

# MoPing: Pengukuran Layanan Paket Data Pada Jaringan Selular

Ady Wahyudi Paundu<sup>1)</sup>, Zahir Zainuddin<sup>2)</sup>

1) Jurusan Teknik Elektro, Universitas Hasanuddin Makassar, email: adywp@unhas.ac.id

2) Jurusan Teknik Elektro, Universitas Hasanuddin Makassar, email: zahir@unhas.ac.id

*Abstrak - Tulisan ini bertujuan menawarkan sebuah sistem pengukuran performansi layanan data pada sistem komunikasi selular dilihat dari perspektif end-user (MoPing/Mobile Ping). MoPing telah digunakan untuk melakukan pengukuran beberapa kasus, lalu dibandingkan terhadap beberapa metode pengukuran lain untuk melihat performansinya dan untuk keperluan validasi; diakhir tulisan diberikan arah pengembangan ke depan terhadap sistem ini.*

*Kata kunci: pengukuran performansi, paket data, komunikasi selular*

## 1. PENDAHULUAN

Layanan komunikasi data bergerak mempunyai karakteristik yang berbeda dari jaringan selular dan jaringan data tradisional, contohnya dari sisi teknik switching, infrastruktur, *delay* dan mobilitas. Secara khusus, tiap-tiap layanan komunikasi data juga mempunyai karakteristik serta kebutuhan yang berbeda dibandingkan dengan layanan data lainnya. Contohnya, layanan sistem informasi basisdata yang sifatnya *burst data* sedangkan *streaming media* yang sifatnya *continuous data*. Untuk memberikan layanan yang maksimal pada para pemakainya, penyedia layanan harus memberikan penanganan khusus untuk tiap karakteristik layanan tersebut. Hal tersebut dalam pelaksanaannya membutuhkan pengetahuan terhadap performansi jaringan selular yang digunakan dalam hubungannya dengan beragam parameter jaringan lainnya seperti keragaman perangkat pemakai, protokol komunikasi, kualitas penyedia jaringan, area geografis, waktu pemakaian dan lain-lain.

Telah banyak penelitian dan sistem yang dikembangkan untuk mengetahui performansi jaringan nirkabel khususnya jaringan telekomunikasi selular. Walau demikian, penelitian-penelitian tersebut kurang dapat menjawab tantangan pengukuran pada sisi pemakai, sebagai contoh:

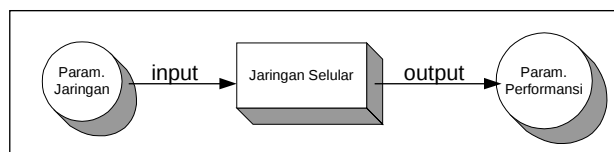
- Pengukuran masih pada layer network [1] [2] [5].
- Pengukuran masih berbasis computer (tanpa mobilitas) [3] [4] [7] [8] [9] [10]
- Hanya mengakomodir protocol HTTP (dikenal mempunyai header data yang besar, dan tidak kompatibel dengan sebagian besar perangkat di pasaran) [2] [11]

Tulisan ini menawarkan sebuah sistem yang dapat mengukur performansi komunikasi data sebuah

jaringan selular. Sistem ini diharapkan dapat berjalan secara transparan di atas layer akses jaringan. Sistem juga tidak secara spesifik memperhatikan secara khusus karakteristik konten yang akan dipertukarkan. Walau demikian sistem yang dibangun diharapkan tetap dapat memberikan gambaran umum terhadap parameter-parameter performansi yang dibutuhkan pihak penyedia layanan untuk mempersiapkan jenis layanan yang memuaskan bagi pemakainya.

Karena sistem ini dibangun dengan basis *smartphone* sebagai perangkat pengguna, sistem harus dapat mengakomodasi keterbatasan-keterbatasan yang dimiliki perangkat tersebut, seperti diantaranya keterbatasan memori dan *processing unit* serta tampilan layarnya yang mini.

Bagan sistem secara sederhana diberikan oleh gambar 1. di bawah ini



Gambar 1. Bagan sistem sebagai sebuah Blackbox

Blok jaringan selular dianggap sebagai sebuah *black box*. Sistem yang dibangun bertujuan untuk mengamati keluaran parameter performansi terhadap variasi masukan parameter jaringan yang diberikan. Parameter-parameter masukan dan keluaran beserta domain nilainya diberikan pada tabel 1 dan 2.

## 2. SINKRONISASI WAKTU

Masalah dasar yang dihadapi dalam semua pengukuran multi-point adalah: titik-titik pengukuran harus mempunyai pengetahuan yang sama terhadap kejadian yang sama, dalam hal ini pengetahuan yang dibutuhkan adalah informasi waktu. Sebuah pengukuran *multi-point* yang akurat membutuhkan sinkronisasi waktu yang akurat pula. Masalah timbul sebab *clock* komputer merupakan sebuah sumber yang sangat tidak akurat. Dalam banyak kasus, hal tersebut tidak mencukupi karena dibutuhkan akurasi hingga mili-detik. Beberapa teknik penanganan yang dilakukan adalah pemakaian NTP (*Network Time Protocol*) serta referensi GPS (*Global Positioning System*). Dalam [6] dan [13] digunakan pendekatan matematika untuk melakukan sinkronisasi.

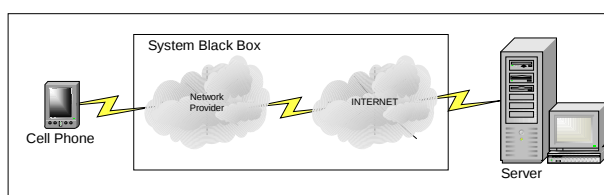
$$\text{offset} = \frac{\text{server\_rx} - \text{client\_tx} + \text{server\_tx} - \text{client\_rx}}{2} \quad (\text{R.1})$$

*server\_rx*: waktu penerimaan paket ukur di server  
*client\_tx*: waktu pengiriman paket ukur di client  
*server\_tx*: waktu pengiriman paket ukur di server  
*client\_rx*: waktu penerimaan paket ukur di client

Nilai offset yang dihasilkan merupakan selisih antara waktu di satu sisi relatif terhadap waktu di sisi lainnya. Persamaan ini mengasumsikan paket yang digunakan mengukur offset mempunyai latensi uplink dan downlink yang sama.

### 3. DESAIN PENELITIAN

Skema fisik sistem MoPing diperlihatkan oleh gambar 2. berikut:



Gambar 2. Skema fisik sistem

Tabel 1. Parameter masukan sistem

No.	Parameter	Keterangan
1.	Lokasi klien	Lokasi pemakai yang ingin melakukan pengukuran.
2.	Server IP	Alamat IP (public) dari server pengukuran.
3.	Perangkat klien	Merk serta tipe perangkat selular pemakai
4.	Teknologi	Jenis teknologi selular yang digunakan beserta namanya. Contoh: GPRS Telkomsel
5.	Protokol	Protokol jaringan yang digunakan.
6.	Besar paket	Besar paket data yang dipakai untuk network load
7.	Jumlah iterasi	Jumlah iterasi pengiriman
8.	Delay	Waktu antara pengiriman paket I dan paket i+1
9.	Penambahan Delay	Penambahan waktu delay antar pengiriman data.
10.	Provider Jaringan	Identifikasi penyedia jaringan fisik
11.	Mobilitas	Status mobilitas pengguna pada saat melaksanakan test, bergerak atau diam.
12.	Waktu	Tanggal beserta jam pelaksanaan test

Tabel 2. Parameter keluaran sistem

No.	Parameter	Keterangan
1.	Offset Time	Perbedaan waktu klien dan server dalam satu <i>epoch</i>
2.	Downlink delay	Waktu pengiriman data dari server ke klien

3.	Uplink Delay	Waktu pengiriman data dari klien ke server
4.	Round Time Trip	Waktu yang dibutuhkan oleh data mulai saat dikirim hingga kembali ke klien.

Keluaran seperti yang ditunjukkan pada tabel 2 merupakan data mentah yang selanjutnya dapat diolah menjadi data-data lanjutan tentang karakteristik jaringan seperti throughput, jitter serta waktu timeout.

Skenario yang akan diujikan terhadap MoPing terdiri dari 3 jenis test, yaitu:

#### A. Latency Test

Menghitung waktu delay saluran *uplink* dan *downlink* sebagai efek dari ukuran paket data. Sejumlah paket dengan ukuran tertentu akan dikirimkan dari client ke server dengan interval waktu yang tetap, lalu oleh server dikembalikan lagi ke client. Tiap-tiap paket akan diberi timestamp empat kali, yaitu (dalam urutan waktu) *client\_send*, *server\_receive*, *server\_send* dan *client\_receive*. Setelah diproses menggunakan nilai *offset clock* yang dicari sebelumnya, dapat diketahui nilai *uplink latency* dan *downlink latency*.

#### B. Throughput Test

Menghitung jumlah bit yang dapat dilewatkan saluran *uplink* dan *downlink* per satuan waktu (detik). Ditetapkan sebuah paket dengan ukuran cukup besar, yaitu ukuran yang mewakili utilitas 100% saluran, nilainya merepresentasikan tipikal besar file *download*, namun cukup kecil untuk diproses oleh perangkat selular (contoh: 10.000 byte).

#### C. Timeout Interval Test

Pada *Timeout Interval Test*, diukur *round trip delay* sejumlah paket berukuran kecil dengan interval transmisi yang semakin bertambah. Dengan test ini akan diketahui *round trip delay* paket diasosiasikan dengan jarak antar transmisi. Test ini menggambarkan biaya (*cost*) performansi untuk menghidupkan kembali sebuah komponen yang *time out* (realokasi sumber daya)

Untuk proses sinkronisasi, menggunakan rumus *offset* (R.1). Setelah mendapatkan nilai offset ini, nilai waktu pada sisi client akan disesuaikan dengan rumus:

$$\text{client}_u = \text{client}_a + \text{offset}$$

$\text{client}_u$  adalah nilai pendekatan waktu di sisi client relatif menurut waktu di sisi server.

Nilai test akan diambil dari nilai rata-rata. Keseluruhan test akan dilaksanakan pada waktu yang sama (dalam rentang beberapa hari) yaitu 09.00 – 11.00 pada lokasi yang sama di kampus UNHAS Makassar.

## 4. IMPLEMENTASI SISTEM

### 4.1 Sub-Sistem Client

Beberapa usaha yang dilakukan pada sub-sistem ini untuk mendekati keakuratan pengukuran adalah:

1. Pengukuran waktu offset dilakukan terpisah dengan pengukuran utama. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan bahwa nilai waktu offset antara dua sistem (client dan server) adalah konstan sepanjang proses pengukuran. Hal ini berbeda dengan proses pengukuran waktu offset oleh sistem MIST (Mobile Internet Service Test) yang dibangun Mike Wittie dan kawan-kawan [13] yang merupakan salah satu rujukan utama penelitian ini. MIST mengukur waktu offset menggunakan timestamp pengukuran utama yang kemudian di-rata-rata-kan.

2. Paket test yang digunakan untuk mengukur waktu offset dibuat sekecil mungkin, yaitu 1 byte dengan harapan memperkecil Round Trip Time dari paket test tersebut

3. Paket test offset dikirimkan 2 kali, namun yang diolah timestampnya adalah paket test offset yang kedua. Hal ini dibuat karena RTT paket test offset kedua lebih kecil dari yang pertama yang disebabkan paket test offset kedua tidak lagi melewati proses pembukaan hubungan.

4. Timestamp pengiriman serta timestamp penerimaan dikirimkan secara terpisah. Hal ini dilakukan agar sub-proses pengambilan data waktu dekat dengan sub-proses pengiriman/penerimaan.

5. Proses pengiriman paket test ke server serta proses penerimaan paket test dilakukan oleh dua thread yang berbeda. Hal ini ditujukan agar delay waktu antar pengiriman paket berjalan konstan tanpa terpengaruh oleh delay antar penerimaan paket. Hal yang sama dilakukan untuk proses yang menghitung waktu time-out.

#### 4.2. Sub-Sistem Server

Beberapa hal yang menjadi catatan penting dari sub-sistem server ini adalah:

1. Proses penerimaan koneksi dari client dibuat dalam bentuk thread. Hal ini untuk mengantisipasi terbentuknya dua atau lebih client yang mencoba menghubungi server pada saat yang bersamaan.

2. Test ID yang dibangkitkan oleh server menggunakan format yang memasukkan nilai variable teknologi, protokol serta waktu test hingga ke satuan menit. Diharapkan hal tersebut dapat menjaga keunikan ID hingga tahun 2099 (nilai tahun pada ID tercatat sebagai 2 angka terakhir) dengan asumsi tidak terjadi 2 test bersamaan dalam satu menit.

3. Nilai jitter dihitung sebagai variasi latensi terhadap nilai latensi terkecil.

### 5. PENGUJIAN DAN ANALISA

Terdapat tiga parameter utama yang akan diperlihatkan dalam pengujian ini, yaitu latensi, throughput serta waktu time-out.

#### 5.1. Variabel Konstan

Dalam bagian ini akan dibahas nilai-nilai variabel yang dalam pengujian diberikan nilai konstan.

##### 1. Lokasi Pengujian

Seluruh pengujian dilakukan di Lapangan Parkir Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. (Posisi Lintang dan Bujur: S:5°7'57 E:119°29'9). Kondisi lokasi adalah sebuah lapangan yang dikelilingi oleh pepohonan dan bangunan kampus. Tidak terdapat LOS (Line of Sight) antara posisi pengujian dan BTS terdekat.

##### 2. Protokol Pengujian

Seluruh pengujian menggunakan protokol TCP.

##### 3. Teknologi Selular

Seluruh pengujian dilakukan dengan teknologi WCDMA – UMTS (3G). Strategi deployment terhadap layanan data jaringan selular di Indonesia memberikan jaringan terbaik yang ada pada lokasi pemakai.

##### 4. Perangkat Handset Pengujian

Handset yang digunakan dalam pengujian adalah telepon genggam Sony-Ericsson K618i.

##### 5. Provider Internet Server

Seluruh pengujian dilakukan dengan menghubungkan sisi Server ke internet menggunakan provider yang sama

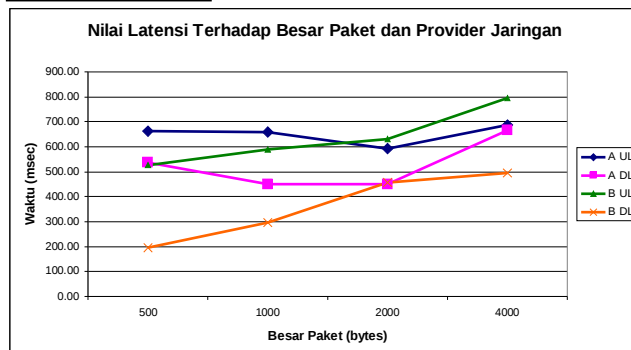
##### 6. Waktu Pengujian

Pengujian dilakukan pada jam yang sama 09.00 – 11.00 pada beberapa hari kerja yang berbeda, dengan harapan akan memberikan karakteristik hari yang sama

#### 5.2. Pengukuran Latensi

Yang dimaksud dengan latensi adalah waktu yang dibutuhkan sebuah paket untuk terkirim secara lengkap dari titik pengirim ke titik penerima. Dalam pengujian ini akan dilihat pengaruh variabel-variabel besar paket, mobilitas serta pemilihan provider (penyedia) layanan yang digunakan terhadap nilai latensi. Tiap pengukuran menggunakan iterasi 50. dan dilakukan tiga kali. Hal ini dilakukan pada tiga hari berbeda.

##### 5.2.1 Ukuran Paket

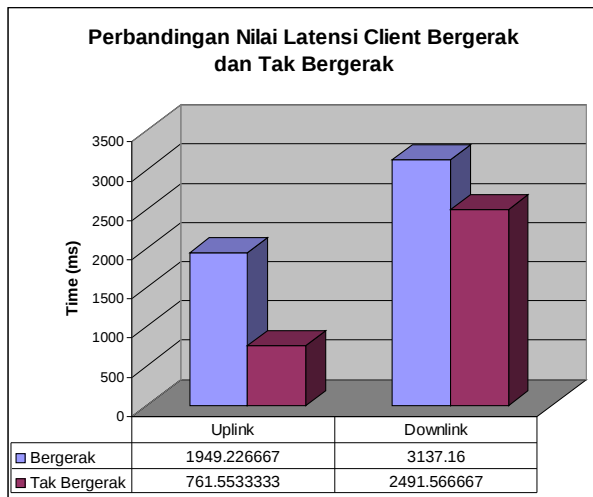


Gambar 3. Nilai latensi terhadap besar paket

Hal yang layak diperhatikan pada gambar di atas adalah nilai latensi yang mengecil pada paket 1000 dan 2000 byte dibandingkan pada paket 500 byte. Untuk mengetahui penyebab fenomena ini, harus dilakukan pengujian lanjutan terhadap komponen internal dalam jaringan penyedia. Karena

alasan batasan pengujian, penulis cuma bisa mengambil asumsi terdapatnya mekanisme buffering. Mekanisme ini menyebabkan paket data dalam ukuran yang lebih kecil dari buffer harus menunggu selama waktu tertentu hingga buffer penuh sebelum dikirimkan dalam jaringan sehingga mengakibatkan naiknya nilai latensi secara keseluruhan.

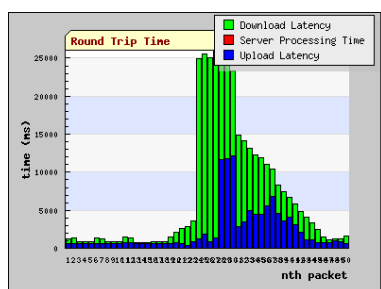
### 5.2.2. Mobilitas



Gambar 4. Hasil pengukuran latensi terhadap mobilitas client

Untuk pengujian ini dilakukan di malam hari dengan pertimbangan kelancaran mobilitas.

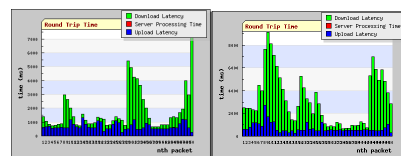
Dari diagram di atas terlihat bahwa mobilitas pemakai mempengaruhi nilai latensi paket komunikasi karena pergerakan client akan meningkatkan nilai latensi. Selain dari faktor jarak terhadap BTS (yang mempengaruhi besar daya terima perangkat pemakai) juga adanya faktor waktu handoff jika terjadi perpindahan sel komunikasi. Perpindahan antar sel juga sering mengakibatkan perubahan mode teknologi yang digunakan. Perpindahan mode ini terlihat pada perubahan ikon mode pada perangkat komunikasi smartphone yang digunakan (MoPing belum bisa menentukan secara otomatis jenis teknologi komunikasi yang digunakan). Walau demikian, perubahan mode teknologi tersebut akan mengakibatkan perubahan nilai latensi sehingga terjadinya perubahan mode dapat diperkirakan. Contohnya diberikan dalam diagram sebuah sesi pengukuran mode bergerak berikut.



Gambar 5. Contoh diagram hasil sebuah sesi pengukuran bergerak

Dalam sesi pengukuran di atas, mode teknologi yang digunakan awalnya adalah UMTS, namun di tengah-tengah sesi setelah berpindah sel,

mode teknologi turut berpindah ke mode GPRS/EDGE.

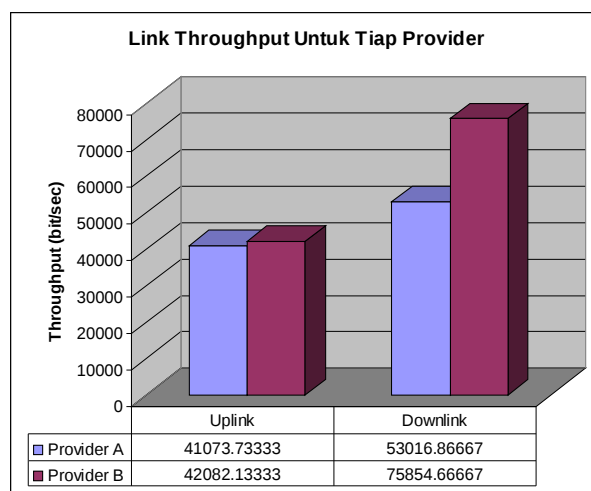


Gambar 6. Diagram hasil tiga sesi pengukuran mode tak bergerak

Hasil pengamatan nilai latensi terhadap besar paket, penyedia jaringan serta mobilitas pengguna akan sangat berguna terhadap para pengembang konten aplikasi. Sebagai contoh, dari hasil pengamatan nilai latensi terhadap besar paket yang dipilih, pihak pengembang konten akan memformat data informasi yang digunakan sedemikian rupa sehingga besar paket data yang dikirimkan tiap saat berkisar antara 1000 byte hingga 2000 byte untuk mengurangi nilai latensi keseluruhan yang diakibatkan proses buffering.

### 5.3. Pengukuran Throughput

Nilai throughput yang didapatkan oleh sistem pengukuran ini adalah Application Throughput yang sering disebut pula sebagai Goodput. Goodput adalah jumlah informasi yang sukses dihantarkan ke layer aplikasi antara node yang saling berkomunikasi untuk suatu satuan waktu tanpa memperhitungkan besar header tiap layer komunikasi di bawahnya serta kemungkinan terdapatnya paket retransmisi.



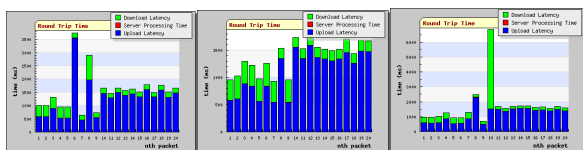
Gambar 7. Diagram hasil pengukuran throughput

Hasil pengukuran throughput/goodput dalam penelitian ini menunjukkan throughput pada lokasi Fakultas Teknik UNHAS telah cukup untuk mengembangkan aplikasi streaming media, contoh: video streaming dengan kualitas rendah (24 – 128 kbps). Perbaikan kualitas dapat dilakukan dengan melakukan penyesuaian terhadap teknik pengkodean (encoding) data.

### 5.4. Pengukuran Waktu Time-Out

Proses pengukuran time-out dilakukan dengan mengirimkan serangkaian data berukuran 1000

byte dan meningkatkan interval antar pengiriman. Jumlah sample dan batch pada pengukuran ini sama pengukuran latensi di atas dengan perbedaan jumlah iterasi 20. Penambahan jeda interval antar iterasi adalah 0.5 detik.



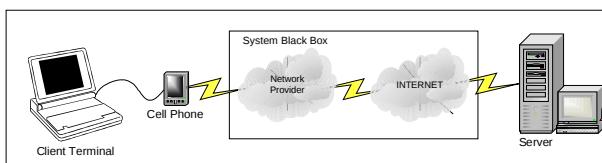
Gambar 8. Hasil sesi pengukuran waktu timeout

Berdasarkan pengamatan pada gambar 8, nilai uplink secara konsisten meningkat pada iterasi ke-10, yang menunjukkan bahwa nilai time-out adalah 5 detik. Ini berarti, jika client diam selama 5 detik, sumberdaya jaringan akan dialihkan ke pengguna lain.

Berdasarkan hasil ini sebagai contoh, jika hendak membangun aplikasi non-kontinu (contoh: sistem informasi), layak dipertimbangkan penggunaan paket keep-alive dengan interval sekitar 4 detik.

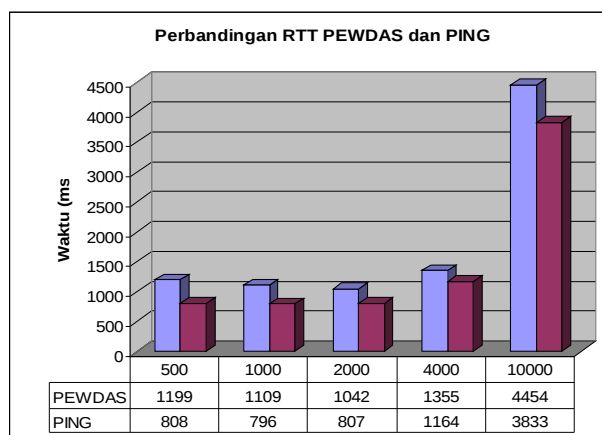
### 5.5. Perbandingan dengan PING

Untuk membandingkan MoPing dengan aplikasi ping, maka pengujian ping dilakukan dalam arsitektur fisik berikut



Gambar 9. Arsitektur Fisik Pengujian PING

Dalam arsitektur di atas, perangkat telepon genggam pengguna hanya berfungsi sebagai modem komunikasi antara client terminal dan jaringan data. Nilai parameter lainnya sama dengan nilai parameter pada bagian A, kecuali protocol transport. Tiap besar paket diuji tiga kali dengan tiap sesinya 50 iterasi.



Gambar 10. Perbandingan Nilai RTT Rata-Rata Untuk MoPing dan PING

Berdasarkan diagram di atas, nilai RTT aplikasi Ping selalu lebih kecil dibandingkan MoPing. Fenomena ini dapat dijelaskan secara teoritis:

- Aplikasi Ping langsung mengakses layer 3 komunikasi data dengan menggunakan

protokol ICMP (Internet Control Message Protocol).

- Karena layer yang digunakan Ping lebih rendah dari MoPing, maka total paket data yang dikirimkan dalam jaringan oleh MoPing lebih besar daripada Ping.

- Ping menggunakan protokol Datagram sedangkan MoPing menggunakan protokol TCP.

didapatkan hasil koefisien korelasi antara nilai RTT Ping dan MoPing adalah 0,9982. Nilai ini sangat dekat pada nilai 1 yang menandakan terdapat korelasi antara MoPing dan PING. Dalam konteks penelitian ini, dapat dikatakan bahwa pengukuran MoPing dan PING memberikan pola hasil yang sama.

## 6. PENUTUP

### 6.1. Saran Pengembangan Sistem

Dalam masa pengujian sistem MoPing, dapat diidentifikasi beberapa arah pengembangan sistem ini di masa depan.

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terhadap proses sinkronisasi waktu antara client dan server. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini berasumsi bahwa waktu yang diperlukan untuk mengirimkan sebuah byte dari satu titik ke titik lain melalui jaringan selular sangat kecil. Dalam kenyataannya tidaklah selalu demikian. Aplikasi MoPing mempunyai nilai-nilai RTT terkecil untuk paket pengukuran time offset berada pada kisaran 500 hingga 600 ms. Jika mengacu pada perhitungan dari D. Mills dalam [6], yang menyatakan kesalahan maksimum yang dihasilkan oleh rumus offset R.1 adalah setengah dari RTT paket, maka rentang kesalahan pengukuran offset 300 ms masih terasa cukup besar. Sebagai contoh kemungkinan pengembangan ke depan adalah pemakaian sistem embedded seperti GPS (Global Positioning System).
2. Penyempurnaan fitur-fitur MoPing. Salah satu fitur penting yang dapat coba dikembangkan adalah penambahan fitur penggunaan protokol datagram (UDP). Dengan fitur ini, kemampuan identifikasi karakteristik jaringan akan lebih meningkat. Fitur-fitur lain yang berguna antara lain adalah otomatisasi identifikasi lokasi pengujian (menggunakan nama BTS) dan otomatisasi identifikasi teknologi selular yang digunakan sehingga akurasi pengujian semakin baik.
3. Untuk tahap produksi, sub-sistem server dari MoPing sebaiknya diletakkan pada sebuah *production server*. Dengan demikian sub-sistem ini dapat diberikan sebuah Global (External) IP Address dan selanjutnya dapat diberikan sebuah nama (URL). Peletakan pada *production server* juga membuat sistem dapat diakses kapan saja. Semuanya akan



meningkatkan keteraksesan (*accessibility*) dari MoPing.

4. Selanjutnya, melalui penelitian lebih lanjut dapat dibuat sebuah indeks performansi (*Performance Index*) yang menggabungkan seluruh parameter masukan dan keluaran. Indeks ini berguna sebagai alat pembandingan antara hasil pengukuran sebuah provider dengan provider yang lain. Lebih lanjutnya nanti, indeks performansi bisa digunakan untuk tujuan pengendalian (control) jaringan, sebagai contoh: proses routing.

## 6.2. Kesimpulan

Dalam penelitian ini telah dibangun sebuah sistem pengukuran parameter berbasis waktu untuk jaringan selular. Pendekatan yang digunakan adalah mengukur parameter tersebut end-to-end dan menganggap sistem di dalamnya sebagai sebuah black box. Seperti halnya PING, sistem ini hanya menilai performa secara umum tanpa secara spesifik memperhatikan karakteristik konten aplikasi tertentu.

Selanjutnya telah dilakukan uji coba kasus yang bertujuan memberikan gambaran umum cara kerja MoPing serta fitur-fitur yang dapat digunakan.

Sebagai referensi perbandingan, dilakukan pengujian dengan parameter yang sama pada pengujian MoPing menggunakan aplikasi PING. Dengan menggunakan keluaran pengukuran aplikasi PING sebagai acuan validitas pengukuran RTT, dilakukan perbandingan terhadap keluaran aplikasi MoPing. Berdasarkan uji korelasi terhadap kedua keluaran tersebut didapatkan nilai koefisien korelasi sebesar 0,9982. Nilai koefisien korelasi tersebut menandakan bahwa MoPing dan PING, walaupun memberikan hasil yang tidak tepat sama namun mempunyai korelasi yang kuat dan memberikan pola hasil yang sama. Dapat disimpulkan, jika hasil pengukuran PING valid, maka nilai keluaran MoPing dapat pula dikatakan valid.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yoanes Bandung, Suhardi dan Armein Z.R. Langi. Mei 2006. "Metoda Real Time Flow Measurement (RTFM) Untuk Monitoring Qos Di Jaringan NGN," dalam *Prosiding Konferensi Nasional Teknologi Informasi & Komunikasi untuk Indonesia*. Institut Teknologi Bandung, Indonesia.
- [2] Rajiv Chakravorty dan Ian Pratt. June 2002. "Performance issues with general packet radio service," *Journal on Communications and Networks*, vol. 4, no. 2, hal. 266–281.
- [3] D. Chalmers dan M. Sloman. April 1999. "A survey of quality of service in mobile computing environments", *IEEE Communications Surveys*.
- [4] Fraunhofer FOKUS, Bharat Bhushan (editor), February 2004. "White Paper, Measurement and Analysis of End-to-End Service Quality of 3G Networks and Services." Joint AlbatROSS and Opium Projects Workshop - Personalised Mobile Service Environment. Waterford Institute of Technology, TSSG, Cork Rd, Waterford, Ireland.
- [5] G. Gómez dan R. Sánchez. 2005. "End-to-End Quality of Service over Cellular Networks: Data Services Performances and Optimization in 2G/3G". ISBN-10 0-470-01180-7. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, West Sussex, England.
- [6] D. Mills, June 1995. "Improved algorithms for Synchronizing Computer Network Clock," *IEEE Transaction Networks*, vol. 3, no. 3 hal. 245-254.
- [7] Jarmo Prokkola, Mikko Hanski, 2007. "QoS Measurement Methods and Tools." Easy Wireless Workshop, IST Mobile Summit 2007, Budapest, Hungaria.
- [8] P. Reichl, M. Umlauf, J. Fabini, R. Lauster dan G. Popischil. April 2005. "Project WISQY: A Measurement-based End-to-End Application-Level Performance Comparison of 2.5G and 3G Networks", dalam *Proceedings of the 4<sup>th</sup> annual wireless telecommunication symposium (WTS)*, California, USA.
- [9] N. B. Seitz, Stephen Wolf, Stephen Voran dan Randy Bloomfield. January 1994. "User-Oriented Measures of Telecommunication Quality", *IEEE Communications Magazine*.
- [10] T. Sutinen. 2004. "End User Service Quality In Multi-Access Networks", Master's thesis. University of Oulu, Department of Electrical and Information Engineering, Finlandia.
- [11] H. Verkasalo. 2005. "Handset-based monitoring of mobile customer behavior," Master's thesis, Helsinki University of Technology, Finlandia.
- [12] H. Verkasalo. Desember 2006. "Empirical observations on the emergence of mobile multimedia services and applications in the U.S. and Europe", dalam *Proceeding of the 5<sup>th</sup> international conference on mobile and ubiquitous multimedia (MUM)*. Stanford, California, USA.
- [13] Mike P. Wittie, Brett Stone-Gross, Kevin C. Almeroth dan Elizabeth M. Belding. September 2007. "MIST: Cellular Data Network Measurement for Mobile Applications." *Proceedings of IEEE Broadnets*, Raleigh, NC, USA.