

Pengukuran dan Analisa Kinerja Jaringan HSDPA di Kota Banda Aceh

Teuku Yuliar Arif

Laboratorium Jaringan, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. T. Syech Abdurrauf No. 7 Darussalam, Banda Aceh, NAD, Indonesia

Abstrak— Banyak faktor yang dapat mempengaruhi kualitas dan kestabilan koneksi HSDPA. Dalam penelitian ini difokuskan pada pengukuran dan analisa kinerja jaringan HSDPA dengan parameter-parameter *user data throughput*, *round trip time*, dan *packet loss*. Dari hasil pengukuran dan analisa data diperoleh nilai *user data throughput* rata-rata sebesar 600,46 kbps dan maksimum sebesar 1262,40 kbps. Nilai *round trip time* rata-rata yang diperoleh yaitu indosatm2 sebesar 332,15 ms, Google sebesar 192,90 ms, dan Yahoo sebesar 342,88 ms. Nilai *packet loss* tertinggi terjadi pada sore dan malam hari yaitu masing-masing sebesar 6,35% dan 6,40%. Hal ini disebabkan oleh pembebanan jaringan pada waktu-waktu tersebut sangat padat dibandingkan waktu-waktu lainnya

Kata Kunci. *HSDPA, Throughput, Round Trip Time, Packet Loss.*

I. PENDAHULUAN

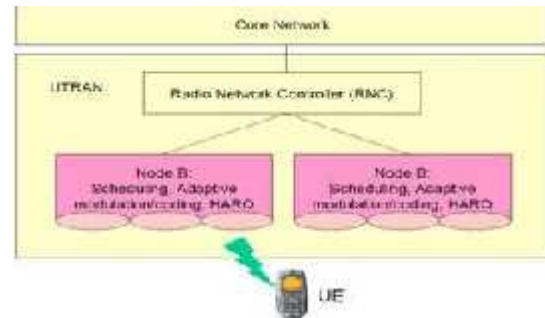
High Speed Downlink Packet Acces (HSDPA) adalah sebuah teknologi komunikasi bergerak yang berteknologi 3,5G (*third and half generation*) yang termasuk dalam keluarga teknologi *High-Speed Packet Acces* (HSPA) yang mampu meningkatkan kecepatan transfer data dan kapasitas data lebih besar pada jaringan yang berbasis *Universal Mobile Telecommunications System* (UMTS). HSDPA mendukung kecepatan *downlink* sebesar 1,8 Mbps, 3,6 Mbps, 7,2 Mbps dan 14,4 Mbps. Kecepatan yang lebih tinggi dapat diperoleh dengan teknologi *High Speed Packet Acces Plus* (HSPA+) yang dapat meningkatkan kecepatan *downlink* hingga 42 Mbps [1].

Saat ini di Kota Banda Aceh telah terdapat beberapa operator seluler yang menyediakan layanan akses internet berkecepatan tinggi dimana salah satunya adalah IM2 dengan produknya *IM2 Broadband Internet* [2].

Layanan akses internet kecepatan tinggi tersebut disediakan melalui jaringan HSDPA, 3G (UMTS), GPRS dan EDGE. Maksimum kecepatan transfer data yang diberikan adalah 2,6 Mbps sedangkan minimum kecepatan yang diberikan adalah 10 kbps untuk akses internasional dan 100 kbps untuk akses domestik ke *Indonesia Internet Exchange* (IIX) [2].

Cakupan area layanan HSDPA IM2 menjangkau beberapa kawasan, yaitu Batoh, Cot Leupon, Hotel Sultan, Lamnyong Lampaseh Kota, Lampeneureut, Neusu, Setui Raya, Lamteh, TVRI Banda Aceh [3].

Banyak faktor yang dapat mempengaruhi kualitas kinerja jaringan HSDPA. Dalam penelitian ini difokuskan pada pengukuran dan analisis kinerja jaringan HSDPA di kota Banda Aceh dengan parameter *user data throughput*, *round trip time*, dan *packet loss*.



Gambar 1. Arsitektur HSDPA

Sistematika penulisan paper ini terdiri atas lima bagian, dimana pada bagian II menjelaskan dasar teori, bagian III menjelaskan metodologi penelitian yang digunakan, bagian IV menjelaskan pembahasan hasil pengukuran dan pada bagian V akan dijelaskan butir kesimpulan.

II. DASAR TEORI

A. Prinsip Kerja HSDPA

Secara sederhana arsitektur jaringan HSDPA terdiri atas tiga bagian *Core Network* (CN), UTRAN yang terdiri dari *Radio Network Controller* (RNC) dan *Node B*, dan *User Equipment* (UE) atau biasa juga disebut sebagai *Mobile Station* (MS) seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Teknologi HSDPA selain dapat meningkatkan kecepatan akses data, juga mengurangi *latency* dan *round trip time*. Kemampuan ini diperoleh berkat penambahan kanal baru pada *layer* fisik, implementasi *Adaptive Modulation and Coding* (AMC), *Hybrid Automatic Repeat Request* (HARQ), *Fast Scheduling*, dan *Fast Cell Selection* (FCS) pada platform WCDMA [4],[5].

1) Adaptive Modulation and Coding

AMC merupakan teknologi utama yang menyebabkan HSDPA dapat mencapai *data rate* jauh lebih besar dari sistem sebelumnya. Sistem CDMA biasanya menggunakan skema modulasi konstan (misalnya M-PSK) dan *fast power control* agar segera dapat menyesuaikan dengan kondisi kanal. Sebaliknya, AMC menggunakan daya yang konstan dengan skema modulasi dan coding yang berubah sesuai kondisi kanal [4],[5].

2) Hybrid Automatic Repeat Request

HARQ menggunakan *buffer virtual* untuk mengirimkan salinan data yang dikirim sebelumnya. Saat retransmisi diminta, data yang rusak dibandingkan dengan salinan pada *buffer* untuk menentukan kualitas coding sehingga proses

retransmisi segera berhasil dilakukan. Hal tersebut akan meningkatkan rata-rata *throughput* [4],[5].

3) *Fast Scheduling*

Perubahan dasar yang dilakukan adalah penjadwalan pada *node B*. Dengan cara ini respon terhadap perubahan kondisi kanal segera dilakukan untuk menjamin layanan untuk UE. Tiga cara penjadwalan dipakai dalam sistem HSDPA yaitu: *Round Robin* (RR), *Maximum C/I*, *Proportional fairness* (PF) [4],[5].

4) *Fast Selection*

Perpindahan UE antar sel pada sistem CDMA pada umumnya menggunakan prosedur *soft handoff*. Akan tetapi HSDPA menggunakan cara yang lebih cepat dengan *hard handoff* dengan teknologi yang disebut *Fast Cell Selection* (FCS). FCS bekerja dengan memantau level *Signal to Interference Ratio* (SIR) seluruh *node B* dalam jangkauan UE lalu diarahkan pada *node B* yang dapat memberikan *SIR power CPICH* yang lebih tinggi [4],[5].

B. Parameter Kinerja Jaringan

ITU-T mendefinisikan kinerja jaringan yang dinyatakan dalam QoS. QoS merupakan istilah umum untuk menyatakan efek dari kinerja layanan secara keseluruhan dari sudut pandang *user*. Tiga parameter yang dapat menentukan QoS pada jaringan HSDPA dilihat dari sudut pandang *user* adalah *user data throughput*, *round trip time* (RTT), dan *packet loss*.

1) *User Data Throughput*

Throughput menggambarkan kecepatan transfer data yang sebenarnya atau kecepatan transfer data aktual pada suatu waktu tertentu dan pada kondisi jaringan tertentu ketika digunakan untuk mendownload suatu *file* dengan ukuran tertentu. Berikut adalah rumus pembandingan *throughput* dengan bandwidth [6]:

$$\text{Waktu download terbaik} = \frac{\text{ukuran file}}{\text{kecepatan transfer}}$$

$$\text{Waktu download tipikal} = \frac{\text{ukuran file}}{\text{throughput}}$$

Faktor-faktor yang menentukan *throughput* adalah piranti jaringan, tipe data yang ditransfer, topologi jaringan, banyaknya pengguna jaringan, spesifikasi komputer client/server dan beberapa faktor lainnya [6].

2) *Round Trip Time*

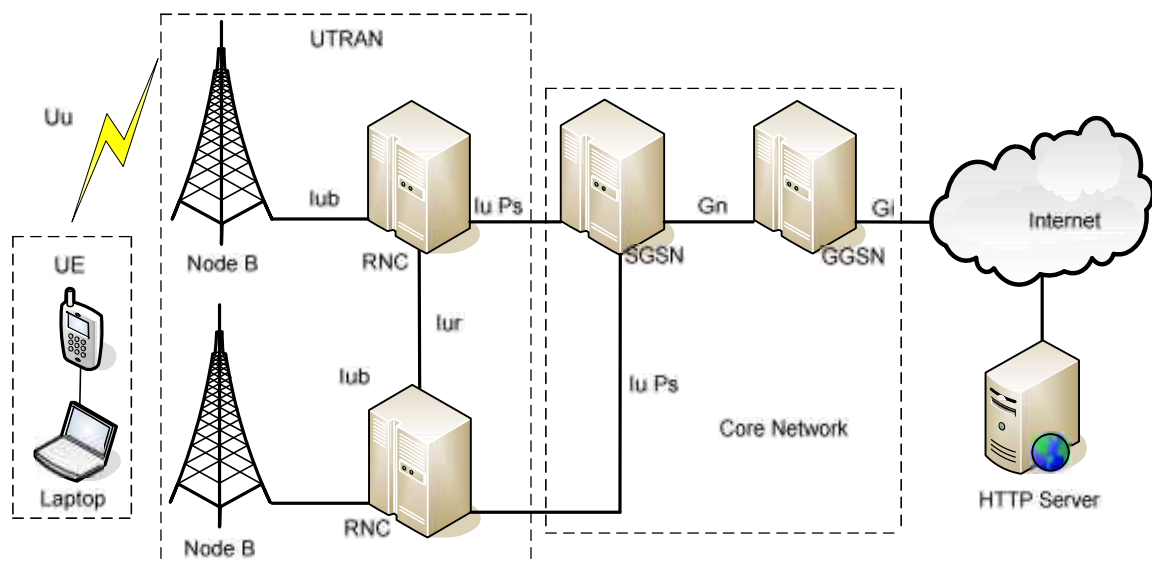
Di dalam pengiriman data melalui sebuah jaringan akan terdapat *latency* yang mengacu kepada *delay*. Biasanya *latency* diukur sebagai RTT dan RTT diukur pada *layer* aplikasi berupa respon ping Internet. RTT pada HSDPA dapat dipengaruhi oleh beberapa komponen diantaranya *MS delay*, *UL & DL TBF establishment delay*, *over-the-air delay*, *core network delay* serta *delay* antara jaringan HSDPA dengan jaringan eksternal [7].

3) *Packet Loss*

Packet Loss adalah banyaknya paket yang hilang selama proses transmisi dari sumber ke tujuan. Paket akan dibuang oleh jaringan karena tidak dapat diteruskan pada output interface. Ada beberapa alasan kenapa terjadi *packet loss* seperti *congestion* yang disebabkan antrian yang berlebihan dalam jaringan, *node* yang bekerja melebihi kapasitas *buffer*, *policing* atau *control* terhadap jaringan untuk memastikan bahwa jumlah trafik yang mengalir sesuai dengan besarnya kapasitas kanal. Jika besarnya trafik yang mengalir di dalam jaringan melebihi kapasitas kanal yang ada maka *policing control* akan membuang kelebihan trafik yang ada [8].

III. METODOLOGI PENELITIAN

Parameter kinerja HSDPA yang diukur adalah *user data throughput*, *Round Trip Time*, dan *Packet Loss*. Pengukuran atas ketiga parameter tersebut dilakukan terhadap jaringan HSDPA di kota Banda Aceh milik operator selular IM2 dengan metode pengukuran seperti diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skenario Pengukuran Kinerja Jaringan HSDPA

Pengukuran dilakukan dengan menghubungkan laptop ke *handphone* Nokia 5320 (USIM yang digunakan adalah jenis prabayar broom classic IM2) melalui interface kabel *micro Universal Serial Bus* (USB). *Handphone* disini berfungsi sebagai *modem* HSDPA. Untuk melakukan koneksi *Point to Point Protocol* (PPP) dari laptop ke *modem* digunakan aplikasi PPP *dialer* *wvdial*. Parameter-parameter koneksi HSDPA dikonfigurasi secara manual sesuai dengan parameter-parameter yang telah ditetapkan oleh IM2. Kemudian melakukan *dial-up networking* ke jaringan HSDPA melalui BTS (*Node B*). BTS meneruskan koneksi ke *router-router* di belakangnya hingga GGSN. GGSN akan meneruskan permintaan koneksi ini ke APN yang dalam hal ini ke APN IM2 untuk kemudian dilakukan mekanisme *Authentication, Authorization dan Accounting* (AAA) oleh *server* RADIUS. Apabila diberi hak untuk akses, koneksi akan terbentuk dan diberi alamat IP host dan DNS melalui DHCP. Selanjutnya UE telah *online* dan tersambung ke *Internet*.

UE yang digunakan adalah *handphone* nokia 5320 yang merupakan kategori 6 dengan 5 kode HS-DSCH simultan dan dapat menggunakan modulasi QPSK/ 16QAM. Kecepatan data yang mampu dicapai oleh UE nokia 5320 tersebut yaitu sebesar 3,6 Mbps. Namun dalam pengukuran ini jaringan HSDPA milik IM2 telah membatasi *throughput* hanya sampai 2,6 Mbps. Dan juga kemungkinan bahwa terdapat *user* lain yang sedang mengakses jaringan pada sel yang sama pada saat pengukuran sedang dilakukan.

A. Pengukuran Throughput

Pengukuran dilakukan berdasarkan perbedaan lokasi pengukuran yang mempunyai *receive signal level* (RSL) yang berbeda, perbedaan ukuran data, serta perbedaan waktu-waktu pengukuran. Pengukuran dilakukan dengan cara melakukan *download file* dengan beberapa ukuran yang berbeda. Masing-masing *file* tersebut diperoleh dari situs <http://dl2.foss-id.web.id/dokumen/zencafe-1.4-manual.pdf> dengan ukuran 1MB, <http://dl2.foss-id.web.id/aplikasi/egov/dispinda.tar.gz> dengan ukuran 6MB, dan dari <http://dl2.fossid.web.id/dokumen/Manual%20OpenOffice.org%20.03.tar.gz> dengan ukuran 12 MB.

200OpenOffice.org%20.03.tar.gz dengan ukuran 12 MB.

Pengukuran dilakukan selama empat kali dari pagi hingga malam hari. Proses *download* dilakukan dengan menggunakan aplikasi *download manager* *wget* [9] yang dijalankan pada sistem operasi Linux Ubuntu [10]. Kemudian proses *download* dimonitor satu per satu dengan menggunakan perangkat lunak bantu *vnstat* [11]. Pada *handphone* juga dijalankan perangkat lunak pemantau sinyal *CellTrack* [12] yang telah diinstall pada ponsel agar dapat dilihat level sinyal yang dapat diterima baik (*good radio condition*) atau buruk (*poor radio condition*) oleh *handphone* [15].

B. Pengukuran RTT

Pengukuran dilakukan pada beberapa lokasi yang berbeda, perbedaan *remote host* yang akan diuji ping, serta perbedaan waktu-waktu pengukuran. Pengukuran dilakukan dengan cara melakukan proses ping sebanyak 20 paket (c=20) untuk sekali proses ping ke tiga *remote host*, yaitu www.indosatm2.com, www.google.com dan www.yahoo.com. Proses ping dilakukan sebanyak empat kali dengan ukuran paket 64 byte dalam satu hari. Aplikasi ping [13][14] yang digunakan sudah dijalankan pada sistem operasi yang digunakan Linux Ubuntu pada mesin yang sama seperti pengukuran *throughput*. Waktu pengukuran dilakukan pada pagi, siang, sore, dan malam hari di dua lokasi selama tiga hari.

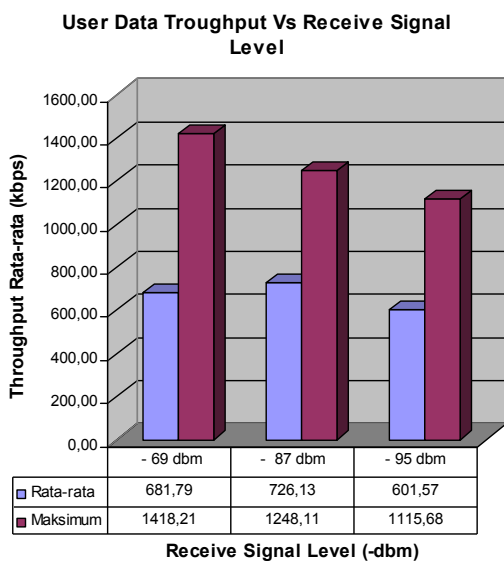
C. Pengukuran Packet Loss

Pengukuran *packet loss* sama dengan yang dilakukan pada pengukuran *round trip time* menggunakan aplikasi ping tetapi dengan memperhatikan persentase jumlah paket yang hilang selama pengiriman paket data.

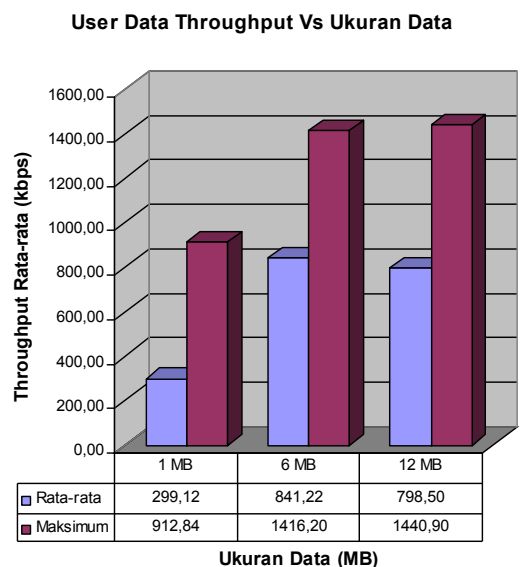
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengukuran

Hasil pengolahan terhadap data-data pengukuran *user data throughput*, pengukuran RTT, dan *packet loss* ini akan ditunjukkan dalam bentuk grafik.



Gambar 3. Grafik *user data throughput* rata-rata terhadap *Receive Signal Level*



Gambar 4. Grafik *user data throughput* rata-rata terhadap ukuran data

1) Hasil Pengukuran Data Throughput

Dari hasil pengolahan data didapatkan grafik *user data throughput* rata-rata dan maksimum terhadap *receive signal level*, ukuran data, waktu pengukuran dan grafik *user data throughput* total sebagai grafik kesimpulannya.

Pada Gambar 3 dapat dilihat pengaruh *receive signal level* terhadap *user data throughput*. Pada *receive signal level* yang baik akan diperoleh *user data throughput* yang lebih tinggi. Pada grafik dapat dilihat pada nilai RSL tertinggi, yaitu -69 dBm diperoleh nilai *throughput* rata-rata sebesar 681,79 kbps dan nilai *throughput* maksimum sebesar 1418,21 kbps. Hal ini dapat dikatakan UE berada dalam kondisi kanal radio yang baik dimana secara umum *User Equipment* berada dekat dengan *node B* sehingga UE dapat menggunakan modulasi 16 QAM yang akan menghasilkan nilai *throughput* yang lebih tinggi. Sedangkan untuk UE yang berada dalam kondisi kanal radio buruk dan jauh dari *node B* atau berada dalam kondisi interferensi dan berada didalam gedung, kanal radio akan menggunakan jenis modulasi QPSK yang menyebabkan *throughput* menjadi menurun.

Pada Gambar 3 dapat dilihat nilai RSL terendah yaitu, -95 dBm diperoleh nilai *throughput* rata-rata sebesar 601,57 kbps dan maksimum sebesar 1115,68 kbps. Nilai *throughput* pada RSL -95 dBm lebih rendah dibandingkan dengan nilai *throughput* pada RSL - 69 dbm. Hal tersebut diatas dapat dilakukan oleh karena adanya penggunaan *Adaptive Modulation Coding (AMC)* pada HSDPA. Sehingga modulasi yang digunakan dapat disesuaikan dengan kondisi kanal radio.

Pada Gambar 4 dapat dilihat pengaruh ukuran data terhadap *throughput* rata-rata dan maksimum yang dapat diperoleh. Semakin besar pertambahan ukuran data yang ditransmisikan akan diperoleh *user data throughput* yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan *throughput* akan bernilai relevan dengan banyak jumlah data yang ditransmisikan. *Throughput* akan disesuaikan dengan kebutuhan akses.

Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa pada waktu pagi dimana trafik seluler belum padat, atau pembebanan jaringannya masih rendah, maka akan diperoleh *user data*

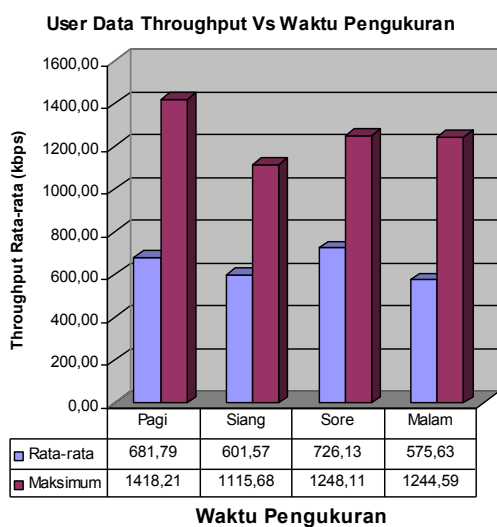
throughput yang lebih tinggi. Ini dikarenakan masih tersedianya sumber daya radio atau *time slot* yang dapat digunakan secara maksimum oleh UE. HSDPA menggunakan sistem kanal *shared* dimana kapasitas kanal akan dibagi rata sehingga kepadatan trafik sangat berpengaruh terhadap nilai *throughput* yang dapat diperoleh.

Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa *user data throughput* rata-rata yang dapat diperoleh adalah sebesar 600,46 kbps. Sedangkan *throughput* maksimum yang mampu dicapai dalam pengukuran ini adalah sebesar 1262,4 kbps. Nilai *user data throughput* rata-rata tersebut diatas adalah dua kali lipat kecepatan pada UMTS (3G) yaitu sebesar 384 kbps. Namun untuk nilai *throughput* maksimum yang diperoleh belum mencapai *throughput* sesuai teori 3,6 Mbps dan kemampuan dari *modem* yang digunakan yang termasuk ke dalam *category 6* dengan 5 *simultaneous code*. Bahkan *throughput* tersebut belum mencapai nilai *throughput* maksimum yang diimplementasikan oleh IM2 sendiri, yaitu sebesar 2,6 Mbps. *Throughput* yang didapat dari pengukuran tersebut diatas hanya mencapai *throughput* maksimum untuk UE *category 2* (1,2 Mbps).

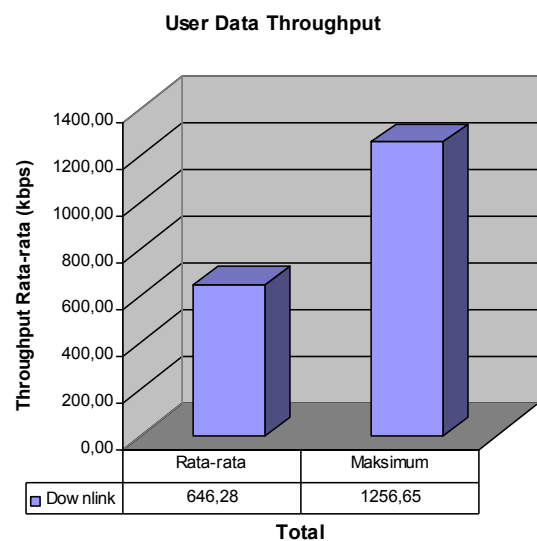
Hal ini dapat terjadi, dimana kanal HSDPA merupakan kanal *shared*, kapasitas kanal akan dibagi rata sesuai dengan jumlah user yang sedang online. Bila hal ini yang terjadi maka kemungkinan algoritma yang digunakan pada *scheduler* adalah *round robin*. Namun algoritma lain yang mungkin digunakan adalah *proportional fairness*, dimana user dilayani sesuai dengan kondisi kanal yang diperoleh. Hal lain dapat disebabkan terutama oleh masih belum stabilnya kondisi jaringan HSDPA IM2 di kota Banda Aceh, untuk saat ini jaringan IM2 masih tergolong baru dan masih menumpang pada jaringan Indosat.

2) Hasil Pengukuran RTT

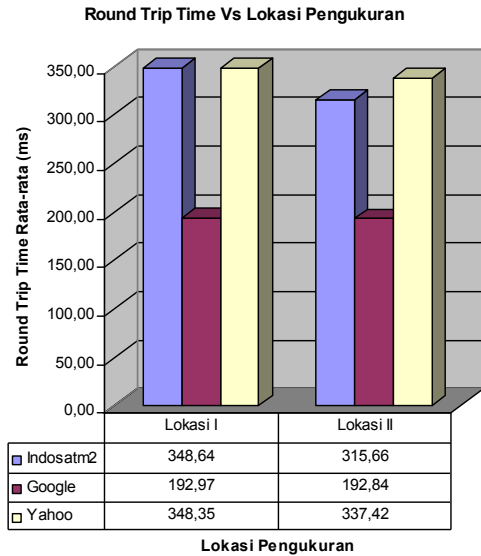
Dari hasil pengolahan data didapatkan grafik *round trip time* rata-rata terhadap lokasi pengukuran, waktu pengukuran, hari pengukuran dan grafik *round trip time* total sebagai grafik kesimpulannya.



Gambar 5. Grafik *user data throughput* rata-rata terhadap waktu pengukuran



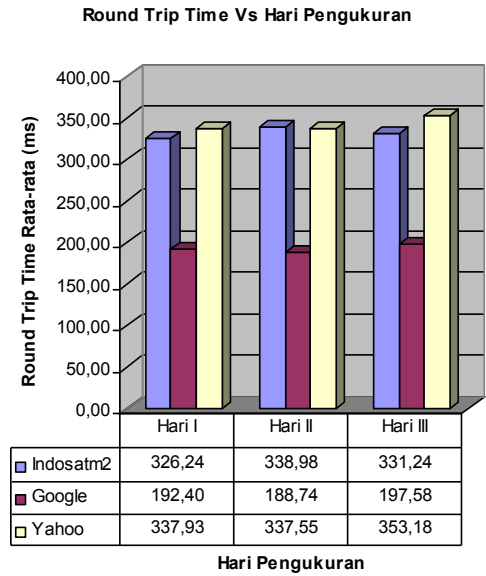
Gambar 6. Grafik *user data throughput* rata-rata



Gamabr 7. Grafik Round Trip Time Rata-rata terhadap lokasi pengukuran

Pada Gambar 7 terlihat bahwa nilai *round trip time* rata-rata lokasi I lebih besar dibandingkan dengan nilai rata-rata *round trip time* pada lokasi II. Seperti telah diketahui sebelumnya, jarak lokasi I ke *node B* (BTS) lebih dekat dibandingkan dengan jarak lokasi II ke *node B*. Selain dipengaruhi oleh jarak juga dipengaruhi oleh banyaknya jumlah *user* yang mengakses secara bersamaan sehingga terjadi pembebanan trafik pada jaringan HSDPA.

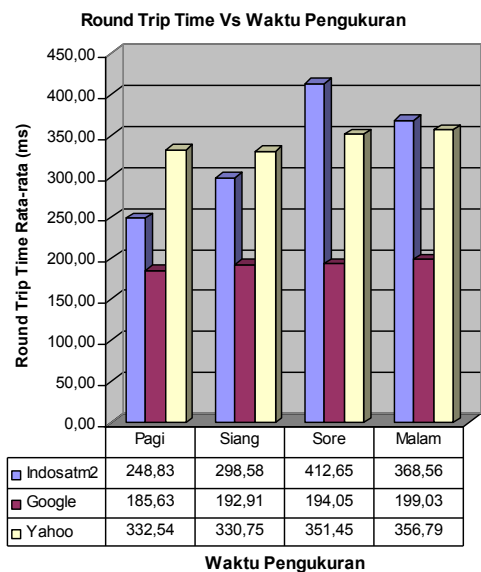
Pada gambar 8 dan 9 dapat dilihat bahwa pada waktu-waktu pagi dan hari-hari libur (sabtu dan minggu) dimana penggunaan trafik seluler tidak padat, atau pembebanannya jaringannya masih rendah, maka akan diperoleh *round trip time* yang lebih rendah. Hal ini disebabkan masih



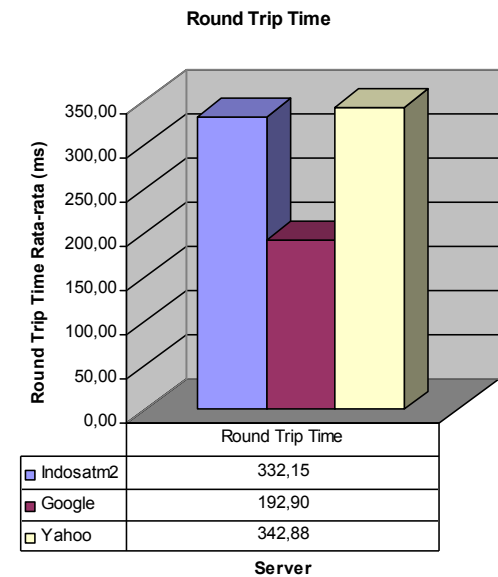
Gambar 9. Grafik Round Trip Time Rata-rata terhadap hari pengukuran

tersedianya *timeslot* yang dapat digunakan secara maksimum dan kondisi *congestion* serta *network loading* yang masih rendah.

Round trip time dapat dipengaruhi oleh *delay* di *interface* antara *terminal equipment* dengan *user equipment* (UE), *delay UE*, *delay UL* (*Up-Link*) dan *DL* (*Down-Link*) *establishment*, *delay* pada jaringan HSDPA dan *delay* di luar jaringan HSDPA. Nilai *round trip time* rata-rata yang diperoleh dari pengukuran dapat dilihat pada Gambar 10, yaitu IM2 sebesar 332,15 ms, Google sebesar 192,90 ms, dan Yahoo sebesar 342,88 ms. Kenyataannya nilai *round trip time* rata-rata untuk IM2 lebih besar dibandingkan Google dan lebih kecil dibandingkan dengan

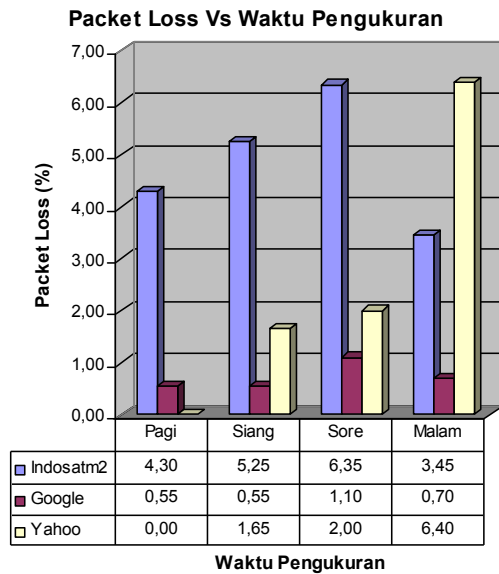


Gambar 8. Grafik Round Trip Time Rata-rata terhadap waktu pengukuran



Gambar 10. Grafik Round Trip Time Rata-rata

V. KESIMPULAN

Gambar 11. Grafik *Packet Loss* terhadap waktu pengukuran

Yahoo. Hal ini dikarenakan *server* IM2 tidak berada dalam jaringan lokal Indosat namun berada diluar negeri dan jumlah *hop* (host-host yang dilalui tidak *me-reply* paket-paket yang dikirimkan hingga 64 *hop*, yang merupakan *hop* maksimal *default*) lebih banyak dibandingkan dengan jumlah *hop* yang dimiliki oleh Google (11 *hop*) dan Yahoo (14 *hop*). Utilitas *link* yang tinggi menyebabkan paket harus berada dalam antrian waktu yang lama dan bisa menyebabkan kemacetan (kongesti) dan hal ini mengakibatkan nilai *round trip time* semakin besar.

3) Hasil Pengukuran *Packet Loss*

Dari hasil pengolahan data, didapatkan grafik *packet loss* rata-rata terhadap waktu pengukuran seperti diperlihatkan pada Gambar 11.

Packet loss dapat dipengaruhi oleh jumlah *hop* dari MS ke *remote host*, *congestion*, beban jaringan, *overload*, kerusakan pada media fisik (*link*), dan lain-lain. Pada Gambar 11 dapat dilihat perbandingan nilai *packet loss* ke beberapa *remote host* berdasarkan waktu pengukuran. Nilai *packet loss* rata-rata tertinggi terjadi malam hari yaitu sebesar 6,40 % pada *server* Yahoo. Nilai *packet loss* tertinggi terjadi pada siang dan sore hari. Hal ini dapat disebabkan oleh pembebanan jaringan (*network loading*) pada waktu-waktu tersebut dimana penggunaan trafik sangat padat dibandingkan waktu-waktu lainnya. *Packet loss* rata-rata ke *server* indosatm2 lebih tinggi dibandingkan *packet loss* rata-rata ke *server* Google dan Yahoo, jumlah *hop* yang dimiliki oleh *server* Indosatm2 lebih banyak dibandingkan jumlah *hop* ke *server* Google dan Yahoo sehingga kemungkinan paket data yang hilang yang dikirimkan dari UE ke *remote host* lebih besar.

Berdasarkan hasil pembahasan maka dapat disimpulkan:

1. Dari hasil pengukuran didapatkan *user throughput* rata-rata sebesar 600,46 kbps dan *user throughput* maksimum sebesar 1262,4 kbps, sedangkan kemampuan UE yang digunakan adalah sebesar 3600 kbps atau dua kali besarnya dari hasil pengukuran. Dan hasil pengukuran belum mencapai *throughput* maksimum yang mampu diberikan oleh jaringan IM2 yaitu sebesar 2600 kbps.
2. *Round trip time* rata-rata yang diperoleh dari pengukuran, yaitu untuk IM2 sebesar 332,15 ms, Google sebesar 192,90 ms, dan Yahoo sebesar 342,88 ms.
3. Nilai *packet loss* tertinggi terjadi pada siang dan sore hari. Sedangkan www.indosatm2.com merupakan *remote host* dengan *Packet loss* terbanyak terjadi dibandingkan *remote host* yang lain.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan Terima Kasih kepada saudara Abdul Muis yang telah membantu penulis dalam mengumpulkan data-data dalam Penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] High Speed Downlink Packet Acces
<http://en.wikipedia.org/wiki/HSDPA>
- [2] Situs resmi Indosatm2, <http://www.indosatm2.com>
- [3] Coverage 3.4G area Banda Aceh
<http://www.indosatm2.com/popup.php/consumer-solution/coverages/id:44/banda-aceh>
- [4] Wibisono. Gunawan, dan Hantoro. Dwi. Gunadi, *Mobile Broadband Tren Teknologi Wireless Saat ini dan Masa Datang*. Bandung: Penerbit INFORMATIKA, 2008.
- [5] Iglesias, Marta., "HSDPA: "Shifting Gears Into 3.5G," White Papers. [Online]. Available: http://www.evaluationengineering.com/archive/articles/0205/0205_hsdpa_shifting.asp
- [6] S. Dewo, "Bandwidth dan Throughput", Articles.[Online]. Available: <http://www.ilmukomputer.com>, 2006
- [7] Wibowo. Arie, *User Quality of Service pada Jaringan EDGE*, Laporan Penelitian, Bandung, 2003.
- [8] Rodiati. Yati, *Pengukuran dan Analisis Kinerja Jaringan GPRS*, Laporan Penelitian, Bandung, 2004
- [9] wget <http://www.gnu.org/software/wget>
- [10] Situs resmi Ubuntu <http://www.ubuntu.com>
- [11] VnStat <http://humdi.net/vnstat/>
- [12] CellTrack
<http://www.afischer-online.de/sos/celltrack>
- [13] Sejarah program ping
<http://ftp.arl.mil/~mike/ping.html>
- [14] Ping <http://en.wikipedia.org/wiki/Ping>
- [15] Jan Derksen, Robert Jansen, Markku Maijala, Erik Westerberg, "HSDPA performance and Evaluation", Ericsson Review, No. 3, 2006.