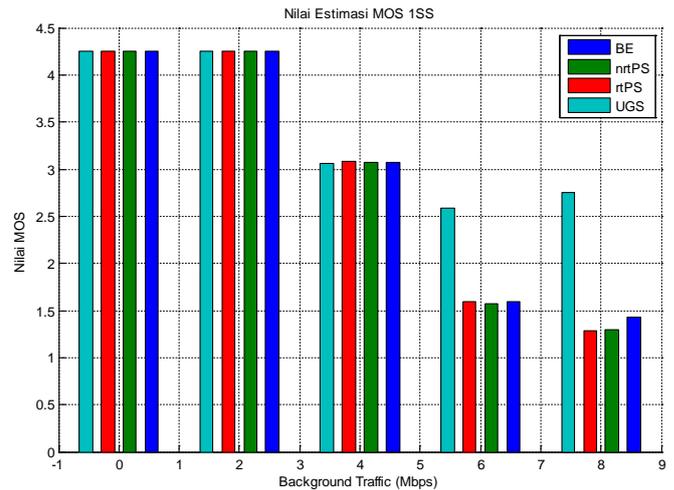
dengan ketentuan bahwa

- $R < 0$ memberikan nilai MOS sama dengan 1,
- $R > 100$ memberikan nilai MOS sama dengan 4,5, dan
- $0 < R < 100$ nilai MOS dapat diperoleh dengan persamaan $1 + 0,035R + 7 \times 10^{-6} R(R - 60)(100 - R)$.

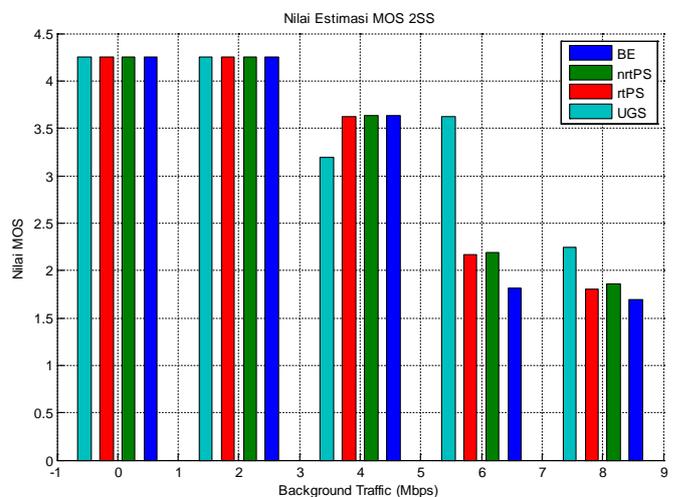
Hasil dari perhitungan nilai I_d , I_{ef} , R , dan MOS dapat dilihat pada Tabel II, dengan grafik nilai MOS untuk konfigurasi topologi point-to-point dan point-to-multipoint dengan variasi background traffic pada jenis scheduling yang berbeda ditunjukkan pada Gbr. 12 dan Gbr. 13.

Berdasarkan hasil perhitungan MOS untuk kedua konfigurasi topologi jaringan yang dievaluasi, dapat diperoleh informasi bahwa nilai MOS untuk kedua konfigurasi topologi jaringan tersebut memiliki kecenderungan yang sama. Namun, ketika dibandingkan secara lebih detail maka diketahui bahwa

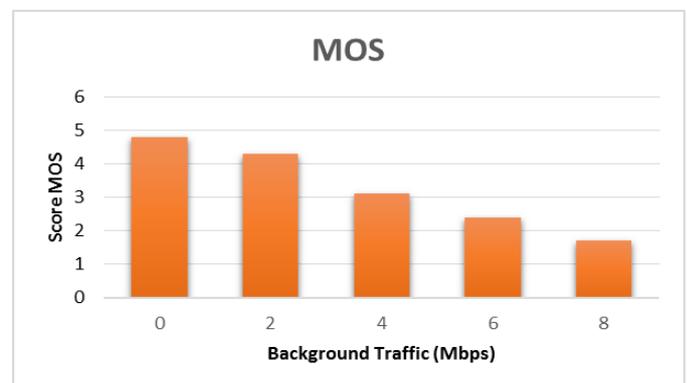
nilai MOS untuk topologi point-to-multipoint cenderung memiliki persepsi yang lebih baik dibandingkan dengan topologi point-to-point. Selain itu, perubahan yang cukup menonjol terjadi ketika sistem diberi background traffic dengan nilai yang lebih besar dari 4 Mbps.



Gbr. 10 Grafik nilai MOS (P2P).



Gbr. 11 Grafik nilai MOS (PMP).



Gbr. 12 Grafik MOS secara subjektif.

TABEL II
REKAPITULASI HASIL PENGUJIAN LAYANAN VOIP

Tipe QoS WiMAX	Background traffic (Mbps)	Delay		Id		Packet Loss		I_{ef}		R-Faktor		MOS	
		P2P	PMP	P2P	PMP	P2P	PMP	P2P	PMP	P2P	PMP	P2P	PMP
BE	0	11.4360	12.5560	0.2745	0.3013	0.0000	0.0100	7.0000	7.0450	86.9255	86.8537	4.2566	4.2545
	2	11.6450	12.4100	0.2795	0.2978	0.0000	0.0000	7.0000	7.0000	86.9205	86.9022	4.2565	4.2559
	4	12.5590	12.7300	0.3014	0.3055	9.7900	4.6280	34.1129	22.8150	59.7857	71.0795	3.0889	3.6472
	6	14.6860	14.3740	0.3525	0.3450	37.6600	30.7430	63.8337	58.7439	30.0139	35.1112	1.6096	1.8320
	8	15.5670	15.5280	0.3736	0.3727	44.7400	34.5130	68.2765	61.6244	25.5499	32.2030	1.4355	1.7023
nrtPS	0	12.1000	12.1000	0.2904	0.2904	0.0000	0.0000	7.0000	7.0000	86.9096	86.9096	4.2561	4.2561
	2	12.0310	12.6860	0.2887	0.3045	0.0000	0.0000	7.0000	7.0000	86.9113	86.8955	4.2562	4.2557
	4	12.5660	11.9240	0.3016	0.2862	9.8200	4.6550	34.1584	22.8879	59.7400	71.0259	3.0865	3.6447
	6	14.7890	14.1240	0.3549	0.3390	38.6800	22.3450	64.5148	51.1173	29.3302	42.7437	1.5816	2.2004
	8	15.8010	15.6210	0.3792	0.3749	51.6700	29.7450	72.0746	57.9331	21.7462	35.8920	1.3054	1.8679
rtPS	0	11.0830	12.3620	0.2660	0.2967	0.0000	0.0000	7.0000	7.0000	86.9340	86.9033	4.2568	4.2560
	2	11.7820	12.0100	0.2828	0.2882	0.0000	0.0000	7.0000	7.0000	86.9172	86.9118	4.2564	4.2562
	4	12.6180	11.9240	0.3028	0.2862	9.7700	4.7030	34.0718	23.0136	59.8253	70.9003	3.0909	3.6389
	6	15.0080	13.8910	0.3602	0.3334	37.8600	22.7180	63.9690	51.5001	29.8707	42.3665	1.6037	2.1814
	8	16.2810	14.8340	0.3907	0.3560	52.1100	31.1580	72.2975	59.0748	21.5118	34.7691	1.2980	1.8164
UGS	0	11.9440	12.3890	0.2867	0.2973	0.0000	0.0000	7.0000	7.0000	86.9133	86.9027	4.2562	4.2559
	2	11.6390	12.4060	0.2793	0.2977	0.0000	0.0000	7.0000	7.0000	86.9207	86.9023	4.2565	4.2559
	4	12.3120	12.4420	0.2955	0.2986	9.9800	8.5980	34.4572	31.8516	59.4473	62.0498	3.0713	3.2055
	6	13.9120	12.2430	0.3339	0.2938	15.7900	4.7280	43.4374	23.0794	50.4287	70.8267	2.5975	3.6355
	8	13.6320	14.8810	0.3272	0.3571	13.5600	21.2650	40.3002	49.9792	53.5727	43.8636	2.7631	2.2571

Selain dari perhitungan MOS secara objektif tersebut, nilai MOS dapat pula diperoleh secara subjektif dengan cara melakukan survei kepuasan sejumlah responden terhadap kualitas kinerja layanan yang dialami. Tujuan dari survei ini adalah untuk mengetahui tingkat kepuasan *user* terhadap aplikasi VoIP yang telah dirancang. Survei ini dilakukan dengan memberikan kuisioner kepada sepuluh responden yang diberi kesempatan untuk melakukan panggilan suara dengan layanan VoIP. Panggilan dilakukan sebanyak lima kali dengan setiap panggilan yang terjadi diberikan variasi beban *background traffic* sesuai dengan skenario sebelumnya. Hasil dari pengujian MOS ini dapat dilihat pada Gbr. 14.

Dari grafik tersebut, dapat dilihat bahwa hasil MOS secara subjektif memberikan hasil yang relatif sama dengan MOS yang diperoleh secara objektif. Perubahan nilai MOS yang

cukup signifikan terjadi ketika sistem diberi *background traffic* dengan nilai lebih besar dari 4 Mbps. Hal ini disebabkan oleh semakin besarnya beban *background traffic* yang diberikan menjadikan kinerja layanan VoIP semakin menurun. Hal ini ditandai dengan hasil survei yang menunjukkan bahwa koneksi VoIP yang dilakukan oleh responden menjadi tidak stabil.

IV. KESIMPULAN

Pada makalah ini telah dibahas evaluasi kinerja layanan VoIP pada *testbed* WiMAX berbasis Standar IEEE 802.16-2004. Evaluasi kinerja dilakukan pada konfigurasi topologi jaringan yang direkomendasikan oleh WiMAX Forum yaitu *point-to-point* dan *point-to-multipoint*. Evaluasi kinerja diukur terhadap parameter *delay*, *jitter*, *packet loss*, *throughput*, dan

MOS, dengan jenis *scheduling* yang berbeda, yaitu *Best Effort* (BE), *Non-Real-Time Polling Service* (nrtPS), *Real-Time Polling Service* (rtPS), dan *Unsolicited Grant Service* (UGS).

Berdasarkan proses pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa performa layanan VoIP secara umum masih berada pada batas standar yang disyaratkan. Nilai *delay* dan *jitter* terbesar terjadi dengan nilai masing-masing 28,547 ms dan 48,515 ms. Nilai *packet loss* yang memenuhi standar ITU-T (*packet loss* < 3%) yaitu pada beban *background traffic* antara 0 – 2 Mbps.

Pengujian berdasarkan parameter MOS pun telah dilakukan baik secara objektif maupun subjektif. Layanan VoIP yang telah diimplementasikan mendapatkan nilai yang baik ketika *background traffic* di bawah 4 Mbps, yaitu dengan skor di atas 4,2 untuk MOS secara objektif dan skor 4 untuk MOS secara subjektif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan dari PT. Aplikanusa Lintas Arta berupa penyediaan Jaringan *testbed* WiMAX dalam bentuk Program Hibah CSR Pendidikan Generasi Muda Berbasis ICT.

REFERENSI

- [1] IEEE 802.16 Working Group, editor. *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks. Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*. IEEE Std. 802.16-2004, October 2004.
- [2] N. Gupta and G. Kaur. *WiMAX Applications: WiMAX Technology for Broadband Wireless Communication*. CRC Press, 2008.
- [3] Peh, E.W.C.; Seah, W.K.G.; Chew, Y.H.; Ge, Y., "Experimental Study of Voice over IP Services over Broadband Wireless Networks," in *the proceeding of 22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications* (AINA) 2008. pp.834-839, 25-28 March 2008.
- [4] Nicola Scalabrino, Francesco De Pelegrini, Imrich Chlamtac, Andrea Ghittino, and Sandro Pera. "Performance evaluation of a WiMAX *testbed* under VoIP traffic," in *the proceeding of ACM WiNTECH*, pages 97-98, September 2006.
- [5] Nicola Scalabrino, Francesco De Pellegrini, Robert Riggio, Andrea Maestrini, Cristina Costa, and Imrich Chlamtac. "Measuring the quality of VoIP traffic on a WiMAX *testbed*," in *the proceeding of TRIDENTCOM*, pages 110, May 2007.
- [6] S. Mignanti, G. Tamea, I. Marchetti, M. Castellano, A. Cimmino, F. Andreotti, M. Spada, P. M. Neves, G. Landi, P. Simoes, and K. Pentikousis, "WEIRD *testbeds* with fixed and mobile WiMAX technology for user applications, telemedicine and monitoring of impervious areas," in *Proc. Fourth International Conference on Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks and Communities* (TRIDENTCOM), Innsbruck, Austria, March 2008.
- [7] Bernardo, V.; Sousa, B.; Curado, M., "VoIP over WiMAX: Quality of experience evaluation," in *the proceeding of Computers and Communications, 2009. ISCC 2009.*, vol., no., pp.42,47, 5-8 July 2009
- [8] WiMAX Forum. *WiMAX End-to-End Network Systems Architecture Stage 2: Architecture Tenets, Reference Model and Reference Points*. Release 1.1.0. June 2007.
- [9] WiMAX Forum. *WiMAX End-to-End Network Systems Architecture Stage 3: Detailed Protocols and Procedures*. Release 1.1.0. June 2007.
- [10] WiMAX Forum. *WiMAX System Evaluation Methodology*. 2007.
- [11] ITU-T. *The E-Model, a computational model for use in transmission planning*. ITU-T Recommendation G.107, December 1998.
- [12] ITU-T. *Methods for Subjective Determination of Transmission Quality*. ITU-T Recommendation P.800, 1996.