

Analisis Kualitas VoIP pada SCTP Menggunakan ECN dan AQM

La Surimi*¹, MHD. Reza M.I. Pulungan²

¹Program Studi S2/S3 Ilmu Komputer, FMIPA UGM, Yogyakarta

²Jurusan Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA UGM, Yogyakarta

email: *¹eniac05@gmail.com, ²pulungan@ugm.ac.id

Abstrak

VoIP merupakan aplikasi real time yang kualitasnya sangat tergantung pada delay dan jitter, yang mana hal ini sulit dipenuhi oleh protokol yang bersifat reliable dan memiliki congestion control seperti TCP. Di sisi lain penggunaan UDP yang tidak memiliki congestion control menyebabkan peluang terjadinya congestion pada jaringan sangat besar. Penggunaan SCTP sebagai protokol alternatif juga belum mampu mengakomodasi kekurangan TCP dan UDP. Beberapa hasil penelitian menunjukkan perlu adanya perbaikan ataupun modifikasi pada mekanisme congestion control yang dimiliki oleh SCTP.

Penggunaan mekanisme ECN dan AQM pada beberapa penelitian menunjukkan bahwa kedua mekanisme ini dapat menurunkan delay dan jitter. Penelitian ini melakukan pengujian terhadap kualitas VoIP di atas SCTP yang menggunakan ECN dan AVQ pada network simulator NS2. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan mekanisme ECN dan AVQ pada protokol SCTP menghasilkan kualitas VoIP yang lebih baik pada kondisi jaringan yang tidak ideal (high Latency low Bandwidth dan low Latency low Bandwidth) dari pada penggunaan protokol SCTP tanpa menggunakan mekanisme ECN dan AVQ. Penelitian ini juga melakukan perbandingan nilai MOS panggilan VoIP SCTP yang menggunakan ECN dan AVQ dengan nilai MOS panggilan VoIP yang menggunakan protokol TCP dan UDP. Hasilnya SCTP dengan ECN dan AVQ mengungguli TCP namun belum dapat mengungguli UDP.

Kata kunci— VoIP, SCTP, ECN, AQM,AVQ.

Abstract

VoIP is the real time applications that are highly dependent on the quality of delay and jitter, which it is difficult to be met by protocol that has reliable data transfer feature and congestion control such as TCP. On the other hand the use of UDP that has no congestion control make chance of causing congestion in the network is very large. The use of SCTP as an alternative protocol was also not able to accommodate the weaknesses of TCP and UDP. Some research shows that repairs or modifications to the SCTP congestion control mechanism is needed.

The Use of ECN and AQM in some studies show that these two mechanisms can reduce delay and jitter. This study tested the quality of VoIP over SCTP with ECN and AVQ, in NS2. Simulations carried out by independent replication technique, and the results showed that ECN and AVQ can increase the value of MOS VoIP calls significantly in non ideal network scenarios. This study also did comparison of SCTP MOS that uses ECN and AVQ with MOS values VoIP using TCP and UDP. The result showed that SCTP with ECN and AVQ outperform TCP but can not surpass UDP yet.

Keywords— VoIP, SCTP, ECN, AQM,AVQ.

1. PENDAHULUAN

Transmission Control Protocol (TCP) dan *User Datagram Protocol* (UDP) merupakan dua buah *transport layer* yang paling banyak digunakan di internet saat ini. TCP menyediakan layanan *reliable data transfer* dan mekanisme *congestion control* TCP banyak digunakan oleh aplikasi yang menuntut *reliable data transfer* seperti aplikasi berbasis web dan aplikasi *file transfer*. Berbeda dengan TCP, UDP merupakan *transport layer* yang bersifat *unreliable* dan tidak menyediakan mekanisme *congestion control*. Namun karena kedua sifat itulah UDP banyak dipakai oleh aplikasi yang bersifat *real time* seperti aplikasi VoIP. Aplikasi *real time* lebih mementingkan *timing guarantees* dibanding *reliable* dan *ordered data transfer*. Aplikasi VoIP merupakan aplikasi *real time* yang sangat tergantung pada delay dan jitter, sehingga UDP merupakan pilihan terbaik sebagai *transport layer*. Tidak adanya *congestion control* pada UDP menyebabkan peluang terjadinya *congestion* pada jaringan sangat besar. Selain itu UDP dengan mudah akan memonopoli bandwidth pada suatu link karena *send rate*. Di lain pihak TCP menjadi tidak cocok dengan aplikasi yang membutuhkan *end to end delay* yang seminimal mungkin [1]. Beberapa tahun belakangan ini, para peneliti di bidang jaringan menawarkan beberapa *transport layer* baru, yang diharapkan mampu mengakomodasi kelebihan dan meminimalkan kekurangan dari TCP dan UDP. Beberapa *transport layer* tersebut sudah mendapatkan standarisasi dari Internet Engineering Task Force (IETF), salah satunya adalah *Streaming Control Protocol* (SCTP).

Beberapa penelitian sebelumnya memfokuskan pada pertanyaan apakah SCTP dapat menggantikan UDP sebagai *transport layer* paket VoIP. Beberapa penelitian seperti [2], [3], dan [4] menunjukkan hasil yang mengejutkan, beberapa penelitian tersebut menunjukkan bahwa tanpa adanya modifikasi pada SCTP, maka protokol ini memberikan performa yang tidak baik dengan delay yang cukup tinggi dalam mentransportasikan paket VoIP. Beberapa tahun belakangan ini penelitian mengenai *Explicit Congestion Notification* (ECN) dan *Active Queue Management* (AQM) sangat populer di kalangan peneliti jaringan. Berbeda dengan *congestion control* umumnya yang mekanismenya mengharuskan *sender* mengurangi *congestion window* setelah terjadinya *congestion*, mekanisme ECN dan AQM mampu mengirimkan *feedback* ke *sender* tentang peluang akan terjadinya *congestion* agar *sender* mengurangi *congestion window* sebelum *congestion* terjadi. Kemampuan ECN dan AQM mampu mengurangi *drop packet rate* sehingga mengurangi *jitter* dan *delay* [5]. Penggunaan ECN dan AQM pada penelitian [6] dan [7] mampu meningkatkan performa SCTP. Namun pada kedua penelitian tersebut simulasi tidak dilakukan pada aliran paket VoIP. Penelitian [5] menganalisa efek penggunaan ECN dan AQM pada kualitas aliran paket VoIP di atas protokol UDP. Hasil penelitian tersebut menunjukkan peningkatan signifikan pada kualitas panggilan aplikasi VoIP. Penelitian Reguera *et al.* [5] menggunakan protokol UDP sebagai *transport layer* aplikasi VoIP, namun sebagaimana disebutkan di atas, protokol UDP memiliki beberapa *drawback* pada internet. Penelitian ini akan melakukan analisa pengaruh mekanisme ECN dan AQM pada performa protokol SCTP sebagai *transport layer* aplikasi VoIP.

2. METODE PENELITIAN

Berikut adalah uraian dari tahapan dan metode yang digunakan dalam penelitian :

2.1 Studi Kepustakaan

Pengumpulan bahan referensi, seperti jurnal penelitian, prosiding, tesis, buku-buku teori dan sumber-sumber lain termasuk informasi yang diperoleh melalui internet.

2.2 Analisis dan Perancangan Sistem

Proses yang dilakukan dalam analisa dan perancangan sistem terbagi dalam beberapa bentuk diantaranya adalah sebagai berikut:

2.2.1 Analisis Sistem

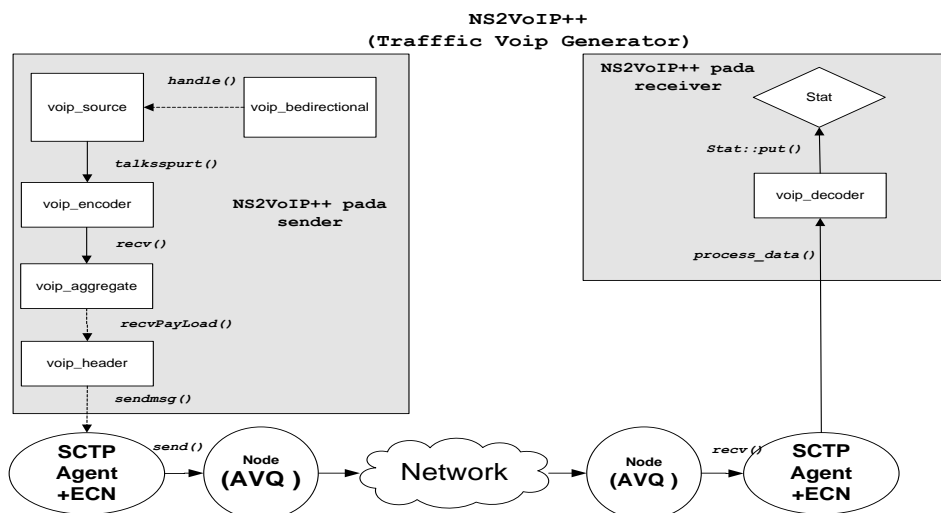
Aplikasi jaringan yang bersifat *real time* seperti VoIP adalah aplikasi yang membutuhkan *jitter* dan *delay* yang rendah. Pada saat ini penyedia layanan VoIP di internet lebih memilih protokol UDP ketimbang protokol TCP sebagai protokol *transport*. Hal ini terutama dikarenakan oleh tidak adanya *congestion control* pada UDP. Tidak adanya *congestion control* pada UDP menyebabkan *rate sending* UDP tidak terbatas oleh *congestion control*, yang akhirnya menyebabkan *delay* dan *jitter* pada *receiver* sangatlah kecil. Namun seperti telah disebutkan sebelumnya hal ini menimbulkan masalah pada jaringan.

SCTP merupakan salah satu jenis *protocol transport* pada jaringan yang sampai sekarang masih terus dikembangkan. Desain awal SCTP ditujukan untuk membawa sinyal telepon SS7 [8] dalam jaringan IP. Kenyataan tersebut memunculkan beberapa penelitian yang mengangkat SCTP sebagai *transport layer* paket VoIP. Beberapa penelitian seperti [2], [3] dan [4] menunjukkan menunjukkan bahwa tanpa adanya modifikasi pada SCTP, maka protokol ini memberikan performa yang tidak baik dalam hal *delay* dan *jitter* yang cukup tinggi dalam mentransportasikan paket VoIP. Salah satu alasannya adalah karena sebagian besar mekanisme SCTP meniru mekanisme pada TCP, termasuk mekanisme *congestion control*. Penelitian-penelitian tersebut memberikan kesimpulan bahwa harus ada modifikasi pada *congestion control* SCTP.

ECN dan AQM dapat berperan sebagai tambahan mekanisme pada *congestion control* SCTP. ECN dan AQM adalah dua mekanisme yang pada beberapa penelitian menunjukkan performa yang cukup baik terutama dalam hal meminimalkan *delay* dan *jitter*. Berbeda dengan *congestion control* umumnya yang mekanismenya mengharuskan *sender* mengurangi *congestion window (cwnd)* setelah terjadinya *congestion*, mekanisme ECN dan AQM mampu mengirimkan *feedback* ke *sender* tentang peluang akan terjadinya *congestion* agar *sender* mengurangi *cwnd* sebelum *congestion* terjadi. Kemampuan ECN dan AQM yang mampu mendeteksi peluang terjadinya *congestion* dapat mengurangi *drop packet rate* sehingga mengurangi *jitter* dan *delay* [5]. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dilakukan simulasi untuk mengukur sejauh mana ECN dan AQM mempengaruhi kualitas VoIP yang berjalan di atas protokol SCTP.

2.2.2 Perancangan Sistem

Gambar 1 secara umum menunjukkan rancangan sistem yang akan dijalankan dalam simulasi. Rancangan sistem tersebut terdiri dari NS2VoIP++ sebagai *generator traffic* VoIP, SCTP agent sebagai *transport layer*, mekanisme ECN sebagai tambahan mekanisme *congestion control* pada SCTP, dan mekanisme AVQ sebagai mekanisme *queue*.



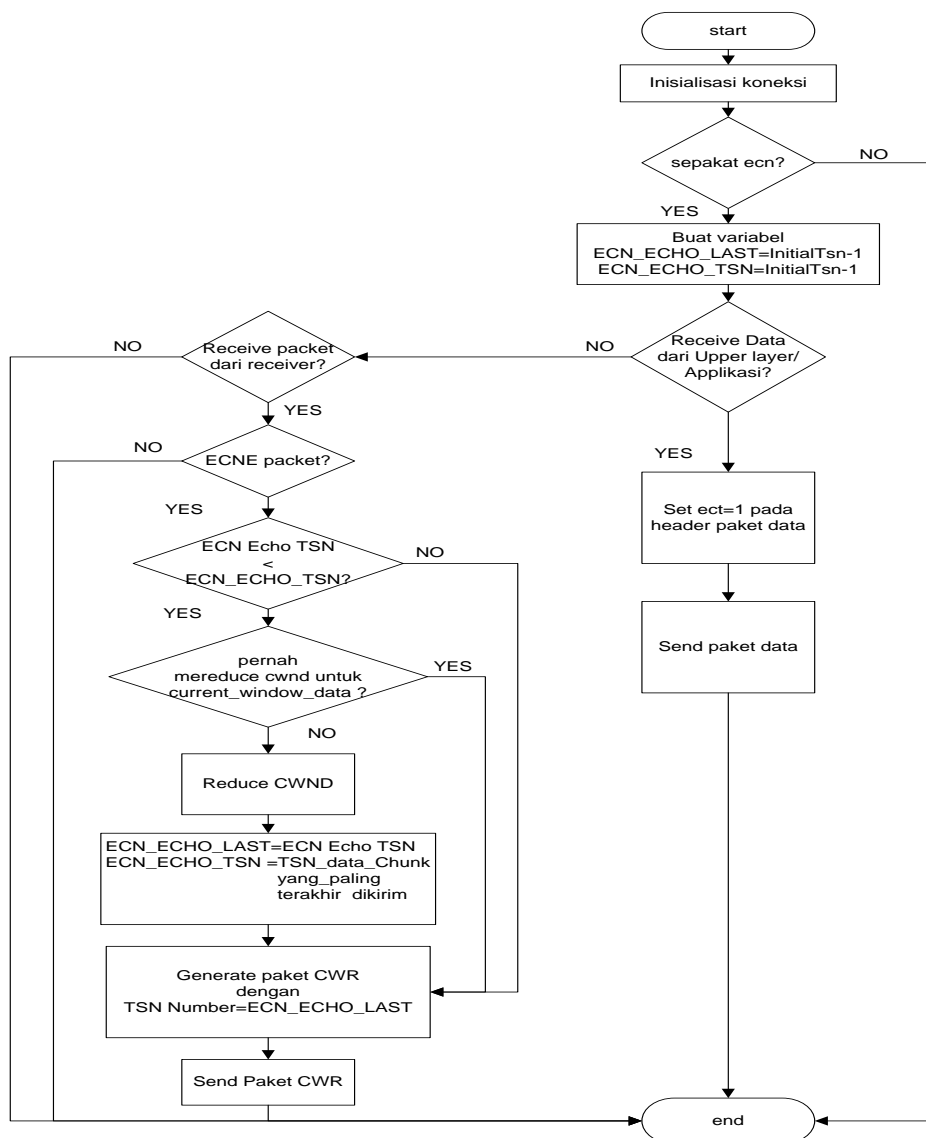
Gambar 1 Rancangan Sistem

1. NS2VoIP++ Traffic Voip Generator)

Pada penelitian ini *traffic* VoIP dihasilkan oleh modul NS2VoIP++. NS2VoIP++ adalah modul yang mensimulasikan *traffic* VoIP pada NS2NS2VoIP++ dirancang berdasarkan model *user behaviour* dari aplikasi VoIP. Modul ini dapat didownload dalam bentuk *patch* NS2 pada NS2Voip++ pada dasarnya dirancang untuk berjalan di atas protokol UDP, sehingga dalam penelitian ini harus dilakukan modifikasi pada modul NS2VoIP++ agar dapat berkomunikasi dengan SCTP *agent*.

2. SCTP Agent

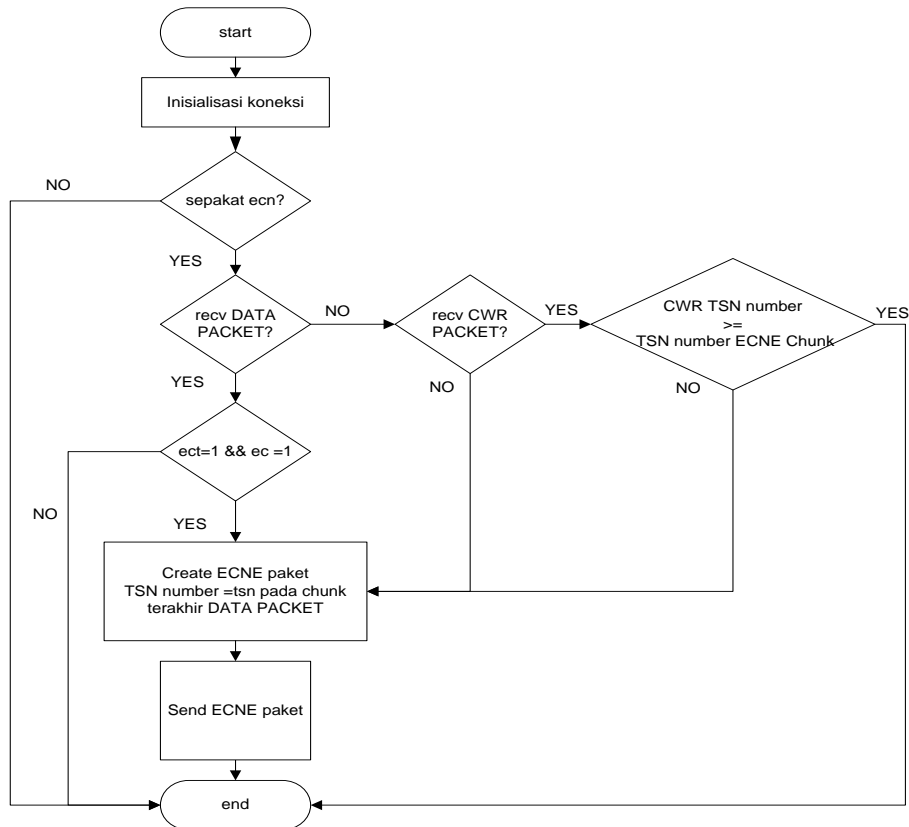
NS2 mulai pada versi 2.29 telah menyediakan modul untuk SCTP *agent*. Rancangan modul SCTP *agent* pada ns2 dirancang oleh Protocol Engineering Lab, Universitas Delaware. Penelitian ini menggunakan modul versi SCTP 3.5 yang terdapat pada NS2 2.34 dengan beberapa modifikasi. Modifikasi dilakukan untuk mengakomodir penambahan mekanisme *ECN* dan *VoIP Traffic Generator* NS2VoIP++.



Gambar 2 Mekanisme ECN pada *Sender*

3. Mekanisme ECN pada SCTP

SCTP modul versi 3.5 belum menyediakan dukungan untuk mekanisme ECN. Oleh karena itu, dilakukan modifikasi terhadap modul *SCTP agent* untuk menambahkan mekanisme ECN. Mekanisme ECN yang ditambahkan mengikuti prosedur dari IETF yang termuat dalam *draft-stewart-tsvwg-sctpecn-05* [9]. Mekanisme ECN bekerja pada sisi *sender* dan sisi *receiver*.



Gambar 3 Mekanisme ECN pada receiver

Gambar 2 menunjukkan diagram alir mekanisme ECN pada *sender*. Setelah tahap inisialisasi selesai dilakukan dan penggunaan mekanisme ECN disetujui oleh *sender* dan *receiver* maka untuk keperluan mekanisme ECN nantinya, *sender* akan membuat dua buah *variabel*, yaitu *ECN_ECHO_LAST* dan *ECN_ECHO_TSN* untuk setiap *destination*. Nilai inisial untuk kedua *variabel* ini adalah nilai *InitialTSN-1*. Setiap saat *sender* menerima data dari *upper layer* atau aplikasi, sebelum mengirim data yang telah dienkapsulasi menjadi paket ke *receiver*, mekanisme ECN mengharuskan *sender* untuk menset *ECT header flag* pada paket data dengan nilai 1. *ECT header flag* tersebut akan memberi tanda kepada jaringan bahwa paket tersebut mendukung mekanisme ECN. Jika *sender* menerima paket berupa *ECNE chunk* dari *receiver*, maka hal ini menandakan bahwa jaringan mulai mendeteksi akan terjadinya *congestion*. Oleh karena itu *sender* harus melakukan penurunan *cwnd*. Penurunan *cwnd* oleh *sender* harus dilakukan sekali dalam satu *window data*. Jika penurunan *cwnd* belum pernah dilakukan maka *sender* akan melakukan penurunan *cwnd*. Setelah melakukan penurunan *cwnd*, maka nilai *ECN_ECHO_TSN* akan diset dengan nilai TSN pada *DATA chunk* terakhir yang telah dikirim sedangkan Nilai *ECN_ECHO_LAST* diset dengan nilai TSN yang ada pada *ECNE chunk*. Setelah mengeset kedua *variable* tersebut *sender* akan *generate* *CWR chunk* dan mengirimkannya ke *receiver* sebagai tanda *sender* telah menurunkan *cwnd*. TSN

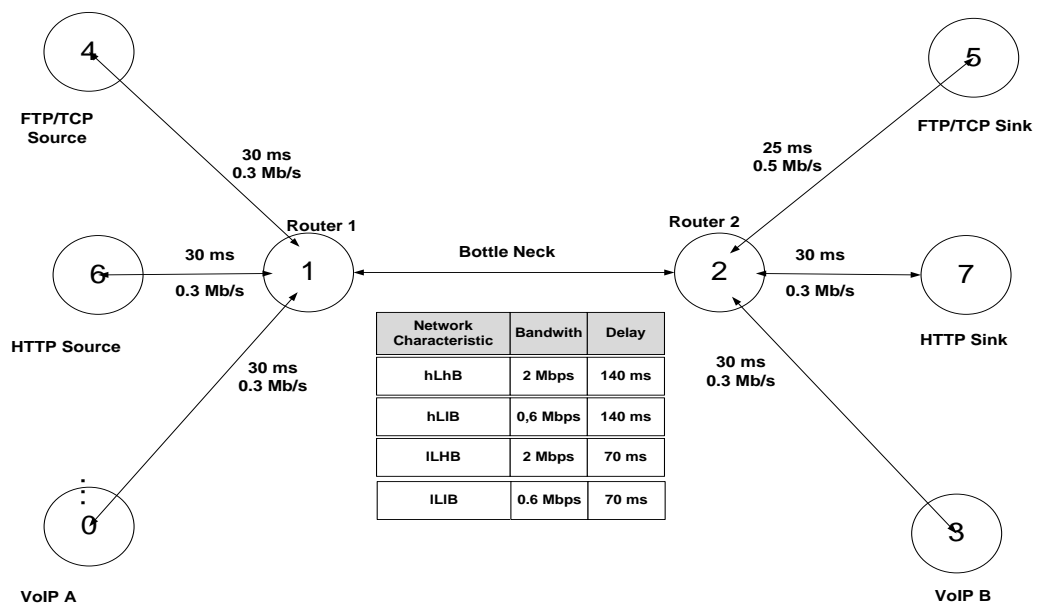
number pada CWR *chunk* diset dengan nilai *ECN_ECHO_LAST*. Jika pengecekan pertama dan kedua tidak mengizinkan penurunan *cwnd* maka *sender* akan tetap *generate* CWR *chunk* dan kemudian mengirimkannya ke *receiver*. Gambar 3 menunjukkan diagram alir mekanisme ECN pada *receiver*. Setelah tahap inisialisasi selesai dilakukan dan penggunaan mekanisme ECN disepakati oleh *sender* dan *receiver*. Setiap kali *receiver* menerima paket bertipe DATA, *receiver* akan mengecek *ECT flag header* dan *EC flag header* pada paket. *ECT flag header* bernilai 1 dan *EC flag header* bernilai 1 mengindikasikan jaringan memiliki peluang besar mengalami *congestion*. *Receiver* kemudian akan *generate* ECNE *chunk* dengan nilai *TSN number* diset dengan nilai *TSN chunk* terakhir dalam paket DATA yang diterima. Kemudian *receiver* akan mengirimkan ECNE *chunk* tersebut dalam bentuk paket ke *sender*. *Receiver* akan terus mengirimkan ECNE *chunk* ke *sender* hingga *receiver* menerima CWR *chunk* dari *sender* yang nilai *TSN number* pada CWR *chunk* tersebut bernilai lebih besar sama dengan *TSN number* ECNE *chunk* yang terakhir dikirim.

4. Adaptive Virtual Queue

Pada [10] menawarkan mekanisme Adaptive Virtual Queue (AVQ) berbasis AQM. AVQ telah diimplementasikan dalam NS2 dengan nama modul *vq queue*

5. Lingkungan Simulasi

Rancangan topologi untuk lingkungan simulasi mengikuti rancangan simulasi yang diajukan oleh [3] ditunjukkan pada Gambar 4. *Node 1* dan *node 2* merupakan *node router* dengan panjang *buffer* yang terbatas. *Node-node* yang lain merupakan *end node*. *Node 0* dan *node 3* merupakan *node VoIP* dengan NS2VoIP++ sebagai pembangkit aliran VoIP. *Node 4* dan *node 5* digunakan untuk mensimulasikan *traffic* FTP dengan TCP sebagai *transport agent*. *Node 6* dan *node 7* digunakan untuk mensimulasikan HTTP *traffic* menggunakan modul *pack mime HTTP* dengan TCP sebagai *transport agent*. Link 1-2 digunakan secara *share* oleh semua aliran (aliran VoIP, FTP dan HTTP). Simulasi dilakukan menggunakan keempat skenario (hLhB, hLIB, lLhB dan lLIB) dengan mengubah-ubah ukuran *bandwidth* dan *delay* pada link 1-2.



Gambar 4 Lingkungan Simulasi

6. Rancangan Pengujian

Terdapat empat pengujian, pengujian *pertama* akan dilakukan terhadap kualitas VoIP yang dihasilkan oleh SCTP tanpa menggunakan ECN dan AVQ, *pengujian kedua* dilakukan untuk menguji kualitas VoIP yang dihasilkan oleh SCTP yang menggunakan ECN dan AVQ. *Pengujian tiga* dilakukan untuk menguji kualitas VoIP di atas protokol TCP. *Pengujian empat* dilakukan untuk menguji kualitas VoIP di atas protokol UDP. Pada masing-masing pengujian diberlakukan empat buah skenario jaringan hLhB, hLIB, lLhB, dan lLIB. Simulasi dilakukan dengan teknik *independent replication*, dengan jumlah replikasi maksimal sebanyak 10 kali, persentase error yang diperbolehkan sebesar 5%, dan setiap simulasi berdurasi 300 s.

7. Pengambilan Data kualitas VoIP

Ukuran kualitas VoIP yang diukur berupa MOS. Ukuran kualitas MOS diukur dalam bentuk *average* dalam satu simulasi. Nilai MOS dikonversi dari nilai R-Model persamaan (1).

$$R = R_0 - I_d - I_{e-ef} + A \quad (1)$$

Dimana R_0 adalah kondisi sinyal asli tanpa noise, dengan nilai default 93,2 [11], I_d adalah gangguan yang disebabkan oleh delay, I_{e-ef} adalah gangguan yang disebabkan *low bit rate codec* dan *packet lost*, dan A adalah nilai kompensasi terhadap gangguan-gangguan di atas. Konversi dilakukan dengan persamaan (2).

$$\text{MOS} = \begin{cases} 1 & R < 0 \\ 1 + 0,035R + R(R - 60)(100 - R)7 \cdot 10^6 & 0 < R < 100 \\ 4,5 & R > 100 \end{cases} \quad (2)$$

8. Penarikan kesimpulan

Penarikan kesimpulan, apakah penggunaan ECN dan AVQ pada protokol SCTP mempengaruhi kualitas VoIP yang dihasilkan, dilakukan menggunakan uji statistik *Wilcoxon Signed Rank*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perbandingan Kualitas VoIP SCTP dengan ECN+AVQ dan SCTP tanpa ECN+AVQ

3.1.1 Skenario 1, high Latency high Bandwidth (delay 140 ms dan bandwidth 2 Mbps)

Tabel 1 memperlihatkan hasil uji statistik *Wilcoxon Signed Rank* terhadap nilai MOS SCTP yang tidak menggunakan ECN+AVQ dan nilai MOS protokol SCTP yang menggunakan ECN+AVQ. Terlihat bahwa nilai MOS SCTP yang menggunakan ECN+AVQ lebih besar dibandingkan dengan nilai MOS SCTP yang tidak menggunakan ECN+AVQ namun uji statistik *Wilcoxon Signed Rank* memberikan kesimpulan perbedaan yang dihasilkan tidak signifikan. Hal ini disebabkan oleh *bandwidth* antara *router 1* dan *router 2* cukup besar hingga menyebabkan kinerja ECN+AVQ pada *queue* antara *router 1* dan *router 2* tidak maksimal. Setiap paket yang telah diproses pada *router* dan akan dipropagasikan ke *router* berikutnya tidak membebani *queue* terlalu berat karena *bandwidth* untuk propagasi cukup besar, walupun terdapat delay 140 ms. Hal ini membuat kinerja AVQ menghampiri *DropTail*, sehingga nilai MOS yang diperoleh tidak jauh berbeda dengan nilai MOS pada SCTP yang menggunakan *DropTail*.

3.1.2 high Latency low Bandwidth (delay 140 ms dan bandwidth 0.6 Mbps)

Uji *Wilcoxon Signed Rank*, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 memberikan kesimpulan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai MOS protokol SCTP yang menggunakan ECN+AVQ dengan nilai MOS protokol SCTP yang tidak menggunakan ECN+AVQ. Pada skenario kedua ini, skenario yang paling sering terjadi pada jaringan, kinerja ECN+AVQ lebih baik ketimbang skenario pertama. *Bandwidth* yang kecil ditambah dengan *latency* yang cukup besar menyebabkan paket bertumpuk di *queue*. AVQ melakukan *mark* paket lebih sering, mekanisme ECN menurunkan *congestion window* pada *sender* sehingga SCTP *sender* dapat menghindari kemacetan yang berujung pada rendahnya *jitter* dan *paket loss* dari SCTP yang menggunakan ECN+AVQ.

3.1.3 Low Latency high Bandwidth (delay 70 ms dan bandwidth 2 Mbps)

Tabel 3 menunjukkan perbedaan antara nilai MOS SCTP tanpa ECN+AVQ dan nilai MOS SCTP dengan ECN+AVQ, tidaklah signifikan. Sama halnya dengan skenario pertama, pada skenario ini *bandwidth* yang cukup besar mengurangi kinerja AVQ+ECN, ditambah lagi oleh rendahnya *latency* membuat *queue* yang menuju ke *router* lain (*router* 1 ke *router* 2 dan sebaliknya) tidak terlalu terbebani oleh paket yang akan dipropagasikan. Pada kondisi seperti ini peluang terjadinya *congestion* sangat kecil, kualitas teknik *queue DropTail* menghampiri kualitas yang diberikan oleh AVQ bahkan lebih baik.

3.1.4 Low Latency low Bandwidth (delay 70 ms dan bandwidth 0.6 Mbps)

Tabel 4 menunjukkan perbedaan yang signifikan antara protokol SCTP yang tidak menggunakan ECN+AVQ dan protokol SCTP yang menggunakan ECN+AVQ Pada skenario ini, kinerja ECN+AVQ lebih baik ketimbang skenario pertama dan ketiga. *Bandwidth* yang kecil menyebabkan paket bertumpuk di *queue*. AVQ melakukan *mark* paket lebih sering, mekanisme ECN menurunkan *congestion window* pada *sender* sehingga SCTP *sender* dapat menghindari kemacetan yang berujung pada rendahnya *jitter* dan *paket loss* dari SCTP yang menggunakan ECN+AVQ.

Tabel 1 Hasil uji *Wilcoxon Signed Rank* terhadap nilai MOS SCTP dengan ECN+AVQ dan SCTP tanpa ECN+AVQ pada skenario 1

Replik-asi	Kualitas MOS		Difference (D)	D	Rank D	Signed Rank of D	SQR(\sum Signed Rank of D)
	SCTP	SCTP (ECN+AVQ)					
1	2,1126	2,15254	-0,03996	0,04	4,0	-4,0	16
2	2,1104	2,16429	-0,05387	0,0539	5,0	-5,0	25
3	2,1811	2,26402	-0,08289	0,0829	8,0	-8,0	64
4	2,1493	2,13428	0,01501	0,015	2,0	2,0	4
5	2,1937	2,10656	0,0871	0,0871	9,0	9,0	81
6	2,0797	2,1979	-0,11814	0,1181	10,0	-10,0	100
7	2,1564	2,1814	-0,025	0,025	3,0	-3,0	9
8	2,1564	2,2129	-0,05649	0,0565	7,0	-7,0	49
9	2,1354	2,1495	-0,0141	0,0141	1,0	-1,0	1
10	2,1276	2,1824	-0,05478	0,0548	6,0	-6,0	36
W		1,68	Kesimpulan:		W < c		
c		1,96	Tidak Terdapat perbedaan yang signifikan antara SCTP dan SCTP (ECN+AVQ)				

Tabel 2 Hasil uji *Wilcoxon Signed Rank* terhadap nilai MOS SCTP dengan ECN+AVQ dan SCTP tanpa ECN+AVQ pada skenario 2

Replikasi	Kualitas MOS		Difference (D)	D	Rank D	Signed Rank of D	SQR(\sum Signed Rank of D)
	SCTP	SCTP (ECN+AVQ)					
1	1,64344	1,88078	-0,23734	0,2373	1,0	-1,0	1
2	1,54468	1,92765	-0,38297	0,383	5,0	-5,0	25
3	1,58658	1,89037	-0,30379	0,3038	3,0	-3,0	9
4	1,63305	1,92832	-0,29527	0,2953	2,0	-2,0	4
5	1,61161	1,92098	-0,30937	0,3094	4,0	-4,0	16
6	1,61872	1,89888	-0,28016	0,2802	5,0	-5,0	25
7	1,69339	1,80013	-0,10674	0,1067	2,0	-2,0	4
8	1,60587	1,89361	-0,28774	0,2877	6,0	-6,0	36
9	1,58276	1,8378	-0,25504	0,255	4,0	-4,0	16
10	1,74973	1,83469	-0,08496	0,085	1,0	-1,0	1
\sum Signed Rank of D			-33,0	Kesimpulan:		W > c	
$\sqrt{(\text{SQR}(\sum \text{Signed Rank of D }))}$			11,7	Terdapat perbedaan yang signifikan antara SCTP dan SCTP(ECN+AVQ)			
W			2,82				
c			1,96				

Tabel 3 Hasil uji *Wilcoxon Signed Rank* terhadap nilai MOS SCTP dengan ECN+AVQ dan SCTP tanpa ECN+AVQ pada skenario 3

Replikasi	Kualitas MOS		Difference (D)	D	Rank D	Signed Rank of D	SQR (\sum Signed Rank of D)
	SCTP	SCTP (ECN+AVQ)					
1	2,44611	2,39984	0,04627	0,0463	7,0	7,0	49
2	2,39272	2,38548	0,00724	0,0072	1,0	1,0	1
3	2,39621	2,43698	-0,04077	0,0408	6,0	-6,0	36
4	2,36672	2,4481	-0,08138	0,0814	10,0	-10,0	100
5	2,44881	2,43535	0,01346	0,0135	2,0	2,0	4
6	2,44164	2,38992	0,05172	0,0517	8,0	8,0	64
7	2,42493	2,44578	-0,02085	0,0209	3,0	-3,0	9
8	2,44105	2,4066	0,03445	0,0345	5,0	5,0	25
9	2,40752	2,37731	0,03021	0,0302	4,0	4,0	16
10	2,32755	2,40017	-0,07262	0,0726	9,0	-9,0	81
\sum Signed Rank of D			-1,0	Kesimpulan:		W < c	
$\sqrt{(\text{SQR}(\sum \text{Signed Rank of D }))}$			19,6	Tidak Terdapat perbedaan yang signifikan antara SCTP dan SCTP(ECN+AVQ)			
W			0,05				
c			1,96				

Tabel 4 Hasil uji Wilcoxon Signed Rank terhadap nilai MOS SCTP dengan ECN+AVQ dan SCTP tanpa ECN+AVQ pada skenario 4

Replikasi	Kualitas MOS		Difference (D)	D	Rank D	Signed Rank of D	SQR (\sum Signed Rank of D)
	SCTP	SCTP (ECN+AVQ)					
1	2,08404	2,14286	-0,05882	0,0588	6,0	-6,0	36
2	2,1155	2,18749	-0,07199	0,072	7,0	-7,0	49
3	2,06395	2,13967	-0,07572	0,0757	8,0	-8,0	64
4	2,02747	2,08433	-0,05686	0,0569	5,0	-5,0	25
5	2,14319	2,13505	0,00814	0,0081	2,0	2,0	4
6	2,00593	2,24014	-0,23421	0,2342	10,0	-10,0	100
7	2,01159	2,0344	-0,02281	0,0228	3,0	-3,0	9
8	2,13087	2,18048	-0,04961	0,0496	4,0	-4,0	16
9	2,09219	2,09215	4E-05	4E-05	1,0	1,0	1
10	1,96009	2,12986	-0,16977	0,1698	9,0	-9,0	81
\sum Signed Rank of D			-49,0	Kesimpulan:		$ W > c$	
$v(\text{SQR}(\sum \text{Signed Rank of } D))$			19,6	Terdapat perbedaan yang signifikan antara SCTP dan SCTP(ECN+AVQ)			
W			2,50				
c			1,96				

3.2 Perbandingan Kualitas VoIP SCTP dengan ECN+AVQ, SCTP tanpa ECN+AVQ, TCP dan UDP

Perbandingan dilakukan terhadap nilai MOS SCTP dengan ECN+AVQ, SCTP tanpa ECN+AVQ, TCP dan UDP. Hasil simulasi menunjukkan untuk semua skenario SCTP dengan ECN+AVQ memiliki kualitas MOS yang lebih baik dari TCP namun tidak lebih baik dari UDP belum dapat melebihi UDP. Perbedaan nilai MOS yang diberikan oleh TCP dan SCTP terletak pada kelebihan *feature* SCTP berupa kemampuan *multystreaming* dan teknik pengemasan *chunk* data. SCTP dapat mengirimkan satu paket yang berisikan beberapa *chunk* data dalam beberapa *stream* dalam satu satuan waktu namun TCP mengirimkan hanya satu *chunk* data dalam satu paket melalui satu *stream* pada satu satuan waktu. Pada skenario ini tercatat SCTP tanpa ECN+AVQ maupun SCTP yang menggunakan ECN+AVQ mengirimkan paket rata-rata sebanyak 17695 buah paket, dibandingkan dengan TCP yang hanya mengirimkan 4757 buah paket. Kualitas UDP tidak terpengaruh oleh *high latency* maupun *low bandwidth*, hal ini disebabkan UDP tidak memiliki *congestion control*. Ketika ketiga protokol lainnya menurunkan *sending rate* akibat *congestion* dan harus melakukan proses retransmisi akibat *packet loss*, UDP yang tidak memiliki mekanisme *congestion control* dan tidak bersifat *reliable data transfer*, tetap mengirimkan paket dengan *sending rate* yang konstan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan protokol SCTP yang menggunakan mekanisme ECN dan AVQ sebagai transport layer VoIP menunjukkan performa yang lebih baik daripada penggunaan

- protokol SCTP tanpa menggunakan mekanisme ECN dan AVQ
2. SCTP dengan ECN dan AVQ mengungguli TCP namun belum dapat mengungguli UDP.

5. SARAN

Untuk pengembangan penelitian lebih lanjut, diberikan saran sebagai berikut:

1. Penelitian berikutnya dapat melakukan pengujian kualitas VoIP untuk jenis *Active Queue Management (AQM)* lain. Selain AVQ ada beberapa jenis AQM lain, misalnya ARED, PI, SFB, RRED dan REM.
2. Penelitian berikutnya dapat mengimplementasikan ECN pada SCTP dan melakukan pengujian pada sistem nyata. Pengujian pada sistem nyata dapat menutupi asumsi-asumsi yang dilakukan pada pengujian simulasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rakocevic, V., 2004, Congestion Control for Multimedia Applications in the Wireless Internet, *International Journal of Communication Systems*, 17, 723–734.
- [2] Lim, P.H., Myungchul, K. dan Jeong-Seon, K., 2007, Evaluation of Stream Control Transmission Protocol as a Transport for VoIP over WLAN, *International Conference on Advanced Communications Technology 2007*, Paris.
- [3] Asodi, S., Ganesh, S.V., Seshadri, E. dan Singh, P.K., 2009, Evaluation of Transport layer Protocols for Voice Transmission in Various Network Scenarios, *International Conference on the Applications of Digital Information and Web Technologies 2009*, London, 4-6 Agustus 2009.
- [4] Gangurde, P., Waware, S. dan Sarwade, N., 2012, Simulation of TCP, UDP and SCTP with Constant Traffic for VOIP Services, *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, ISSN: 2248-9622, 2, 1245-1248.
- [5] Reguera, V.A., Paliza, F.Á., Fernandez, E.M.G. dan Godoy, W., 2008, On the Impact of Active Queue Management on VoIP Quality of Service, *Computer Communications*, 1, 31, 73-87, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140366407004148>.
- [6] Ye, G., Saadawi, T.N. dan Lee, M., 2003, Using Explicit Congestion Notification in Stream Control Transmission Protocol in Lossy Networks, *23rd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops*, Macau, 19-22 Mei 2003.
- [7] Tahir, H.M., Abas, M.S., Elhalabi, M. J.M., Puteh, N., Othman, A., Zain, N.M., Dahalin, Z.M., Ismail, M.H., Zaini, K.M. dan Hussin, M.Z., 2011, *Improving Network Performance by Enabling Explicit Congestion Notification (ECN) in SCTP Control Chunks*, Snasel, V., Platos, J., dan Eyas El-Qawasme, E., *Digital Information Processing and Communications*, 188, Springer, Heidelberg.
- [8] Stewart, R., 2007, Stream Control Transmission Protocol, <http://tools.ietf.org/html/rfc4960>, diakses 03 Januari 2013.

-
- [9] Stewart, R., Tuexen, M. dan Dong, X., 2014, ECN for Stream Control Transmission Protocol (SCTP), <http://tools.ietf.org/id/draft-stewart-tsvwg-sctpecn-00.txt>, diakses 1 Januari 2014
- [10] Kunniyur, S.S. dan Srikant, R., 2004, An Adaptive Virtual *Queue* (AVQ) Algorithm for Active *Queue* Management, *The IEEE/ACM Transactions on Networking*, 2, 21, 286-299
- [11] ITU-T, 2009, ITU-T Recommendation G.107, *The E-Model: A Computational model for Use in Transmission Planning*.