

Simulasi Pengaruh Shadowing dan Rayleigh Fading terhadap Performansi TCP Reno pada Jaringan UMTS

Yetti Yuniati

Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung
Jl. Prof. Dr. Soemantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung 35145
yetti.yuniati@eng.unila.ac.id

Intisari---**Universal Mobile Telecommunication System (UMTS)** merupakan perkembangan global teknologi *mobile network* untuk *packet data*. Sistem UMTS ini menggunakan *Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA)* sebagai *air-interfacenya*. Seperti komunikasi radio network lainnya, misalnya GPRS, maka sebagian besar aplikasi dari UMTS bersifat *end-to-end application* yang menggunakan *Transmission Control Protocol (TCP)*. Pada jaringan yang menggunakan kanal radio, perubahan kondisi kanal, pergerakan user dapat mempengaruhi kinerja sistem. Pengaruh *shadowing*, *multipath (Rayleigh fading)* inilah yang disebut sebagai *wideband effect loss*. *Wideband effect loss* ini dihitung menggunakan software MatLab. Hasil dari file trace perhitungan pengaruh *wideband effect loss* ini kemudian dijadikan input pada NS-2 Simulator untuk dihitung performansi jaringan UMTS yang menggunakan HSDSCH. Hasil dari uji kinerja sistem UMTS yang dipengaruhi oleh *wideband effect loss* sangat dipengaruhi oleh jarak user terhadap node B, jumlah user pada *cell*, kecepatan pergerakan user, *shadowing*, *multipath*, dan *Rayleigh fading*. Performansi sistem UMTS yang paling baik diperoleh bila jarak user terhadap node B dekat ($\pm 300\text{m}$) sedangkan semakin jauh jarak user terhadap node B maka performansi sistem akan semakin menurun.

Kata Kunci---TCP, multipath, wideband effect loss, throughput, HSDSCH, UMTS.

Abstract---**Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)** is the forthcoming global mobile network for packet data. This network uses the *Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA)* air interface. Contrary to other Radio Networks like GPRS, most of UMTS applications will be *end-to-end applications* and as a result the *Transmission Control Protocol (TCP)* will be used. In a wireless environment that used radio channel, mobile users can make the performance of system decrease. The influence of *multipath (Rayleigh fading)* was calculated by MatLab software. The result from MatLab trace used in NS-2 environment to looking for the performance of UMTS system that used HSDSCH channel. The result of simulation have done, the performance of UMTS system HSDSCH channel that influence with radius user from node B, the number of user in cell, the moving of users, *shadowing*, *multipath*, and *Rayleigh fading*. The best performance result was received if the radius of users is near from node B ($\pm 300\text{m}$), moreless if radius users from node B is far, so the performance will be decrease.

Keywords---TCP, multipath, wideband effect loss, throughput, HSDSCH, UMTS

I. PENDAHULUAN

Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) merupakan jaringan mobile yang menyediakan layanan untuk paket data. Jaringan UMTS ini menggunakan Wideband

Code Division Multiple Access (WCDMA) air interace. Seperti jaringan radio lainnya misalnya GPRS, sebagian besar application pada UMTS bersifat *end-to-end application* dan sebagai protokolnya digunakan *Transmission Control Protocol (TCP)*.

Meskipun TCP sudah diperkenalkan beberapa tahun yang lalu pada jaringan “*wired internet*”, TCP terus dikembangkan agar dapat menjadi transfer *protocol*. Salah satu kelemahan TCP adalah dapat menyebabkan “*loss*” pada *mobile networks*. Hal ini disebabkan karena adanya *traffic congestion* or *losses* pada jaringan *wireless*. Tetapi dengan mekanisme ARQ maka “*loss*” yang terjadi dapat di atasi sehingga proses pengiriman data dapat berlangsung secara optimal.

Pada jaringan UMTS yang menggunakan kanal HSDSCH, kualitas kanalnya sangat dipengaruhi oleh wideband effect loss. *Wideband effect loss* ini dapat terdiri dari: *Rayleigh fading*, *shadowing* dan *multipath fading*. Karna itu diperlukan suatu analisis untuk mengetahui bagaimana pengaruh *wideband effect loss* ini pada transfer data pada jaringan UMTS.

Penelitian ini bertujuan untuk meneliti dan menganalisis bagaimana performansi TCP yang disebabkan oleh adanya *wideband effect loss* pada jaringan UMTS. Hal ini dilakukan agar operator dapat memberikan pelayanan yang optimal pada users.

Dalam paper ini dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak Network Simulator-2 dan Matlab 7.01

A. Tinjauan Pustaka

Dalam arti yang sederhana TCP/IP (*Transmission Control Protocol/ Internet Protocol*) adalah nama keluarga protokol jaringan. Protokol adalah sekelompok aturan yang harus diikuti oleh perusahaan-perusahaan dan produk-produk software agar dapat saling berkomunikasi antara satu dengan yang lainnya.

Istilah TCP/IP mengacu kepada seluruh keluarga protokol yang dirancang untuk mentransfer informasi sepanjang jaringan. TCP/IP merupakan dua protokol yang berbeda, dimana TCP bertanggung jawab memecah informasi ke dalam beberapa paket,

sedangkan IP bertanggung jawab untuk mentransfer paket-paket tersebut sesuai tujuannya. Kemudian TCP yang ada pada tujuan akan menyatukan kembali paket-paket tersebut sesuai aslinya.

Kesederhanaan dan efisiensi yang dimiliki oleh TCP/IP memiliki kelemahan yang tak terpikirkan oleh penciptanya, bahwa protokol tersebut juga harus melaksanakan pekerjaan yang super kompleks. Untuk mengatasi kompleksitas dari protokol TCP/IP ini maka dilakukan pengembangan pada protokol TCP/IP tersebut. TCP Reno dan TCP Sack merupakan contoh pengembangan protokol TCP/IP.

Protokol ini bersifat *Connection-based*, artinya kedua mesin pengirim dan penerima tersambung dan berkomunikasi satu sama lain sepanjang waktu. Teknologi IP adalah teknologi *connectionless oriented*, dimana proses transmisi informasi dari pengirim ke tujuannya tidak memerlukan pendefinisian jalur terlebih dahulu, seperti halnya teknologi *connection oriented*.

Kadang kala timbul kemacetan yang pada rute tertentu yang dalam dunia IP kerap diistilahkan sebagai kongesti, dan ini yang menjadi sebab utama keluhan lambat dari pada penikmat internet. Secara mendasar sulit untuk dibenahi karena memang sifat dari protokolnya seperti itu, tak ada *class of service* dalam penyampaian paketnya.

II. DASAR TEORI

A. TCP Reno

TCP Reno adalah pengembangan dari TCP yang sudah ada. Reno didefinisikan sebagai TCP yang berisi algoritma yang dijelaskan dalam RFC 2001 [Ste97]. Algoritma ini termasuk *slow start*, *fast retransmit* dan *fast recovery*, dan *congestion avoidance*.

TCP Reno memiliki ukuran window maksimum adalah 65535 bytes. Sebuah koneksi harus menggunakan pilihan skala

window yang didefinisikan dalam RFC 1323 [JBB92], untuk meningkatkan ukuran window diatas 65535. pilihan skala window ini adalah pilihan tiga bytes yang dikirim dalam segmen SYN.

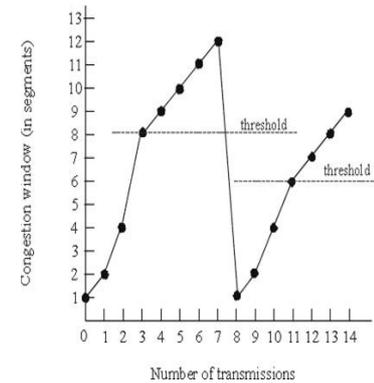
Pilihan *window scale* menyediakan dua tujuan, ia memberi sinyal bahwa TCP siap baik mengirim dan menerima window scaling, dan mengkomunikasikan faktor skala untuk mengaplikasikan ke window. Faktor skala secara logaritma dikodekan sebagai sebuah daya integer dari dua. Daya dari dua faktor skala memungkinkan penskalaan dapat diimplementasikan dengan mudah dengan binary shift operators. Kedua sisi harus mengirim opsi *window scale* untuk memungkinkan window scaling.

Untuk mempertahankan integritas segmen baru di jaringan, opsi window scale harus tidak melampaui 2^{30} ($\text{shift.cnt} = 14$). Sebuah segmen data dianggap kuno jika segmen tidak di dalam 2^{31} bytes dari pinggir kiri window. Setiap data yang dianggap kuno ditolak oleh receiver. Karena window maksimum yang diijinkan adalah 2^{30} , window TCP standar $65535 = 2^{16} - 1 + \text{max.scale size} = 2^{14}$, ini memungkinkan window sebesar 1 GB.

B. Kontrol Kongesti (Congestion Control) [14]

Algoritma kontrol kongesti TCP menentukan bagaimana TCP mencegah dan bereaksi terhadap terjadinya kongesti. Algoritma ini juga mencatat performansi TCP bila terjadi kesalahan. Dua variabel utama yang terlibat dalam kontrol kongesti TCP adalah congestion window (cwnd) dan slow start threshold (ssthresh). Saat membangun koneksi baru, cwnd diinisialisasikan dengan 64KB (maksimum window size). Variabel ini digunakan untuk mengontrol sejumlah data yang dikirim dengan algoritma kendali kongesti, slow start, congestion avoidance dan fast recovery. Slow start menaikkan cwnd, fast recovery menyesuaikan cwnd saat

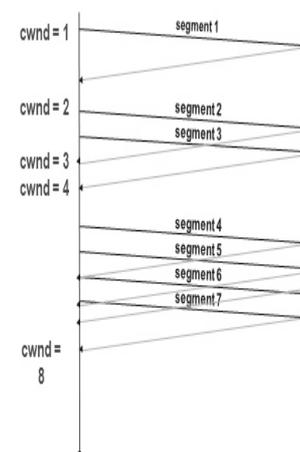
loss, dan congestion avoidance menaikkan dengan perlahan cwnd.



Gbr. 1 Kurva Algoritma Kongesti [24]

C. Slow Start [8]

Slow start mengizinkan TCP memeriksa kondisi jaringan dengan menaikkan secara perlahan data yang diinjeksikan ke dalam network. Algoritma slow start menggunakan congestion window, untuk mengontrol flow data. Cwnd diinisialisasi ke satu segmen, biasanya 512 bytes. Prinsip slow start sederhana, bahwa untuk setiap ACK yang diterima, menambahkan satu segmen ke cwnd. Proses slow start dapat dilihat pada gambar 2.



Gbr. 2 Ilustrasi Proses Slow-Start [24]

Pengirim dapat mengirimkan data sampai besarnya mendekati nilai congestion windows minimum. Ssthresh diinisialisasi ke window yang diperlihatkan penerima, dimana nilai ssthresh tersebut didapat dari setengah cwnd pada saat pengirim tidak menerima ACK. Saat cwnd lebih besar atau sama dengan nilai ssthresh, koneksi memasuki fase congestion

avoidance. Jika kapasitas jaringan dapat dipenuhi sebelum $cwnd$ lebih besar dari $ssthresh$, maka gateway akan memberi sinyal kongesti dengan membuang segmen yang tidak tertampung pada gateway dan TCP akan memasuki fase retransmit setelah tiga ACK duplikat dikirimkan.

D. Congestion Avoidance^[24]

Jalur bottleneck dapat terjadi saat saluran besar terhubung ke saluran kecil. Kongesti terjadi saat volume segmen dapat melampaui buffer space gateway. Gateway akan terus membuang segmen sampai buffer space tersedia. Proses ini memberi sinyal kongesti pada koneksi TCP melalui ACK duplikat atau retransmission timeout. Saat kongesti terjadi, koneksi melakukan recovery lalu memasuki fase congestion avoidance. Jika retransmission timeout terjadi, $cwnd$ diset ke satu MSS. Saat $cwnd > ssthresh$, fase slow start selesai, dan congestion avoidance mengambil alih proses yang berlangsung.

Congestion window menaikkan $cwnd$ dengan:

$$Segment\ size * \frac{Segment\ size}{cwnd}$$

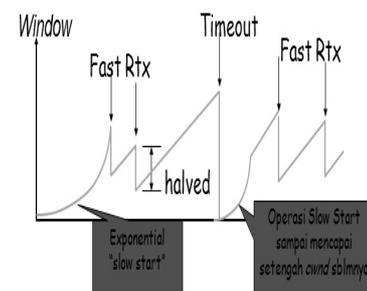
Saat fase congestion avoidance, $cwnd$ tidak akan pernah dipecah lebih dari satu segmen per RTT dan semua segmen dalam window akan di-ACK yang menandakan bahwa data yang dikirimkan sudah sampai di penerima. Pada fase *congestion avoidance* prosesnya dapat digambarkan seperti laju pertumbuhan linear, sedangkan pada fase *slow-start* prosesnya dapat digambarkan seperti laju pertumbuhan eksponensial.

E. Fast Retransmit dan Fast Recovery^[24]

RTO terjadi karena mendeteksi lost segment dalam TCP. Saat timeout terjadi, TCP akan kembali kepada fase slow start dan retransmit segmen yang lost. Ini menimbulkan retransmisi yang tidak perlu dari segmen out-of-order yang diterima, yang sedang disimpan di buffer receiver. Jacobson mengajukan fase fast retransmit dan kembali ke slow start. Fast retransmit terjadi bila tiga

ACK duplikat memicu retransmisi paket yang hilang. Prinsip kerja dari fast retransmit adalah bahwa kebanyakan segmen out-of-order akan muncul setelah satu atau dua segmen.

Setelah tiga ACK duplikat, telah aman jika diasumsikan segmen telah hilang. Jika pengirim sedang menerima ACK duplikat, maka data yang sedang melalui jaringan dan kembali ke slow start tidak dibutuhkan, sehingga fast recovery dapat dilakukan. Setelah tiga ACK duplikat, pengirim akan men-set $ssthresh$ menjadi $1\frac{1}{2}$ $cwnd$ yang meruntut turun ke banyak MSS yang terdekat. $Cwnd$ diset sama dengan $ssthresh$ ditambah tiga MSS ($1\frac{1}{2}$ $cwnd$ ditambah tiga segmen yang diterima yang telah meninggalkan jaringan). Proses fast retransmit ini dapat dilihat pada gambar 3.



Gbr. 3 Fast Retransmit dan Fast Recovery^[24]

$Cwnd$ akan di-update dengan satu MSS untuk setiap ACK duplikat tambahan yang diterima. Jika $cwnd$ mengizinkan, pengirim akan mentransmit segmen baru kedalam jaringan. Segmen baru ini akan memicu ACK tambahan yang mungkin mengizinkan fase fast retransmit lainnya jika segmen tambahan telah hilang. Bila sepotong data baru di ACK, congestion window di set sama dengan $ssthresh$. Pengirim kemudian memasuki fase congestion avoidance.

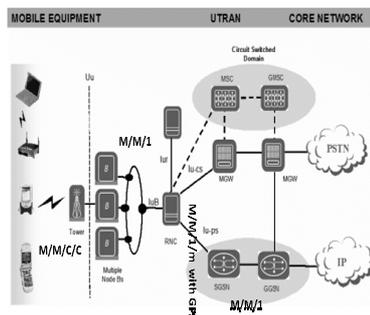
F. Konsep Dasar Sistem UMTS^[3]

1) Umum

Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) merupakan suatu revolusi dari GSM yang mendukung kemampuan

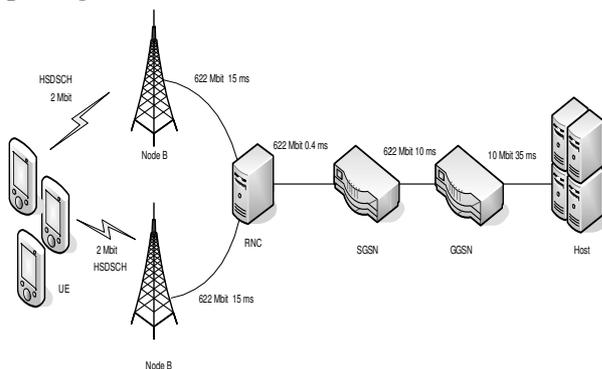
A. Proses Keberhasilan Pelayanan Aplikasi

Suatu aplikasi agar dapat dilayani oleh jaringan 3.5G harus melewati semua interface dari jaringan tersebut. Data trafik yang berupa paket-paket tersebut harus melewati beberapa komponen dari jaringan 3.5G yang terdiri dari Node B, RNC, SGSN, GGSN dan IP network (host). Kemungkinan terjadinya kegagalan pelayanan suatu aplikasi sangat dipengaruhi oleh kondisi jaringan 3.5G. Kemungkinan suatu aplikasi berhasil dapat dilihat pada gambar 6.



Gbr. 6 Jaringan 3.5G

Kemungkinan suatu layanan aplikasi berhasil adalah user meminta aplikasi ke operator melalui jaringan UMTS dan paket aplikasi tersebut sukses dilayani oleh keempat sistem antrian seperti yang terdapat pada gambar 7.



Gbr. 7 Pemodelan Jaringan UMTS untuk NS-2 Simulator

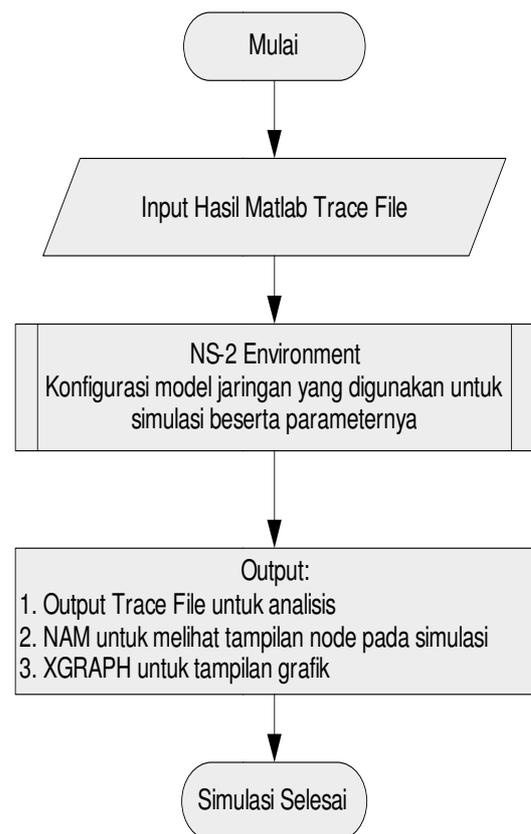
Pemodelan *wideband Effect Loss* pada simulasi ini ada tiga macam yaitu *shadowing*, *Multipath* dan *Rayleigh Fading*. Ketiga komponen dari *wideband* inilah yang akan diuji pengaruhnya terhadap performansi

jaringan UMTS yang menggunakan protokol transport TCP.

Pemodelan *wideband effect loss* ini dilakukan dengan bantuan software Matlab untuk menghasilkan file trace input yang sesuai dengan pengaruh yang disebabkan oleh *shadowing*, *multipath*, *environment*, jumlah user, jarak user ke node B, dan kecepatan gerak user. Output dari file trace pengaruh *wideband effect loss* ini adalah level daya yang akan digunakan untuk menentukan CQI (Channel Quality Indicator) optimal yang akan digunakan oleh user yang menggunakan layanan UMTS.

B. Proses Simulasi NS-2^[34]

Proses simulasi yang dilakukan untuk melakukan uji kinerja TCP pada jaringan UMTS dapat dilihat pada gambar 8.



Gbr. 8 Diagram Alir Simulasi pada NS-2

C. Parameter Sistem^[5]

Model sistem yang digunakan dalam simulasi berdasarkan pada standard UMTS dengan parameter sebagai berikut:

Tabel 2 Parameter UMTS

Variabel	RNC	Node B	DCH	HSDSCH
Bandwidth UL/DL	32 kbs	32 kbs	64 kbs	64 kbs
TTI UL/DL	2 ms	10 ms	10 ms	2ms

D. Penentuan Jumlah User^[24]

Jumlah dari *user* ini dihitung berdasarkan kapasitas dari *cell*. Untuk menghitung kapasitas dari WCDMA *Transceiver* (TRX) secara teoritis maka perlu dibuat asumsi-asumsi. Asumsi yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- 1) Seluruh *users* yang berada pada TRX *coverage* mempunyai distribusi yang sama sehingga mereka mempunyai jarak yang sama ke TRX antena.
- 2) Level daya yang digunakan sama karena itu interefensi yang terjadi juga berada pada level yang sama.
- 3) Seluruh *users* yang berada pada satu TRX menggunakan *baseband bit rate* yang sama dan *symbol rate* yang sama pula.

Untuk admission control 240Kbps per user maka dapat dihitung jumlah user per cell adalah:

$$G_p = \frac{3840000}{240000} = 16 = \text{Spreading factor}$$

$$E_b/N_o = 3\text{dB} = (2,5\text{dB} + 0,5\text{dB}) \text{ noise}$$

$$X \approx \frac{G_p}{E_b/N_o} = \frac{16}{3\text{dB}}$$

$$\approx 8 \text{ users per cell (dengan 1 TRX per cell)}$$

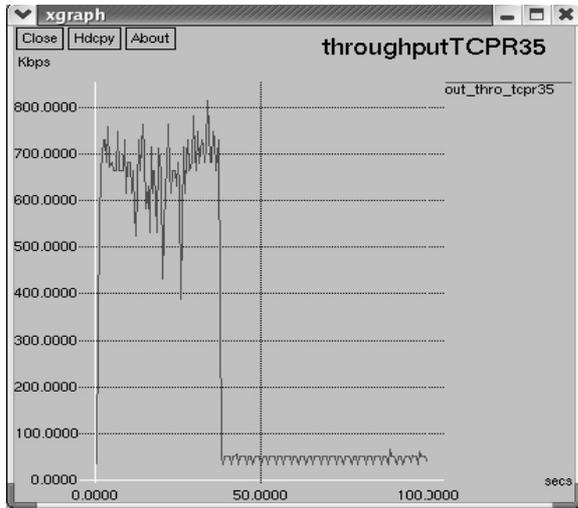
Untuk simulasi digunakan jumlah user sebanyak 5 dan 10 user.

IV. HASIL ANALISIS

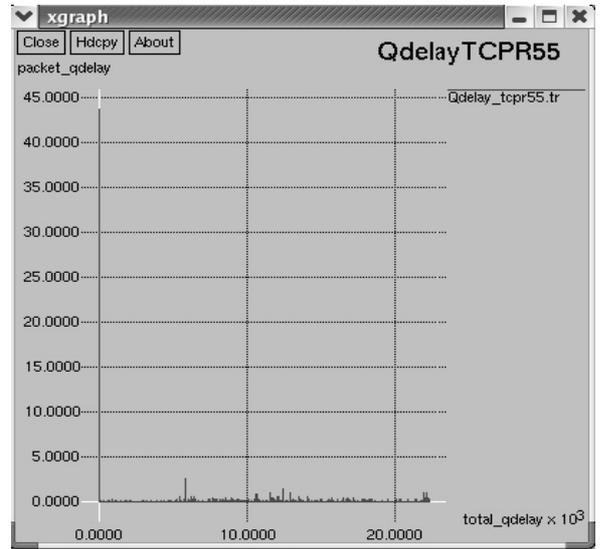
Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengkaji kinerja protocol TCP yang diimplementasikan pada jaringan UMTS yang dipengaruhi oleh adanya wideband effect loss. Parameter yang akan diamati adalah kinerja sistem yaitu throughput dan end-to-end delay yang diterima oleh user yang menggunakan jaringan UMTS dengan kanal HSDSCH yang akan direpresentasikan dalam bentuk grafik

throughput vs time , packet vs queue packet. Simulasi yang dilakukan menitikberatkan pada performansi dari TCP Reno Yang disebabkan adanya pengaruh wideband effect loss. Langkah awal yang akan dilakukan adalah mencari nilai CQI optimal dalam bentuk file trace untuk parameter-parameter dari jaringan radio, selanjutnya nilai CQI optimal yang didapatkan akan digunakan dalam simulasi NS-2 untuk membandingkan kinerja TCP Tahoe, Reno dan Sack. Nilai CQI ini juga menunjukkan besarnya nilai SNR dan prosentase BLER yang terjadi. SNR vs BLER ini digunakan dengan cara look-up table. Hal-hal yang akan dianalisis adalah kinerja dari ketiga jenis TCP, pengaruh kecepatan user, pengaruh jumlah user yang dilayani oleh node B pada satu cell, pengaruh dari jarak user dengan node B terhadap throughput dan end-to-end delay serta pengaruh dari jenis aplikasi service FTP yang digunakan. Untuk hasil uji kinerja performansi TCP Reno dengan jumlah user=5 serta variasi jarak 300m, 500m dan 700 m dapat dilihat pada tabel 3.

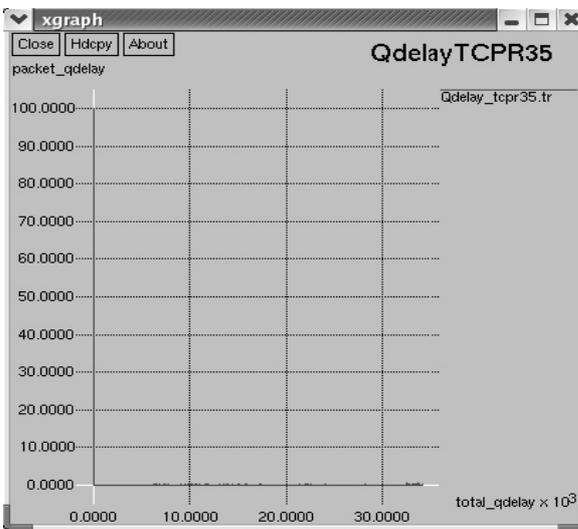
Protocol agent Reno merupakan pengembangan dari *protocol agent* TCP. Pada Reno, selain terdapat fase slowstart, congestion avoidance, juga terdapat fase *fast retransmit* dan *fast recovery*. Dengan adanya fase *fast retransmit* dan *fast recovery* ini, bila ada paket data yang *loss* atau error maka akan dengan cepat diatasi oleh *protocol agent* Reno ini sehingga jumlah paket-paket data yang menunggu dapat menjadi lebih kecil. Fase *fast retransmit* dan *fast recovery* ini tidak terdapat pada *protocol agent* TCP Tahoe.



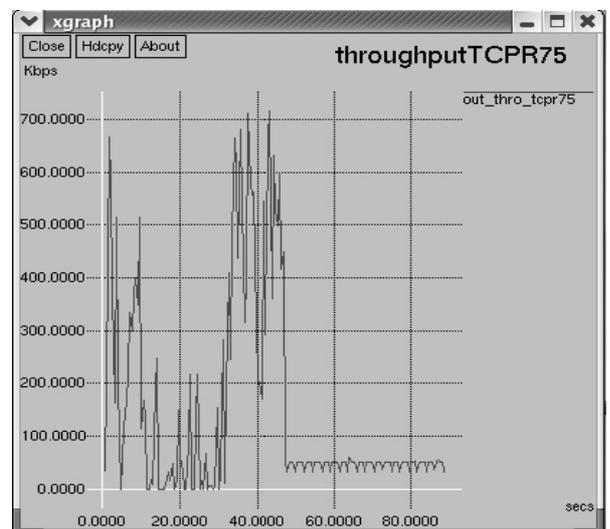
Gbr. 9 Throughput Reno, R=300m, 5UE



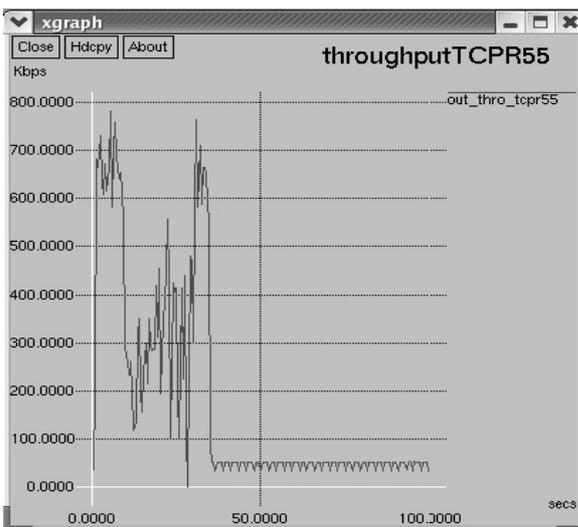
Gbr. 12 Qdelay Reno, R=500m, 5UE



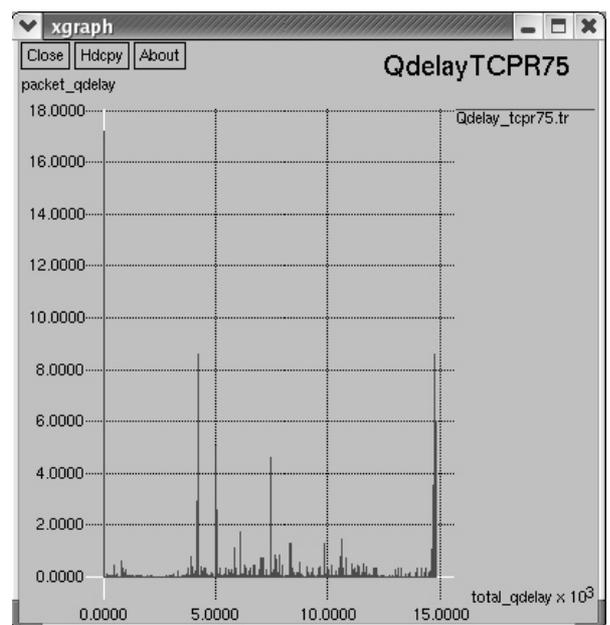
Gbr. 10 Qdelay Reno, R=300m, 5UE



Gbr. 13 Throughput Reno, R=700m, 5UE



Gbr. 11 Throughput Reno, R=500m, 5UE



Gbr. 14 Qdelay Reno, R=700m, 5UE

Dari hasil simulasi uji kinerja yang dilakukan dapat dilihat pada gambar 9 - gambar 14 didapat pengaruh jarak user terhadap *throughput* adalah semakin jauh jarak user terhadap node B maka nilai *throughput* akan semakin menurun. Hal ini disebabkan semakin jauh jarak user dengan node B maka level daya yang diterima oleh user akan semakin rendah dan pengaruh *loss* dikarenakan multipath juga dapat menyebabkan perubahan pada kanal transmisi. Sedangkan nilai *end-to-end delay* dan nilai *queue delay* bertambah besar. Hasil simulasi untuk variasi jarak user dan menggunakan *protocol agent* Reno dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3 Hasil Uji Kinerja

Jarak User	Hasil	Reno (Kbps)
300m	<i>Avg_Throughput</i> (Kbps)	273.312
	<i>Avg_delay</i> (ms)	17.90479
	<i>Avg_Qdelay</i> (ms)	7.90427
500m	<i>Avg_Throughput</i> (Kbps)	176.493
	<i>Avg_delay</i> (ms)	21.34327
	<i>Avg_Qdelay</i> (ms)	11.34277
700m	<i>Avg_Throughput</i> (Kbps)	131.003
	<i>Avg_delay</i> (ms)	37.27015
	<i>Avg_Qdelay</i> (ms)	27.26969

V. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- 1) Jumlah user dalam satu cell yang menggunakan kanal HSDSCH maka akan meningkatkan pengaruh interferensi, shadowing, multipath, meningkatkan load trafik sistem, menurunkan nilai *throughput*, menambah besar jumlah *queue* paket di jaringan, membuat *end-to-end delay* makin besar.
- 2) Jarak user dari node B akan mempengaruhi interferensi, shadowing,

multipath. Semakin dekat jarak user dengan node B maka akan semakin tinggi level daya yang bisa diterima oleh user tersebut, bila semakin jauh dari node B maka level daya yang diterima akan semakin berkurang. Dari hasil simulasi di dapat untuk jarak user=300m memiliki nilai *throughput* paling tinggi, *end-to-end delay* yang paling rendah, jumlah paket yang menunggu di buffer makin sedikit. Sedangkan untuk jarak user paling jauh=700m didapat nilai *throughput* makin menurun, nilai *end-to-end delay* makin besar, dan jumlah paket yang menunggu di dalam sistem makin besar jumlahnya.

- 3) Jenis aplikasi trafik FTP yang digunakan berukuran 1000bytes digunakan untuk membuat simulasi dalam kondisi load trafik yang besar. Load aplikasi trafik ini juga dipengaruhi oleh jumlah user. Semakin banyak jumlah user yang berada dalam satu cell maka beban trafik jaringan akan semakin berat.

B. Saran

- 1) Melakukan penelitian yang membandingkan kinerja *protocol agent* TCP Reno pada jaringan UMTS yang menggunakan kanal HSDSCH bila aplikasi trafik yang digunakan beragam (Mix-traffic).
- 2) Melakukan kajian performansi bila pengaruh wideband effect *loss* tidak hanya pada Rayleigh fading, tetapi juga pada kondisi vehicular dengan kecepatan tinggi, misalnya 120 kmh/hr.

REFERENSI

- [1] Assaad, Mohamad, Djamel Zeghlache, "UMTS HSDPA Systems", Aurbach Publications, New York 2006.
- [2] A. Klemm, C. Lindemann and M. Lohmann, "Traffic Modelling and

- Characterization for UMTS Network“, GlobeCom2001, November 2001.
- [3] A. Bakre and B.R. Badrinath, Handoff and system support for indirect TCP/IP, in: Proceedings of 2nd Usenix Symposium on Mobile and Location-Independent Computing (April 1995) pp. 11–24.
- [4] A. Canton and T. Chahed, End-to-end reliability in UMTS: TCP over ARQ, in:
- [5] Bernhard H. Walke, “Mobile Radio Networks – Networking and Protocols”, John Willey, 1999.
- [6] E. Altman, K. Avrachenkov and C. Barakat, “A stochastic model of TCP/IP with stationary random loss”, in: Proceedings of IGCOMM 2000 (2000) pp. 231–242^[2].
- [7] F. Khafizov and M. Yavuz, “TCP over CDMA2000 Networks”, Internet Draft, draft-khafizov-pilc-cdma2000-00.txt
- [8] F. Baccelli and D. Hong, “TCP is max-plus linear”, in: Proceedings of SIGCOMM 2000 (2000) pp. 219–230.
- [9] G. Holland and N.H. Vaidya, “Analysis of TCP performance over mobile ad hoc networks”, in: *Proceedings of ACM Mobicom’99* (1999) pp. 219–230.
- [10] H. Inamura et al., “TCP over 2.5G and 3G wireless networks”, draft-ietf-pilc-2.5g3g-07 (August 2002).
- [11] H. Singh and S. Singh, “Energy Consumption of TCP Reno, Newreno, and SACK in Multi-Hop Networks”, ACM SIGMETRICS 2002, June 2002.
- [12] HSDPA *System Performance*. TGN-RAN Working Group 1 meeting #18. TSGR1#18(01)0036, Jan 2001^[1].
- [13] H. Balakrishnan et al., “Improving TCP/IP performance over wireless networks”, in: *Proceedings of ACM Mobicom* (November 1995) pp. 2–11.
- [14] H. Balakrishnan, V.N. Padmanabhan and R.H. Katz, “The effects of asymmetry on TCP performance”, in: *Proceedings ACM/IEEE Mobicom* (September 1997) pp. 77–89.
- [15] H. Kaaranen, A. Ahtianen, L. Laitenen, S. Naghian, V. Niemu, ”UMTS Networks Featuring the Internet”, Addison Wesley, 2001.
- [16] J. Lahteenmaki, “Radio Network Planning – Methods for Next Generation Systems”, Optimizing Next Generation Mobile Networks – ICM Conference, March 2000.
- [17] K. Brown and S. Singh, “M-TCP: TCP for mobile cellular networks”, *ACM Computer Communications Review* 27(5) (1997) 19–43.
- [18] K. Fall and S. Floyd, “Simulation-based comparisons of Tahoe, Reno and SACK TCP”, *ACM Computer Communication Review* 26(3) (1996) 5–21.