

# ANALISIS PERFORMANSI *LINK* PADA JARINGAN METRO ETHERNET REGIONAL JAWA TENGAH MENGGUNAKAN SIMULATOR OPNET 14.5

Satya Yoga Pratama<sup>\*)</sup>, Sukiswo, and Ajud Abjulian Zahra

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)</sup>E-mail: [satyayogap@yahoo.com](mailto:satyayogap@yahoo.com)

## Abstrak

Metro ethernet adalah salah satu teknologi telekomunikasi berbasis IP modern yang diimplementasikan pada jaringan transport untuk melayani kebutuhan masyarakat di area yang luas menggantikan peran SDH/SONET. Metro ethernet pada dasarnya bekerja pada OSI layer 1 dan 2, tetapi seiring berkembangnya jaman, metro ethernet juga bekerja pada layer 3 untuk routing dan transmisi data hingga 10 Gbps. Link merupakan salah satu bagian vital dalam jaringan metro ethernet. Suatu link harus memiliki performansi yang baik untuk bisa melayani trafik yang ada serta pada waktu tertentu mengalami peningkatan kapasitas seiring peningkatan trafik jika diperlukan. Tugas Akhir ini melakukan analisis performansi link untuk mengetahui kualitas link seiring peningkatan trafik. Simulator yang digunakan adalah OPNET Modeler v14.5. Pengukuran dan analisis performansi link dengan parameter-parameter round trip delay (RTD), jitter dan packet loss dilakukan berdasarkan pendimensian jaringan sebagai pendukungnya. Topologi yang digunakan yaitu ring 1 loop berisi 8 node. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa RTD terbesar terdapat pada link PWD-TOR dengan 2,614 ms dan untuk link lain berada dibawah 1 ms. Jitter terbesar dihasilkan oleh link TOR-PWD dengan 1,30 ms dan untuk link lain masih berada dibawah 1 ms. Untuk packet loss, seluruh link jaringan selama traffic forecasting masih sangat baik dengan nilai 0%.

*Kata Kunci : Metro ethernet, performansi link, pendimensian jaringan, Round trip delay, Jitter, Packet loss*

## Abstract

Metro ethernet is one of modern IP-based telecommunication technology which implemented on transport network to serve people's need in wide area replacing SDH/SONET. Basically, metro ethernet works at OSI layer 1 and 2, but now metro ethernet also work at layer 3 for routing and data transmission up to 10 Gbps. Link is one of the important thing in metro ethernet network. A link must have a good performance to serve the existing traffic and in certain condition is getting upgraded as the traffic increased if it's necessary. This final project analyze link performance to find out link quality as the traffic increased. The simulations are done using OPNET Modeler v14.5. Measuring and analyzing link performance use three parameters namely round trip delay (RTD), jitter, and packet loss with forecasting as it support. The topology used is 1 loop ring with 8 nodes. The measurement results show the highest RTD is at PWD-TOR's link with 2,614 ms and the other links are under 1 ms. Highest jitter is at TOR-PWD's link with 1,30 ms and the other links are still under 1 ms. Packet loss for all network links during traffic forecasting are still in best condition with 0%.

*Keywords: Metro ethernet, link performance, forecasting, Round trip delay, Jitter, Packet loss*

## 1. Pendahuluan

Metro ethernet merupakan salah satu teknologi NGN (*Next Generation Network*) yang cukup memadai untuk melayani kebutuhan telekomunikasi masyarakat masa kini. Jaringan metro ethernet secara harfiah berarti jaringan komunikasi data yang berskala metro (skala untuk menjangkau satu kota besar, seperti kota Semarang

misalnya) dengan menggunakan teknologi ethernet sebagai protokol transportasi datanya. Begitu pula arti sebenarnya, teknologi metro ethernet merupakan salah satu perkembangan dari teknologi ethernet yang dapat menempuh jarak yang luas berskala perkotaan dengan dilengkapi berbagai fitur yang seperti terdapat pada jaringan ethernet umumnya. Sebenarnya metro ethernet adalah jenis *broadband wired* dengan lebar pita yang ditawarkan dapat dengan mudah diperbesar. Teknologi ini

juga memiliki kecepatan transmisi data sebesar 10/100 Mbps atau bahkan hingga 1/10 Gbps yang dapat memberikan solusi terintegrasi untuk layanan suara, data dan video. Berdasarkan standar IEEE 802.3 dan referensi layer OSI (*Open System Interconnection*), protokol metro ethernet berada pada layer 1 (*physical layer*) dan layer 2 (*data link layer*). Khusus pada *data link layer*, layer tersebut terbagi menjadi dua lagi untuk difungsikan pada perangkat-perangkat keras jaringan, yaitu *logical link control* (pengoperasian) dan *MAC address* (pengalamatan). Seiring dengan perkembangan yang ada, prinsip kerja metro ethernet kini juga turut serta dalam layer 3 (*network layer*) untuk kebutuhan protokol *routing* dan transmisi paket data.

Namun, adanya permintaan dan peningkatan jumlah pelanggan yang begitu pesat mengharuskan kinerja dari metro ethernet itu sendiri juga harus dijaga keahluannya. Hal tersebut dilakukan tentunya untuk menjaga kepercayaan pelanggan sebaik mungkin. Salah satu faktor yang sangat vital adalah *link* pada jaringan metro ethernet. Suatu *link* jaringan metro ethernet pada jangka waktu tertentu akan membutuhkan peningkatan kapasitas agar tetap dapat melayani ( $\mu$ ) pertumbuhan pelanggan ( $\lambda$ ) serta tidak menimbulkan kepadatan trafik. Analisis performansi *link* pada jaringan metro ethernet akan menjadi fokus penelitian ini dengan pendimensian jaringan (*forecasting*) sebagai pendukungnya. Analisis performansi *link* dilakukan untuk mengetahui kelayakan kinerja *link* dalam penggunaannya baik untuk saat ini maupun waktu mendatang. Sementara pendimensian untuk adanya kemungkinan kebutuhan peningkatan kapasitas pada *link*, dilakukan sebagai referensi untuk menjaga kestabilan performansi jaringan khususnya pada tingkat jaringan *transport*. Pengukuran performansi *link* mengacu pada standarisasi yang melibatkan tiga parameter yaitu *round trip delay* (RTD), *jitter* dan *packet loss* dengan disimulasikan menggunakan *software* OPNET Modeler versi 14.5.

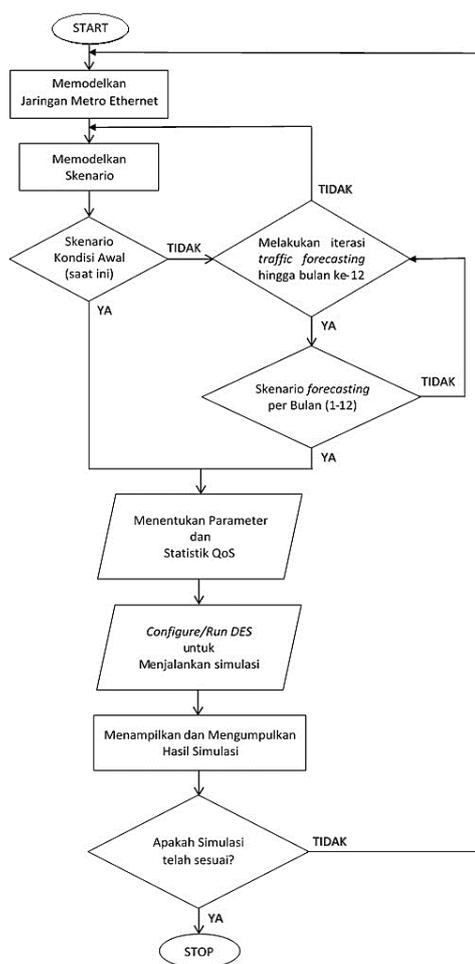
Dalam penelitian sebelumnya, telah dibahas mengenai QoS jaringan metro ethernet dengan parameter *delay* dan *throughput* oleh Kristina R. Sitompul[1] serta tidak terfokus pada kebutuhan peningkatan kapasitas *link*. Kemudian QoS jaringan metro ethernet juga dibahas oleh Apit Tris Susilo[2] namun dengan standarisasi (perusahaan) yang berbeda. Selain itu, juga terdapat penelitian mengenai jaringan metro ethernet yang lebih terfokus pada layanan/area akses (sudut pandang pelanggan) oleh Mat Ikram Yusof, dkk.[5]. Untuk pembahasan *forecasting*, sebelumnya terdapat penelitian yang dilakukan Afterina Wahyu P., dkk.[3] dan Maria Papadopouli, dkk.[4], tetapi objek dari keduanya adalah jaringan nirkabel (*wireless*) seperti UMTS dan HSDPA, bukan jaringan metro ethernet.

## 2. Metode

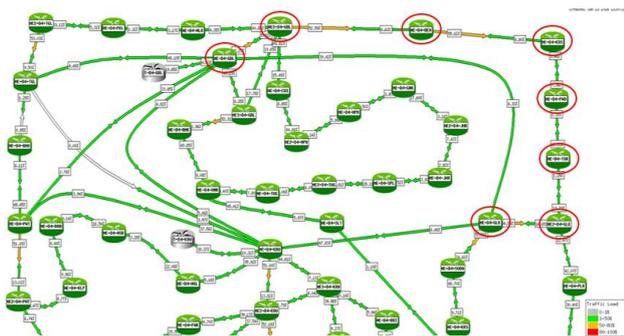
### 2.1 Pemodelan Jaringan

Metode penelitian tugas akhir ini menjelaskan mengenai pengukuran QoS untuk mengetahui performansi *link* yang dilakukan berdasarkan pendimensian jaringan kedepan mengikuti data pertumbuhan trafik waktu lampau. Seluruh metode tersebut dimodelkan dan disimulasikan menggunakan OPNET Modeler 14.5. Langkah penelitian yang digunakan untuk tugas akhir yaitu studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan data-data dari PT. Telkom Indonesia selaku perusahaan yang membawahi jaringan metro ethernet dalam penelitian ini serta membaca penelitian-penelitian yang berhubungan dengan jaringan metro ethernet, pengukuran QoS (RTD, *jitter*, *packet loss*), pendimensian jaringan (*forecasting*) dan OPNET Modeler 14.5.

Perancangan simulasi ini dibuat berdasarkan alur kerja dalam penggunaan OPNET Modeler 14.5. Keseluruhan perancangan simulasi ini dibuat berdasarkan diagram alir seperti pada Gambar 1, sedangkan *layout* jaringan *real* serta pemodelan dalam simulasi dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3.



Gambar 1. Diagram alir simulasi



Gambar 2. Layout jaringan metro ethernet PT. Telkom Indonesia regional Jawa Tengah



Gambar 3. Layout jaringan metro ethernet pada skenario simulasi OPNET Modeler 14.5

Penelitian ini hanya mengambil 1 loop jaringan metro ethernet dengan 8 node (lingkaran merah pada Gambar 2) sesuai perizinan yang diberikan oleh PT. Telkom Area Network Semarang yang kemudian dimodelkan dalam simulasi (Gambar 3). Pemilihan loop tersebut dilakukan berdasarkan jumlah link yang telah melewati batas status normal utilisasi sebesar 50%. Perangkat-perangkat yang digunakan dalam pemodelan jaringan simulasi meliputi router switch, server dan 10Gbps\_ethernet\_adv (fiber optik). Spesifikasi dari seluruh perangkat tersebut beserta konfigurasi pengoperasian simulasi dapat dilihat pada Tabel 1 sampai 3.

Tabel 1. Konfigurasi umum perangkat router switch dan server

Atribut	router switch	server
Interface	(Adjustable)	IF0
MTU	Ethernet (9192)	Ethernet (1500)
Processing Scheme	CPU	CPU
Datagram Switching Rate	500.000 pps	500.000 pps
Forwarding Rate Units	pps	pps
Memory Size	512 MB	256 MB
QoS Scheme	FIFO	FIFO
Buffer Size	2 Mbytes	2 Mbytes
Interface Speed	10 Mbps	-

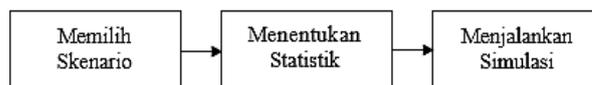
Tabel 2. Konfigurasi media transmisi

Atribut	Settingan
Model	10Gbps_ethernet_adv
Propagation Speed	250.000.000 m/s
BER	1,00E-09
Color	Yellow
Condition	Enabled
Cost	1
Data Rate	10 Gbps
Delay (Propagation)	(sesuai jarak real)
Packet Format	ethernet, ethernet_v2

Tabel 3. Konfigurasi pengoperasian simulasi

Atribut	Settingan
Duration	10 minutes
Seed	128
Values per statistic	500
Update interval	200000 events
Simulation Kernel	optimized
Simulation set name	scenario real

## 2.2 Pengukuran QoS



Gambar 4. Diagram alir pengukuran QoS

Pada pengukuran QoS untuk performansi link, langkah-langkah yang dilakukan adalah memilih skenario mana yang akan diukur (kondisi awal/forecasting) kemudian memilih statistik yang berkaitan dengan tiga parameter yang akan diukur yaitu RTD, jitter dan packet loss. Setelah itu, simulasi dijalankan hingga selesai untuk memperoleh hasil pengukuran. Standarisasi dari ketiga parameter berdasarkan PT. Telkom[7] dan ITU-T[8] ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Standarisasi pengukuran QoS

Parameter	Std PT. Telkom	Std ITU-T
RTD	12 msec	< 5 msec
Jitter	10 msec	< 1 msec
Packet Loss	0,20%	< 0,001%

### 2.2.1 Round trip delay (RTD)

Delay (end-to-end delay) adalah waktu tunda suatu paket yang diakibatkan oleh proses transmisi dari satu titik ke titik lain tujuannya. Delay dalam suatu jaringan juga merupakan parameter yang dapat dijadikan acuan dalam menilai kualitas dan kehandalan link. Sementara round trip delay (RTD), merupakan penjumlahan dari dua nilai delay. Pada penelitian ini, RTD adalah penjumlahan dari delay paket data dan delay ACK dimana ACK diasumsikan memiliki ukuran paket sebesar 40 bytes[9].

Perlu diketahui, analisis untuk *delay* antrian dalam *node* yang terukur dalam *delay* proses dari *delay* total menggunakan model antrian tunggal (*single queue*). Pengukuran antrian tunggal dilakukan berdasarkan antrian *point-to-point* antar *node* dan bukan antrian keseluruhan jaringan (*queueing network*). Untuk mencari RTD, dapat dihitung dengan persamaan (1).

$$T = (\tau_T + \tau_{prop} + \tau_{proc}) + (\tau_{ack} + \tau_{prop} + \tau_{proc}) \quad (1)$$

keterangan:

- $T$  = *delay* total (s atau ms)
- $\tau_T$  = *delay* transmisi (s atau ms)
- $\tau_{prop}$  = *delay* propagasi (s atau ms)
- $\tau_{proc}$  = *delay* proses (s atau ms)
- $\tau_{ack}$  = *delay* transmisi ACK (s atau ms)

### 2.2.2 Jitter

*Jitter* dapat didefinisikan sebagai total variasi *delay* antara blok-blok informasi yang berurutan. Besarnya nilai *jitter* akan sangat dipengaruhi oleh variasi beban trafik yang ada dalam jaringan hingga berpeluang menimbulkan tumbukan antar paket (*collision*). Besarnya nilai *jitter* menandakan performansi *link* pada jaringan tersebut buruk sehingga nilai *jitter* harus dijaga seminimal mungkin. Perbedaan *delay* dengan *jitter* terletak pada waktu keterlambatannya. *Delay* memiliki keterlambatan yang konstan pada tiap waktunya, sedangkan perbedaan waktu keterlambatan pada *jitter* cenderung tidak menentu. Dalam OPNET, *jitter* disebut juga total variasi *end-to-end delay* dan untuk mengukurnya menggunakan persamaan (2).

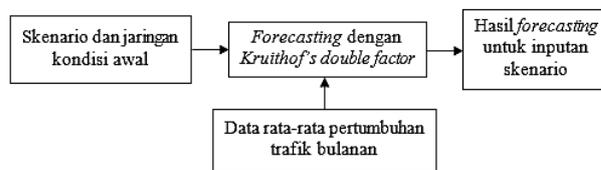
$$Jitter (s) = \sqrt{(delay\ yang\ terjadi - rerata\ delay)^2} \quad (2)$$

### 2.2.3 Packet Loss

*Packet loss* didefinisikan sebagai kegagalan transmisi paket data untuk mencapai tujuannya. Dalam jaringan IP, nilai *packet loss* ini diharapkan mempunyai nilai yang sekecil mungkin. Kegagalan paket data dalam mencapai tujuan dapat disebabkan oleh beberapa kemungkinan, diantaranya adalah terjadinya *error* transmisi, TTL (*Time To Live*) paket data tidak tercapai, terjadinya kemacetan (*congestion*) dan luapan trafik (*overflow*), hingga kerusakan perangkat media fisik. Untuk pengukuran *packet loss*, dapat menggunakan persamaan (3).

$$Packet\ Loss = \frac{Packet\ sent - Packet\ received}{Packet\ sent} \times 100\% \quad (3)$$

## 2.3 Pendimensionian Jaringan



Gambar 5. Diagram alir pendimensionian jaringan

Pendimensionian jaringan atau *forecasting* pada penelitian ini menggunakan metode *kruithof's double factor*. Metode ini digunakan untuk menentukan trafik mendatang dari satu tempat ke tempat yang lain (trafik  $A_{ij}$ ) dalam matriks trafik dengan asumsi tertentu. Asumsi tersebut meliputi beban trafik yang telah diketahui serta estimasi total *originating traffic* (baris) dan *terminating traffic* (kolom) juga telah ditentukan. Tujuan dari metode ini adalah melakukan pendekatan untuk mencari konfigurasi beban trafik *point-to-point* terbaik berdasarkan penyesuaian beban trafik total *node/sentral*. Matriks *kruithof's double factor* dapat dihitung dengan persamaan (4).

$$A_{ij(n+1)} = A_{ij(n)} \cdot \frac{S_1}{S_0} \quad (4)$$

keterangan:

- $A_{ij(n+1)}$  = Trafik *point-to-point* mendatang
- $A_{ij(n)}$  = Trafik *point-to-point* saat ini
- $S_1$  = Trafik total mendatang
- $S_0$  = Trafik total saat ini

Sementara untuk data trafik saat ini, rerata pertumbuhan trafik per bulan, rerata ukuran paket per *link*, serta kapasitas *link* ditunjukkan pada Tabel 5 dan 6.

Tabel 5. Data-data dasar jaringan untuk kebutuhan pendimensionian

LINK	Trafik	Rerata	Rerata
	Saat ini (pps) (utilisasi %)	Pertumbuhan (pps)	Uk. Paket (bits)
GBL - GBL2	2.777.263 (52,15%)	75.058	9.473
GBL2 - GBL	2.154.264 (6,51%)	22.483	1.350
GBL2 - DEM	2.102.131 (53,17%)	60.282	7.428
DEM - GBL2	1.643.013 (7,6%)	18.284	1.227
DEM - KDS	1.383.949 (53,89%)	44.393	7.917
KDS - DEM	1.062.322 (7,58%)	12.190	1.267
KDS - PWD	391.345 (5,73%)	3.800	1.305
PWD - KDS	332.748 (8,04%)	3.565	2.257
PWD - TOR	211.803 (1,51%)	659	1.266
TOR - PWD	296.319 (13%)	3.349	9.271
TOR - GLK2	193.246 (1,36%)	676	1.241
GLK2 - TOR	271.988 (13%)	3.364	9.419
GLK2 - GLK	2.930.618 (18,67%)	38.813	1.752
GLK - GLK2	2.857.838 (55,77%)	63.305	5.695
GLK - GBL	303.142 (4,82%)	2.766	1.430
GBL - GLK	345.948 (30,96%)	5.326	8.788

Tabel 6. Kapasitas tiap-tiap link jaringan

LINK	Kapasitas Link (Gbps)
GBL - GBL2	5 x 10
GBL2 - GBL	5 x 10
GBL2 - DEM	3 x 10
DEM - GBL2	3 x 10
DEM - KDS	2 x 10
KDS - DEM	2 x 10
KDS - PWD	1 x 10
PWD - KDS	1 x 10
PWD - TOR	2 x 10
TOR - PWD	2 x 10
TOR - GLK2	2 x 10
GLK2 - TOR	2 x 10
GLK2 - GLK	3 x 10
GLK - GLK2	3 x 10
GLK - GBL	1 x 10
GBL - GLK	1 x 10

DEM - GBL2	0,647	9 & 12
DEM - KDS	0,328	12
KDS - DEM	0,327	9,10, & 12
KDS - PWD	0,654	2
PWD - KDS	0,654	2
PWD - TOR	2,614	5
TOR - PWD	2,614	5
TOR - GLK2	0,648	0 s/d 5
GLK2 - TOR	0,648	0 s/d 8
GLK2 - GLK	0,085	0 s/d 12
GLK - GLK2	0,085	0 s/d 12
GLK - GBL	0,326	0 s/d 8
GBL - GLK	0,327	0

### 3. Hasil dan Analisa

#### 3.1 Statistik Simulasi

Simulasi yang dimodelkan pada seluruh skenario telah berjalan sesuai harapan. Hal tersebut terlihat pada jendela *DES Log Viewer* dimana hanya terdapat keterangan dengan kategori sebatas pemberitahuan (kondisi normal/warna hijau) dan bukan merupakan peringatan ataupun *error* (kondisi kritis/warna merah). Setiap skenario rata-rata membutuhkan waktu simulasi selama 30-35 menit dan untuk tampilan menu *DES Log Viewer* ditunjukkan pada Gambar 6.

Severity	Time	Event	Node	Category	Class	SubClass	Message
1 Notice	0:5000000000	34097	Network:GBL	Protocol	TCP	Data_Transmission	SYMPTOM(S)
2 Notice	14:8735000000	44792968	Network:DEM	Protocol	TCP	Data_Transmission	SYMPTOM(S)
3 Notice	14:8738000000	44793622	Network:GBL2	Protocol	TCP	Data_Transmission	SYMPTOM(S)
4 Notice	599:6250000000	772264346	Network:GBLX	Configuration	Application	Setup	APPLICATION CONFIGURATION WARNING(S)
5 Information			Low-Level	Simulation	Summary		Program: op_ruram (7808 32 bit)

Gambar 6. *DES Log Viewer* simulasi

#### 3.2 Analisis Pengukuran QoS

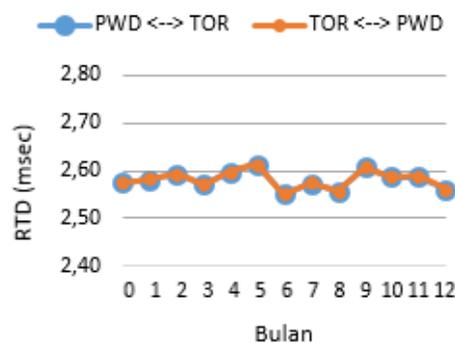
Setelah seluruh skenario disimulasikan dengan statistik-statistik yang telah ditentukan pula, nilai-nilai hasil pengukuran untuk parameter RTD, *jitter* dan *packet loss* pada setiap link hingga bulan ke-12 dapat dilihat pada Tabel 7, 8 dan 9. Dalam tabel-tabel tersebut, nilai yang dicuplik adalah nilai-nilai terbesar saja yang dianggap mendekati atau bahkan melewati standarisasi pada Tabel 4 serta pada skenario *forecasting* bulan yang berbeda-beda pula.

##### 3.3.1 Round Trip Delay (RTD)

Tabel 7. Hasil pengukuran RTD per link nilai terbesar

LINK	RTD (msec)	Bulan Ke-
GBL - GBL2	0,086	6
GBL2 - GBL	0,085	0 s/d 11
GBL2 - DEM	0,647	9 & 12

Jika dilihat pada Tabel 7, nilai RTD terbesar dari seluruh link masih berada dibawah batas standarisasi yang berarti masih dalam performansi yang baik. Peningkatan trafik karena *forecasting* tidak selalu mengartikan bahwa nilai RTD juga akan selalu naik, tetapi ada pula yang konstan atau bahkan turun meskipun selisihnya sangat kecil. Hal tersebut terjadi karena pembulatan beberapa angka dibelakang koma saat dilakukan perhitungan rata-rata. Namun yang terpenting, seluruh link tersebut masih bisa melayani peningkatan trafik hingga bulan ke-12 ( $\lambda < \mu$ ). Untuk RTD tertinggi, terdapat pada link PWD-TOR/TOR-PWD dengan 2,614 ms. Meskipun trafik pada link tersebut rendah, namun ternyata RTD-nya tinggi. Hal tersebut disebabkan karena terlalu sering terjadi perilaku TCP (duplikat ACK, *retransmission*, *reset connection*, dll.) sehingga trafik yang akan ditransmisikan harus menunggu pada ruang memori/buffer terlebih dahulu (*delay* antrian dalam *delay* proses) hingga TCP menyelesaikan skemanya. Grafik RTD untuk link PWD-TOR/TOR-PWD ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik RTD tertinggi pada link PWD-TOR/TOR-PWD

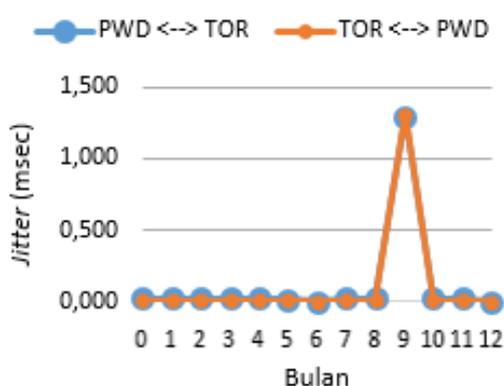
##### 3.3.2 Jitter

Tabel 8. Hasil pengukuran jitter per link nilai terbesar

LINK	Jitter (msec)	Bulan ke-
GBL - GBL2	0,00201	6
GBL2 - GBL	0,00219	4
GBL2 - DEM	0,00268	12
DEM - GBL2	0,00220	12
DEM - KDS	0,00284	12
KDS - DEM	0,00210	12
KDS - PWD	0,32560	9

PWD - KDS	0,00224	0
PWD - TOR	1,29894	9
TOR - PWD	1,30801	9
TOR - GLK2	0,00238	1
GLK2 - TOR	0,32464	9
GLK2 - GLK	0,00231	9
GLK - GLK2	0,00222	11
GLK - GBL	0,00217	2
GBL - GLK	0,00247	8

Berdasarkan Tabel 8, dapat dilihat bahwa nilai *jitter* terbesar pada setiap *link* hanya terjadi pada satu waktu saja. Hal tersebut sesuai dengan teori dimana *jitter* memiliki keterlambatan waktu yang cenderung tak menentu. Nilai *jitter* juga hampir sama dengan RTD dimana tidak selalu naik seiring pertumbuhan volume trafik. Untuk performansinya, nilai *jitter* pada seluruh *link* masih berada dibawah standarisasi yang digunakan, kecuali *link* PWD-TOR/TOR-PWD. *Link* PWD-TOR/TOR-PWD memiliki nilai *jitter* sebesar 1,29 ms dan 1,30 ms yang berarti telah melewati batas ITU-T. Beberapa penyebab hal tersebut diantaranya adalah terlalu seringnya terjadi perilaku TCP sehingga variasi *delay* antrian dalam *delay* prosesnya tinggi ataupun karena fluktuasi variasi *delay* total yang tinggi sehingga menyebabkan selisih nilai yang cukup signifikan saat perhitungan rata-rata dan pembulatan angka dibelakang koma. Untuk nilai yang berfluktuasi tersebut, bisa juga dipengaruhi oleh kondisi teknis ketika simulasi yang dijalankan pada suatu periode/skenario menggunakan RAM perangkat/laptop (RAM *usage*) yang cukup tinggi. Meskipun hal tersebut tidak terlalu berpengaruh pada performansi *link* maupun jaringan keseluruhan, namun sekiranya tetap dapat dijadikan bahan pertimbangan untuk *upgrading link* dalam penggunaan kedepannya. Grafik *jitter* pada *link* PWD-TOR/TOR-PWD tersebut dapat dilihat pada Gambar 8.

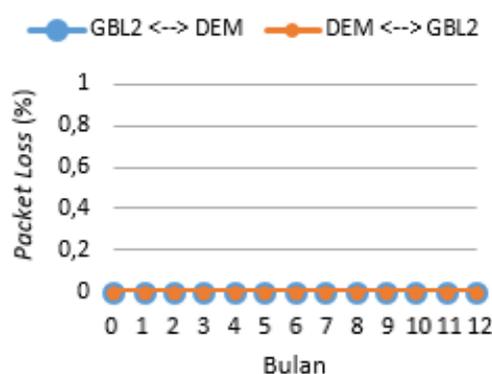


Gambar 8. Grafik *jitter* tertinggi pada *link* PWD-TOR/TOR-PWD

Tabel 9. Hasil pengukuran *packet loss* per *link* keseluruhan

LINK	Packet Loss (%)
GBL - GBL2	0
GBL2 - GBL	0
GBL2 - DEM	0
DEM - GBL2	0
DEM - KDS	0
KDS - DEM	0
KDS - PWD	0
PWD - KDS	0
PWD - TOR	0
TOR - PWD	0
TOR - GLK2	0
GLK2 - TOR	0
GLK2 - GLK	0
GLK - GLK2	0
GLK - GBL	0
GBL - GLK	0

Tabel 9 menunjukkan bahwa performansi seluruh *link* jaringan untuk parameter *packet loss* masih sangat baik dimana nilai-nilainya masih berada dibawah dua standarisasi yang digunakan, yaitu sebesar 0%. Berdasarkan kondisi tersebut, dapat disimpulkan bahwa jumlah paket data yang diterima sesuai dengan jumlah paket data yang dikirimkan. Hal itu menandakan bahwa semua faktor penyebab terjadinya *packet loss* seperti yang telah dijelaskan pada landasan teori sub bab 2.3.3 tidak terjadi dalam penelitian ini. Pada penelitian ini tidak terjadi *error* transmisi baik akibat kegagalan sinkronisasi ataupun *noise*. TTL paket data pada semua paket yang ditransmisikan juga telah tercapai sebab *routing* yang diterapkan bersifat tetap. Untuk pertumbuhan trafik yang terjadi, ternyata masih dapat dilayani oleh kapasitas jaringan ( $\lambda < \mu$ ) sehingga tidak menyebabkan kemacetan (*congestion*) ataupun luapan trafik (*overflow*).



Gambar 9. Grafik *packet loss* pada *link* GBL2-DEM/DEM-GBL2

### 3.3.3 Packet Loss

### 3.3 Analisis Pendimensian Jaringan

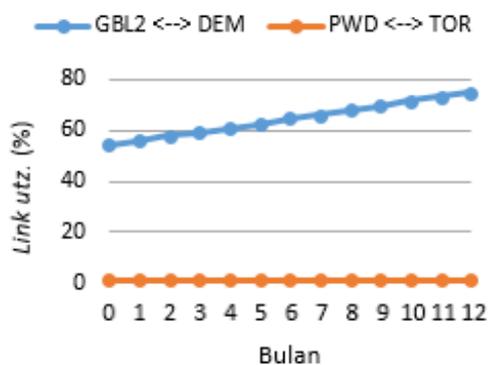
Setelah dilakukan pendimensian jaringan dengan metode *kruithof's double factor*, diperoleh peningkatan trafik

point-to-point hingga bulan ke-12 seperti yang terlihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Peningkatan trafik hasil forecasting

LINK	Peningkatan Trafik (pps)	Utilisasi (%)
GBL - GBL2	3.661.622	69,14
GBL2 - GBL	2.345.069	6,75
GBL2 - DEM	2.904.506	74,78
DEM - GBL2	1.878.758	8,5
DEM - KDS	1.900.328	73,96
KDS - DEM	1.129.611	7,94
KDS - PWD	515.935	7,37
PWD - KDS	391.865	9,81
PWD - TOR	203.374	1,21
TOR - PWD	257.517	11,45
TOR - GLK2	280.349	1,89
GLK2 - TOR	328.693	16,32
GLK2 - GLK	3.380.037	21,43
GLK - GLK2	3.538.507	68,04
GLK - GBL	415.325	6,14
GBL - GLK	426.197	38,86

Menurut Tabel 10, dapat dilihat bahwa seluruh link rata-rata mengalami peningkatan trafik. Untuk peningkatan tertinggi, terdapat pada link GBL2-DEM dengan utilisasi hingga 74,78% dan terendah terdapat pada link PWD-TOR dengan utilisasi sebesar 1,21%. Grafik dari kedua link ditunjukkan pada Gambar 10 dalam bentuk utilisasi.



Gambar 10. Grafik pertumbuhan trafik tertinggi (GBL2-DEM) dan terendah (PWD-TOR)

Khusus untuk link PWD-TOR maupun sebaliknya (TOR-PWD) yang memiliki nilai trafik terkecil, sebenarnya trafik pada link tersebut justru mengalami penurunan. Hal tersebut akibat sifat ketidak laziman dari pendekatan metode *kruithof's double factor* yang digunakan untuk perhitungan forecasting. Metode tersebut mengkonfigurasi matriks beban trafik point-to-point terbaik dengan menurunkan trafiknya, namun trafik total sentral tetap naik. Meski begitu, penurunan yang trafik yang terjadi memang tidak terlalu signifikan dan cenderung konstan jika dilihat menurut grafiknya.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, jaringan metro ethernet yang disimulasikan berdasarkan kondisi asli dan pendimensian telah berjalan sesuai harapan, seperti yang ditunjukkan pada jendela statistik simulasi DES Log Viewer. Pada pengukuran performansi link untuk parameter round trip delay (RTD), menunjukkan bahwa seluruh link dalam jaringan masih dalam kondisi yang baik berdasarkan seluruh skenario yang disimulasikan dengan mengacu pada standarisasi sebesar 12 ms (Telkom) dan <5 ms (ITU-T). Nilai tertinggi yang terukur untuk parameter RTD terdapat pada link PWD-TOR dengan rentang nilai 2,5-2,6 ms. Selanjutnya, pada pengukuran parameter jitter/variasi delay jika mengacu pada standarisasi sebesar 10 ms (Telkom), maka seluruh link dalam jaringan masih dinyatakan baik. Namun jika mengacu pada standarisasi sebesar <1 ms (ITU-T), terdapat dua direct link yang jitter-nya telah melewati batas. Kedua link tersebut adalah link PWD-TOR dengan nilai 1,299 ms dan link TOR-PWD dengan nilai 1,308 ms yang diperoleh saat pengukuran pada pendimensian bulan ke-9. Untuk pengukuran parameter packet loss, menunjukkan bahwa seluruh link jaringan masih dalam kondisi yang baik berdasarkan seluruh skenario yang disimulasikan dengan mengacu pada standarisasi sebesar 0,2% (Telkom) dan <0,001% (ITU-T). Seluruh pengukuran packet loss bernilai 0% dan sekaligus menandakan bahwa seluruh paket dapat ditransmisikan dengan baik hingga tujuan. Selanjutnya, untuk hasil pendimensian pada keseluruhan jaringan metro ethernet hingga bulan ke-12 telah sesuai dengan harapan. Peningkatan volume trafik jaringan yang terjadi setiap bulannya bersifat linier dengan rata-rata nilainya adalah 358.313 dalam pps atau 2.096.253.847 dalam bps, namun masih berada dibawah batas maksimal kapasitas sistem sehingga masih bisa terlayani dengan baik ( $\lambda < \mu$ ). Pada hasil pendimensian jaringan untuk trafik per link hingga bulan ke-12, peningkatan volume trafik akhir tertinggi terdapat pada link GBL2-DEM dengan volume trafik sebesar 2.904.506 pps dan utilisasi sebesar 74,78%. Sementara untuk volume trafik akhir terendah, terdapat pada link PWD-TOR yang hanya sebesar 203.374 pps dengan utilisasi sebesar 1,21%. Beberapa saran pengembangan kedepan untuk penelitian ini adalah analisis untuk faktor-faktor lain didalam jaringan transport, seperti protokol jaringan, algoritma routing, sistem keamanan ataupun analisis pada jaringan lainnya yang terintegrasi dengan jaringan transport, seperti jaringan IP core (DWDM), jaringan internet, dll. Untuk pendimensian jaringan dan forecasting, dianjurkan menggunakan data waktu lampau dengan rentang waktu yang lebih panjang agar hasil yang diperoleh lebih akurat. Selanjutnya pada bagian simulasi, dianjurkan untuk menggunakan software yang lebih baru dengan fitur yang lebih lengkap agar lebih baik dalam pemodelan jaringan sesuai kondisi aslinya.

## Referensi

- [1] K. R. Sitompul, *Analisis Kinerja Jaringan Metropolitan Area Network Dengan Teknologi Metro Ethernet (Studi Kasus PT Telkom Medan)*. 2009.
- [2] A. Tris Susilo, *Analisa Implementasi dan Quality Of Service Metro Ethernet Pada Group Customer Solution PT. Indosat*. 2012.
- [3] A. Wahyu P, E. Yudaningtyas, and S. Hadi Pramono, "Peramalan Kebutuhan Bandwidth Iub Jaringan UMTS dan HSDPA Menggunakan Fuzzy Inference System dan Time Series," *J. EECCIS*, vol. 8, no. 1, pp. 33–40, 2014.
- [4] M. Papadopouli, H. Shen, E. Raftopoulos, M. Ploumidis, and F. Hernandez-campos, "Short-term traffic forecasting in a campus-wide wireless network," 2004.
- [5] M. I. Yusof, A. N. Zainudin, R. A. Rahman, and M. Kassim, "SERVICE LEVEL AGREEMENT PERFORMANCE ANALYSIS ON QUALITY OF SERVICE UPE-METRO ETHERNET," *ARNP J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 10, no. 2, pp. 619–625, 2015.
- [6] ITU-D SG 2/16 & ITC and V. B. Iversen, *TELETRAFFIC ENGINEERING HANDBOOK*. 2001.
- [7] PT Telkom Indonesia, *Kebijakan Pengelolaan Infrastruktur Infocom Divisi Infratel KV.85/TK000/DIT-050/2009*. 2009.
- [8] EXFO Inc., "EtherSAM : The New Standard In Ethernet Service Testing," *EXFO Assessing Next-Gen Networks*. pp. 1–12, 2011.
- [9] B. Chen, I. Marsic, H.-R. Shao, and R. Miller, "Improved Delayed ACK for TCP over Multi-Hop Wireless Networks," *IEEE Commun. Soc.*, no. January 2015, pp. 1–6, 2009.
- [10] M. A. Aristyorini, "Evaluasi Kinerja Protokol AOMDV Terhadap Serangan Malicious Node Dan DDOS Pada MANET Dengan Menggunakan Network Simulator 2 (NS2)," *Lap. Tugas Akhir Tek. Elektro Univ. Diponegoro Semarang*, 2015.
- [11] OPNET Technologies Inc., "Version: 14.5.A PL8 (Build 7808 32-bit)," *Bethesda, MD 20814, USA*. 2008.

