

ANALISIS KINERJA PROTOKOL TCP PADA TOPOLOGI JARINGAN SEDERHANA MENGGUNAKAN CISCO PACKET TRACER

Agrian Wahab, Asa hari Wibowo

Teknik Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo Kendari

Kampus Hijau Bumi Tridharma, Anduonohu, Kec. Kambu, Kota Kendari, Sulawesi Tenggara

agrianwahab10@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja *Transmission Control Protocol* (TCP) pada topologi jaringan sederhana menggunakan simulasi Cisco Packet Tracer. Teknologi jaringan komputer memerlukan pemahaman kinerja TCP pada berbagai topologi. Permasalahannya adalah bagaimana memilih topologi jaringan optimal untuk memaksimalkan kinerja TCP. Metode yang digunakan adalah eksperimen dan deskriptif, meliputi perancangan topologi, konfigurasi perangkat, dan pengujian kinerja dengan parameter *throughput*, *delay*, dan *packet loss*. Hasil menunjukkan: Topologi *star* memiliki kinerja terbaik (*throughput* rata-rata 94.5 Mbps, *delay* 12 ms, *packet loss* 0.07%). Topologi *bus* menunjukkan kinerja terendah (*throughput* 91.5 Mbps, *delay* 17 ms, *packet loss* 0.12%), sementara topologi *ring* menampilkan kinerja menengah (*throughput* 92.7 Mbps, *delay* 15 ms, *packet loss* 0.10%). Kesimpulannya, topologi *star* paling efektif untuk implementasi jaringan skala kecil hingga menengah yang memprioritas kinerja tinggi dan stabilitas, topologi *bus* rentan terhadap kemacetan pada jalur *backbone* tunggal, sedangkan topologi *ring* menawarkan keseimbangan antara kinerja dan ketahanan terhadap kegagalan. Penelitian ini memberikan gambaran kinerja TCP yang dapat diandalkan dalam kondisi serupa.

Kata Kunci: TCP, Cisco Packet Tracer, Kinerja Jaringan, Topologi Jaringan, Throughput, Latency

1. PENDAHULUAN

Dalam era digital yang berkembang pesat, jaringan komputer menjadi fondasi utama bagi komunikasi data di berbagai sektor. Keandalan dan efisiensi jaringan adalah kebutuhan utama untuk memastikan transmisi data yang cepat dan tanpa gangguan [1].

Transmission Control Protocol (TCP) sebagai protokol inti pada lapisan transport dalam model OSI, memegang peran vital dalam menjamin pengiriman data secara andal dan terstruktur. Penelitian ini berfokus pada analisis kinerja TCP dalam tiga topologi jaringan sederhana yang masih banyak digunakan: *Star*, *Bus*, dan *Ring* [2].

Topologi-topologi ini tetap relevan, terutama untuk jaringan skala kecil hingga menengah, karena kemudahan pengelolaan dan biaya yang lebih rendah. Masing-masing topologi memiliki karakteristik unik yang dapat mempengaruhi kinerja TCP. Pada topologi *star* dikenal dengan keandalan tinggi dan kemudahan pengelolaan, memungkinkan pengujian yang terfokus pada efektivitas pengiriman data dalam jaringan terpusat, topologi *bus* menawarkan implementasi sederhana namun rentan terhadap kegagalan *backbone* dan *collision domain*, topologi *ring*: Menyediakan redundansi dan distribusi beban yang merata, namun dapat menghadapi tantangan dalam skalabilitas.

Penelitian ini akan menganalisis kinerja TCP dengan fokus pada tiga parameter utama: *throughput*, *delay*, dan *packet loss*. Parameter ini penting dalam mengevaluasi efisiensi dan stabilitas jaringan dalam menghadapi beban lalu lintas data. Pengujian dilakukan menggunakan Cisco Packet Tracer,

perangkat lunak simulasi yang banyak digunakan dalam dunia akademis dan industri. Dengan simulasi ini, penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran nyata tentang kinerja TCP pada ketiga topologi jaringan sederhana serta rekomendasi perbaikan yang relevan untuk implementasi jaringan serupa di masa depan. Hasil penelitian ini akan memberikan wawasan berharga bagi perancang jaringan dan administrator sistem dalam memilih dan mengoptimalkan topologi jaringan berdasarkan kebutuhan spesifik, dengan mempertimbangkan kinerja TCP sebagai faktor kunci dalam pengambilan keputusan [3].

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Transmission Control Protocol* (TCP)

Transmission Control Protocol (TCP) adalah protokol pada lapisan *transport* yang berfungsi untuk memastikan data dikirim secara andal. TCP memecah data menjadi segmen kecil, mengirimkannya, dan memastikan bahwa data tersebut tiba dengan urutan yang benar melalui mekanisme kontrol aliran [4].

2.2. Topologi Jaringan

Topologi jaringan mengacu pada cara perangkat terhubung dalam suatu jaringan. Beberapa jenis topologi yang umum digunakan adalah *star*, *bus*, dan *ring*. Setiap topologi memiliki kelebihan dan kekurangan terkait kinerja dan efisiensi jaringan [5].

2.3. Cisco Packet Tracer

Cisco Packet Tracer adalah alat simulasi jaringan yang populer, digunakan untuk memodelkan dan

menguji berbagai skenario jaringan tanpa perangkat keras. Ini memungkinkan simulasi jaringan secara realistis, membantu pengguna mempelajari konsep jaringan dengan lebih baik [6].

2.4. Throughput

Throughput mengukur jumlah data yang berhasil dikirim dalam jaringan per satuan waktu, biasanya dalam bps. Nilai *throughput* yang tinggi menunjukkan kinerja jaringan yang efisien dan cepat dalam transfer data. Ketika *throughput* rendah, pengguna mungkin mengalami keterlambatan dalam pengiriman atau penerimaan data[7]. Rumus *throughput* dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\text{Throughput} = \frac{\text{jumlah data yang dikirim}}{\text{Waktu pengiriman data}} \quad (1)$$

2.5. Delay

Delay mengukur berapa lama data tertunda atau waktu perjalanan yang diperlukan paket dari titik asal ke tujuan, sehingga semakin besar *delay*, semakin lama waktu yang diperlukan untuk mengirimkan data[8]. Rumus *delay* dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\text{Rata - rata delay} = \frac{\text{total delay}}{\text{total paket yang diterima}} \quad (2)$$

2.6. Packet loss

Packet loss terjadi ketika paket data tidak sampai ke tujuan karena gangguan atau masalah jaringan. Jika *packet loss* terlalu tinggi, ini dapat mengurangi keandalan komunikasi dan menyebabkan kehilangan informasi penting. *Packet loss* yang rendah sangat penting untuk aplikasi yang membutuhkan transmisi data yang konsisten, seperti panggilan *video*[9]. Rumus *packet loss* dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\text{Packet Loss} = \left(\frac{\text{paket data yang dikirim} - \text{paket data yang diterima}}{\text{Paket data yang dikirim}} \right) \quad (3)$$

3. METODE PENELITIAN

3.1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan kombinasi metode eksperimen dan metode deskriptif untuk menganalisis kinerja protokol TCP pada tiga topologi jaringan sederhana. Metode eksperimen digunakan untuk mengukur parameter kinerja jaringan, sedangkan metode deskriptif digunakan untuk menganalisis dan menjelaskan hasil pengukuran tersebut.

3.2. Metode eksperimen

Metode eksperimen diterapkan untuk menguji kinerja TCP pada tiga jenis topologi jaringan sederhana: *star*, *bus*, dan *ring*. Setiap topologi diuji dalam skenario yang berbeda, dengan variasi jumlah perangkat dan kondisi beban lalu lintas untuk menilai kinerja TCP di setiap situasi. Tahapan eksperimen yang dilakukan adalah sebagai berikut:

a. Pemilihan Topologi Jaringan

Tiga topologi jaringan sederhana dipilih untuk simulasi: *star*, *bus*, dan *ring*. Masing-masing

topologi ini dipilih karena penggunaan praktisnya dalam jaringan kecil dan kemampuannya untuk mewakili skenario jaringan dunia nyata yang sederhana[10].

b. Pengaturan Jaringan dan Alokasi IP

Setiap perangkat dalam topologi jaringan diberikan alamat IP unik yang sesuai dengan subnet yang digunakan. Pengaturan jaringan ini memastikan perangkat-perangkat tersebut dapat berkomunikasi satu sama lain dan mendukung pengujian transfer data.

c. Pengujian Parameter Jaringan

Beberapa parameter utama yang diuji dalam eksperimen ini meliputi *throughput*, *delay*, dan *packet loss*.

d. Simulasi dan Pengamatan

Simulasi dilakukan dengan menggunakan Cisco Packet Tracer yang memberikan visualisasi dan pengukuran parameter jaringan. Setiap skenario diobservasi secara menyeluruh untuk mencatat bagaimana TCP mengelola pengiriman data, fragmentasi, dan mekanisme retransmisi dalam kondisi jaringan yang berbeda.

3.3. Metode Deskriptif

Setelah eksperimen dilakukan, hasil yang diperoleh dianalisis menggunakan metode deskriptif. Data kuantitatif yang diperoleh dari simulasi dijelaskan dan disajikan dalam bentuk tabel atau grafik untuk mempermudah analisis. Analisis deskriptif berfokus pada tiga parameter utama:

a. *Throughput*: Jumlah data yang berhasil ditransmisikan per satuan waktu, diukur dalam *bit per second* (bps). Analisis *throughput* akan menggambarkan efisiensi transfer data pada setiap topologi.

b. *Delay*: Waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan data dari sumber ke tujuan, diukur dalam *milidetik* (ms). Analisis *delay* akan menunjukkan kecepatan respon jaringan pada masing-masing topologi.

c. *Packet loss*: Persentase paket data yang hilang selama proses transmisi. Analisis *packet loss* akan mengindikasikan reliabilitas jaringan pada setiap topologi.

Hasil analisis ini akan memberikan pemahaman komprehensif tentang bagaimana topologi jaringan mempengaruhi kinerja TCP, dengan fokus khusus pada tiga parameter utama yang telah ditentukan. Hasil analisis ini akan memberikan wawasan berharga tentang pemilihan topologi yang optimal untuk implementasi TCP dalam jaringan sederhana.

3.4. Teknik Pengumpulan Data

Untuk memperoleh data yang mendukung penelitian ini, beberapa metode pengumpulan data digunakan, di antaranya:

a. Observasi

Observasi dilakukan melalui simulasi yang diterapkan pada perangkat lunak Cisco Packet

Tracer. Pengamatan dilakukan terhadap berbagai parameter jaringan yang berfungsi untuk mengevaluasi kinerja TCP pada topologi jaringan sederhana. Setiap tahap simulasi dan konfigurasi jaringan diobservasi secara cermat, mulai dari pengaturan IP hingga pengiriman paket data, untuk mendapatkan pemahaman yang komprehensif mengenai performa TCP dalam kondisi jaringan yang berbeda.

b. Pencatatan Data Otomatis dari Simulasi

Perangkat lunak Cisco Packet Tracer menyediakan fitur pencatatan otomatis yang memungkinkan pengumpulan data kuantitatif dari setiap parameter jaringan yang diuji. Data ini dicatat dalam bentuk grafik dan log untuk dianalisis lebih lanjut.

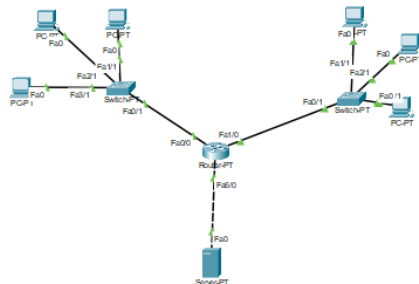
3.5. Metode Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja protokol TCP pada tiga topologi jaringan yang berbeda: *Star*, *Ring*, dan *Bus*. Setiap topologi diuji secara terpisah dengan skenario yang identik untuk memastikan perbandingan yang adil.

3.6. Skenario Pengujian

Pengujian dilakukan dalam tiga skenario berbeda, masing-masing mewakili satu topologi jaringan:

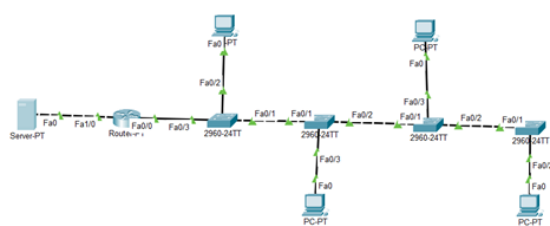
a. Skenario 1: Topologi *Star*



Gambar 1. Topologi *star*

Pada gambar 1 Skenario pengujian topologi *Star* akan dilakukan dengan mengirim data dari PC client ke server melewati switch dan router pusat untuk mengamati aliran data, mengukur *throughput*, *delay*, dan *packet loss* pada setiap segmen jaringan. Fokus utama adalah kinerja router pusat saat menangani lalu lintas data dari multiple switch dan PC secara bersamaan.

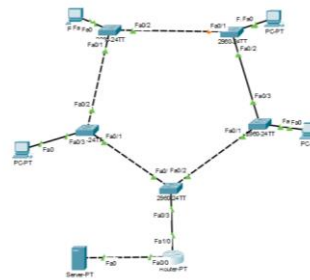
b. Skenario 2: Topologi *Bus*



Gambar 2. Topologi *bus*

Pada gambar 2 skenario pengujian topologi *bus* akan dilakukan dengan mengirim data dari PC di ujung kabel *backbone* ke server melewati router untuk mengamati perjalanan data melalui kabel *backbone* dan setiap perangkat. Ukur *throughput*, *delay*, dan *packet loss* dengan memperhatikan pengaruh jarak (*hop count*) terhadap kinerja. Amati bagaimana di sepanjang kabel *backbone* saat multiple PC mengirim data bersamaan. Fokus pada potensi *collision domain* dan efisiensi penggunaan *bandwidth* pada topologi *bus* ini. Ulangi pengujian tiga kali dengan variasi ukuran paket untuk mengevaluasi konsistensi dan reliabilitas topologi *bus* dalam menangani berbagai pola lalu lintas data.

c. Skenario 3: Topologi *Ring*



Gambar 3. Topologi *ring*

Pada gambar 3 skenario pengujian topologi *ring* Pengujian akan dilakukan dengan mengirim data dari setiap PC ke server melewati *ring* switch dan router untuk mengamati perjalanan data melalui *ring*, baik searah maupun berlawanan arah jarum jam. Ukur *throughput*, *delay*, dan *packet loss* untuk setiap jalur pengiriman data. Fokus pada efisiensi routing dalam topologi *Ring* dan kemampuan jaringan dalam menangani lalu lintas data yang melewati *multiple* switch. Simulasikan kegagalan satu link dengan mematikan salah satu koneksi antar switch dan amati perubahan rute serta dampaknya terhadap kinerja jaringan. Ulangi pengujian tiga kali dengan variasi ukuran paket dan pola lalu lintas untuk mengevaluasi keandalan dan fleksibilitas topologi *Ring* dalam menangani berbagai skenario jaringan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Alat dan Bahan Penelitian

Beberapa perangkat keras dan perangkat lunak digunakan dalam penelitian ini. Alat dan bahan dalam hal ini dipakai pada *cisco packet tracer* sebagai simulasi. Adapun kebutuhan perangkat keras sebagai berikut:

Tabel 1. Kebutuhan perangkat keras

No.	Nama Perangkat Keras	Fungsi
1	Personal Computer (PC)	Perangkat <i>end-user</i> dalam jaringan

No.	Nama Perangkat Keras	Fungsi
2	Switch	Perangkat untuk menghubungkan beberapa segmen jaringan
3	Router	Perangkat untuk menghubungkan antar jaringan
4	Server	Perangkat yang menyediakan layanan dalam jaringan

Selanjutnya kebutuhan perangkat lunak adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Kebutuhan perangkat lunak

No	Nama Perangkat Lunak	Fungsi
1.	Operating System (Windows)	Sistem operasi untuk menjalankan perangkat lunak simulasi seperti Cisco Packet Tracer.
2.	Cisco Packet Tracer	Perangkat lunak simulasi jaringan yang digunakan untuk membangun dan menguji topologi jaringan secara virtual.

4.2. Konfigurasi Jaringan

Router akan digunakan untuk menghubungkan tiga jaringan yang berbeda: 192.168.1.0/24, 192.168.2.0/24, dan 192.168.3.0/24. Berikut adalah langkah-langkah konfigurasi router.

- Klik pada Router di Cisco Packet Tracer.
- Masuk ke tab CLI (*Command Line Interface*) dan mengkonfigurasi dengan perintah berikut

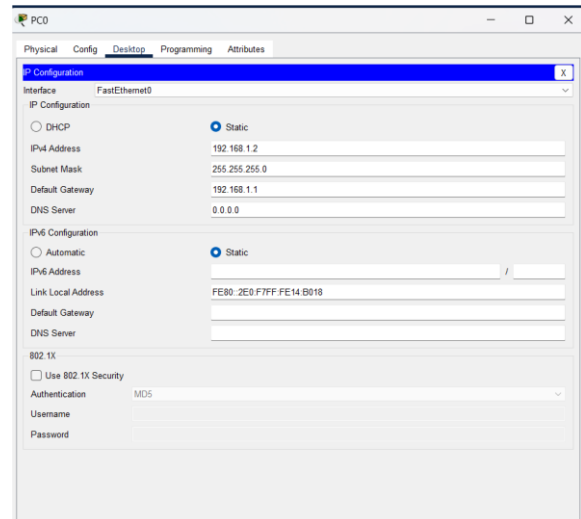
```
Router#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Router(config)#int fa0/0
Router(config-if)#ip address 192.168.1.1 255.255.255.0
Router(config-if)#no shutdown
Router(config-if)#exit
Router(config)#int fa1/0
Router(config-if)#ip address 192.168.2.1 255.255.255.0
Router(config-if)#no shutdown
Router(config-if)#exit
Router(config)#int fa6/0
Router(config-if)#ip address 192.168.3.1 255.255.255.0
Router(config-if)#no shutdown
Router(config-if)#exit
Router(config)#exit
Router#
%SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console

Router#write
Building configuration...
[OK]
Router#
```

Gambar 4. Konfigurasi ip pada router

Masing-masing PC klien akan berada dalam jaringan yang berbeda tergantung pada switch yang terhubung ke router. Berikut adalah langkah-langkah konfigurasi ip yang telah di atur.

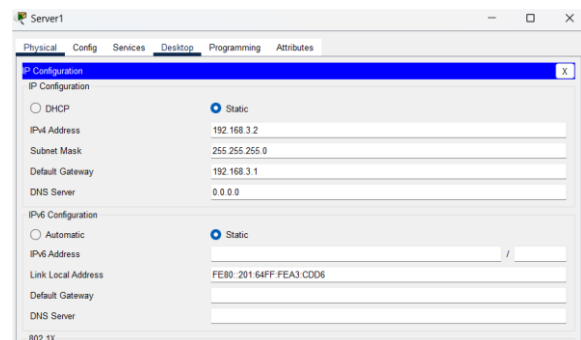
- Klik pada PC1, masuk ke *tab Desktop > IP Configuration*, dan atur seperti berikut:
- Lakukan langkah yang sama untuk PC2 dan PC3, dengan mengatur IP Addressnya.
- Pada PC yang terhubung ke switch berbeda, konfigurasinya dilakukan dengan cara yang sama.



Gambar 5. Konfigurasi ip pada pc klien

Selanjutnya Konfigurasi ip pada server. Berikut adalah langkah-langkah konfigurasi ip pada server yang telah di atur.

- Klik pada Server, masuk ke *tab Desktop > IP Configuration*
- IP Address: 192.168.3.2
- Subnet Mask: 255.255.255.0
- Default Gateway: 192.168.3.1



Gambar 6. Konfigurasi ip pada server

4.3. Parameter Simulasi

Dalam simulasi ini, terdapat beberapa parameter kinerja jaringan yang diukur untuk menganalisis performa *Transmission Control Protocol (TCP)* pada topologi jaringan yang digunakan. Parameter yang diuji meliputi *throughput*, *delay*, *packet loss*. Parameter simulasi bisa dilihat pada tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Parameter simulasi

No.	Parameter	Satuan Pengukuran
1.	Throughput	Bits per second (bps)
2.	Delay	Millisecond (ms)
3.	Packet loss	Persentase (%)

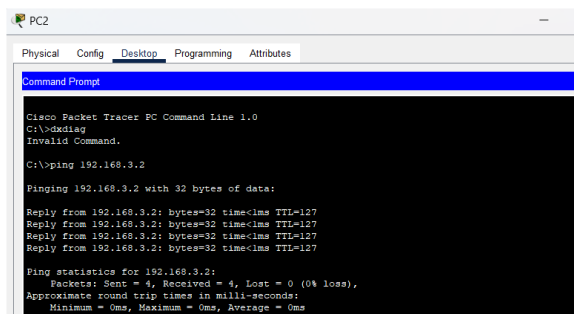
4.4. Simulasi dan Pengamatan

Proses simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak *Cisco Packet Tracer* untuk menguji kinerja protokol *Transmission Control Protocol (TCP)*

dalam jaringan yang telah dikonfigurasi. Topologi jaringan yang digunakan terdiri dari beberapa perangkat klien (PC), dua switch, satu router, dan satu web server dengan IP 192.168.3.2. Semua perangkat terhubung melalui router yang menghubungkan ketiga subnet, dengan alamat IP gateway yang telah ditentukan sebelumnya untuk setiap subnet. Pengaturan alamat IP dilakukan melalui *IP Configuration* di masing-masing perangkat.

4.5. Pengujian Koneksi Jaringan

Setelah konfigurasi IP selesai, pengujian koneksi dilakukan dengan perintah *ping* dari masing-masing klien ke router dan server untuk memastikan bahwa jalur komunikasi antarperangkat sudah terhubung dengan benar. Hasil dari pengujian *ping* menunjukkan waktu round-trip dari pengiriman hingga penerimaan paket antara klien dan server. Jika hasil pengujian *ping* berhasil, ini menandakan bahwa koneksi antar jaringan sudah berfungsi dengan baik.



Gambar 7. Pengujian koneksi pada pc ke server

4.6. Akses Web Server

Simulasi berlanjut dengan menguji akses web server yang beralamat 192.168.3.2 dari PC klien. Setiap klien menggunakan browser untuk mengakses halaman web server dengan mengetikkan URL <http://192.168.3.2>.



Gambar 8. Akses web server pada pc klient

4.7. Topologi Jaringan Simulasi TCP

Topologi jaringan yang digunakan dalam simulasi protokol TCP, termasuk PC klien, switch, router, dan server. Setiap perangkat terhubung dengan koneksi yang menunjukkan jalur komunikasi di jaringan.

a. Topologi *star*

Pada skenario satu disimulasikan beberapa kasus sebagai berikut.

- Dilakukan pengiriman paket TCP pada PC1 ke server.
- Dilakukan pengiriman paket TCP pada PC2 ke server.
- Dilakukan pengiriman paket TCP pada PC3 ke server.
- Dilakukan pengiriman paket TCP pada PC4 ke server.
- Dilakukan pengiriman paket TCP pada PC5 ke server.
- Dilakukan pengiriman paket TCP pada PC6 ke server.

Berdasarkan pengujian kasus tersebut maka diperoleh hasil parameter dari pengujian skenario 1 pada topologi *star*.

Tabel 4. Hasil pengujian skenario 1

PC	Throughput	Delay	Packet loss
PC1	95.2	12	0.05
PC2	93.8	15	0.08
PC3	94.5	14	0.06
PC4	94.9	13	0.07

b. Topologi *bus*

Pada skenario dua disimulasikan beberapa kasus sebagai berikut.

- Dilakukan pengiriman paket TCP pada PC3 melalui ujung kabel *backbone* sebelah kanan menuju server.
- Dilakukan pengiriman paket tcp pada PC4 melalui ujung kabel *backbone* sebelah kiri menuju server.

Berdasarkan pengujian kasus tersebut maka diperoleh hasil parameter dari pengujian skenario 2 pada topologi *bus*.

Tabel 5. Hasil pengujian skenario 2

PC Sumber	Hop	Ukuran Paket	Throughput	Delay	Packet loss
PC3 (Kanan)	4	Kecil (64B)	85.3	18	0.12
PC3 (Kanan)	4	Sedang (1KB)	88.7	22	0.09
PC3 (Kanan)	4	Besar (1MB)	91.2	25	0.15
PC4 (Kiri)	2	Kecil (64B)	93.5	12	0.05
PC4 (Kiri)	2	Sedang (1KB)	94.8	14	0.07
PC4 (Kiri)	2	Besar (1MB)	95.6	16	0.10

c. Topologi ring

Pada skenario tiga disimulasikan beberapa kasus yaitu dilakukan pengiriman paket TCP dari empat PC klien yang terhubung ke masing-masing switch dalam konfigurasi ring menuju ke server.

Berdasarkan pengujian kasus tersebut maka diperoleh hasil parameter dari pengujian skenario 3 pada topologi ring.

Tabel 6. Hasil pengujian skenario 3

PC Sumber	Arah Pengiriman	Kondisi Link	Throughput	Delay	Packet loss
PC1	Searah jarum jam	Normal	92.5	15	0.08
PC1	Berlawanan jarum	Normal	91.8	17	0.10
PC2	Searah jarum jam	Normal	93.2	14	0.07
PC2	Berlawanan jarum	Normal	92.7	16	0.09
PC3	Searah jarum jam	Normal	92.9	15	0.08
PC3	Berlawanan jarum	Normal	92.3	16	0.09
PC4	Searah jarum jam	Normal	93.5	14	0.07
PC4	Berlawanan jarum	Normal	92.8	15	0.08
PC1	Searah jarum jam	Link Gagal	88.7	22	0.15
PC3	Berlawanan jarum	Link Gagal	89.2	21	0.14

4.8. Perbandingan throughput

Dalam analisis kinerja jaringan, *throughput* merupakan parameter kunci yang mencerminkan efisiensi transfer data. Penelitian ini membandingkan

throughput dari tiga topologi jaringan yang berbeda: *Star*, *Bus*, dan *Ring*, untuk mengevaluasi kinerja masing-masing dalam berbagai skenario.

Tabel 7. Analisis perbandingan throughput

Topologi	Throughput Rata-Rata (Mbps)	Throughput Minimum (Mbps)	Throughput Maksimum (Mbps)
<i>Star</i>	94.5	93.6	95.2
<i>Bus</i>	91.5	85.3	95.6
<i>Ring</i>	92.7	88.7	93.5

Tabel 7 menunjukkan perbandingan *throughput* rata-rata protokol TCP pada tiga topologi jaringan sederhana yang disimulasikan menggunakan Cisco Packet Tracer. Hasil analisisnya yaitu topologi *Star* menunjukkan kinerja TCP terbaik dengan *throughput* rata-rata 94.5 Mbps dan variasi kecil, menandakan stabilitas koneksi yang tinggi. Topologi *Bus* memiliki *throughput* rata-rata terendah (91.5 Mbps) dengan variasi terbesar, mencerminkan sensitivitas terhadap jarak dan posisi node. Topologi *Ring* menampilkan kinerja moderat dengan *throughput* rata-rata 92.7 Mbps, dengan nilai minimum 88.7 Mbps yang mungkin menunjukkan adaptasi terhadap kegagalan link. Topologi *Star* menawarkan kinerja paling konsisten, *Bus* menunjukkan fleksibilitas dengan variabilitas tinggi, dan *Ring* menyajikan keseimbangan antara kinerja dan ketahanan terhadap gangguan jaringan.

4.9. Perbandingan delay

Delay mengukur waktu yang dibutuhkan untuk transmisi data dari sumber ke tujuan, yang secara langsung mempengaruhi responsivitas dan efisiensi jaringan. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan Cisco Packet Tracer pada topologi *Star*, *Bus*, dan *Ring*, berikut adalah analisis komprehensif mengenai *delay*:

Tabel 8. Analisis perbandingan delay

Topologi	Delay Rata-Rata (ms)	Delay Minimum (ms)	Delay Maksimum (ms)
<i>Star</i>	12	12	16
<i>Bus</i>	17	12	25
<i>Ring</i>	15	14	22

Pada tabel 8 menunjukkan perbandingan *delay* pada tiap topologi yang disimulasikan menggunakan Cisco Packet Tracer. Topologi *Star* mendemonstrasikan kinerja terbaik dengan *delay* rata-rata terendah (12 ms) dan variasi terkecil,

mencerminkan efisiensi struktur terpusatnya dalam meminimalkan latency. Topologi *Bus*, meskipun memiliki *delay* minimum yang sama dengan *Star*, menunjukkan *delay* rata-rata tertinggi (17 ms) dan variasi terbesar, yang mengindikasikan sensitivitasnya terhadap posisi node dan potensi kongesti pada kabel *backbone*. Topologi *Ring* menampilkan kinerja menengah dengan *delay* rata-rata 15 ms, menunjukkan keseimbangan antara efisiensi dan ketahanan. Variasi *delay* pada *Ring* (14-22 ms) lebih besar dari *Star* namun lebih kecil dari *Bus*, yang mencerminkan kemampuannya dalam menangani perubahan rute saat terjadi kegagalan link. Dalam kondisi beban tinggi, *Star* cenderung mempertahankan kinerja yang stabil, *Bus* menunjukkan peningkatan *delay* yang signifikan terutama untuk node yang jauh, sementara *Ring* menunjukkan peningkatan moderat dengan kemampuan mendistribusikan beban melalui jalur alternatif.

4.10. Perbandingan Packet Loss

Packet loss merupakan parameter kritis dalam evaluasi kinerja protokol TCP pada berbagai topologi jaringan. Berdasarkan simulasi yang dilakukan menggunakan Cisco Packet Tracer pada topologi *Star*, *Bus*, dan *Ring*, berikut adalah analisis *packet loss* pada tiap topologi:

Tabel 9. Perbandingan *packet loss*

Topo logi	<i>Packet loss</i> Rata-Rata (%)	<i>Packet loss</i> Min(%)	<i>Packet loss</i> Maks (%)
<i>Star</i>	0.07	0.05	0.09
<i>Bus</i>	0.12	0.09	0.15
<i>Ring</i>	0.10	0.07	0.14

Tabel 9 menunjukkan perbandingan *packet loss* pada topologi *Star*, *Bus*, dan *Ring* yang disimulasikan menggunakan Cisco Packet Tracer. *Star* memiliki *packet loss* rata-rata terendah (0.07%) dengan variasi terkecil, menunjukkan efisiensi dalam mengelola lalu lintas data. *Bus* menunjukkan *packet loss* rata-rata tertinggi (0.12%) dengan variasi terbesar, mencerminkan sensitivitas terhadap *collision domain* dan tabrakan data. *Ring* menampilkan kinerja menengah (0.10%), menunjukkan keseimbangan efisiensi dan ketahanan. Faktor utama *packet loss* berbeda tiap topologi: beban router pusat (*Star*), jarak node dan tabrakan data (*Bus*), serta jumlah hop dan kongesti switch (*Ring*). Dampak *packet loss* paling minimal pada *Star*, sementara *Bus* menunjukkan variabilitas kinerja lebih tinggi. *Ring* memiliki ketahanan baik dalam kondisi normal namun dapat mengalami penurunan kinerja saat terjadi kegagalan link.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis kinerja protokol TCP pada tiga topologi jaringan sederhana (*Star*, *Bus*, dan *Ring*) yang disimulasikan menggunakan Cisco Packet

Tracer, dapat ditarik beberapa kesimpulan. Dalam hal kinerja *throughput*, topologi *Star* menunjukkan performa superior dengan *throughput* rata-rata tertinggi (94.5 Mbps) dan variabilitas terendah, mengindikasikan efisiensi dan stabilitas optimal dalam transmisi data. Topologi *Bus* mencatat *throughput* rata-rata terendah (91.5 Mbps) dengan variabilitas tertinggi, menunjukkan sensitivitas terhadap faktor jarak dan posisi node. Topologi *Ring* menampilkan kinerja intermediat (92.7 Mbps), menawarkan ekuilibrium antara efisiensi transmisi dan ketahanan jaringan. Analisis *delay* menunjukkan bahwa topologi *Star* memperlihatkan *delay* rata-rata terendah (12 ms) dengan variasi minimal, menunjukkan responsivitas optimal. Topologi *Bus* mencatat *delay* rata-rata tertinggi (17 ms) dengan variabilitas signifikan, mengindikasikan potensi bottleneck dalam transmisi data. Topologi *Ring* mendemonstrasikan *delay* rata-rata moderat (15 ms), menunjukkan ketahanan yang baik terhadap potensi kegagalan link. Dalam evaluasi *packet loss*, topologi *Star* mencatat *packet loss* rata-rata terendah (0.07%) dengan variasi minimal, menunjukkan reliabilitas tinggi dalam pengiriman data. Topologi *Bus* menunjukkan *packet loss* rata-rata tertinggi (0.12%) dengan variabilitas signifikan, mengindikasikan kerentanan terhadap *collision domain*. Topologi *Ring* menampilkan *packet loss* rata-rata moderat (0.10%), merefleksikan keseimbangan antara efisiensi dan ketahanan jaringan.

Secara keseluruhan, topologi *Star* mendemonstrasikan superioritas dalam kinerja protokol TCP, dengan *throughput* tinggi, *delay* rendah, dan *packet loss* minimal. Topologi *Bus*, meskipun fleksibel dalam implementasi, menunjukkan vulnerabilitas terhadap variasi kondisi jaringan. Topologi *Ring* menawarkan solusi intermediat yang menyeimbangkan kinerja dan resiliensi, terutama dalam menghadapi potensi kegagalan link. Untuk penelitian lanjutan, disarankan mengeksplorasi variasi jumlah node, beban jaringan, protokol routing, serta implementasi QoS dan analisis keamanan untuk optimalisasi kinerja TCP pada berbagai topologi jaringan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lutfi Apriyadi, Desta Adji Saputra, Muhammad Azka Alwafi, Didik Aribowo, and Sonata Mahardika, "Simulasi Tcp-Ip Menggunakan Topologi Bus Pada Aplikasi Cisco Paket Tracer," *Jupiter: Publikasi Ilmu Keteknikan Industri, Teknik Elektro dan Informatika*, vol. 2, no. 4, pp. 01–10, 2024, doi: 10.61132/jupiter.v2i4.347.
- [2] Elpi Purnamasari, Dafairro Abbil Gunawan, Sandi Rahyadi, Bryant Reza Pahlevi, and Didik Aribowo, "TCP-IP Menggunakan Topologi Ring," *Jupiter: Publikasi Ilmu Keteknikan Industri, Teknik Elektro dan Informatika*, vol. 2, no. 3, pp. 34–40, Apr. 2024, doi: 10.61132/jupiter.v2i3.276.

-
- [3] A. Mananggal, A. Mewengkang, and A. Djamen, "PERANCANGAN JARINGAN KOMPUTER DI SMK MENGGUNAKAN CISCO PACKET TRACER," *Edutik : Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi dan Komunikasi*, vol. 1, pp. 119–131, 2021, doi: 10.53682/edutik.v1i2.1124.
- [4] S. Dewi, "Keamanan Jaringan Menggunakan VPN (Virtual Private Network) Dengan Metode PPTP (Point To Point Tunneling Protocol) Pada Kantor Desa Kertaraharja Ciamis," *EVOLUSI : Jurnal Sains dan Manajemen*, vol. 8, no. 1, pp. 128–139, 2020, doi: 10.31294/evolusi.v8i1.7658.
- [5] R. Vernandes Ert, "MAKALAH JARINGAN DASAR KOMPUTER DAN TOPOLOGI JARINGAN," 2022.
- [6] Meilyanawindaperdana, Rama Kipran, and Aminullah Imal Alfresi, "Implementasi Cisco Packet Tracer pada Infrastruktur Jaringan Komputer di PT Pertamina Hulu Rokan Prabumulih Field," *Jurnal CoSciTech (Computer Science and Information Technology)*, vol. 3, no. 2, pp. 138–143, Aug. 2022, doi: 10.37859/coscitech.v3i2.3946.
- [7] S. Suroso, C. Ciksadan, and S. Sholihatun, "ANALISIS QUALITY OF SERVICE VIDEO STREAMING YOUTUBE DAN RMA WLAN DI POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA," *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 22, no. 2, p. 93, Nov. 2020, doi: 10.24912/tesla.v22i2.9068.
- [8] J. F. Sudarsono, G. Sukadarmika, and L. Linawati, "Rancang Bangun Alat Ukur Kualitas Jaringan Berbasis Raspberry Pi 3 Model B," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 20, no. 1, p. 53, Mar. 2021, doi: 10.24843/MITE.2021.v20i01.P06.
- [9] M. Y. Simargolang and A. Widarma, "Quality of Service (QoS) for Network Performance Analysis Wireless Area Network (WLAN)," *CESS (Journal of Computer Engineering, System and Science)*, vol. 7, no. 1, p. 162, Jan. 2022, doi: 10.24114/cess.v7i1.29758.
- [10] J. Lorincz, Z. Klarin, and J. Ozegovic, "A Comprehensive Overview of TCP Congestion Control in 5G Networks: Research Challenges and Future Perspectives," *Sensors*, vol. 21, pp. 1–41, 2021, doi: 10.3390/s21134510