ANALISIS PERBANDINGAN PERFORMA VPN IPSEC DAN ZRTP PADA VoIP

Muhammad Iqbal¹⁾, Galih Yogi Noviantoro²⁾, Amarudin³⁾

¹⁾Teknik Komputer/ AMIK, Teknokrat-Lampung

^{2), 3)}Teknik Informatika/ STMIK, Teknokrat-Lampung

m.iqbal@teknokrat.ac.id¹⁾, galihyogi1167@gmail.com²⁾, amarudin@teknokrat.ac.id³⁾

Abstrak - Protokol ZRTP berperan melakukan enkripsi data pada sistem komunikasi VoIP, serta adanya suatu teknologi jaringan komputer VPN IPsec dengan sistem melewati data dalam suatu *ip private virtual* atau sebagai *tunnel* untuk media transmisi data yang aman. Perbandingan performa pada penerapan kedua metode pengamanan data pada sistem komunikasi VoIP bertujuan untuk mengetahui protokol mana yang aman untuk diterapkan. Pada dasarnya ZRTP menggunakan pertukaran kunci Diffie-Hellman sebagai pertukaran kunci komunikasi antar *client*, yang mana kunci untuk komunikasi antar *client* tersebut menggunakan hash dari Diffie-Hellman dan dilakukan secara *peer-to-peer* melalui paket RTP VoIP. Sedangkan pada VPN IPsec terdapat protokol ESP (*Encapsulating Security Payload*) yang berfungsi sebagai enkripsi dan membuat *tunnel* transport RTP pada sistem komunikasi VoIP. Acuan standarisasi pengukuran kualitas VoIP yaitu rekomendasi dari ITU (*International Telecommunication Union*) yang merupakan standarisasi internasional untuk mengukur kualitas suara dalam komunikasi *telephone*. Pengujian dilakukan menggunakan variasi *bandwidth* 32, 64, 128, 256, 512, dan 1024 kbps. Parameter QoS (*Quality of Service*) yaitu *delay*, *jitter*, *packet loss*, dan *throughput*. Hasil pengujian QoS (*Quality of Service*) menunjukkan bahwa protokol VPN IPsec menghasilkan total *delay* rata-rata yang cukup rendah sebesar 69,78 % dibandingkan dengan VoIP ZRTP, *throughput* rata-rata yang lebih tinggi sebesar 15,53 % tetapi nilai *jitter* cukup tinggi dibandingkan dengan ZRTP. Sedangkan *packet loss* pada sistem komunikasi VoIP ZRTP menghasilkan nilai *packet loss* yang stabil yaitu 0 %, sedangkan untuk VoIP VPN IPsec menghasilkan *packet loss* mencapai 4,62 %.. MOS (*Mean Opinion Score*) menunjukkan bahwa hasil perhitungan MOS Score yang menyatakan bahwa pemakaian *limit bandwidth* 128 kbps dan 256 kbps performa VoIP ZRTP lebih unggul sebesar 11,21 % dan 9,63 % dari performa VoIP VPN IPsec. Akan tetapi dalam pemakaian *limit bandwidth* 512 dan 1024 kbps performa VoIP VPN IPsec mulai mengalami peningkatan dan lebih unggul 1,18 % dan 3,23 % dari performa VoIP ZRTP.

Kata Kunci – VoIP, ZRTP, VPN IPsec, QoS (*Quality of Service*), MOS

1. PENDAHULUAN

Teknologi (*Voice Over Internet Protocol*) VoIP merupakan teknologi yang menggunakan layanan transmisi data suara secara langsung (*real time*) dengan menggunakan *Internet Protocol* [1]. Dalam komunikasi VoIP tidak memiliki jaminan keamanan terhadap data pada komunikasi suara yang sedang berlangsung, tidak menutup kemungkinan pihak lain yang tidak berwenang melakukan penyadapan terhadap komunikasi tersebut.

Penanggulangan dari beberapa hal tersebut adalah dengan pengimplementasian metode keamanan data terhadap layanan VoIP, diantaranya dengan implementasi keamanan protokol IPsec tunneling dan ZRTP (*Zimmermann Real Time Transport Protocol*). IPsec (*IP Security*) adalah protokol yang memastikan keamanan transmisi dan autentikasi pengguna melalui jaringan, beroperasi pada *network layer* dari model tujuh layer OSI. Dengan menggunakan IPsec tunnel, kita dapat melakukan enkripsi atau membuat suatu jalur media komunikasi (*tunnel*) yang terautentifikasi [5].

ZRTP (*Zimmermann Real-Time Transport Protocol*) menghasilkan *shared secret* antara *initiator* dan *responder* yang kemudian digunakan untuk menghasilkan kunci *Secure RTP* (SRTP). ZRTP

menggunakan pertukaran kunci Diffie-Hellman yang menegosiasikan kunci untuk mengenkripsi suara pada komunikasi VoIP. Pertukaran kunci tersebut yang akan menjaga suara atau komunikasi yang sedang berlangsung dari serangan pada komunikasi VoIP. Sehingga enkripsi yang dihasilkan adalah *end to end* antara pemanggil dan penerima [3] [4].

Berdasar latar belakang diatas maka penulis akan melakukan analisis performa terhadap implementasian metode pengamanan data yang berbeda untuk diterapkan pada sistem komunikasi VoIP, yaitu menggunakan ZRTP (*Zimmermann Real-Time Transport Protocol*) dan IPsec tunneling yang kemudian akan dianalisa keamanan data dan pengaruh yang akan timbul pada trafik kualitas suara yang dihasilkan berdasarkan pengukuran tingkat QoS (*Quality of Services*) dan nilai MOS (*Measure Opinion Score*) yang akan diperoleh [4].

2. METODE

2.1 Metode Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan pada sebuah PC yang dibangun sebagai VoIP server, satu unit router sebagai penghubung antar jaringan, satu unit switch

sebagai sentral penghubung *node* jaringan, dan 3 unit laptop sebagai *VoIP client*. Sistem komunikasi *VoIP* yang akan dibangun tersebut terdapat 2 jenis, sistem komunikasi *VoIP* dengan metode keamanan *IPsec* dan *ZRTP*. Kemudian nantinya akan dilakukan uji performa dan keamanan terhadap data suara (*voice*) yang dikirim. Analisa akan dilakukan dengan membandingkan *delay*, *jitter*, *packet loss*, dan *throughput* yang dihasilkan pada *VoIP IPsec* dan *ZRTP*. Kemudian dilakukan perhitungan dan perbandingan terhadap data yang diperoleh ketika melakukan analisa dari masing-masing sistem komunikasi *VoIP* tersebut.

Untuk pengujian jaringan yang pertama adalah arsitektur jaringan *VoIP* dengan menggunakan protokol *ZRTP*, yang dimana implementasi dari jaringan akan menggunakan 2 buah komputer yang menggunakan *softphone* sebagai klien dan sebuah server *VoIP* dan menggunakan satu unit *router* sebagai penghubung dari kedua klien yang akan terkoneksi satu sama lainnya. Untuk pengujian keamanan akan disisipkan sebuah aplikasi *network sniffer wireshark* untuk melakukan penyadapan terhadap komunikasi yang dilakukan. Ilustrasi arsitektur *VoIP* yang pertama seperti **Gambar 1**.

Gambar 1. Topologi Pengujian *VoIP ZRTP Client*

Untuk pengujian jaringan *VoIP* berikutnya adalah menggunakan protokol *IPsec*, digambarkan sebuah koneksi *tunnel* yang akan dibangun diantara dua buah komputer menggunakan fasilitas keamanan dari *IPsec* yang akan mengenkripsi komunikasi data yang terjadi diantara kedua komputer tersebut. Pada kedua komputer tersebut akan dibangun sebuah komunikasi *VoIP* yang menggunakan fasilitas *tunnel* dari *IPsec*. Untuk menguji keamanannya, maka akan digunakan aplikasi *network analyzer* untuk mencoba menangkap komunikasi yang terjadi diantara kedua komputer tersebut seperti pada **Gambar 2** berikut.

Gambar 2. Topologi Pengujian *VoIP IPsec Tunneling*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian *ZRTP* Pada *VoIP 2 Client*

Untuk melakukan pengujian terhadap protokol *ZRTP* yang telah diimplementasikan pada *softphone client*, perlu menggunakan bantuan dari perangkat lunak *network protocol analyzer* seperti *Wireshark*. Untuk mengujinya perlu dilakukan komunikasi *VoIP*, bersamaan dengan diaktifkan *tool Wireshark*. *Wireshark* akan menganalisa protokol yang sedang berkomunikasi tersebut dan mencatatnya. Paket komunikasi yang menggunakan protokol *ZRTP* akan secara otomatis terlihat ketika komunikasi *VoIP* dilakukan. Selanjutnya dilakukan pengecekan terhadap komunikasi *VoIP* yang berhasil ditangkap oleh *Wireshark*. Komunikasi ini otomatis ditangkap oleh *Wireshark* ketika *Wireshark* mulai memonitor protokol yang sedang melakukan komunikasi. Hasil dari tangkapan komunikasi *VoIP* yang menggunakan *ZRTP* seperti pada **Gambar 3** berikut.

Source	Destination	Protocol	Length	Frame	Info
192.168.2.12	192.168.2.11	ZRTP	178	Yes	Hello Packet
192.168.2.12	192.168.2.11	ZRTP	178	Yes	Hello Packet
192.168.2.11	192.168.2.12	ZRTP	70	Yes	HelloACK Packet
192.168.2.11	192.168.2.12	ZRTP	70	Yes	HelloACK Packet
192.168.2.11	192.168.2.12	ZRTP	178	Yes	Hello Packet
192.168.2.11	192.168.2.12	ZRTP	178	Yes	Hello Packet
192.168.2.12	192.168.2.11	ZRTP	70	Yes	HelloACK Packet
192.168.2.12	192.168.2.11	ZRTP	70	Yes	HelloACK Packet
192.168.2.12	192.168.2.11	ZRTP	70	Yes	HelloACK Packet
192.168.2.12	192.168.2.11	ZRTP	70	Yes	HelloACK Packet
192.168.2.12	192.168.2.11	ZRTP	70	Yes	HelloACK Packet
192.168.2.12	192.168.2.11	ZRTP	70	Yes	HelloACK Packet
192.168.2.12	192.168.2.11	ZRTP	174	Yes	Commit Packet
192.168.2.12	192.168.2.11	ZRTP	174	Yes	Commit Packet
192.168.2.12	192.168.2.11	ZRTP	398	Yes	DHPart1 Packet
192.168.2.12	192.168.2.11	ZRTP	398	Yes	DHPart1 Packet
192.168.2.12	192.168.2.11	ZRTP	398	Yes	DHPart1 Packet

ire (1424 bits), 178 bytes captured (1424 bits) on interface 0
C:77:09:64 (60:a4:4c:77:09:64), Dst: Routerbo_77:1c:d9 (e4:8d:8c:77:1c:d9)
4, Src: 192.168.2.12, Dst: 192.168.2.11
rc Port: 5062, Dst Port: 5062

Gambar 3. Protokol *ZRTP* Pada Komunikasi *VoIP*

Gambar 4. RTP Player ZRTP

Setelah pendekodean dilakukan seperti pada Gambar 4 diatas, suara yang dimainkan kembali terdengar *noise* kasar yang menutupi isi dari komunikasi VoIP yang asli, sehingga informasi yang tersimpan pada komunikasi VoIP tersebut tidak dapat didengarkan oleh *attacker*.

B. Pengujian IPsec Pada VoIP 2 Client

Untuk melakukan pengecekan terhadap protokol IPsec apakah tetap berjalan melindungi komunikasi yang berlangsung, dilakukan pengecekan dengan menggunakan bantuan dari perangkat lunak Wireshark. Pada keluaran Wireshark, paket RTP yang membawa komunikasi VoIP selalu terlihat bersama dengan ESP, ini menandakan bahwa ESP yang merupakan fungsi keamanan yang disediakan oleh protokol IPsec telah berhasil mengamankan data berupa RTP yang digunakan berkomunikasi dalam uji coba komunikasi VoIP melalui *tunnel* IPsec seperti terlihat pada Gambar 5 berikut.

Source	Destination	Protocol	Length	Frame	Info
192.168.2.12	192.168.2.11	ESP	294	Yes	ESP (SPI=0x0fab9d8b)
192.168.2.12	192.168.2.11	ESP	294	Yes	ESP (SPI=0x0fab9d8b)
192.168.2.11	192.168.2.12	ESP	294	Yes	ESP (SPI=0x49819256)
192.168.2.11	192.168.2.12	ESP	294	Yes	ESP (SPI=0x49819256)
192.168.2.12	192.168.2.11	ESP	294	Yes	ESP (SPI=0x0fab9d8b)
192.168.2.12	192.168.2.11	ESP	294	Yes	ESP (SPI=0x0fab9d8b)
192.168.2.11	192.168.2.12	ESP	294	Yes	ESP (SPI=0x49819256)
192.168.2.11	192.168.2.12	ESP	294	Yes	ESP (SPI=0x49819256)
192.168.2.12	192.168.2.11	ESP	294	Yes	ESP (SPI=0x0fab9d8b)
192.168.2.12	192.168.2.11	ESP	294	Yes	ESP (SPI=0x0fab9d8b)
192.168.2.11	192.168.2.12	ESP	294	Yes	ESP (SPI=0x49819256)
192.168.2.11	192.168.2.12	ESP	294	Yes	ESP (SPI=0x49819256)
192.168.2.12	192.168.2.11	ESP	166	Yes	ESP (SPI=0x0fab9d8b)
192.168.2.12	192.168.2.11	ESP	166	Yes	ESP (SPI=0x0fab9d8b)
192.168.2.11	192.168.2.12	ESP	182	Yes	ESP (SPI=0x49819256)
192.168.2.11	192.168.2.12	ESP	182	Yes	ESP (SPI=0x49819256)
192.168.2.12	192.168.2.11	ESP	294	Yes	ESP (SPI=0x0fab9d8b)

Gambar 5. Paket RTP terlindungi oleh Protokol ESP

Gambar 6. Deteksi Komunikasi VoIP VPN IPsec

Pada Gambar 6 tersebut tidak ada komunikasi VoIP yang terdeteksi, jadi SIP serta RTP tidak terdeteksi pada sistem komunikasi VoIP VPN IPsec.

C. Uji Coba Performa VoIP

Untuk pengujian *jitter*, *delay*, *packet loss*, dan *throughput* dilakukan uji coba komunikasi sebanyak sepuluh kali dengan durasi 1 menit per komunikasi yang dilakukan oleh masing-masing jaringan VoIP, dengan variasi *bandwidth* 32, 64, 128, 256, 512, dan 1024 kbps, dan pada keseluruhan *network* dengan total pengujian dilakukan sebanyak 540 pengujian. Dalam komunikasi ini menggunakan *codec* G.711, baik yang menggunakan protokol ZRTP maupun VPN IPsec. Berikut merupakan *delay* yang diperoleh dari penerapan sistem VoIP tanpa keamanan, ZRTP, dan VPN IPsec dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan *delay* VoIP

Jenis VoIP	Delay (ms)					
	Bandwidth					
	32	64	128	256	512	1024
VoIP	225,9	44,56	26,83	24,06	20,82	17,91
VoIP ZRTP	76,44	44,78	51,6	45,45	30,69	18,19
VoIP IPSEC	-	13,36	10,4	10,19	11,91	11,76

Pada tabel hasil pengukuran *delay* antara ketiga sistem komunikasi VoIP dalam pemakaian limitasi *bandwidth* sebesar 32, 64, 128, 256, 512, dan 1024 kbps diatas dijelaskan bahwa VoIP tanpa metode keamanan menghasilkan nilai *delay* sebesar 225,9 ms pada saat penggunaan *bandwidth* 32 kbps, *delay* tersebut termasuk dalam kategori kualitas cukup baik. Sedangkan untuk VoIP ZRTP pada *bandwidth* 32 dan 64 kbps protokol ZRTP tidak bisa diimplementasikan, sehingga RTP paket tidak bisa diamankan dengan protokol ZRTP, protokol ZRTP berfungsi dalam minimal pemakaian *bandwidth* 128kbps, dengan hasil *delay* sebesar 51,6 ms. Untuk VoIP VPN IPsec *delay* cukup stabil dibawah 14 ms. Untuk memudahkan melihat perbandingan besar *delay* yang dihasilkan secara grafik dapat melihat Gambar 7 dibawah ini. Semakin kecil nilai *delay* atau mendekati angka nol (0) maka semakin baik kualitas *voice* VoIP yang dihasilkan.

Gambar 7. Grafik Perbandingan Delay VoIP

Tabel 2 berikut merupakan besar jitter yang diperoleh dari penerapan sistem VoIP tanpa keamanan, ZRTP, dan VPN IPsec.

Tabel 2. Perbandingan jitter VoIP
Jitter (ms)

Jenis VoIP	Bandwidth					
	32	64	128	256	512	1024
VoIP	3,78	1,13	0,91	1,62	0,98	0,73
VoIP ZRTP	3,99	2,33	4,56	2,23	1,88	0,84
VoIP IPSEC	-	19,9	19,0	11,2	1,42	0,49

Pada Tabel 2 hasil pengukuran jitter antara ketiga sistem komunikasi VoIP dalam pemakaian limitasi bandwidth sebesar 32, 64, 128, 256, 512, dan 1024 kbps diatas dijelaskan bahwa VoIP tanpa metode keamanan menghasilkan nilai jitter yang cukup kecil belum mencapai 3,8 ms, untuk VoIP ZRTP pada pemakaian bandwidth 128 kbps protokol keamanan ZRTP sudah dapat berfungsi, dengan hasil jitter 4,564 ms dan kemudian menurun sampai 0,842 ms pada bandwidth 1024 kbps. Untuk VoIP VPN IPsec pada pemakaian bandwidth 32kbps panggilan gagal dilakukan, sehingga VoIP VPN IPsec baru dapat digunakan pada limit bandwidth 64 kbps dengan hasil jitter mencapai 19,95 ms dan pada bandwidth 1024 kbps mencapai 0,494 ms. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik Gambar 8, semakin kecil nilai jitter atau mendekati angka nol (0) maka semakin baik kualitas voice VoIP yang dihasilkan.

Gambar 8. Grafik Perbandingan Jitter VoIP

Tabel 3 berikut merupakan besar packet loss yang diperoleh dari penerapan sistem VoIP tanpa keamanan, ZRTP, dan VPN IPsec

Tabel 3. Perbandingan Packet Loss VoIP
Packet Loss (%)

Jenis VoIP	Bandwidth					
	32	64	128	256	512	1024
VoIP	3,972	0,508	0	0	0	0
VoIP ZRTP	0	0	0	0	0	0
VoIP IPSEC	-	4,628	3,85	3,913	0	0

Pada Tabel 3 hasil pengukuran packet loss antara ketiga sistem komunikasi VoIP dalam pemakaian limitasi bandwidth sebesar 32, 64, 128, 256, 512, dan 1024 kbps diatas dijelaskan bahwa VoIP ZRTP menghasilkan nilai packet loss yang stabil yaitu 0 %, sedangkan untuk VoIP VPN IPsec menghasilkan packet loss mencapai 4,62 %. VoIP VPN IPsec baru memenuhi kategori sebagai komunikasi VoIP yang baik pada saat penggunaan bandwidth minimal 128 kbps. Untuk lebih jelas melakukan perbandingan terhadap nilai tersebut dapat kita lihat dari grafik Gambar 9 dibawah ini. Semakin kecil nilai packet loss atau mendekati angka nol (0) maka semakin baik kualitas voice VoIP yang dihasilkan.

Gambar 9 Grafik Perbandingan Packte Loss VoIP

Tabel 4 berikut merupakan besar *throughput* yang diperoleh dari penerapan sistem *VoIP* tanpa keamanan, *ZRTP*, dan *VPN IPsec*

Tabel 4. Perbandingan *Throughput* VoIP

Jenis VoIP	Throughput (kbps)					
	32	64	128	256	512	1024
VoIP	160,3	164,9	219,8	272,7	269,4	284,2
VoIP ZRTP	184,17	187,4	245,4	308,8	314,5	338,7
VoIP IPSEC	-	263,1	275,6	307,2	373,2	432,3

Pada Tabel 4 hasil pengukuran *throughput* antara ketiga sistem komunikasi *VoIP* dalam pemakaian limitasi *bandwidth* sebesar 32, 64, 128, 256, 512, dan 1024 *kbps* diatas dijelaskan bahwa pemakaian *throughput* terkecil terdapat pada *VoIP* tanpa metode keamanan, sedangkan untuk *VoIP ZRTP* *throughput* mencapai 338,7 *kbps*. Untuk *VoIP VPN IPsec* merupakan yang paling besar dalam penggunaan *throughput* pada range 263,1 *kbps* – 432,3 *kbps*. Nilai *throughput* yang semakin besar berpengaruh dalam hal konsumsi *bandwidth*. Untuk lebih jelas melakukan perbandingan terhadap nilai tersebut dapat kita lihat dari grafik Gambar 10 dibawah ini.

Gambar 10 Grafik Perbandingan *Throughput* VoIP

D. Pengukuran Kualitas *VoIP* Dengan *MOS*

Tabel 5 berikut merupakan tabel berisi besar *MOS Score* yang diperoleh dari penerapan sistem *VoIP* tanpa keamanan, *ZRTP*, dan *VPN IPsec*.

Tabel 5. Perbandingan *MOS Score* VoIP

Bandwidth	MOS SCORE					
	32	64	128	256	512	1024
ZRTP	4,17	4,19	4,19	4,14	4,21	4,23
VPN IPSEC	-	3,65	3,72	3,74	4,26	4,37

Pada Tabel 5 hasil perhitungan *MOS* antara ketiga sistem komunikasi *VoIP* dalam pemakaian limitasi *bandwidth* sebesar 32, 64, 128, 256, 512, dan 1024 *kbps* diatas dijelaskan bahwa kualitas *VoIP* tertinggi terdapat pada *VoIP VPN IPsec* dengan pemakaian *bandwidth* 1024 *kbps* yang menghasilkan *MOS score* sebesar 4,376. Untuk nilai *MOS*>4,0 merupakan sistem komunikasi *VoIP* dengan kualitas baik, sedangkan untuk nilai *MOS*<4,0 merupakan sistem komunikasi *VoIP* dengan kualitas cukup baik. Untuk nilai *MOS*<3,6 merupakan sistem komunikasi *VoIP* dengan kualitas kurang baik. Berikut Grafik Perbandingan *MOS Score* dapat dilihat pada Gambar 11.

Gambar 11. Grafik Perbandingan MOS Score

4. KESIMPULAN

Setelah melakukan serangkaian implementasi pembangunan *VoIP* dan pengujian dengan skenario yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. *VoIP VPN IPsec* menghasilkan total *delay* rata-rata yang cukup rendah sebesar 69,78 % dibandingkan dengan *VoIP ZRTP*.
2. *Throughput* yang berarti berpengaruh pada konsumsi *bandwidth* yang dipakai, dapat disimpulkan bahwa *VoIP VPN IPsec* menghasilkan *throughput* rata-rata yang lebih tinggi sebesar 15,53 % dari *VoIP ZRTP*.
3. Perbedaan performa *VoIP ZRTP* dan *VoIP VPN IPsec* dapat dilihat pada hasil perhitungan *MOS Score* yang menyatakan bahwa pemakaian *limit bandwidth* 128 kbps dan 256 kbps performa *VoIP ZRTP* lebih unggul sebesar 11,21 % dan 9,63 % dari performa *VoIP VPN IPsec*. Akan tetapi dalam pemakaian *limit bandwidth* 512 dan 1024 kbps performa *VoIP VPN IPsec* mulai mengalami peningkatan dan lebih unggul 1,18 % dan 3,23 % dari performa *VoIP ZRTP*.
4. Sistem komunikasi *VoIP ZRTP* dapat diimplementasikan dengan baik pada *limit bandwidth* 128 kbps, sedangkan untuk *VoIP VPN IPsec* baru dapat diimplementasikan dengan baik pada *limit bandwidth* 512 kbps.

REFERENSI

- [1] Octavia, H., 2013. "Unjuk Kerja Penerapan Teknologi VoIP Pada Jaringan VPN (Virtual Private Network)", Jurnal Elektron, Vol.5 No.2 Desember. ISSN : 2085-6989.
- [2] Sari, A., Brotoharsono, T., dan Purwanto, Y., 2012. "Analisis Pengaruh Penerapan IPSec Pada Implementasi Interkoneksi Ipv4-ipv6 Untuk Layanan VoIP", Indonesia Information Security Forum IISF-2012, ISSN : 2302-4304.
- [3] Yulkarnain, D., Raharjo, S., dan Lestari, U., 2013. "Perbandingan Performa Dan Keamanan VoIP Dengan Dan Tanpa VPN", Jurnal

JARKOM Vol.1 No.1 Desember 2013. ISSN : 2338-6312.

- [4] Budianto, E., Rachmawati, R.Y., dan Andayanti, D., 2015. "Implementasi VoIP Menggunakan ZRTP, G.729A, Dan FreeSWITCH", Jurnal JARKOM, Vol.3 No.1 Desember. ISSN : 2338-6313.
- [5] Mukti, P., dkk. 2015. "Evaluasi VoIP Menggunakan Mean Opinion Score pada Jaringan Testbed-WiMAX Berbasis IEEE 802.16-2004", JNTETI Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Vol.4 No.1 November. ISSN : 2301-4156