

Analisis Kualitas VoIP yang Berjalan di Atas Protokol *Datagram Congestion Control Protocol*

I Dewa Md. Bayu A. Darmawan*¹, MHD. Reza M.I. Pulungan²

¹Program Studi S2 Ilmu Komputer, FMIPA UGM, Yogyakarta

²Jurusan Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA UGM, Yogyakarta

e-mail: *dewabayu@mail.ugm.ac.id, pulungan@ugm.ac.id

Abstrak

Datagram Congestion Control Protocol (DCCP) adalah transport protocol yang didesain untuk aplikasi Internet multimedia. Protocol ini memiliki beberapa mekanisme congestion control dan dapat dipilih sesuai dengan karakteristik aplikasinya. CCID4 adalah salah satu mekanisme congestion control dari DCCP yang sesuai dengan aplikasi VoIP karena digunakan untuk mengirim paket yang berukuran kecil. Selain itu CCID4 mengatur jarak antar paket minimum sepanjang 10 ms sehingga paket VoIP tidak mendominasi penggunaan jaringan. Penelitian ini melakukan analisis terhadap protokol DCCP/CCID4 untuk mengetahui kualitas VoIP yang menggunakan protokol tersebut, membandingkan kualitas yang dihasilkan dengan penggunaan protokol UDP, serta melihat kualitas aliran TCP sebagai akibat dari terdapatnya aliran VoIP pada jaringan.

Hasil simulasi memperlihatkan kualitas VoIP cenderung lebih baik dengan menggunakan protokol UDP dibandingkan dengan DCCP/CCID4 ketika tidak terdapat aliran TCP pada jaringan. Sebaliknya, ketika terdapat aliran TCP maka kualitas VoIP dengan protokol DCCP/CCID4 lebih baik dibandingkan dengan UDP. DCCP/CCID4 berhasil mencegah terjadinya congestion collapse dibandingkan dengan penggunaan UDP. Selain itu, kualitas TCP lebih baik ketika protokol DCCP/CCID4 digunakan untuk aplikasi VoIP pada jaringan yang mengalami congestion.

Kata kunci—mekanisme congestion control, Voice over Internet Protocol (VoIP), Datagram Congestion Control Protocol (DCCP), TCP, UDP, NS-2

Abstract

Datagram Congestion Control Protocol (DCCP) is a transport protocol designed for multimedia Internet applications. This protocol has several congestion control mechanisms and can be selected according to application characteristics. CCID4 is a congestion control mechanism suitable for use with VoIP applications to send a small packet. CCID4 enforces a minimum interval of 10 milliseconds between data packets. This study conducted an analysis of DCCP/CCID4 protocol to determine the quality of VoIP that uses the protocol, comparing the quality produced by the used of UDP protocol, and see the quality of TCP flow as a result of the presence of the VoIP flow on the network.

The simulation results show the quality of VoIP tend to do better by using the UDP protocol compared with DCCP/CCID4 when there is no TCP flow on the network. Conversely, when there are TCP flows, the quality of VoIP with DCCP/CCID4 protocol better than UDP. DCCP/CCID4 managed to prevent the congestion collapse compared with the use of UDP. In addition, the TCP quality is better when DCCP/CCID4 protocol used for VoIP applications that experiencing network congestion.

Keywords— congestion control mechanism, Voice over Internet Protocol (VoIP), Datagram Congestion Control Protocol (DCCP), TCP, UDP, NS-2

1. PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah *traffic* di *Internet* menyebabkan *Internet* rawan mengalami *congestion*. Voice over Internet Protocol (VoIP) adalah salah satu contoh aplikasi multimedia *Internet* yang banyak digunakan pada saat ini. Aplikasi ini sensitif terhadap waktu transmisi dan dapat mentoleransi terjadinya beberapa *packet loss*. Oleh karena itu, aplikasi VoIP pada umumnya berjalan di atas protokol *User Datagram Protocol* (UDP). Protokol ini digunakan untuk aplikasi yang menghasilkan paket berukuran kecil dan tidak reliabel. Selain protokol UDP, protokol yang paling banyak digunakan pada *Internet* adalah protokol *Transport Control Protokol* (TCP). Protokol TCP memiliki mekanisme *congestion control* untuk mengatur kecepatan transmisinya ketika terjadi *congestion*. Berbeda dengan TCP, UDP tidak memiliki mekanisme *congestion control*. Peningkatan penggunaan aplikasi VoIP yang berjalan pada protokol yang tidak menerapkan mekanisme *congestion control* menyebabkan internet rawan mengalami *congestion collapse*. Oleh karena itu, diperlukan suatu protokol alternatif yang menyediakan mekanisme *congestion control* untuk aplikasi VoIP selain protokol UDP.

Datagram Congestion Control Protokol (DCCP) [1] adalah protokol yang dikembangkan oleh IETF untuk melayani aplikasi multimedia internet yang menerapkan mekanisme *congestion control*. Protokol ini memiliki beberapa mekanisme *congestion control* yang digunakan untuk kebutuhan aplikasi yang berbeda. Pada [2], dilakukan pembangunan model simulasi DCCP dengan menerapkan mekanisme *congestion control* CCID2 dan CCID3. Penelitian ini menggunakan model simulasi [2] dan mengembangkannya dengan menambahkan mekanisme CCID4. Pada [3,4,5] melakukan analisis kualitas VoIP dengan menggunakan protokol DCCP/CCID3 dan UDP. Protokol DCCP/CCID4 lebih sesuai untuk aplikasi VoIP karena protokol ini mengatur interval pengiriman antar paket minimal sebesar 10ms dan memperhatikan ukuran *header* dalam mengatur *sending rate*. Pengaturan interval sebesar 10ms bertujuan agar aliran VoIP tidak mendominasi penggunaan *resource*. Aliran VoIP berpotensi mendominasi penggunaan *resource* karena ukuran paketnya yang berukuran kecil. Ukuran paket yang kecil ini juga menyebabkan ukuran *header* sangat mempengaruhi pengiriman paket data sebenarnya.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui apakah *transport protocol* DCCP/CCID4 dapat digunakan sebagai protokol alternatif menggantikan protokol UDP untuk aplikasi VoIP. Penelitian ini melakukan analisis terhadap kualitas aliran data VoIP yang menggunakan protokol DCCP/CCID4 dalam *Mean Opinion Score* (MOS), melihat respon pengaturan *sending rate* dari protokol DCCP/CCID4 terhadap aliran TCP, dan melihat pengaruh kualitas TCP terhadap keberadaan aliran VoIP. Penelitian ini melakukan perbandingan antara protokol DCCP/CCID4 dan protokol UDP.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang akan dilakukan terdiri dari beberapa tahap, yaitu: pemodelan dan spesifikasi, implementasi, verifikasi dan validasi, eksperimen, analisis, dan dokumentasi.

2.1 Studi Kepustakaan

Pelaksanaan penelitian menggunakan studi literatur dari berbagai bahan dan sumber literatur seperti beberapa buku teks, jurnal internasional, dan beberapa karya ilmiah lainnya tentang aplikasi VoIP dan protokol DCCP khususnya CCID 4.

2.2 Pemodelan

Pertama akan dilakukan pemodelan terhadap protokol DCCP/CCID4. Pemodelan akan menghasilkan model konseptual. Model konseptual [6] merupakan representasi matematis/logis/verbal dari sistem yang dikembangkan untuk suatu pembelajaran. Proses kedua

yang akan dilakukan adalah spesifikasi dari model konseptual. Proses ini akan menghasilkan spesifikasi model simulasi. Spesifikasi model simulasi adalah deskripsi detail dari desain dan spesifikasi untuk mengimplementasikan model konseptual pada suatu sistem komputer.

2.3 Implementasi

Pada tahap ini akan dilakukan pembangunan model simulasi menggunakan simulator NS-2. NS-2 menggunakan bahasa pemrograman C++ dan *Object-oriented Tcl* (OTcl) sebagai tampilan antarmuka. Pada tahap ini juga dilakukan pengujian terhadap model simulasi yang telah dibangun.

2.4 Eksperimen

Pada tahap ini akan dilakukan eksperimen terhadap model simulasi yang telah dibangun. Simulasi akan dilakukan untuk aplikasi VoIP yang berjalan di atas protokol UDP dan DCCP/CCID4. Aplikasi VoIP akan menggunakan *codec* G.711, G.723.1, dan G.729.A yang merupakan *codec* yang umum digunakan pada aplikasi VoIP. Simulasi akan dilakukan selama 780 detik. Simulasi dilakukan untuk mengetahui kualitas VoIP tanpa latar aliran data TCP, kualitas VoIP dengan latar aliran data TCP, dan pengaruh yang terjadi pada aliran data TCP sebagai akibat dari aliran aplikasi VoIP. Jumlah aplikasi VoIP yang digunakan berjumlah dari 1 sampai 50 pasang aplikasi dengan penambahan sebanyak 5 buah komunikasi. Aplikasi latar yang digunakan berjumlah 4 buah aplikasi FTP yang berjalan di atas protokol TCP. Eksperimen akan dilakukan sebagai berikut:

- a. Pengujian kualitas VoIP tanpa latar aliran data TCP
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kualitas VoIP tanpa adanya latar aliran data lainnya. Simulasi dilakukan dengan menjalankan 1 pasang aplikasi VoIP yang saling berkomunikasi. Pengujian berikutnya dilakukan penambahan aplikasi VoIP dengan kelipatan 5, sehingga dilakukan 11 kali pengujian sampai dengan 50 pasang aplikasi VoIP. Pengujian ini memperlihatkan pengaruh penambahan komunikasi terhadap kualitas VoIP.
- b. Pengujian kualitas VoIP dengan latar aliran data TCP
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kualitas VoIP dengan pengaruh dari adanya latar aliran data TCP dan pengaruh aliran TCP terhadap adanya aliran VoIP. Hampir sama dengan skenario simulasi yang pertama, yang membedakan pada pengujian ini adalah adanya latar aliran data TCP.

2.5 Analisis

Tahap ini melakukan analisis kualitas aliran data pada aplikasi VoIP yang menggunakan protokol DCCP/CCID4 dan membandingkannya dengan penggunaan protokol UDP. Analisis dilakukan berdasarkan data atau hasil eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya. Eksperimen akan menghasilkan nilai kualitas dalam *Mean Opinion Score* (MOS) [7]. Nilai ini terdiri dari nilai MOS terhadap protokol DCCP/CCID4 dan protokol UDP dengan menggunakan 3 buah *codec* yang berbeda. Analisis ini bertujuan untuk melihat pengaruh protokol DCCP/CCID4 terhadap kualitas aliran VoIP dan membandingkannya dengan protokol UDP. Kualitas aliran VoIP mengacu pada Tabel 3.4 berdasarkan keluaran dari E-model (*R*) yang dikonversikan menjadi nilai MOS. Adapun parameter-parameter yang berpengaruh dalam kualitas aliran VoIP sesuai dengan E-model adalah: (1) delay, (2) kejadian *packet loss*, (3) *codec* yang digunakan, (4) faktor ketahanan *codec* terhadap *packet loss*. Hasil eksperimen disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

Analisis juga dilakukan untuk melihat respon yang dilakukan oleh protokol DCCP/CCID4 dan protokol UDP dalam berkompetisi *bandwidth* dengan protokol TCP khususnya ketika terjadi *congestion*. Oleh karena itu, eksperimen juga dilakukan untuk mencari *throughput* yang dihasilkan oleh kedua protokol tersebut. Hasil *throughput* tersebut kemudian akan ditampilkan dalam bentuk grafik. Analisis ini akan melihat respon protokol DCCP/CCID4

dan membandingkannya dengan respon protokol UDP dalam berkompetisi dengan protokol TCP. Tujuan analisis lainnya adalah untuk memperlihatkan pengaruh aliran data TCP terhadap keberadaan aliran VoIP. Adapun parameter yang menjadi pengamatan terhadap aliran aplikasi FTP adalah *loss rate*, *delay*, dan *throughput*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Rancangan Pengujian

Pada bagian ini akan dibahas mengenai rancangan pengujian yang meliputi penjelasan mengenai parameter-parameter yang menjadi pengamatan dalam penelitian ini, parameter-parameter yang divariasi selama simulasi, arsitektur simulasi, prosedur simulasi, dan teknik pengambilan data dari parameter yang diamati.

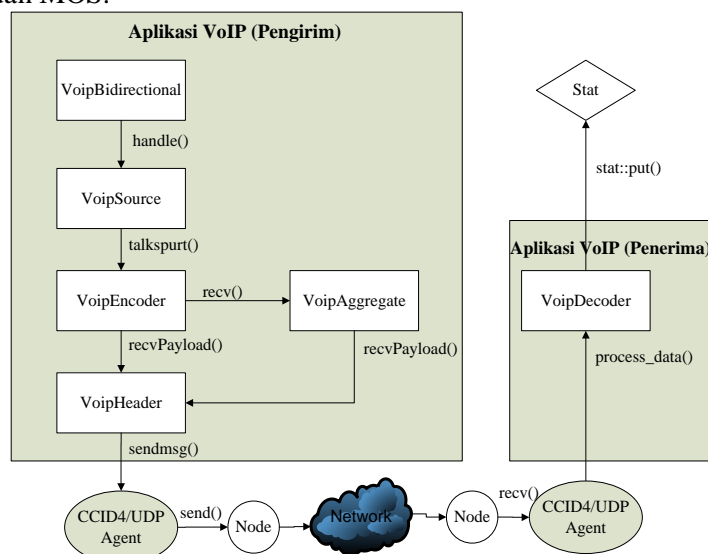
3.1.1 Analisis Masukan dan Keluaran

Masukan sistem adalah parameter-parameter yang digunakan dalam penelitian ini yang nilainya diubah selama melakukan eksperimen, seperti: (1) Jumlah aplikasi VoIP sebanyak 1 hingga 50 pasang *host*, (2) jumlah aplikasi FTP sebanyak 0 hingga 4 pasang *host*, (3) jenis *codec* VoIP yang digunakan terdiri dari G.711, G.723.1, dan G.729.A, dan (4) protokol untuk aplikasi VoIP yang digunakan UDP dan DCCP/CCID4.

Keluaran sistem adalah parameter yang menjadi pengamatan dalam penelitian ini, seperti: (1) pengujian kualitas aliran VoIP dalam *Mean Opinion Score* (MOS), (2) pengujian respon aliran VoIP terhadap aliran TCP melingkupi *send rate* dari protokol DCCP/CCID4, UDP, dan TCP, dan (3) pengujian kualitas aliran TCP melingkupi *loss rate*, *delay*, dan *throughput*.

3.1.2 Simulasi VoIP

Gambar 1 memperlihatkan simulasi VoIP yang dilakukan pada NS-2. Aliran VoIP dihasilkan dengan menggunakan modul *ns2voip++* [8]. Aplikasi VoIP mengirim paket dengan memanggil fungsi *sendmsg()*. Fungsi ini yang bertugas untuk mengkomunikasikan aplikasi dengan protokol DCCP/CCID4 atau UDP. Kemudian, paket yang diterima akan diteruskan oleh *agent* ke *agent* penerima, mekanismenya ini diatur oleh NS-2. *Agent* penerima akan menerima paket dengan fungsi *recv()* dan meneruskannya ke aplikasi penerima dengan memanggil *process_data()*. Selama proses pengiriman dilakukan, pengumpulan data dilakukan pada *decoder* dan hasilnya akan diolah oleh modul *Stat*. Modul *Stat* akan menghasilkan nilai kualitas VoIP dalam satuan MOS.

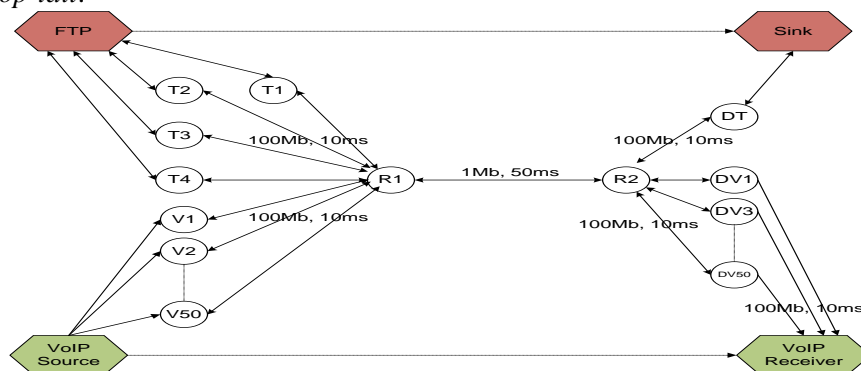


Gambar 1 Simulasi VoIP pada NS-2

3. 1.3 Prosedur Simulasi

Simulasi akan menggunakan 3 buah *codec* VoIP, yaitu: G.711, G.723.1, dan G.729.A. *Codec* tersebut akan berjalan di atas protokol UDP atau DCCP/CCID4. Simulasi akan melibatkan aliran TCP dengan aplikasi FTP sebagai aliran latar. Aplikasi VoIP akan dilakukan dari 1 buah panggilan VoIP sampai dengan 50 panggilan VoIP dengan peningkatan sebanyak 5 panggilan. Pada [9], menyatakan peningkatan jumlah *frame* pada paket akan mengakibatkan penurunan kualitas VoIP ketika terjadi *congestion*. Oleh karena itu, pada simulasi ini paket yang dikirimkan oleh aplikasi VoIP terdiri dari 1 *frame*. Setiap simulasi akan dilakukan selama 780 detik. Penentuan lamanya simulasi berdasarakan pada rata-rata komunikasi VoIP yaitu selama 12 menit 53 detik atau mendekati 13 menit [10]. Kualitas VoIP yang diukur perkiraan nilai MOS. Sedangkan, kualitas FTP yang diukur melingkupi *loss rate*, *delay* dan *throughput*.

Gambar 2 memperlihatkan topologi simulasi yang terdiri dari 107 node yang masing-masing terdiri dari 50 pasang VoIP, 4 buah TCP, 2 buah router, dan 1 buah *sink*, dengan pengaturan sebagai berikut: (1) *Node* T_i ($1 \leq i \leq 4$) dan R1 memiliki *duplex link* dengan *bandwidth* 100Mbps, *delay* 1ms dan antrian *drop-tail*, (2) *node* V_i ($1 \leq i \leq 50$) dan R1 memiliki *duplex link* dengan *bandwidth* 100Mbps, *delay* 1ms dan antrian *drop-tail*, (3) *node* R1 dan R2 memiliki *duplex link* dengan *bandwidth* 1Mbps, *delay* 10ms dan antrian *drop-tail*, (4) *node* DT dan R2 memiliki *duplex link* dengan *bandwidth* 100Mbps, *delay* 10ms dan antrian *drop-tail* dan (5) *node* DV_i ($1 \leq i \leq 50$) dan R2 memiliki *duplex link* dengan *bandwidth* 100Mbps, *delay* 10ms dan antrian *drop-tail*.



Gambar 2 Topologi simulasi jaringan

Aplikasi FTP dimasukkan pada TCP *agent* dan TCP *agent* dimasukkan pada *node* asal T1, T2, T3, dan T4. VoIP *source* dimasukkan pada aplikasi VoIP *encoder*. Aplikasi VoIP *encoder* dimasukkan pada UDP *agent* atau DCCP/CCID4 *agent* dan cUDP *agent* atau DCCP/CCID4 *agent* dimasukkan pada *node* V1 sampai dengan V50. *Node* tujuan DT dimasukkan TCP *Sink agent* dan DV1 sampai dengan DV2 dimasukkan UDP atau DCCP/CCID4. Aplikasi *decoder* VoIP dimasukkan ke UDP *agent* atau DCCP/CCID4 *agent*. TCP *agent* (T1) dikoneksikan dengan TCP *Sink agent* (DT) melalui R1, R2. Aplikasi VoIP *encoder* (V_i) dikoneksikan dengan aplikasi VoIP *decoder* (DV_i) melalui *node* R1, R2.

3. 1.4 Rancangan Pengambilan Data

Setelah melakukan simulasi maka dilakukan pengambilan data berdasarkan parameter yang diamati pada penelitian ini. Teknik pengambilan data untuk aplikasi VoIP dan FTP dilakukan dengan cara yang berbeda. Berikut akan dijelaskan teknik pengambilan data tersebut.

a. Pengambilan data kualitas VoIP

Parameter-parameter dalam aliran data aplikasi VoIP yang berpengaruh dalam menentukan kualitas percakapan pada komunikasi VoIP adalah *delay* dan *loss rate*. Nilai-nilai tersebut dihitung pada sisi penerima. Kemudian, berdasarkan nilai *delay* dan *loss rate* tersebut, penerima akan menghitung nilai kualitas percakapan dalam satuan MOS mengacu pada persamaan (3.5). Pengambilan data tersebut dilakukan dengan memanfaatkan modul *Stat* [11].

b. Pengambilan data respon VoIP terhadap aliran TCP

Data diambil dari *output trace* yang dihasilkan dari proses simulasi. Parameter yang diamati adalah *send rate* yang dihasilkan oleh aplikasi VoIP dan *send rate* yang dihasilkan oleh aplikasi dengan protokol TCP. Aplikasi VoIP yang diamati menggunakan protokol DCCP/CCID4 dan UDP.

c. Pengambilan data kualitas TCP

Parameter kualitas yang diamati pada aliran FTP adalah *loss rate*, *end-to-end delay* dan *end-to-end throughput*. Definisi dari *loss rate* diperlihatkan pada persamaan (1). *Loss rate* adalah jumlah paket yang dikirim dibagi dengan jumlah paket yang *drop*. Persamaan (2) memperlihatkan definisi dari rata-rata *end-to-end delay*. *End-to-end delay* adalah *delay* dari pengiriman paket sejak paket tersebut dibuat oleh *node* sumber hingga *node* tersebut dihancurkan oleh *node* tujuan. Definisi *end-to-end throughput* diperlihatkan pada persamaan (3). Sebagai contoh, dengan menggunakan topologi simulasi yang diperlihatkan pada Gambar 2, ingin dihitung besarnya *throughput* pada *link R2* dan *DT1* dari komunikasi yang dilakukan oleh *node* sumber *T1* dan *node* tujuan *DT1*. Berdasarkan persamaan (3) maka *F* sama dengan *R2*, *DT1* sama dengan *T*, dan *T1* sama dengan *S*.

$$\text{loss rate} = \frac{\text{jumlah paket hilang (drop)}}{\text{jumlah paket yang dikirim}} \quad (1)$$

$$E[\text{delay}] = \frac{\sum \text{semua delay sampel}}{\text{jumlah sampel}} \quad (2)$$

$$\text{throughput} = \frac{\text{jumlah bit dari node F ke node T dimana sumber S dan tujuan T}}{\text{durasi observasi}} \quad (3)$$

3.2 Pengujian Kualitas VoIP

Pengujian dilakukan untuk melihat kualitas VoIP yang berjalan pada protokol DCCP/CCID4 dan UDP. Pengujian pertama dilakukan pada simulasi yang tidak mengandung aliran TCP. Pada kasus tersebut, kualitas VoIP lebih baik ketika berjalan pada protokol UDP dengan codec G.711 dan codec G.723.1 seperti yang diperlihatkan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Tabel 3 memperlihatkan kualitas VoIP pada protokol DCCP/CCID4 lebih baik dibandingkan dengan UDP pada codec G.729A.

Tabel 1 Perbandingan kualitas VoIP pada UDP dan CCID4 dengan *codec* G.711 tanpa aliran latar TCP

Pengujian	Jum. VoIP	Kualitas CCID4	Kualitas UDP	Difference	Cum. mean difference	SD	Confidence interval		Kesimpulan
							Lower interval	Upper interval	
1	1	1,82678	2,18721	-0,36	-0,36	n/a	n/a	n/a	n/a
2	5	1,81036	2,19227	-0,38	-0,37	0,008	-0,44	-0,30	CCID4<UDP
3	10	1,83598	2,20479	-0,37	-0,37	0,006	-0,39	-0,36	CCID4<UDP
4	15	1,80268	2,21590	-0,41	-0,38	0,008	-0,39	-0,37	CCID4<UDP
5	20	1,58215	2,22289	-0,64	-0,43	0,029	-0,47	-0,40	CCID4<UDP
6	25	1,48088	2,13227	-0,65	-0,47	0,044	-0,52	-0,42	CCID4<UDP
7	30	1,64437	1,56296	0,08	-0,39	0,040	-0,43	-0,35	CCID4<UDP
8	35	1,85814	1,54226	0,32	-0,30	0,050	-0,34	-0,26	CCID4<UDP
9	40	1,96662	1,91107	0,06	-0,26	0,062	-0,31	-0,22	CCID4<UDP
10	45	2,03761	2,21794	-0,18	-0,25	0,069	-0,30	-0,21	CCID4<UDP
11	50	2,06484	2,46348	-0,40	-0,27	0,071	-0,32	-0,22	CCID4<UDP

Pengujian berikutnya dilakukan dengan melakukan penambahan aliran TCP pada jaringan. Protokol TCP akan menyebabkan terjadinya *congestion* pada jaringan. Pada kasus ini ingin dilihat kualitas VoIP pada jaringan yang mengandung aliran TCP. Berbeda dengan kasus ketika tidak ada aliran TCP, pada kasus ini kualitas VoIP pada protokol DCCP/CCID4 lebih baik dibandingkan dengan VoIP pada protokol UDP pada *codec* G.711 dan G.729A seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4 dan Tabel 6. Pada tabel 4 dapat terlihat bahwa, ketika jumlah VoIP yang aktif kurang atau sama dengan 25 pasang VoIP, kualitas VoIP pada protokol DCCP/CCID4 dan UDP tidak signifikan berbeda. Sedangkan, pada *codec* G.723.1 seperti yang diperlihatkan pada Tabel 5, kualitas VoIP pada protokol UDP lebih baik dibandingkan ketika VoIP berjalan pada protokol DCCP/CCID4.

Tabel 2 Perbandingan kualitas VoIP pada UDP dan CCID4 dengan *codec* G.723.1 tanpa aliran latar TCP

Pengujuan	Jum. VoIP	Kualitas CCID4	Kualitas UDP	Difference	Cum. mean difference	SD	Confidence interval		Kesimpulan
							Lower interval	Upper interval	
1	1	2,12762	2,20132	-0,07	-0,07	n/a	n/a	n/a	n/a
2	5	2,15161	2,19315	-0,04	-0,06	0,011	-0,16	0,04	No difference
3	10	2,15798	2,19600	-0,04	-0,05	0,012	-0,08	-0,02	CCID4<UDP
4	15	2,15852	2,19747	-0,04	-0,05	0,011	-0,07	-0,03	CCID4<UDP
5	20	2,15926	2,19769	-0,04	-0,05	0,011	-0,06	-0,03	CCID4<UDP
6	25	2,15660	2,19371	-0,04	-0,04	0,011	-0,06	-0,03	CCID4<UDP
7	30	2,16159	2,19786	-0,04	-0,04	0,011	-0,05	-0,03	CCID4<UDP
8	35	2,16146	2,19704	-0,04	-0,04	0,010	-0,05	-0,03	CCID4<UDP
9	40	2,16047	2,19562	-0,04	-0,04	0,010	-0,05	-0,03	CCID4<UDP
10	45	2,16157	2,19679	-0,04	-0,04	0,010	-0,05	-0,03	CCID4<UDP
11	50	2,16054	2,19606	-0,04	-0,04	0,010	-0,05	-0,03	CCID4<UDP

Tabel 3 Perbandingan kualitas VoIP pada UDP dan CCID4 dengan *codec* G.729A tanpa aliran latar TCP

Pengujuan	Jum. VoIP	Kualitas CCID4	Kualitas UDP	Difference	Cum. mean difference	SD	Confidence interval		Kesimpulan
							Lower interval	Upper interval	
1	1	1,91634	1,90593	0,01	0,01	n/a	n/a	n/a	n/a
2	5	1,96605	1,91116	0,05	0,03	0,016	-0,11	0,17	No difference
3	10	1,98190	1,91946	0,06	0,04	0,016	0,00	0,08	CCID4>UDP
4	15	1,99434	1,92394	0,07	0,05	0,017	0,02	0,08	CCID4>UDP
5	20	2,01132	1,92948	0,08	0,06	0,018	0,03	0,08	CCID4>UDP
6	25	2,02223	1,93379	0,09	0,06	0,019	0,04	0,08	CCID4>UDP
7	30	2,04062	1,94095	0,10	0,07	0,019	0,05	0,08	CCID4>UDP
8	35	2,05293	1,94526	0,11	0,07	0,020	0,06	0,09	CCID4>UDP
9	40	2,06681	1,95168	0,12	0,08	0,021	0,06	0,09	CCID4>UDP
10	45	2,08127	1,96147	0,12	0,08	0,022	0,07	0,10	CCID4>UDP
11	50	2,08404	1,96797	0,12	0,08	0,023	0,07	0,10	CCID4>UDP

Tabel 4 Perbandingan kualitas VoIP pada UDP dan CCID4 dengan *codec* G.711 dengan aliran latar TCP

Pengujuan	Jum. VoIP	Kualitas CCID4	Kualitas UDP	Difference	Cum. mean difference	SD	Confidence interval		Kesimpulan
							Lower interval	Upper interval	
1	1	1,35020	1,60389	-0,25	-0,25	n/a	n/a	n/a	n/a
2	5	1,53676	1,61563	-0,08	-0,17	0,062	-0,72	0,39	No difference
3	10	1,66457	1,63240	0,03	-0,10	0,077	-0,29	0,09	No difference
4	15	1,73251	1,66674	0,07	-0,06	0,085	-0,19	0,08	No difference
5	20	2,01541	1,70296	0,31	0,02	0,103	-0,11	0,14	No difference
6	25	2,08746	1,68945	0,40	0,08	0,121	-0,05	0,21	No difference
7	30	2,16039	1,44518	0,72	0,17	0,145	0,04	0,30	CCID4>UDP
8	35	2,26042	1,57085	0,69	0,24	0,167	0,10	0,37	CCID4>UDP
9	40	2,32177	1,91830	0,40	0,25	0,179	0,12	0,39	CCID4>UDP
10	45	2,37641	2,22674	0,15	0,24	0,183	0,11	0,37	CCID4>UDP
11	50	2,31184	2,47544	-0,16	0,21	0,181	0,08	0,33	CCID4>UDP

Tabel 5 Perbandingan kualitas VoIP pada UDP dan CCID4 dengan *codec* G.723.1 dengan aliran latar TCP

Pengujuan	Jum. VoIP	Kualitas CCID4	Kualitas UDP	Difference	Cum. mean difference	SD	Confidence interval		Kesimpulan
							Lower interval	Upper interval	
1	1	1,49400	1,60512	-0,11	-0,11	n/a	n/a	n/a	n/a
2	5	1,47921	1,60526	-0,13	-0,12	0,005	-0,17	-0,07	CCID4<UDP
3	10	1,53272	1,60629	-0,07	-0,10	0,008	-0,12	-0,08	CCID4<UDP
4	15	1,53982	1,60959	-0,07	-0,10	0,010	-0,11	-0,08	CCID4<UDP
5	20	1,55872	1,60673	-0,05	-0,09	0,013	-0,10	-0,07	CCID4<UDP
6	25	1,58653	1,60192	-0,02	-0,07	0,017	-0,09	-0,06	CCID4<UDP
7	30	1,60422	1,60794	0,00	-0,06	0,020	-0,08	-0,05	CCID4<UDP
8	35	1,64679	1,60454	0,04	-0,05	0,024	-0,07	-0,03	CCID4<UDP
9	40	1,65725	1,61107	0,05	-0,04	0,027	-0,06	-0,02	CCID4<UDP
10	45	1,65552	1,61663	0,04	-0,03	0,030	-0,05	-0,01	CCID4<UDP
11	50	1,67057	1,61652	0,05	-0,02	0,033	-0,05	0,00	CCID4<UDP

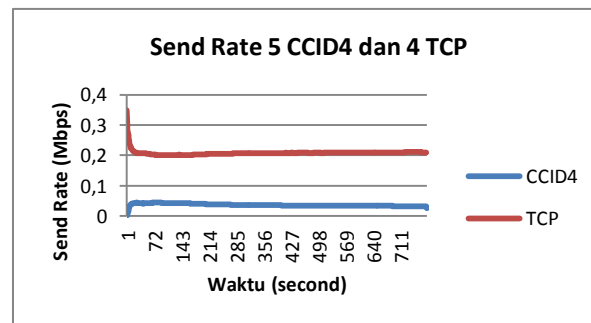
Tabel 6 Perbandingan kualitas VoIP pada UDP dan CCID4 dengan *codec* G.729A dengan aliran latar TCP

Pengujian	Jum. VoIP	Kualitas CCID4	Kualitas UDP	Difference	Cum. mean difference	SD	Confidence interval		Kesimpulan
							Lower interval	Upper interval	
1	1	1,47038	1,47544	-0,01	-0,01	n/a	n/a	n/a	n/a
2	5	1,56737	1,48227	0,09	0,04	0,032	-0,25	0,33	No difference
3	10	1,58342	1,48303	0,10	0,06	0,033	-0,02	0,14	No difference
4	15	1,67367	1,48755	0,19	0,09	0,041	0,03	0,16	CCID4>UDP
5	20	1,69624	1,48871	0,21	0,11	0,046	0,06	0,17	CCID4>UDP
6	25	1,69360	1,49265	0,20	0,13	0,050	0,08	0,18	CCID4>UDP
7	30	1,73218	1,50110	0,23	0,14	0,053	0,09	0,19	CCID4>UDP
8	35	1,75969	1,50899	0,25	0,16	0,056	0,11	0,20	CCID4>UDP
9	40	1,77900	1,51979	0,26	0,17	0,058	0,12	0,21	CCID4>UDP
10	45	1,78787	1,53245	0,26	0,18	0,060	0,13	0,22	CCID4>UDP
11	50	1,79473	1,54316	0,25	0,18	0,062	0,14	0,23	CCID4>UDP

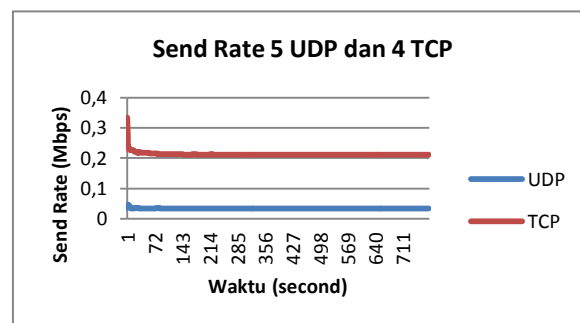
3.3 Pengujian Respon DCCP/CCID4 terhadap Aliran TCP

Pada bagian ini akan diuraikan hasil simulasi yang memperlihatkan respon yang diberikan oleh DCCP/CCID4 terhadap trafik TCP yang ada pada jaringan. Respon yang dimaksud adalah pengaturan *send rate* sebagai tahap yang disebut dengan *congestion avoidance* untuk menghindari terjadinya *congestion collapse*. Kemudian, hasilnya akan dibandingkan dengan kondisi jaringan ketika VoIP menggunakan protokol UDP. Pengujian dilakukan pada *codec* G.711.

Gambar 3a memperlihatkan rata-rata *send rate* yang dimiliki oleh 5 pasang VoIP dengan protokol DCCP/CCID4 dan protokol 4 TCP. Gambar 3b memperlihatkan rata-rata *send rate* yang dimiliki oleh 5 pasang VoIP dengan protokol UDP dan protokol 4 TCP. Pada gambar tersebut tidak terdapat perbedaan antara penggunaan protokol DCCP/CCID4 atau UDP untuk aplikasi VoIP. Ketika jumlah VoIP yang aktif berjumlah 5 pasang VoIP, *send rate* yang dihasilkan oleh protokol TCP ketika VoIP menggunakan UDP dan DCCP/CCID4 terlihat tidak berbeda jauh, yaitu sekitar 0,2 Mbps.



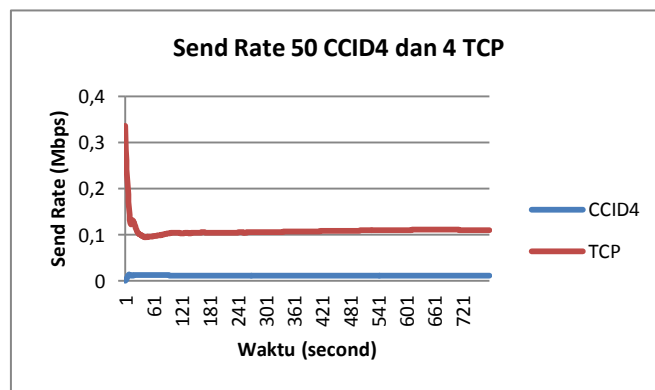
(a)



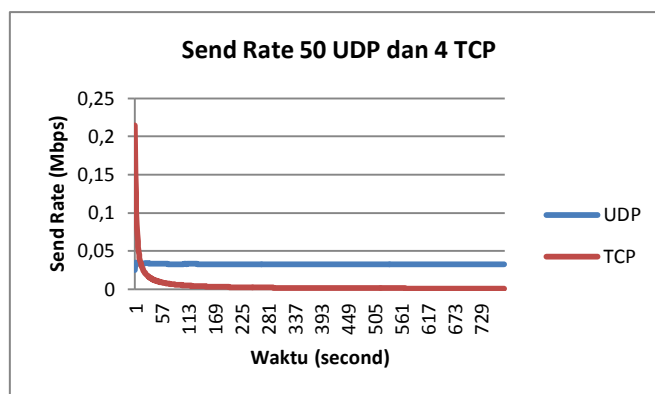
(b)

Gambar 3 Grafik *send rate* 5 pasang VoIP dan 4 TCP. (a) VoIP dengan CCID4, (b) VoIP dengan UDP

Gambar 4a memperlihatkan rata-rata *send rate* yang dimiliki oleh 50 pasang VoIP dengan protokol DCCP/CCID4 dan protokol 4 TCP. Gambar 4b memperlihatkan rata-rata *send rate* yang dimiliki oleh 50 pasang VoIP dengan protokol UDP dan protokol 4 TCP. Pada kasus jumlah pengguna VoIP dinaikkan sebanyak 50 pasang VoIP, UDP tetap mempertahankan *send rate*-nya. Sedangkan, DCCP/CCID4 menanggapi kompetisi penggunaan *bandwidth* dengan menurunkan rata-rata *send rate*-nya. Permasalahan terlihat ketika menggunakan protokol UDP, trafik TCP mengalami *congestion collapse*, yaitu *send rate* mengalami penurunan yang drastis dan terus menerus hingga mendekati nilai 0 Mbps. Pada penggunaan DCCP/CCID4, *send rate* TCP dapat bertahan di atas 0.1 Mbps, meskipun dengan penurunan *send rate* yang dimilikinya. Berdasarkan permasalahan tersebut dapat diketahui protokol DCCP/CCID4 lebih ramah dengan aliran TCP dibandingkan dengan penggunaan protokol UDP.



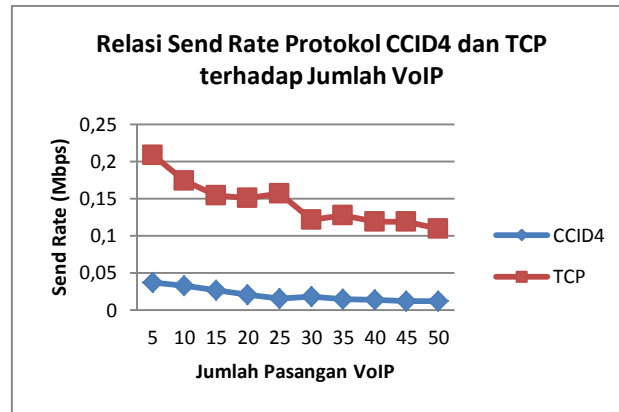
(a)



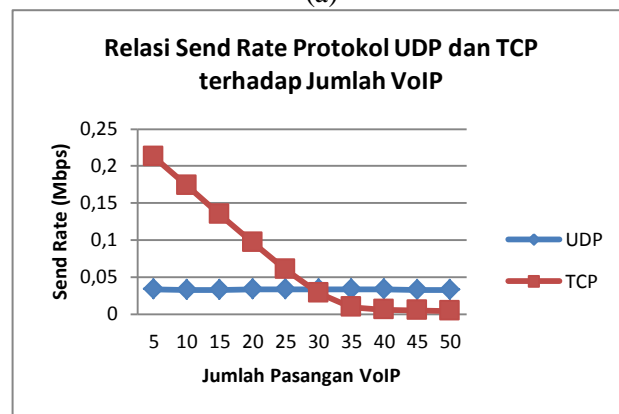
(b)

Gambar 4 Grafik *send rate* 50 pasang VoIP dan 4 TCP. (a) VoIP dengan CCID4, (b) VoIP dengan UDP

Gambar 5 memperlihatkan relasi *send rate* terhadap jumlah VoIP yang aktif. Gambar 5a memperlihatkan perubahan *send rate* pada protokol DCCP/CCID4. Semakin banyak VoIP yang aktif, maka rata-rata *send rate* VoIP akan menurun. Begitu juga dengan *send rate* pada trafik TCP yang akan disesuaikan jumlah penggunaan *resource* yang bertambah. Gambar 5b memperlihatkan perubahan *send rate* pada protokol UDP. Meningkatkan jumlah VoIP yang aktif tidak mempengaruhi rata-rata *send rate*-nya. Namun, disisi lain *send rate* trafik TCP menurun drastis ketika jumlah VoIP yang aktif ditingkatkan. Rata-rata *send rate* pada trafik TCP mendekati 0 ketika jumlah VoIP yang aktif lebih besar dari 40.



(a)



(b)

Gambar 5 Grafik relasi *send rate* terhadap jumlah VoIP yang aktif. (a) VoIP dengan CCID4, (b) VoIP dengan UDP

3.4 Pengujian Kualitas TCP

Pada bagian ini akan diuraikan hasil pengujian perubahan kualitas TCP sebagai pengaruh dari penambahan jumlah VoIP. Parameter pengamatan kualitas TCP terdiri dari *throughput*, *delay*, dan *loss rate*. Tabel 7 memperlihatkan hasil pengamatan kualitas TCP yang dihasilkan ketika VoIP berjalan di atas protokol DCCP/CCID4 ataupun UDP. Hasil kualitas tersebut merupakan kumulatif *mean* dari 20 kali replikasi simulasi.

Tabel 7 Hasil pengamatan kualitas TCP

Parameter Pengamatan	Jumlah VoIP	CCID4			UDP		
		G.711	G.723.1	G.729A	G.711	G.723.1	G.729A
Throughput	5	0.20848	0.23981	0.23790	0.20965	0.24284	0.23990
	15	0.16174	0.22559	0.22249	0.13020	0.22808	0.21941
	50	0.10397	0.20042	0.20746	0.00066	0.17727	0.14920
Delay	5	0.98081	1.26717	1.14816	0.76526	1.25524	1.08153
	15	0.76966	0.99063	0.92407	0.42367	0.82822	0.64848
	50	0.55203	0.75992	0.82768	0.20891	0.40627	0.30511
Loss	5	0.00060	0.00017	0.00033	0.00120	0.00017	0.00033
	15	0.00109	0.00036	0.00054	0.00500	0.00058	0.00113
	50	0.00310	0.00084	0.00096	0.15120	0.00243	0.00483

Setelah mendapatkan hasil simulasi untuk 20 kali replikasi terhadap pengujian kualitas TCP, maka dapat diketahui perbandingan pengaruh penggunaan protokol DCCP/CCID4 dan UDP terhadap kualitas TCP. Tabel 8 memperlihatkan rangkuman dari perbandingan yang telah dilakukan terhadap protokol DCCP/CCID4 dan UDP.

Tabel 8 Hasil perbandingan protokol UDP dan CCID4

Parameter Pengamatan	Jumlah VoIP	Codec		
		G.711	G.723.1	G.729A
Throughput	5	CCID4<UDP	CCID4<UDP	CCID4<UDP
	15	CCID4>UDP	CCID4<UDP	CCID4>UDP
	50	CCID4>UDP	CCID4>UDP	CCID4>UDP
Delay	5	CCID4<UDP	CCID4>UDP	CCID4>UDP
	15	CCID4>UDP	CCID4>UDP	CCID4>UDP
	50	CCID4>UDP	CCID4>UDP	CCID4>UDP
Loss Rate	5	CCID4>UDP	No difference	No difference
	15	CCID4>UDP	CCID4>UDP	CCID4>UDP
	50	CCID4>UDP	CCID4>UDP	CCID4>UDP

Jika jumlah VoIP yang aktif sebanyak 5 pasang, kualitas TCP pada protokol UDP lebih baik jika dibandingkan dengan DCCP/CCID4 kecuali pada *loss rate*. Hampir semua *codec* tidak terdapat perbedaan untuk *loss rate* kecuali *codec* G.711 pada saat jumlah VoIP yang aktif sebanyak 5 pasang. Kualitas TCP ketika jumlah VoIP ditingkatkan akan semakin menurun ketika menggunakan protokol UDP. Sehingga, sebagian besar kualitas TCP untuk 15 dan 50 pasang VoIP lebih baik pada DCCP/CCID4 dibandingkan dengan UDP. Hal ini disebabkan karena peningkatan jumlah VoIP akan meningkatkan penggunaan *bandwidth* untuk VoIP tersebut. Di sisi lain karakteristik dari protokol TCP yang akan terus meningkatkan *send rate*-nya menyebabkan pada suatu waktu akan terjadi *loss* atau *congestion*. Pada penggunaan UDP dapat diamati, semakin banyak VoIP yang aktif maka semakin cepat terjadi *congestion* atau *loss* pada aliran TCP. Hal ini disebabkan karena penambahan aliran UDP akan mendominasi *bandwidth* yang ada. Pada saat TCP mengurangi *send rate*-nya ketika terjadi *congestion*, UDP tetap menggunakan *bandwidth*-nya semula. Hal ini berbeda dengan penggunaan DCCP/CCID4 yang memiliki kemampuan dalam mekanisme *congestion control*. Protokol akan menanggapi terjadinya *congestion* dengan melakukan pengaturan terhadap *send rate*-nya secara halus sehingga kualitas aliran VoIP tidak menurun secara drastis.

4. KESIMPULAN

Protokol UDP lebih baik untuk VoIP dibandingkan dengan DCCP/CCID4 pada jaringan yang tidak mengandung latar trafik TCP, kecuali pada *codec* G.729A. Rata-rata penurunan kualitas dengan menggunakan protokol DCCP/CCID4 pada *codec* G.711 dan G.723.1 masing-masing sebesar 11,65% dan 1,84%. Sedangkan pada *codec* G.729A, penggunaan protokol DCCP/CCID4 menyebabkan peningkatan kualitas rata-rata sebesar 4,13%. Pada jaringan yang berpotensi terjadi *congestion* yaitu ketika mengandung trafik TCP, kualitas VoIP pada protokol DCCP/CCID4 lebih baik dibandingkan dengan protokol UDP, kecuali pada *codec* G.723.1. Peningkatan kualitas VoIP pada penggunaan protokol DCCP/CCID4 untuk *codec* G.711 dan G.729A masing-masing rata-rata sebesar 9,12% dan 10,65%. Sedangkan, ketika menggunakan *codec* G.723.1, kualitas VoIP mengalami penurunan rata-rata sebesar 1,54%. Jika dikonversikan ke dalam nilai skala opini, maka kualitas kedua protokol tersebut masih dalam kualitas yang sama yaitu buruk.

Penggunaan DCCP/CCID4 dapat menghindari terjadinya *congestion collapse* terhadap aliran TCP. Rata-rata *send rate* pada aplikasi VoIP menurun setiap dilakukan penambahan jumlah VoIP yang aktif. Begitu juga dengan *send rate* pada TCP yang terus mengalami penurunan karena peningkatan jumlah koneksi VoIP yang aktif. Namun, rata-rata *send rate* pada aliran TCP hingga 50 pasang VoIP yang aktif di atas 0,1 Mbps atau pada akhir simulasi *send rate*-nya bernilai 0.110400175 ketika VoIP berjalan di atas protokol DCCP/CCID4. Nilai ini jauh berbeda ketika VoIP menggunakan protokol UDP. Rata-rata *send rate* pada aliran TCP hampir mendekati 0 atau senilai 0.000831877 pada saat jumlah VoIP yang aktif berjumlah 50 pasang VoIP.

Protokol DCCP/CCID4 dapat menjaga kualitas TCP pada saat penggunaan VoIP yang banyak atau pada simulasi berjumlah 50 pasang VoIP. Kualitas TCP lebih baik ketika VoIP

menggunakan protokol UDP untuk jumlah VoIP yang aktif relatif sedikit. Kualitas TCP akan semakin menurun apabila jumlah penggunaan protokol UDP ditingkatkan. Kualitas TCP paling baik ketika VoIP menggunakan *codec* G.723.1, kemudian G.729A dan terakhir G.711.

5. SARAN

Terdapat beberapa hal yang dapat dilakukan untuk penelitian berikutnya. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, kualitas VoIP dapat dikatakan masih buruk. Sehingga penelitian mengenai peningkatan kualitas VoIP masih dapat dilakukan. Melakukan implementasi protokol DCCP/CCID4 dan melakukan pengujian pada sistem nyata. Pengujian yang dilakukan pada sistem nyata akan mengurangi faktor-faktor yang mungkin berpengaruh dan tidak diperhatikan pada penelitian berbasis simulasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kohler, E., Handley, M. dan Floyd, S., 2006, *Datagram Congestion Control Protocol (DCCP)*, RFC 4340 (Standards Track).
- [2] Mattsson, N.E., 2004, A DCCP module for ns-2, *Tesis*, Department of Computer Science and Electrical Engineering, Division of Computer Science and Networking, Luleå University of Technology, Luleå, Swedia.
- [3] Balan, V., 2006, An Experimental Evaluation of Voice-over-IP Quality over the Datagram Congestion Control Protocol, *Tesis*, University of Bremen, Bremen, Jerman.
- [4] Liu, C.L., 2008, VoIP Performance Evaluation of VoIP Flows with Different Service Models, *Tesis*, Institute of Communication Engineering, Tatung University, Teipei, Taiwan.
- [5] Lien, Y.N. dan Ding, Y.C., 2011, Can DCCP Replace UDP in Changing Network Condition?, *International Conference on Advanced Information Networking and Applications*, pp. 716-723, Taipei, Taiwan.
- [6] Sargent, R., G., 2009, Verification and Validation of Simulation Models, *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*, Austin.
- [7] ITU-T, 2009, ITU-T Recommendation G.107, *The E-Model: A Computational Model for Use in Transmission Planning*.
- [8] Andreozzi, M.M., Migliorini, D., Stea, G. dan Vallati, C., 2010, Ns2Voip++, An Enhanced Module for VoIP Simulations, *SIMUTools '10 Proceedings of the 3rd International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques*, Brussels, Belgium.
- [9] Liu, C.L., 2008, VoIP Performance Evaluation of VoIP Flows with Different Service Models, *Tesis*, Institute of Communication Engineering, Tatung University, Teipei, Taiwan.
- [10] Guha, S. dan Daswani, N., 2006, An Experimental Study of the Skype Peer-to-Peer VoIP System. <http://saikat.guha.cc/pub/iptps06-skype/>, diakses pada 14 Februari 2012.
- [11] Cicconetti, C., Mingozzi, E. dan Stea, G., 2006, An Integrated Framework for Enabling Effective Data Collection and Statistical Analysis with NS-2, *Workshop on NS-2: The IP Network Simulator (WNS2)*, Pisa.