



Tems Investigation Dengan Metode Perbandingan Kinerja Qos Sebagai Acuan Evaluasi Kualitas Jaringan Data Selular

Almurozy Mursidan¹

¹Teknik Informatika Universitas Indrprasta PGRI
 Correspondensi: almurozy.mursidan@gmail.com

ABSTRAK

Artikel ini membandingkan kinerja QoS (Quality of Service) antara dua operator yaitu Operator TE dan Operator IN dengan berdasarkan parameter delay, throughput, dan packet loss yang diukur di beberapa area sektor. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan perangkat TEMS Investigation pada sektor pemukiman dengan mempertimbangkan kepadatan traffic jaringan dan waktu pengukuran (jam sibuk dan jam normal). Hasil pengukuran menunjukkan bahwa Operator TE memiliki delay yang lebih baik di sektor II (33,92 ms) dibandingkan Operator IN (34,39 ms), sementara Operator IN unggul dalam throughput (37,82 Mb/s) dan packet loss (1,64%) di sektor III. Pada pengukuran waktu normal, Operator IN lebih baik dalam nilai throughput (38,01 Mb/s) dan packet loss (1,64%), meskipun Operator TE sedikit lebih unggul dalam delay (34,01 ms). Secara keseluruhan, Operator IN menunjukkan kinerja yang lebih konsisten, dengan kualitas lebih baik pada parameter throughput dan packet loss dibandingkan Operator TE. Kedua operator berada dalam kategori sangat baik untuk delay, sedang untuk throughput, dan baik hingga sangat baik untuk packet loss menurut standarisasi TIPHON, yang menunjukkan kualitas jaringan yang cukup memadai pada kedua operator.

Kata kunci : Pengukuran, Delay, Throughput, Packet loss, QoS

PENDAHULUAN

Dalam penggunaan *smartphone* untuk mengakses media sosial dan internet, kebutuhan akan komunikasi tanpa batas semakin meningkat. Untuk mendukung hal ini, dibutuhkan kecepatan data (bit rate) dan kualitas jaringan yang optimal dari operator selular agar layanan data internet dapat berjalan dengan lancar bagi para penggunanya. Kebutuhan terhadap layanan data internet kini telah menjadi hal yang sangat penting di berbagai kalangan masyarakat, yang menjadikannya sebagai elemen utama dalam kehidupan sehari-hari. Oleh karena itu, untuk memenuhi kebutuhan ini, performa kualitas jaringan harus selalu terjaga, terutama dalam hal parameter-parameter QoS (*Quality of Service*) pada layanan data internet. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja dan kualitas layanan data yang sesuai dengan standar QoS, serta mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi kualitas layanan data internet. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk membandingkan kualitas layanan antara operator yang berbeda. Parameter kualitas jaringan dan layanan data internet yang menjadi fokus penelitian ini meliputi *delay*, *packet loss*, dan *throughput*. Penelitian ini menggunakan standar Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks (TIPHON) untuk mengukur dan menilai kualitas layanan. Standarisasi TIPHON memberikan acuan untuk mengkategorikan kualitas jaringan berdasarkan parameter-parameter tersebut, yang mencakup berbagai kategori seperti *sangat baik*, *baik*, dan *sedang*.

1. End-to-End Delay

End-to-End Delay adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan data dari sumber sampai ke tujuan. (Riyasa,2013):

$$t_{net} = t_{ED} + t_W + t_T + t_P$$

dengan :

$$t_{net} = \text{delay jaringan end to end (ms)}$$

Delay end-to-end ditentukan berdasarkan arsitektur sistem dan merupakan penjumlahan delay yang ada dalam perjalanan antara sumber dan host

a) Delay Enkapsulasi Dekapsulasi

Waktu yang dibutuhkan untuk proses pemaketan data sebelum dikirim ke *host* tujuan dan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$t_{enc} = \frac{W_{frame\ total}}{c} \times 8$$

$$t_{dec} = \frac{W_{frame\ total}}{c} \times 8$$

$$c = 2B \times \text{Log}_2 n$$

$$t_{ED} = t_{enc} + t_{dec}$$

Dengan :

$$t_{enc} = \text{delay enkapsulasi (ms)}$$

$$t_{dec} = \text{delay dekapsulasi (ms)}$$

$$W_{frame\ total} = \text{panjang frame ethernet}$$

$$c = \text{kecepatan transmisi kanal (bps)}$$

$$n = \text{Jumlah bit (bps)}$$

b) Delay Transmisi

Delay transmisi adalah waktu yang dibutuhkan untuk meletakkan sebuah paket multimedia ke media transmisi. *Delay* transmisi dapat dirumuskan :

$$t_T = \frac{W}{c} \times 8$$

Dengan :

$$t_T = \text{delay transmisi (ms)}$$

$$W = \text{panjang frame yang dikirim}$$

$$C = \text{kecepatan transmisi kanal (bps)}$$

c) Delay propagasi

Delay propagasi adalah waktu yang dibutuhkan untuk merambatkan paket multimedia melalui media transmisi dari server ke client.

$$t_P = \frac{d_{max}}{v}$$

Dengan :

$$t_P = \text{delay propagasi (ms)}$$

$$d_{max} = \text{jarak jangkauan (m)}$$

$$v = \text{kecepatan sinyal media wireless (m/s)}$$

d) Delay antrian

$$\mu = \frac{c}{w}$$

$$\lambda_w = \mu \rho$$

$$t_w = \frac{\lambda_w}{\mu(\mu - \lambda_w)} + \frac{1}{\mu}$$

dengan :

$$t_w = \text{delay antrian (ms)}$$

$$\lambda_w = \text{kedatangan (paket/s)}$$

$$\mu = \text{waktu pelayanan (paket/s)}$$

$$\rho = \text{faktor utilisi sistim nirkabel}$$

$$c = \text{kapasitas kanal}$$

Performansi jaringan untuk parameter *delay* berdasarkan standar TIPHON adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Standarisasi TIPHON *Delay*

<i>Delay</i> (ms)	Kualitas
$t_{end-to-end} < 150$	Sangat Baik
$150 \leq t_{end-to-end} \leq 300$	Baik
$300 < t_{end-to-end} \leq 450$	Sedang
$t_{end-to-end} > 450$	Buruk

2. Throughput

Throughput merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur bandwidth yang sebenarnya diterima oleh klien, atau jumlah data yang berhasil diterima dengan kondisi yang baik dalam waktu total transmisi dari sumber ke penerima. Throughput menggambarkan bandwidth aktual yang terukur pada periode waktu tertentu dalam satu hari, menggunakan rute internet yang spesifik saat mendownload suatu file. Meskipun throughput dan bandwidth memiliki satuan dan rumus yang sama, throughput lebih menggambarkan kapasitas bandwidth yang sebenarnya (aktual) pada suatu waktu tertentu, dengan mempertimbangkan kondisi jaringan dan faktor lainnya yang mempengaruhi, seperti jenis jaringan dan file yang diunduh.

Berikut adalah rumus untuk membandingkan *throughput* dengan bandwidth (Riyasa, 2013):

$$\gamma = \frac{1}{t_v} = \frac{(1-\rho_{tot})}{t_1[1+(\alpha-1)\rho_{tot}]}$$

$$\gamma (\%) = \frac{\gamma}{C_{UE}} \times 100\%$$

dengan :

- α = konstanta propagasi
- C_{UE} = kecepatan ditawarkan operator
- ρ_{tot} = paket loss total
- γ = *throughput* (paket/s)
- t_1 = waktu pengiriman paket (s)

Performansi jaringan untuk parameter *throughput* berdasarkan standar TIPHON adalah pada tabel 2:

Tabel 2. *throughput* standarisasi (TIPHON)

<i>Throughput</i> (Mb/s)	Kualitas
$75 < \gamma \leq 100$	Sangat Baik
$50 < \gamma \leq 75$	Baik
$25 \leq \gamma \leq 50$	Sedang
$\gamma > 25$	Buruk

3. Packet loss

Packet loss merupakan parameter yang menunjukkan jumlah paket data yang hilang atau gagal mencapai tujuan saat pengiriman data dari sumber ke penerima. Penyebab utama terjadinya packet loss adalah kemacetan atau kongesti pada jaringan. Semakin kecil nilai packet loss dalam suatu jaringan, maka semakin baik kinerja jaringan tersebut. Sehingga secara perhitungannya sebagai berikut :

$$\rho_{tot} = 1 - ((1 - \rho_{net})(1 - \rho_{TCP/IP}))$$

$$\rho_{tot}(\%) = \rho_{tot} \times 100\%$$

Performansi jaringan untuk parameter *packet loss* berdasarkan standar TIPHON adalah pada tabel 3:

Tabel 3. *packet loss* standar (TIPHON)

<i>Packet loss</i> (%)	Kualitas
$0 \leq \rho < 3$	Sangat Baik
$3 \leq \rho < 15$	Baik
$15 \leq \rho \leq 25$	Sedang
$\rho > 25$	Buruk

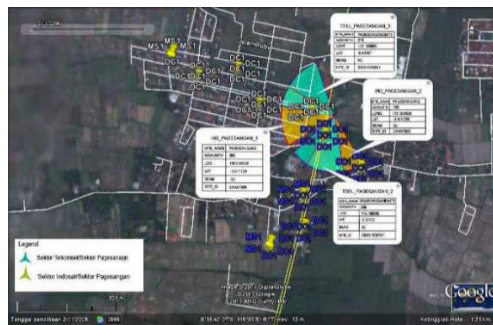
METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode pengukuran kuantitatif dengan pendekatan observasional untuk mengevaluasi kinerja jaringan dua operator seluler, yaitu Operator TE dan Operator IN, berdasarkan parameter-parameter kualitas layanan (QoS) yang terdiri dari *delay*, *throughput*, dan *packet loss*. Pengukuran dilakukan menggunakan perangkat TEMS Investigation yang merupakan alat uji lapangan untuk mengukur kinerja jaringan seluler secara real-time.

1. Lokasi Pengukuran

Pengukuran dilakukan di beberapa area sektor yang mewakili pemukiman dengan mempertimbangkan kepadatan trafik pengguna pada masing-masing operator. Pemilihan area sektor ini didasarkan pada survey

kepadatan pemukiman yang dapat menjadi asumsi untuk kepadatan trafik jaringan. Penelitian ini akan dilakukan pengukuran dengan kombinasi berdasarkan jarak ukur 100 m sampai 500 m pada node B bersama. Area sektor penelitian dilakukan pada sektor II dan sektor III di wilayah yang berlokasi di Jempong Baru Kecamatan Sekarbela Kota Mataram Nusa Tenggara Barat dengan rancangan berdasarkan hasil survey:



Gambar 1. Area pengukuran *node B*

2. Parameter Pengukuran

Tiga parameter utama yang diukur dalam penelitian ini adalah:

- a) Delay: Waktu yang dibutuhkan untuk pengiriman paket data dari sumber ke tujuan dalam jaringan.
- b) Throughput: Kecepatan transfer data yang dapat dicapai oleh jaringan dalam satuan waktu.
- c) Packet Loss: Persentase paket data yang hilang selama transmisi dalam jaringan.

3. Waktu Pengukuran

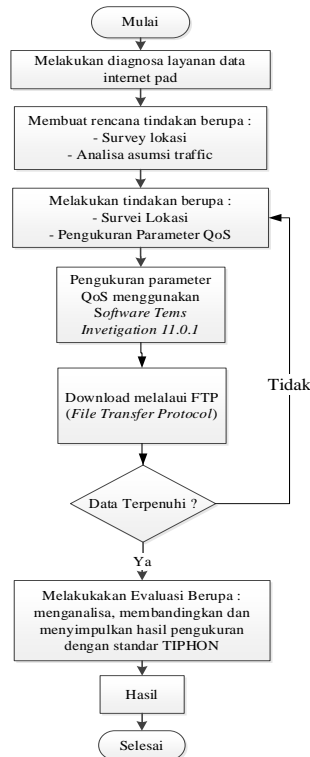
Pengukuran dilakukan pada dua waktu yang berbeda, yaitu pada jam sibuk dan jam normal. Pengukuran pada jam sibuk dilakukan selama periode puncak trafik pengguna, sementara pengukuran pada jam normal dilakukan pada waktu dengan trafik jaringan yang lebih rendah.

4. Alat dan Teknik Pengukuran

Alat yang digunakan untuk pengukuran adalah TEMS Investigation, sebuah perangkat uji yang dapat mengumpulkan data kinerja jaringan secara langsung di lapangan. Data yang dikumpulkan meliputi parameter delay, throughput, dan packet loss pada kedua operator di lokasi yang telah ditentukan. Pengukuran dilakukan secara simultan untuk kedua operator dengan menggunakan parameter yang sama, sehingga dapat dibandingkan secara langsung.

5. Analisis Data

Data yang terkumpul kemudian dianalisis dengan metode statistik deskriptif untuk menghitung rata-rata, deviasi standar, dan melakukan perbandingan antara kinerja kedua operator berdasarkan parameter yang diukur. Hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan standar TIPHON untuk mengevaluasi kualitas jaringan yang dihasilkan oleh masing-masing operator. Berikut langkah-langkah penelitian dapat dilihat pada diagram alir pada gambar 2 :



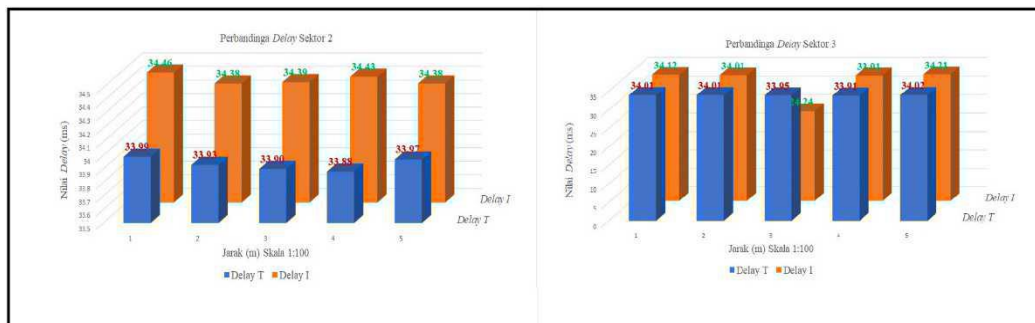
Gambar 2. Flow Chart.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Perbandingan Berdasarkan Area Sektor.

Perbandingan nilai parameter QoS sebagai acuan untuk menilai kinerja jaringan yang lebih baik antara Operator TE dan Operator IN pada Area sektor pengukuran selama seminggu pengukuran. Pada analisa berdasarkan data pengukuran dapat dilihat pada Gambar-Gambar berikut ini :

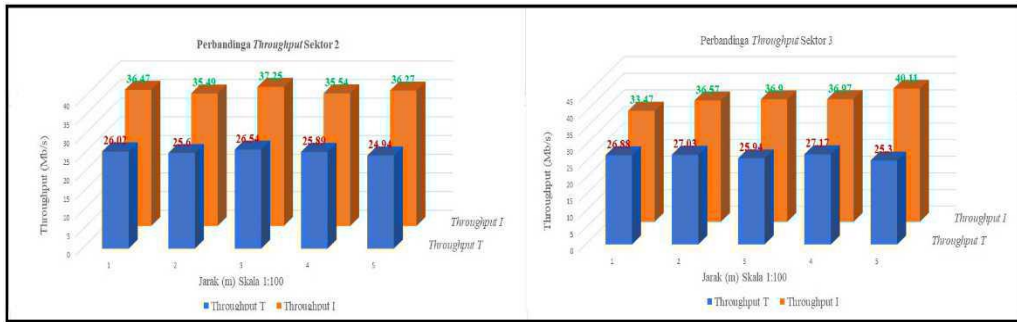
a) Delay End-to-End



Gambar 3. Perbandingan kinerja parameter delay pada operator.

Area sektor pengukuran menunjukkan bahwa Operator TE memiliki kinerja *delay* yang lebih baik pada sektor II, dengan rata-rata *delay* sebesar 33,93 ms, dibandingkan dengan sektor III yang memiliki rata-rata *delay* 34,41 ms. Di sisi lain, Operator IN memiliki kinerja *delay* yang lebih baik pada sektor III, dengan rata-rata *delay* sebesar 33,98 ms, dibandingkan dengan sektor II yang memiliki rata-rata *delay* 32,10 ms. Secara umum, semakin kecil nilai *delay* suatu operator, semakin baik kinerja jaringan pada area sektor tersebut. Mengacu pada standarisasi TIPHON (Tabel 1), nilai *delay* untuk Operator TE dan Operator IN termasuk dalam kategori *sangat baik* untuk jarak pengukuran antara 100 meter hingga 500 meter, dengan nilai *delay* yang berada dalam rentang $t < 150$ ms sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai *delay* dipengaruhi oleh besar kecilnya nilai faktor utilisasi. Operator TE memiliki nilai faktor utilisasi yang lebih kecil, yaitu rata-rata 0,1, dibandingkan dengan Operator IN yang memiliki nilai utilisasi rata-rata sebesar 0,6. Secara teori, semakin besar nilai utilisasi, maka semakin besar pula nilai *delay* yang terjadi pada jaringan. Berdasarkan gambar 3, yang menunjukkan perbandingan *delay* di area sektor pengukuran, dapat disimpulkan bahwa Operator TE memiliki nilai *delay* yang lebih baik dibandingkan dengan Operator IN. Namun, kedua Operator TE tersebut tetap berada dalam kategori standar *sangat baik* berdasarkan standarisasi TIPHON.

b) Throughput

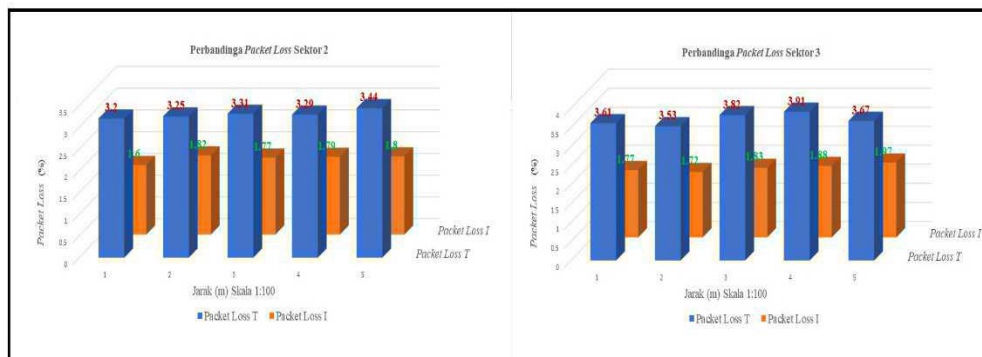


Gambar 4. Perbandingan Kinerja parameter *Throughput* pada operator

Berdasarkan pengukuran kinerja *throughput* di area sektor, baik Operator TE maupun Operator IN menunjukkan kinerja *throughput* yang lebih baik di sektor III. Rata-rata *throughput* untuk Operator TE di sektor III tercatat sebesar 26,46 Mb/s, sedangkan untuk Operator IN adalah 36,80 Mb/s. Jika dibandingkan dengan sektor II, *throughput* Operator TE tercatat lebih rendah, yakni 25,80 Mb/s, sementara *throughput* Operator IN tetap mencapai 36,80 Mb/s.

Mengacu pada standarisasi TIPHON (tabel 2), nilai *throughput* pada kedua operator berada dalam kategori *sedang* untuk jarak pengukuran antara 100 meter hingga 500 meter, dengan rentang *throughput* antara $25 \text{ Mb/s} \leq Y \leq 50 \text{ Mb/s}$. Dari Gambar 4, terlihat bahwa *throughput* Operator IN lebih tinggi dibandingkan dengan Operator TE, yang menunjukkan kinerja yang lebih baik di area sektor pengukuran. Perbedaan ini kemungkinan besar disebabkan oleh adanya interferensi dalam jaringan yang dapat mempengaruhi kemampuan untuk mengirimkan frame data secara handal. Operator TE tampaknya lebih rentan terhadap interferensi ini, yang dapat menjelaskan mengapa nilai *throughput*-nya lebih rendah dibandingkan dengan Operator IN. Sehingga secara kesimpulannya, Operator IN memiliki nilai *throughput* yang lebih tinggi daripada Operator TE dan kedua Operator Teersebut berada dalam kategori *throughput sedang* menurut standarisasi TIPHON.

c) Packet loss



Gambar 5. Perbandingan kinerja parameter *packet loss* pada operator.

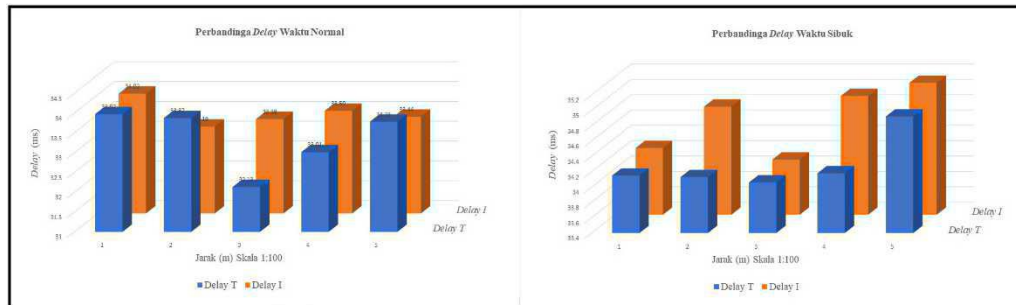
Berdasarkan pengukuran *packet loss* di area sektor, Operator TE menunjukkan kinerja yang lebih baik pada sektor II dengan rata-rata *packet loss* sebesar 3,29%, dibandingkan dengan sektor III yang memiliki rata-rata *packet loss* sebesar 3,71%. Sementara itu, Operator IN menunjukkan kinerja yang lebih baik pada sektor II dengan rata-rata *packet loss* sebesar 1,76%, dibandingkan dengan sektor III yang memiliki rata-rata *packet loss* sebesar 1,83%. Secara umum, semakin kecil nilai *packet loss* suatu operator, semakin baik kinerja jaringan pada area sektor tersebut.

Mengacu pada standarisasi TIPHON (Tabel 3), nilai *packet loss* untuk Operator TE berada dalam kategori *baik* dengan rentang $3\% \leq \rho < 15\%$ pada jarak pengukuran antara 100 meter hingga 500 meter. Sedangkan Operator IN berada dalam kategori *sangat baik*, dengan rentang $0\% \leq \rho < 3\%$ pada jarak yang sama. Dari Gambar 5, terlihat bahwa Operator IN memiliki kinerja *packet loss* yang lebih baik dibandingkan dengan Operator TE. Hal ini dapat dipengaruhi oleh faktor interferensi dalam jaringan, yang dapat menyebabkan tingginya bit error rate pada frame data yang dikirimkan. Operator TE tampaknya lebih rentan terhadap interferensi ini, yang menyebabkan *packet loss* yang lebih tinggi dibandingkan dengan Operator IN, yang lebih mampu menangani interferensi dalam jaringannya.

2. Perbandingan Berdasarkan Waktu Pengukuran

Perbandingan nilai parameter *QoS* pada Operator TE dan Operator IN berdasarkan waktu pengukuran normal dan waktu pengukuran sibuk selama seminggu pengukuran dapat dilihat pada Gambar-Gambar berikut ini :

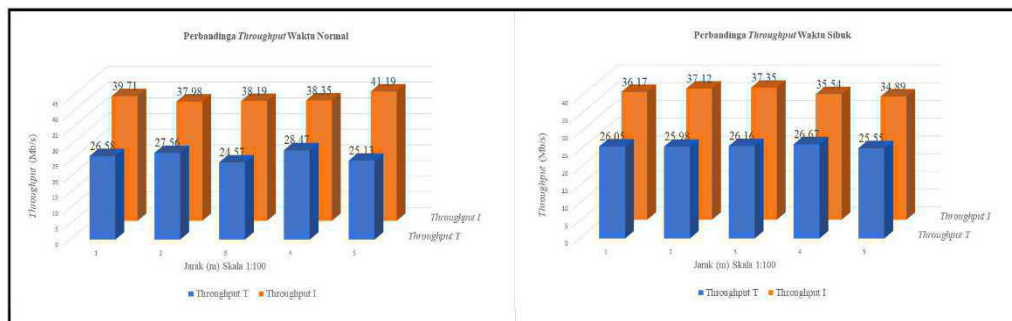
a) Delay End-to-End



Gambar 6. Perbandingan kinerja parameter *delay* berdasarkan waktu pengukuran.

Pengukuran nilai kinerja *delay* pada Operator TE dan Operator IN menunjukkan bahwa nilai *delay* lebih baik pada waktu pengukuran normal dibandingkan dengan waktu pengukuran sibuk. Pada waktu normal, rata-rata *delay* untuk Operator TE tercatat sebesar 33,35 ms, sedangkan untuk Operator IN adalah 33,44 ms. Jika dibandingkan dengan waktu sibuk, rata-rata *delay* untuk Operator TE adalah 34,28 ms dan untuk Operator IN adalah 34,65 ms. Peningkatan nilai *delay* pada waktu sibuk kemungkinan disebabkan oleh peningkatan trafik yang mempengaruhi kinerja jaringan. Berdasarkan Gambar 6 dan mengacu pada standarisasi TIPHON (Tabel 1), nilai *delay* pada kedua Operator INni berada dalam kategori *sangat baik* untuk jarak pengukuran antara 100 meter hingga 500 meter, dengan rentang $t < 150$ ms. Sehingga pada gambar 6, dapat dilihat bahwa nilai *delay* dipengaruhi oleh faktor utilisasi jaringan, yang mengindikasikan seberapa banyak kapasitas jaringan yang terpakai selama proses transmisi data dari satu titik ke titik tujuan. Operator TE memiliki nilai faktor utilisasi yang lebih kecil dibandingkan dengan Operator IN. Secara teori, semakin besar nilai utilisasi, maka semakin tinggi nilai *delay* yang terjadi dalam jaringan. Berdasarkan Gambar 6, yang menunjukkan nilai *delay* berdasarkan waktu pengukuran, terlihat bahwa Operator TE memiliki kinerja *delay* yang lebih baik dibandingkan dengan Operator IN, baik pada waktu normal maupun waktu sibuk. Namun, peningkatan trafik pada waktu sibuk dapat mempengaruhi kinerja kedua operator dan masih berada dalam kategori *sangat baik* berdasarkan standarisasi TIPHON.

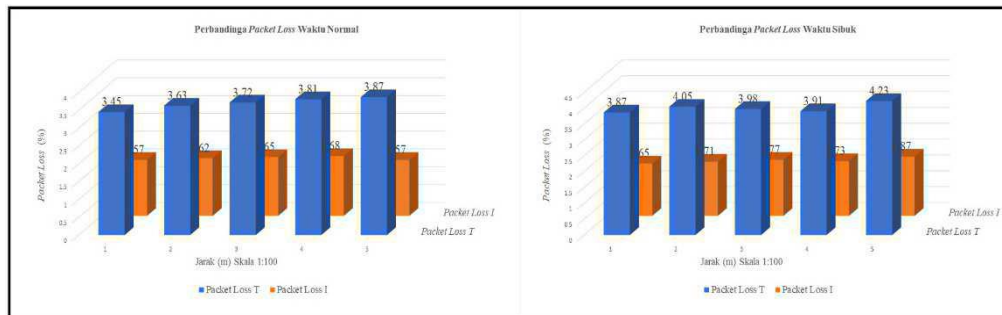
b) Throughput



Gambar 7. Perbandingan kinerja parameter *throughput* berdasarkan waktu pengukuran

Berdasarkan hasil pengukuran, kedua operator menunjukkan nilai prosentase *throughput* yang lebih baik pada waktu normal dibandingkan dengan waktu sibuk. Pada waktu normal, rata-rata *throughput* untuk Operator TE tercatat sebesar 26,46 Mb/s, sedangkan untuk Operator IN mencapai 39,01 Mb/s. Sebaliknya, pada waktu sibuk, rata-rata *throughput* Operator TE adalah 26,01 Mb/s dan untuk Operator IN adalah 36,21 Mb/s. Peningkatan interferensi yang terjadi pada waktu sibuk kemungkinan menjadi faktor utama penurunan *throughput*, karena interferensi dapat menurunkan kecepatan pengiriman frame data. Mengacu pada standarisasi TIPHON (Gambar 7), nilai *throughput* untuk kedua Operator INni berada dalam kategori *sedang* untuk jarak pengukuran antara 100 meter hingga 500 meter, dengan rentang $25 \text{ Mb/s} \leq Y \leq 50 \text{ Mb/s}$. Secara keseluruhan, berdasarkan rata-rata *throughput* pada kedua waktu pengukuran (normal dan sibuk), Operator IN memiliki kinerja *throughput* yang lebih baik dibandingkan dengan Operator TE. Hal ini dapat dijelaskan oleh perbedaan tingkat interferensi yang mempengaruhi kinerja jaringan, di mana Operator IN tampaknya lebih baik dalam menangani interferensi daripada Operator TE, baik pada waktu normal maupun waktu sibuk.

c) Packet loss



Gambar 8. Perbandingan kinerja parameter *packet loss* berdasarkan waktu pengukuran

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kedua operator memiliki nilai *packet loss* yang lebih baik pada waktu normal dibandingkan dengan waktu sibuk. Pada waktu normal, rata-rata *packet loss* untuk Operator TE tercatat sebesar 3,70%, sementara untuk Operator IN adalah 1,62%. Sebaliknya, pada waktu sibuk, rata-rata *packet loss* Operator TE meningkat menjadi 4,01%, sedangkan untuk Operator IN tercatat 1,75%. Secara umum, semakin kecil nilai *packet loss* suatu operator, semakin baik kinerja jaringan pada waktu pengukuran. Peningkatan *packet loss* pada waktu sibuk kemungkinan disebabkan oleh peningkatan interferensi yang dapat menurunkan kualitas jaringan. Interferensi ini dapat menyebabkan peningkatan *bit error rate* yang berakibat pada kehilangan *frame* data selama transmisi. Berdasarkan standarisasi TIPHON (tabel 3), nilai *packet loss* untuk Operator TE berada dalam kategori *baik* dengan rentang $3\% \leq \rho < 15\%$ pada jarak pengukuran antara 100 meter hingga 500 meter. Sedangkan Operator IN memiliki nilai *packet loss* dalam kategori *sangat baik*, dengan rentang $0\% \leq \rho < 3\%$ pada jarak yang sama. Secara keseluruhan, dengan mempertimbangkan rata-rata *packet loss* pada kedua operator berdasarkan waktu pengukuran, Operator IN menunjukkan kinerja *packet loss* yang lebih baik dibandingkan Operator TE, baik pada waktu sibuk maupun waktu normal.

KESIMPULAN

Kinerja berdasarkan area sektor pengukuran bahwa Operator TE lebih baik dalam parameter *delay* di sektor II (33,92 ms), sementara Operator IN unggul dalam *throughput* (37,82%) dan *packet loss* (1,64%) di sektor III. Keduanya berada dalam kategori “sangat baik” untuk *delay*, kategori “sedang” untuk *throughput*, dan kategori “baik” untuk *packet loss* menurut standarisasi TIPHON. Kinerja berdasarkan waktu pengukuran bahwa pada waktu normal, Operator TE sedikit lebih baik dalam *delay* (34,01 ms) dibandingkan Operator IN (34,43 ms). Operator IN memiliki *throughput* lebih tinggi (38,01%) dan *packet loss* lebih rendah (1,64%) dibandingkan Operator TE, dengan keduanya berada dalam kategori “sedang” untuk *throughput* dan “baik” hingga “sangat baik” untuk *packet loss*. Kinerja operator IN menunjukkan kinerja lebih unggul pada parameter *throughput* dan *packet loss*, baik pada waktu normal maupun sibuk. Operator IN juga lebih efisien dalam mengelola interferensi yang mempengaruhi kinerja jaringan. Kualitas jaringan kedua operator berada dalam kategori sangat “baik” untuk nilai *delay*, “sedang” untuk *throughput*, dan “baik” hingga “sangat baik” untuk *packet loss*, sesuai dengan standarisasi TIPHON, sehingga menunjukkan bahwa kualitas jaringan cukup memadai pada kedua operator.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, S. S., & Khokhar, A. (2020). "Evaluation of network performance metrics: Delay, throughput, and packet loss in mobile networks." *International Journal of Communication Systems*, 33(5).
- Andriani, TE., (2014). *Analisis Pengaruh Handover Pada Mobile Wimax untuk Layanan Live Streaming*. Malang : Universitas Brawijaya.
- Chen, X., & Zhang, X. (2019). "A survey on packet loss in cellular networks: Challenges and solutions." *Computer Networks*, 149, 124-136.
- Hermawan, I. P., (2014). *Optimalisasi jaringan UMTS untuk Layanan Voice dan Data pada Wilayah Cileunyi - Pasteur, Kota Bandung*. Bandung: Telkom University.
- Liu, Y., & Xiao, Y. (2020). "Throughput and delay performance in cellular networks: A simulation-based study." *Computer Communications*, 153, 10-19.
- Ravichandran, R., & Sundararajan, V. (2019). "A comprehensive study on the performance analysis of packet loss, delay, and throughput in mobile networks." *Wireless Networks*, 25(1), 217-230.

- Riyasa, DN., (2013). *Analisis Kualitas Jaringan Internet Berbasis High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) Pada Wilayah Urban Di Kota Malang Dengan Metode Drive Test*. Malang : Universitas Brawijaya.
- Setiawan, W., (2016). *Analisis Perbandingan Unjuk Kerja Protokol TCP dengan DCCP Menggunakan Trafik Data Bursty*. Surabaya : Institut Bisnis dan Informatika Stikom:
- Sharma, P., & Soni, H. (2020). "Impact of network interference on packet loss and throughput in 4G and 5G networks." *IEEE Access*, 8, 112101-112112.
- Syaikhuddin, A., (2012). *Analisa Unjuk Kerja Layanan 3G di Surabaya*. Surabaya : Electronic Engineering Polytechnic Institute of Surabaya (EEPIS).
- Wulandari, A., (2011). *Performansi Vidio Streaming Pada Jaringan LTE (Long Term Evaluation) Menggunakan Mode Duplex TDD (Time Division Duplex)*. Malang : Universitas Brawijaya.
- Zhang, Y., & Li, F. (2021). "Performance analysis of cellular network with delay and throughput optimization." *Journal of Network and Computer Applications*, 178, 102942.