

ANALISIS KINERJA *TCP WESTWOOD* UNTUK PENCEGAHAN KONGESTI PADA JARINGAN LTE DENGAN MENGGUNAKAN *NETWORK SIMULATOR 2.33 (NS2.33)*

Grace Karlina Permatasari^{*)}, Sukiswo, and Imam Santoso

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)} *Email: gracekarlina92@gmail.com*

Abstrak

Salah satu implementasi jaringan berbasis wireless adalah teknologi mobile broadband Long Term Evolution (LTE) yang menawarkan berbagai keuntungan, terutama dalam hal kecepatan akses, kapasitas, kesederhanaan arsitektur dan kemudahan implementasi, serta luasnya pilihan jenis user equipment (UE) yang dapat mengakses LTE. Adapun jenis TCP yang digunakan yaitu TCP Westwood, dengan skenario simulasi yang dibedakan menjadi dua bagian, yaitu skenario perhitungan throughput dan fairness, serta skenario simulasi perhitungan delay end-to-end. Sistem pada skenario perhitungan throughput dan fairness dicobakan dengan menggunakan 5 user dan lama simulasi 300 detik, sedangkan pada skenario perhitungan delay end-to-end dicobakan dengan menggunakan 6 user yang bersifat mobile, dan dengan waktu simulasi selama 50 detik. Hasil dari simulasi yang telah dilakukan pada analisis throughput, maka throughput dengan loss rate $1e-3$ dan $5e-3$ memiliki perbedaan throughput sebesar 0,23007691 Mbps. Pada analisis Fairness yang disimulasikan juga dapat disimpulkan bahwa TCP Westwood dengan loss rate $5e-3$ memiliki indeks fairness lebih baik dibanding dengan TCP Westwood dengan loss rate $1e-3$. Pada pengujian delay end to end, dapat ditarik kesimpulan bahwa delay end to end dengan menggunakan topologi 1eNB memiliki delay lebih kecil daripada topologi dengan menggunakan 2 eNB dan 2 aGW, sehingga fairness topologi dengan 1 eNB lebih baik.

Kata kunci: *LTE, TCP, Westwood*

Abstract

Implementation of the wireless network based on mobile broadband technology is Long Term Evolution (LTE), that offers a variety of advantages, especially in terms of access speed, capacity, architectural simplicity and ease of implementation, as well as the breadth of choice of the type of user equipment (UE) that can access LTE. Based on this, the application of analysis of congestion control algorithms in the LTE communication system. The type used is TCP TCP Westwood, the simulation scenarios are divided into two parts, namely the calculation of throughput and fairness scenarios, and scenario simulation calculation delay end-to-end. The results of the simulations that have been done on the analysis of the throughput, the throughput of the loss rate $1e-3$ and $5e-3$ have different sebesar 0.23007691 Mbps throughput. In the analysis of the simulated Fairness can also be concluded that the loss rate of TCP Westwood with $5e-3$ has better fairness index compared with TCP Westwood with a loss rate $1e-3$. In Delay testing end to end, it can be deduced that the end-to-end delay using 1eNB topology has a delay less than 2 topology using eNB and 2 aGW, so fairness topology with 1 eNB better.

Keywords: *LTE, TCP, Westwood*

1. Pendahuluan

Long Term Evolution (LTE)^[9] merupakan suatu evolusi teknologi dalam dunia jaringan *mobile* yang menawarkan berbagai keuntungan, terutama dalam hal kecepatan akses, yaitu memberikan tingkat kapasitas *downlink* minimal 100 Mbps dan *uplink* paling sedikit 50 Mbps dan *RAN round trip* kurang dari 10 ms. Pada sistem

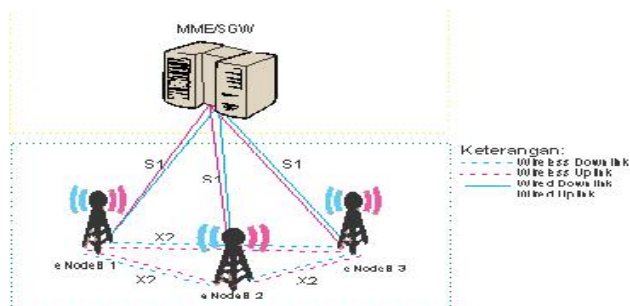
telekomunikasi sebuah jaringan, pasti terjadi pertukaran data. Pertukaran data melibatkan protokol-protokol pada *layer OSI (Open Source Interface)*. Salah satu layernya adalah *transport layer. Transmission Control Protocol (TCP)* merupakan salah satu protokol yang berkerja pada *transport layer* pemodelan *OSI (layer 4)* yang berfungsi untuk melakukan transmisi data per segmen, artinya paket data di pecah dalam jumlah yang sesuai dengan besaran paket kemudian di kirim satu per satu hingga selesai.

Agar pengiriman data sampai dengan baik, maka pada saat setiap packet pengiriman, TCP akan menyertakan nomor seri (*sequence number*). Ada beberapa macam varian TCP dengan segala kelebihan dan kelemahan masing-masing, antara lain *Reno*, *New Reno*, *Tahoe*, *Vegas*, *BIC*, *Westwood*, dan lain sebagainya. Pada sebuah jaringan, kecepatan aliran data ditentukan salah satunya oleh seberapa besar trafik yang melalui jaringan tersebut. Seiring pertambahan trafik pada jaringan, maka diperlukan pengembangan pada TCP yang memungkinkan dapat mengatasi trafik berlebih saat terjadi kongesti. Oleh karena itu, penulis mengevaluasi kinerja *TCP Westwood*, yaitu *TCP* yang merupakan pengembangan dari *TCP* sebelumnya, *TCP Reno*. Kinerja *TCP Westwood* tidak sensitif terhadap *random error*, sedangkan *TCP Reno* sangat sensitif terhadap *random loss* dan *congestion loss*. *TCP Reno*^[10] secara langsung membagi dua *congestion window* setelah menerima 3 duplikat *ACK*, sedangkan *TCP Westwood* berusaha memilih *slow start threshold* dan *congestion window* secara konsisten dengan bandwidth efektif yang digunakan pada saat terjadi kongesti, yang dinamakan *faster recovery*.

Secara umum, *network element* dalam arsitektur jaringan LTE terdiri dari 4 element yaitu^[8] :

- *eNodeB*
- *Mobility Management Entity/Gateway*
- *Serving Gateway (SGW)*
- *Home Subscriber Server (HSS)*

Arsitektur jaringan LTE dirancang untuk tujuan mendukung trafik *packet switching* dengan mobilitas tinggi, *quality of service (QoS)*, dan *latency* yang kecil. Pendekatan *packet switching* ini memperbolehkan semua layanan termasuk layanan *voice* menggunakan koneksi paket. Oleh karena itu, pada arsitektur jaringan LTE dirancang sesederhana mungkin, yaitu hanya terdiri dari dua *node* yaitu *eNodeB* dan *mobility management entity/gateway (MME/GW)*. Arsitektur dasar jaringan LTE dapat dilihat pada Gambar 2.1.

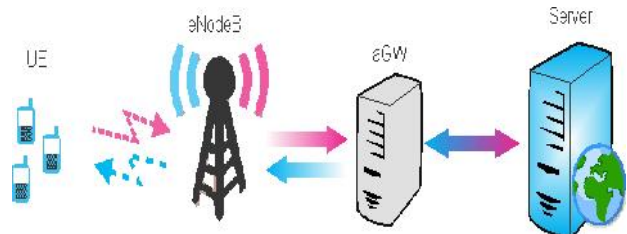


Gambar 1. Arsitektur LTE

Dari gambar 1 terlihat bahwa *eNodeB* dan *MME* dihubungkan dengan *IP interface*. *S1* adalah *application layer interface*. Transport Protokol yang digunakan

adalah *SCTP (Stream Control Transmission Protocol)*. Antar *eNodeB* dihubungkan dengan *X2 interface*.

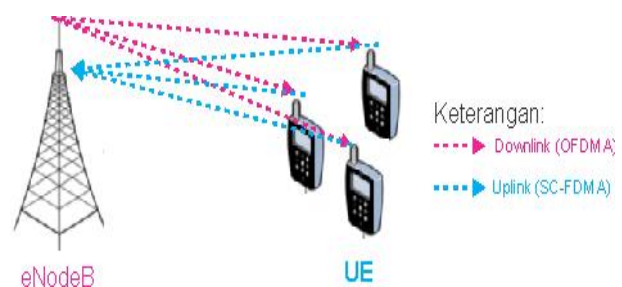
Interface utama pada jaringan LTE terdiri dari *User Equipment, Enhanced Node B, Gateway, dan Server. Evolution of Packet Core Network (EPC)* akan mendukung layanan bandwidth yang tinggi dan *data rate* yang baik.



Gambar 2. Interface sederhana Jaringan LTE^[11]

Spesifikasi *LTE* telah ditetapkan oleh *3GPP* untuk *user equipment (UE)* dan *eNodeB*. Adapun spesifikasi teknik *LTE* yang telah ditetapkan meliputi mode akses radio, teknik akses jamak, mode transmisi *MIMO (Multiple Input Multiple Output)*, dan modulasi yang digunakan.

Pada *LTE*, teknik akses yang digunakan pada transmisi dalam arah *downlink* dan *uplink* berbeda. Arah *downlink* adalah arah komunikasi dari *eNodeB* ke *UE*, sementara arah *uplink* adalah arah dari *UE* menuju *eNodeB* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Pada arah *downlink* teknik akses yang digunakan adalah *orthogonal frequency division modulation access (OFDMA)* dan pada arah *uplink* teknik akses yang digunakan adalah *single carrier frequency division multiple access (SC-FDMA)*. *OFDMA* adalah variasi dari *orthogonal frequency division modulation (OFDM)*.



Gambar 3. Arah transmisi *downlink* dan *uplink*^[13]

Pada teknik *OFDM* setiap *subcarrier* adalah *orthogonal* sehingga akan menghemat spektrum frekuensi dan setiap *subcarrier* tidak akan saling mempengaruhi. Akan tetapi salah satu kelemahan teknik akses ini adalah tingginya *peak average power ratio (PAPR)* yang dibutuhkan. Tingginya *PAPR* dalam *OFDM* membuat *3GPP* melihat skema teknik akses yang berbeda pada arah *uplink* karena akan sangat mempengaruhi konsumsi daya pada *UE* sehingga pada arah *uplink* *LTE* menggunakan teknik *SC-FDMA*. *SC-FDMA* dipilih karena teknik ini

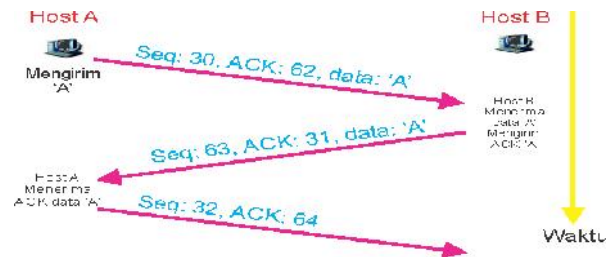
mengkombinasikan keunggulan *PAPR* yang rendah dengan daya tahan terhadap gangguan lintasan jamak dan alokasi frekuensi yang fleksibel dari *OFDMA*.

Jaringan LTE mengimplementasi permasalahan *Quality of Service (QoS)* pada radio dan jaringan *transport*, namun di sisi lain tidak mengadaptasi mekanisme *flow control*. *Flow control* merupakan layanan untuk mencegah data terlalu banyak dikirimkan pada satu waktu, yang akhirnya membuat “macet” jaringan internetwork. Hal itu menyebabkan terdapatnya kemungkinan paket yang akan hilang ketika terjadi *congestion* di setiap terminal atau *node*. Untuk mengatasinya, digunakan TCP yang mempunyai karakteristik, yaitu memiliki layanan *flow control*. *Transmission Control Protocol (TCP)* adalah suatu protokol yang berada di lapisan *transport* yang berorientasi sambungan (*connection oriented*) dan dapat diandalkan (*reliable*). Setiap varian TCP memiliki mekanisme kerja masing-masing untuk mengatasi permasalahan ketika terjadi *congestion*. Pada saat TCP mengirimkan *message* ke penerima, TCP akan memberikan state *ACK*. Apabila state *ACK* tidak diterima, maka TCP akan secara otomatis mengirim ulang *message* dan menunggu dengan selang waktu tertentu. Namun, apabila dalam selang waktu tertentu TCP gagal mengirimkan *message*, maka koneksi akan dihentikan. TCP mempunyai peran penting untuk bereaksi terhadap *packet loss* dan mengambil tindakan untuk mengurangi kongesti. TCP menjamin kehandalan dengan memulai *timer* setiap kali mengirimkan segmen. Jika tidak menerima *ACK* dari penerima dalam interval '*time-out*' maka TCP melakukan retransmisi segmen.

TCP *client* dapat membangun koneksi yang disediakan oleh *server*, saling menukar *message* melalui koneksi yang dibangun dan kemudian menghentikan koneksi. Sebagai protokol jaringan yang andal, protokol ini bekerja berkelanjutan untuk menjamin pengiriman semua *message*, dan sesuai dengan urutan pengirimannya. Hal tersebut untuk memastikan *client* menerima tepat seperti yang kita kirim. Oleh karena itu, aplikasi yang dapat mempertukarkan *message* dalam volume besar biasanya menggunakan TCP.

Pada saat melakukan *setup* koneksi, maka

- 1) *Client* mengirimkan kontrol TCP *SYN* ke *server*, dengan memberikan *sequence number* inisial
- 2) *Server* menerima TCP *SYN*, dan membalasnya dengan kontrol *SYNACK*
 - *ACK* yang menyatakan telah menerima *SYN*
 - Mengalokasikan *buffer*
 - Menghasilkan *sequence number* untuk ke *client*.



Gambar 4. Skenario Koneksi TCP^[25]

Pada saat menutup koneksi, maka urutan yang terjadi adalah seperti berikut ini:

- 1) *Client* mengirim kontrol TCP *FIN* ke *server*
- 2) *Server* menerima *FIN* dan membalas dengan *ACK*. Menutup koneksi dan mengirimkan *FIN* ke *client*.
- 3) *Client* menerima *FIN* dan membalas *ACK*. Kemudian menunggu balasan *ACK* terhadap *server*.
- 4) *Server* menerima *ACK* dan koneksi tertutup.



Gambar 5. Manajemen Koneksi TCP^[25]

FIN bit digunakan untuk melepaskan sambungan. Ini menentukan bahwa pengirim tidak memiliki lebih banyak data untuk mengirimkan. Namun, setelah menutup koneksi, proses penutupan dapat terus menerima data tanpa batas. *SYN* dan segmen *FIN* memiliki nomor urut dan dengan demikian dijamin untuk diproses dalam urutan yang benar.

Van Jacobson memperkenalkan *Congestion Control* sebagai solusi atas terjadinya kongesti dalam jaringan. Setidaknya ada dua bagian dalam algoritma kontrol kongesti yang pertama adalah fase *Slowstart Algorithm*, dimana pertama kali koneksi dibuka, maka nilai *cwnd* atau *W* berlaku persamaan berikut:

$$W \leq W + 1 \text{ per ACK} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$W \leq 2W \text{ per RTT} \dots\dots\dots (2.2)$$

Sehingga ukuran *cwnd* meningkat secara cepat dan tumbuh secara eksponensial. Hal ini dimaksudkan agar pengiriman *message* segera dimulai dengan ukuran sebesar-besarnya sampai batas tertentu. Batas inilah yang disebut sebagai *ssthresh* atau *slowstart threshold*. Ketika *cwnd* mencapai nilai lebih dari *ssthresh* maka TCP memasuki fase *Congestion Avoidance* yang mempunyai persamaan berbeda tergantung dari variasi TCP yang dipakai.

Pada TCP secara umum, algoritma *congestion avoidance* adalah sebagai berikut :

Jika Menerima ACK

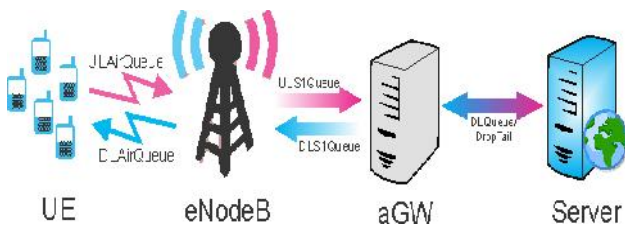
$$W \leq W + 1/W \text{ (additive increase) (2.3)}$$

Jika terjadi paket hilang (loss)

$$W \leq R_i \text{ (RTT) (adaptive decrease)..... (2.4)}$$

2. Metode

Topologi jaringan dalam simulasi dibuat dengan standar LTE. Simulasi dibedakan menjadi dua simulasi utama yaitu simulasi dalam menentukan *throughput* dan *fairness*, dan juga simulasi dalam menentukan *delay end-to-end*.



Gambar 6. Topologi Jaringan LTE Analisis Throughput^[11]

Dari gambar 6, terlihat topologi sederhana jaringan LTE yang terdiri dari *User Equipment*, *eNB*, *aGW*, dan *server*. Topologi jaringan tersebut adalah topologi jaringan LTE yang banyak digunakan dalam simulasi untuk melakukan analisis dari hasil simulasi tersebut.

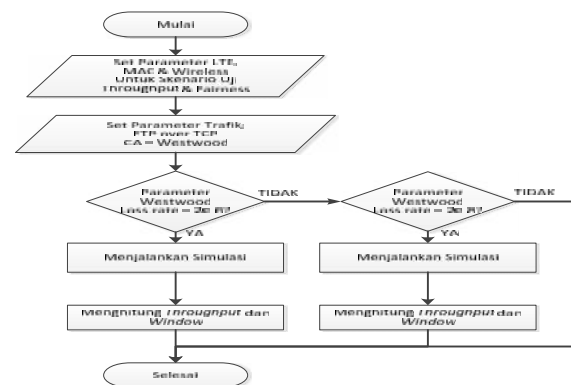
Pada simulasi menentukan *throughput* dan *fairness*, digunakan 1 *server*, 1 *eNodeB*, dan 5 *User Equipment* (*UE*). Pada pengujian ini, parameter yang digunakan dalam simulasi adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Parameter Pengujian *throughput* dan *fairness*

Aspek	3GPP-LTE
Teknologi akses :	
Downlink (DL)	OFDMA
Uplink (UL)	SC-FDMA
DL/UL modulasi	64 QAM
Slot Time	32.55 ns
Mode radio akses	FDD
Frekuensi	1.8 GHz
Daya Transmitter	39.81 mW
Sensitivitas Receiver	-106.5 dBm (22.4 pW)
SIFS	10 μs
Bandwidth Kanal	50.4 Mops
Peak Data Rate	
DL	Hingga 40 Mops
UL	
Channel Bandwidth	10 MHz
Ukuran window maksimum	65535
Radius cell	833 m
Kapasitas cell	5 pelanggan 10MHz
Bandwidth Link	UE-eNodeB : 50.4 Mops eNodeB-aGW : 400 Mops aGW-eNodeB : 400 Mops aGW-server : 1000 Mops
Waktu simulasi	300 s

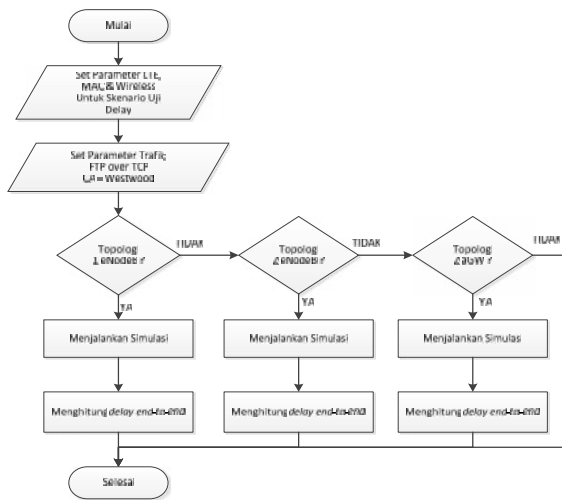
Loss rate	eNodeB-UE : 0.2% aGW-eNodeB : 0.0002% server-aGW: 0.0002%
Skema Antena	SISO
Trafik	FTP (File Transfer Protocol)
Algoritma Kontrol Kongesti	Westwood
Variasi Simulasi	Parameter loss rate 1e-3 dan 5e-3

Gambar 8 menjelaskan tentang diagram alir simulasi untuk pengujian *throughput* dan *fairness* dimana hal yang akan dijadikan variasi dalam pengujian adalah nilai *loss rate* yaitu pengaturan *error module* pada jaringan *wireless* LTE.



Gambar 8. Diagram alir pengujian *throughput* dan *fairness*

Pada skenario kedua adalah skenario yang digunakan untuk menentukan *delay end-to-end*. Skenario kedua terdiri dari 3 skenario. Skenario pertama dimana seluruh *UE* berada dalam *eNodeB* yang sama dalam suatu jaringan, skenario kedua dimana *UE* berada dalam 2 buah *eNodeB* yang berbeda dalam suatu jaringan LTE, dan skenario ketiga dimana *UE* berada dalam 2 buah *eNodeB* yang berbeda dan 2 buah *aGW* yang berbeda tetapi masih tetap dalam satu jaringan LTE yang sama. Pada skenario menentukan *delay end-to-end* ini, digunakan enam *user equipment*, dengan tiga *user equipment* awal sebagai *sender*, dan tiga *user equipment* berikutnya sebagai *receiver*. Berikut ini adalah gambar diagram alir yang menjelaskan tentang simulasi pengujian *delay end to end*.

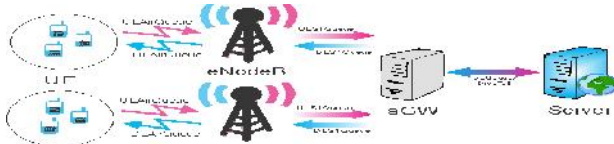


Gambar 9. Diagram alir Skenario Perhitungan Delay end-to-end

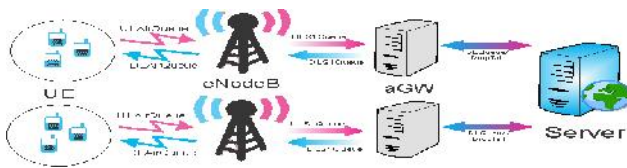
Pada simulasi ini dilakukan dengan 3 buah skenario. Adapun topologi simulasi perhitungan delay adalah sebagai berikut :



Gambar 10. Simulasi dengan satu eNB



Gambar 11. Simulasi dengan dua eNB



Gambar 12. Simulasi dengan dua eNB

Secara umum parameter yang di terapkan ke dalam simulasi seperti pada tabel 2. Parameter tersebut digunakan pada keseluruhan simulasi sebagai parameter LTE.

Tabel 2. Parameter skenario delay end to end

Aspek	Keterangan
Teknologi akses :	
Downlink (DL)	OFDMA
Uplink (UL)	SC-FDMA
DL / UL modulasi	64 QAM

Slot Time	32.55 ns
Mode radio akses	FDD
Frekuensi	1.8 GHz
Daya Transmitter	39.81 mW
Sensitivitas Receiver	-106.5 dBm (22.4 pW)
SIFS	10 µs
Bandwidth	50.4 Mbps
Jumlah UE	6
Channel Bandwidth	10 MHz (UE-eNodeB)
Ukuran window maksimum	65535
Radius cell	833 m
Jumlah UE	6 pelanggan
Bandwidth Link	UE-eNodeB : 50,4 Mbps (UL & DL)
	eNodeB-aGW : 100 Mbps
	aGW-eNodeB : 100 Mbps
	aGW-server : 500 Gbps
Waktu simulasi	50 s
Loss rate	eNodeB-UE : 0.02%
	aGW-eNodeB : 0.0002%
	server-aGW: 0.00002%
Traffic	FTP (File Transfer Protocol)
Algoritma Kontrol Kongesti	Westwood
Parameter loss rate	1e-3
Variasi Topologi	1 eNodeB yang sama, 2 eNodeB yang berbeda, dan dalam 2 aGW yang berbeda

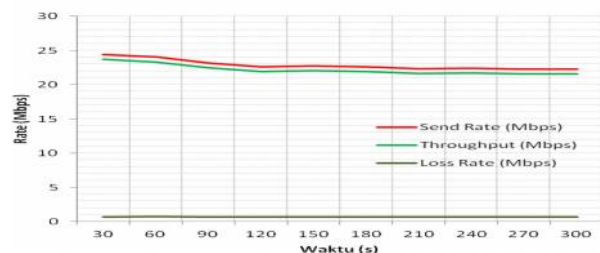
3. Hasil dan Analisis

3.1 Evaluasi Skenario I Analisis Throughput

Pada simulasi menentukan throughput dan fairness, digunakan 1 server, 1 eNodeB, dan 5 User Equipment (UE). Simulasi dilakukan selama 300s. Nilai throughput didapatkan dengan membagi jumlah paket dengan waktu yang dibutuhkan. Analisis Throughput ini dilakukan dengan mengambil variabel peubah, yaitu loss rate. Parameter loss rate diatur sebesar 5e-3 dan 1e-3. Untuk mendapatkan nilai throughput dapat dilakukan dengan membagi jumlah data dengan waktu yang dibutuhkan.

Pada skenario perhitungan throughput ini, dilakukan pengaturan loss rate sebesar 1e-3. Dari simulasi didapatkan besar data yang dikirimkan dan diterima yang telah diolah dengan data.pl dan datanew.pl yang terlampir, sehingga diperoleh hasil sebagai berikut sebagai berikut:

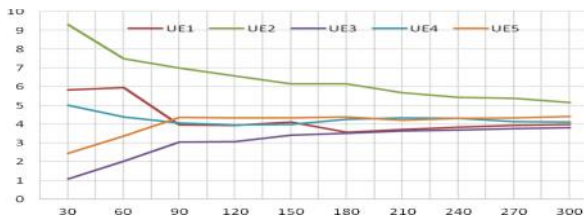
Dengan demikian dapat disajikan kedalam bentuk grafik pada gambar 13 dimana grafik tersebut menampilkan throughput rata-rata pada waktu tertentu.



Gambar 13. Grafik Data Rate TCP Westwood dengan loss rate 5e-3

Dari grafik pada Gambar 13, *throughput* memiliki nilai yang stabil pada 20 Mbps hingga 25 Mbps.

Throughput tiap user rata-rata bernilai 3.11 Mbps hingga 6.43 Mbps, dimana *User 2 (UE32)* memiliki *throughput* paling tinggi, yaitu 6.43 Mbps dan *User 3 (UE3)* memiliki *throughput* paling rendah yaitu 3.11 Mbps. Hal tersebut terjadi karena waktu mulai pengiriman segmen data data yang tidak bersamaan dan adanya *error* yang membuat ukuran *window* tidak maksimal. Jika ditampilkan ke dalam grafik, maka akan terlihat seperti gambar 14.



Gambar 14. Grafik *Throughput User TCP Westwood* dengan *loss rate 5e-3*

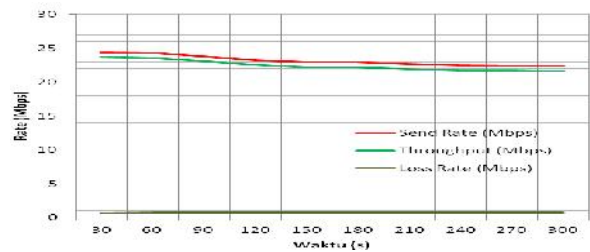
Dari Gambar 14, terlihat bahwa UE memiliki *throughput* yang berkisar antara 1 Mbps hingga 10 Mbps setelah jaringan dijalankan selama 300 detik. Hal tersebut terjadi karena adanya *error* sehingga ukuran *window* akan berubah-ubah menyesuaikan kondisi koneksi yang ada.

Dengan menggunakan *loss rate 1e-3* ini, sistem akan lebih memiliki *throughput* yang lebih baik. Dari simulasi didapatkan besar data yang dikirimkan dan diterima yang telah diolah dengan *data.pl* dan *datanew.pl* yang terlampir, sehingga diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil simulasi *throughput* dengan *loss rate 1e-3*

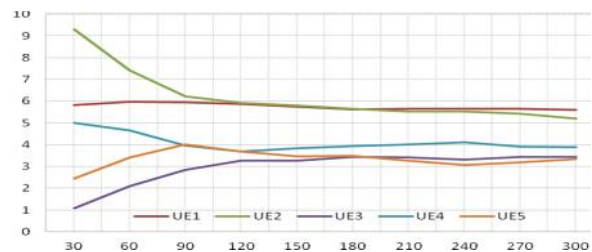
NO	Interval waktu (s)	Jumlah paket yang dikirimkan (Mb)	Jumlah Paket yang diterima (Mb)	Jumlah Paket Hilang (Mb)
1	30	733.045120	711.785920	21.259200
2	60	1461.702400	1416.523200	45.179200
3	90	2142.394880	2075.725120	66.669760
4	120	2790.597760	2701.472320	89.125440
5	150	3438.734080	3326.146240	112.587840
6	180	4133.870080	3997.453760	136.416320
7	210	4769.576320	4610.579520	158.996800
8	240	5394.075520	5213.346880	180.728640
9	270	6058.602240	5855.259840	203.342400
10	300	6690.547840	6464.600000	225.947840

Dengan demikian dapat disajikan kedalam bentuk grafik seperti pada gambar 15 berikut yang menampilkan grafik perbandingan antara *rate* terhadap waktu dimana terlihat *throughput* dari sistem berkisar antara 20 Mbps hingga 25 Mbps.



Gambar 15. Grafik *Throughput TCP Westwood* dengan *loss rate 1e-3*

UE1 dan UE2 memiliki *throughput* yang hampir sama besar, tetapi UE3, UE4 dan UE5 memiliki nilai *throughput* yang cenderung lebih kecil. Hal tersebut terjadi karena adanya *error* sehingga ukuran *window* akan berubah-ubah menyesuaikan kondisi koneksi yang ada.



Gambar 13. Grafik *Throughput User Westwood* *loss rate 1e-3*

3.2 Analisis Fairness

Analisis *fairness* dari TCP Westwood dapat dilakukan dengan membandingkan nilai kongesti *window* ataupun dengan membandingkan *throughput*-nya. Untuk menganalisa *fairness* dapat dilakukan dengan 2 metode, yaitu: *MaxMin Fairness* dan *Jain's Fairness*.

Dari data hasil analisis *throughput* didapatkan *send rate* dan *receive rate (Throughput)* sistem dengan waktu 300 detik, sebagaimana pada tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. *Throughput* rata-rata jaringan dengan varian *Loss rate*

Varian	Send Rate (Mbps)	Receive Rate (Mbps)
TCP Westwood Loss 5e-3	22.8888225	22.19046482
TCP Westwood Loss 1e-3	23.1675428	22.42054173

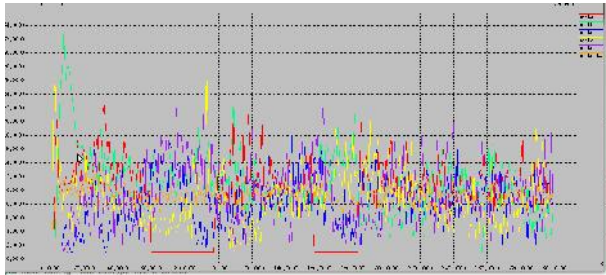
Berdasarkan hasil analisis *throughput*, didapatkan data seperti pada tabel 4 berikut.

Tabel 5 *Throughput* rata-rata tiap user dengan varian *loss rate*

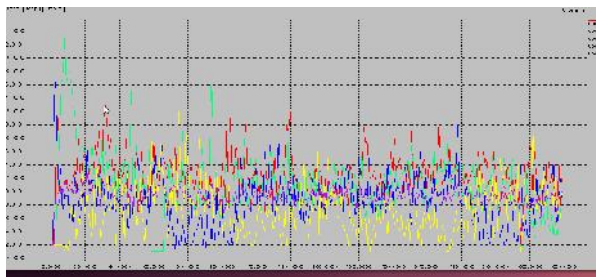
User	<i>Throughput (Mbps)</i>	
	<i>loss rate 5e-3</i>	<i>loss rate 1e-3</i>
UE1	4.29	5.76
UE2	6.43	6.20

UE3	3.11	2.96
UE4	4.26	4.10
UE5	4.05	3.34

Dari hasil simulasi, *congestion window* untuk TCP Westwood dengan *loss rate* $5e-3$ dan $1e-3$ berturut-turut seperti pada gambar 16 dan gambar 17 dibawah ini.



Gambar 16. Congestion Window Westwood loss rate $5e-3$

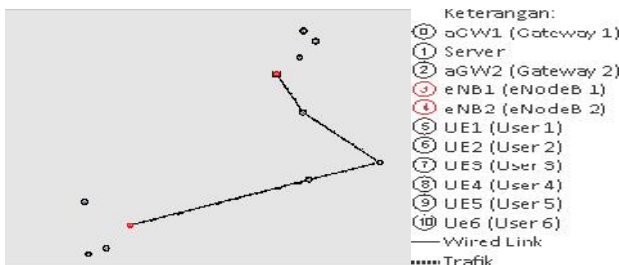


Gambar 17. Congestion Window Westwood loss rate $1e-3$

3.3 Analisis Delay End-to-End

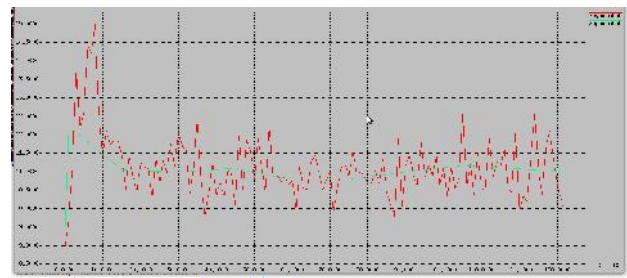
Analisa *delay end to end* ini dilakukan dengan 3 variasi topologi yang berbeda tetapi masih dalam 1 server yang sama. Variasi topologi tersebut dilakukan untuk memvariasi *delay* transmisi yang tidak ditentukan (*random*) dan *loss rate* $5e-3$.

Untuk topologi 1, percobaan dilakukan dengan menggunakan 2 *aGW* yang terhubung dengan 1 server. Masing-masing *aGW* terhubung dengan 1 *eNodeB* yang memiliki 3 user (UE) seperti pada gambar 18 berikut.



Gambar 18 Topologi *delay end to end* 2 aGW

Gambar 18 merupakan hasil simulasi *delay end-to-end* dengan 2 *aGW*, dimana jika ditampilkan dalam grafik maka, hasil simulasi ini akan tampak seperti pada gambar 19 berikut ini.

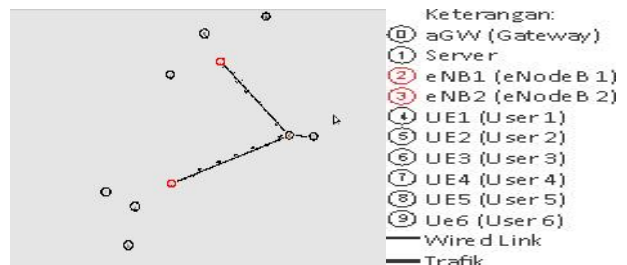


Gambar 19. Grafik hasil simulasi *Delay end-to-end* 2 aGW

Adapun *delay* yang terjadi selama simulasi ditampilkan pada gambar 19 merupakan rata-rata *delay* dalam interval *event* tertentu yang di sample sesuai dengan nilai pada gambar 19 diatas, dimana total *event* yang terjadi pada simulasi ini adalah 131555 *event* yang dihasilkan menggunakan *perl*.

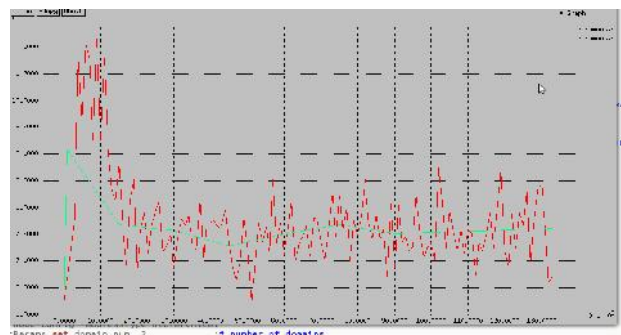
Dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai *delay end-to-end* rata-rata dari sistem dengan membagi total *delay* dengan banyaknya data, sehingga hasil *delay* rata-rata dari sistem adalah 11.119629 ms.

Untuk topologi 2, percobaan dilakukan dengan menggunakan 2 *eNB* yang terhubung dengan 1 server. Masing-masing *eNB* terhubung dengan 1 *aGW* dalam 1 server. Tiap *eNB* memiliki 3 user (UE), seperti pada gambar 20 berikut.



Gambar 20. Topologi *delay end to end* 2 eNB

Gambar 20 merupakan hasil simulasi *delay end-to-end* dengan 2 *eNB* dimana jika ditampilkan dalam grafik maka, hasil simulasi ini akan tampak seperti pada gambar 21 berikut ini.

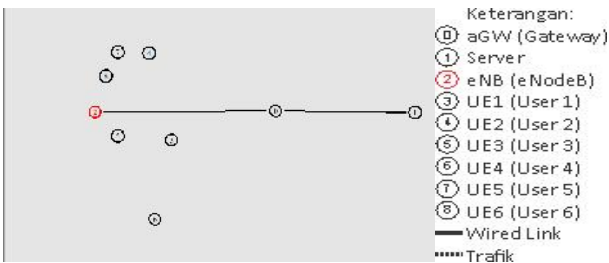


Gambar 21. Grafik hasil simulasi *Delay end-to-end* 2 eNB

Adapun *delay* yang terjadi selama simulasi ditampilkan pada gambar 21 merupakan rata-rata *delay* dalam interval *event* tertentu yang di sample sesuai dengan nilai pada gambar diatas, dimana total *event* yang terjadi pada simulasi ini adalah 147007 *event* yang dihasilkan menggunakan *perl*.

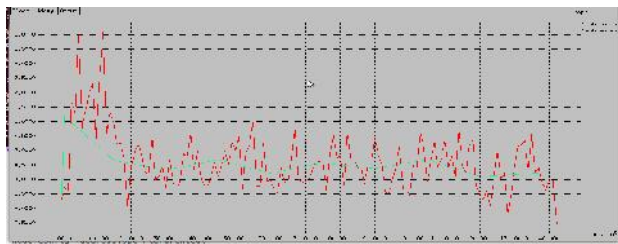
Dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai *delay end-to-end* rata-rata dari sistem dengan membagi total *delay* dengan banyaknya data, sehingga hasil *delay* rata-rata dari sistem adalah 7,718798464 ms

Untuk topologi 3, percobaan dilakukan dengan menggunakan 1 *eNB* yang terhubung dengan 1 *server*. *eNB* terhubung dengan 1 *aGW* dalam 1 *server* dimana *eNB* memiliki 6 *user (UE)*, seperti pada gambar 22 berikut.



Gambar 22. Topologi *delay end to end* 1 *eNB*

Gambar 23 merupakan hasil simulasi *delay end-to-end* dengan 1 *eNB* dimana jika ditampilkan dalam grafik maka, hasil simulasi ini akan tampak seperti pada gambar 23 berikut ini.



Gambar 23. Grafik hasil simulasi *Delay end-to-end* 1 *eNB*

Adapun *delay* yang terjadi selama simulasi ditampilkan pada gambar 23 berikut ini yang merupakan rata-rata *delay* dalam interval *event* tertentu yang di sample sesuai dengan nilai pada gambar diatas, dimana total *event* yang terjadi pada simulasi ini adalah 142054 *event* yang dihasilkan menggunakan *perl*.

Sesuai gambar 23, maka dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai *delay end-to-end* rata-rata dari sistem dengan membagi total *delay* dengan banyaknya data, sehingga hasil *delay* rata-rata dari sistem adalah 4,609772866 ms.

4. Kesimpulan

TCP Westwood dengan *loss rate* $1e-3$ mempunyai *throughput* rata-rata lebih tinggi dibandingkan *TCP Westwood* dengan *loss rate* $5e-3$ dengan selisih *throughput* sebesar 0,23007691 Mbps, dan selisih *throughput* tiap *user* rata-rata sebesar 0,0495 Mbps. Berdasarkan *throughput*, *Fairness index user TCP Westwood* dengan *loss rate* $5e-3$ lebih baik dari *TCP Westwood* dengan *loss rate* $1e-3$ dengan selisih 0.173%. Berdasarkan *window size*, *TCP Westwood* dengan *loss rate* $1e-3$ indeks *fairness* yang dimiliki *user* memiliki deviasi rata-rata 0.203538, sedangkan pada *TCP Westwood* dengan *loss rate* $5e-3$ hanya 0.077365, sehingga *TCP Westwood* dengan *loss rate* $5e-3$ memiliki *fairness* lebih baik. *TCP Westwood* dengan *loss rate* $5e-3$ memiliki indeks *fairness* lebih baik dibandingkan dengan *TCP Westwood* dengan *loss rate* $1e-3$, tetapi memiliki *throughput* sistem yang lebih kecil. Pada pengujian *delay*, *delay end to end* dengan topologi 1 *eNodeB* lebih kecil dibandingkan skenario 2 *eNodeB* ataupun 2 *gateway*, sehingga *fairness* topologi 1 *eNodeB* lebih baik. Sehingga, untuk penelitian berikutnya diharapkan adanya pengembangan topologi jaringan, khususnya penambahan jumlah *user*, dan pembahasan detail mengenai estimasi *bandwidth*.

Referensi

Journal:

- [1]. Playtoni, Kh. *Design and Development of Handoff Management System in LTE Networks using Predictive Modelling*. 2009.
- [2]. Rachmat, M. *Teknologi Jaringan Akses LTE (Long Term Evolution)*. Makalah Teknik Telekomunikasi Jurusan Elektro Universitas Hasanuddin. 2013.
- [3]. *Pengenalan Teknologi Long Term Evolution*. Universitas Sumatera Utara

Textbooks:

- [4]. Elmannai, Wafa. *TCP-UB: A New Congestion Aware Transmission Control Protocol Variant*. *International Journal of Computer Networks & Communications*. USA. 2012
- [5]. Hagag, Shima. *Enhanced TCP Congestion Avoidance Mechanism (TCP WestwoodNew)*, *International Journal of Computer Application*. Cairo. 2012

Thesis/Disertation:

- [6]. Sarkar, Mohanchur. *Modified TCP Peach Protocol for Satellite based Network*, *International Journal of Electronics and Electrical Engineering*. India. 2012.
- [7]. Cahyo, Nur. *Evaluasi Kinerja Penjadwalan Weighted Fair Queueing (WFQ) Dengan Adaptive Modulation And Coding (AMC) dalam Jaringan Mobile WIMAX*. 2013