

# PENERAPAN MANAJEMEN *BANDWIDTH* MENGGUNAKAN METODE *PER CONNECTION QUEUE* (STUDI KASUS: SMK TRIKARYA)

Wisnu Yogi Pamungkas<sup>1\*</sup>, Chaerur Rozikin<sup>2</sup>, Arip Solehudin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universitas Singaperbangsa Karawang, <sup>2</sup>Universitas Singaperbangsa Karawang <sup>3</sup>Universitas Singaperbangsa Karawang

## Keywords:

*Bandwidth Management, Per Connection Queue (PCQ), Quality of Service (QoS), MikroTik.*

## Corespondent Email:

2110631170116@student.unsika.ac.id

**Abstrak.** Pemanfaatan jaringan internet di SMK Trikarya yang terus meningkat belum diimbangi dengan manajemen bandwidth yang optimal, sehingga menyebabkan pembagian bandwidth yang tidak merata antar pengguna dan berpotensi mengganggu proses belajar mengajar. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan manajemen bandwidth menggunakan metode Per Connection Queue (PCQ) serta menganalisis kinerja jaringan berdasarkan parameter Quality of Service (QoS) sebelum dan sesudah penerapan metode tersebut. Metode penelitian yang digunakan adalah Network Development Life Cycle (NDLC) yang meliputi tahapan analisis, desain, simulasi, implementasi, monitoring, dan manajemen. Pengujian QoS dilakukan dengan mengukur parameter throughput, delay, jitter, dan packet loss menggunakan aplikasi Wireshark. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan metode PCQ pada perangkat MikroTik mampu mendistribusikan bandwidth secara adil berdasarkan jumlah koneksi aktif. Hasil pengujian QoS setelah implementasi menunjukkan pemerataan nilai throughput, penurunan nilai delay dan jitter, serta kestabilan packet loss yang tetap berada pada nilai 0%. Dengan demikian, metode PCQ terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas layanan dan kinerja jaringan internet di SMK Trikarya.



Copyright © [JITET](#) (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan). This article is an open access article distributed under terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

**Abstract.** The increasing utilization of internet networks at SMK Trikarya has not been supported by optimal bandwidth management, resulting in unequal bandwidth distribution among users and potentially disrupting teaching and learning activities. This study aims to implement bandwidth management using the Per Connection Queue (PCQ) method and to analyze network performance based on Quality of Service (QoS) parameters before and after the implementation. The research method applied is the Network Development Life Cycle (NDLC), which includes analysis, design, simulation, implementation, monitoring, and management stages. QoS testing was conducted by measuring throughput, delay, jitter, and packet loss using the Wireshark application. The results show that the implementation of the PCQ method on MikroTik devices is able to distribute bandwidth fairly based on the number of active connections. Post-implementation QoS analysis indicates more evenly distributed throughput values, reduced delay and jitter, and stable packet loss at 0%. Therefore, it can be concluded that the PCQ method is effective in improving network performance and internet service quality at SMK Trikarya.

## 1. PENDAHULUAN

pemanfaatan internet secara luas dalam berbagai sektor, termasuk pendidikan. Internet digunakan sebagai sarana pendukung

pembelajaran, administrasi akademik, serta komunikasi antara pendidik dan peserta didik, sehingga kualitas layanan jaringan menjadi faktor penting dalam menunjang efektivitas

proses belajar mengajar [1], [2]. Ketersediaan jaringan internet yang stabil dan merata berpengaruh langsung terhadap kelancaran aktivitas pembelajaran berbasis teknologi informasi di lingkungan sekolah [3].

SMK Trikarya merupakan salah satu institusi pendidikan yang telah memanfaatkan jaringan internet sebagai fasilitas pendukung kegiatan pembelajaran di beberapa laboratorium komputer. Jaringan tersebut digunakan secara bersamaan oleh banyak pengguna dengan karakteristik kebutuhan bandwidth yang berbeda-beda. Namun, berdasarkan hasil observasi awal, jaringan internet di SMK Trikarya masih menggunakan satu subnet induk dan belum menerapkan manajemen bandwidth yang mengatur pembagian kecepatan antar pengguna maupun antar laboratorium. Kondisi ini berpotensi menyebabkan penggunaan bandwidth yang tidak merata serta terjadinya penurunan kualitas layanan jaringan pada saat jumlah pengguna meningkat [4].

Tidak diterapkannya manajemen bandwidth pada suatu jaringan dapat berdampak pada menurunnya kualitas layanan jaringan, seperti meningkatnya delay, jitter, dan packet loss, serta ketidakstabilan koneksi internet [5]. Permasalahan tersebut berkaitan erat dengan nilai Quality of Service (QoS), yang digunakan sebagai parameter untuk mengukur kinerja jaringan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa jaringan tanpa pengelolaan bandwidth yang baik cenderung menghasilkan nilai QoS yang rendah dan berdampak langsung terhadap kenyamanan pengguna jaringan [6], [7].

Selain itu, setiap laboratorium di SMK Trikarya memiliki kebutuhan bandwidth yang berbeda. Laboratorium Multimedia membutuhkan bandwidth yang lebih besar karena aktivitas pembelajaran yang melibatkan konten video dan multimedia, sedangkan Laboratorium Teknik Komputer dan Jaringan serta Akuntansi memiliki kebutuhan bandwidth yang relatif lebih rendah. Tanpa adanya pengaturan prioritas dan pembagian bandwidth yang tepat, penggunaan bandwidth menjadi tidak optimal dan berpotensi menurunkan kualitas layanan jaringan secara keseluruhan [8].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan penerapan manajemen

bandwidth yang mampu mengalokasikan bandwidth secara adil dan efisien. Metode Per Connection Queue (PCQ) merupakan salah satu metode manajemen bandwidth yang dapat membagi bandwidth secara otomatis dan merata berdasarkan jumlah koneksi aktif, sehingga setiap pengguna memperoleh alokasi bandwidth yang seimbang [9]. Beberapa penelitian dalam lima tahun terakhir menunjukkan bahwa penerapan metode PCQ mampu meningkatkan pemerataan bandwidth serta memperbaiki nilai parameter Quality of Service (QoS) pada jaringan komputer [10].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menerapkan manajemen bandwidth menggunakan metode Per Connection Queue (PCQ) pada jaringan SMK Trikarya serta menganalisis pengaruh penerapannya terhadap kualitas layanan jaringan berdasarkan parameter Quality of Service (QoS). Penelitian ini diharapkan mampu: (1) Memberikan pemahaman mengenai teori manajemen bandwidth; (2) Menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya; (3) Memberikan manfaat praktis penerapan manajemen bandwidth menggunakan metode PCQ.

Adapun pertanyaan penelitian yang ingin dijawab adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana penerapan manajemen *bandwidth* dengan metode *Per Connection Queue* (PCQ) dapat mengoptimalkan alokasi *bandwidth* di SMK Trikarya?
2. Bagaimana hasil dari pengujian parameter *Quality of Service* (QoS) sebelum dan sesudah penerapan metode *Per Connection Queue* (PCQ).

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Jaringan Komputer

Jaringan komputer adalah sekumpulan perangkat yang saling terhubung untuk berbagi sumber daya dan informasi. Penerapan jaringan komputer memungkinkan komunikasi data yang efisien antar pengguna dalam suatu lingkungan, seperti sekolah atau institusi pendidikan. Kinerja jaringan komputer sangat dipengaruhi oleh pengelolaan bandwidth dan jumlah pengguna yang mengakses jaringan secara bersamaan [12].

### 2.2. Manajemen *Bandwidth*

Manajemen bandwidth merupakan proses pengaturan penggunaan kapasitas jaringan agar dapat dimanfaatkan secara adil dan efisien oleh seluruh pengguna. Tujuan utama manajemen bandwidth adalah mencegah terjadinya dominasi penggunaan bandwidth oleh pengguna tertentu serta menjaga kestabilan jaringan. Penerapan manajemen bandwidth yang tepat terbukti mampu meningkatkan kualitas layanan jaringan dan kenyamanan pengguna [13].

### 2.3. Network Development Life Cycle (NDLC)

*Network Development Life Cycle (NDLC)* adalah metode pengembangan jaringan yang terdiri dari beberapa tahapan terstruktur, meliputi analisis, perancangan, simulasi, implementasi, pemantauan, dan manajemen jaringan. Metode NDLC digunakan untuk memastikan bahwa proses perancangan dan penerapan jaringan dilakukan secara sistematis. Penggunaan NDLC membantu dalam mengidentifikasi permasalahan jaringan serta mengevaluasi kinerja jaringan setelah solusi diterapkan [14].

### 2.4. Per Connection Queue (PCQ)

*Per Connection Queue (PCQ)* merupakan metode manajemen *bandwidth* pada router MikroTik yang berfungsi untuk membagi *bandwidth* secara otomatis dan merata berdasarkan jumlah koneksi aktif. Metode ini memungkinkan setiap pengguna memperoleh alokasi *bandwidth* yang seimbang tanpa memerlukan konfigurasi yang kompleks. PCQ sangat efektif diterapkan pada jaringan dengan jumlah pengguna yang dinamis karena mampu menyesuaikan pembagian *bandwidth* secara real-time [15], [16].

### 2.5. Quality of Service (QoS)

*Quality of Service (QoS)* merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur kinerja jaringan berdasarkan kualitas layanan yang diterima oleh pengguna. Parameter QoS yang umum digunakan meliputi throughput, delay, jitter, dan packet loss. Analisis QoS digunakan untuk mengevaluasi kinerja jaringan sebelum dan sesudah penerapan manajemen bandwidth guna mengetahui peningkatan kualitas layanan jaringan [18].

*European Telecommunications Standards Institute* (ETSI) telah mengembangkan sebuah standar untuk menilai parameter *Quality of Service* (QoS) yang dikenal dengan nama TIPHON. Standar ini

digunakan sebagai acuan dalam mengevaluasi kualitas layanan jaringan secara objektif. Versi ETSI TR 101 329 V2.1.1 (1999-06) merupakan pedoman dalam melakukan penilaian terhadap parameter QoS[19].

#### 1. Throughput

*Throughput* merupakan ukuran nyata dari kapasitas *bandwidth* yang digunakan pada suatu waktu tertentu, berikut rumus menghitung *throughput* dan standar penilaian berdasarkan kategori, hasil, dan indeks.

$$\text{Throughput} = \frac{\text{paket yang dikirim (kb)}}{\text{waktu pengiriman (s)}} \quad (1)$$

**Tabel 2. 1** Standar Penilaian *Throughput*

Kategori	Throughput	Indeks
Sangat Bagus	>2,1 Mbps	4
Bagus	1,2 – 2,1 Mbps	3
Cukup	700 – 1200 Kbps	2
Kurang Bagus	338 – 700 Kbps	1
Buruk	0 – 338 Kbps	0

#### 2. Delay

*Delay* merupakan waktu yang dibutuhkan oleh paket data untuk melakukan perjalanan dari pengirim hingga sampai ke penerima. Semakin kecil nilai *delay*, maka semakin cepat proses transmisi data dalam jaringan. Berikut rumus menghitung *delay* dan standar penilaian berdasarkan kategori, hasil, dan indeks.

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

**Tabel 2. 2** Standar Penilaian *Delay*

Kategori	Delay	Indeks
Sangat Bagus	<150 ms	4
Bagus	150 – 300 ms	3
Sedang	300 – 450 ms	2
Jelek	>450 ms	1

#### 3. Jitter

*Jitter* merupakan variasi waktu keterlambatan (*delay*) antar paket data yang diterima di jaringan berbasis IP. Berikut rumus menghitung *jitter* dan

standar penilaian berdasarkan kategori, hasil, dan indeks.

$$jitter = \frac{\text{total variasi delay}}{\text{total paket} - 1} \quad (3)$$

**Tabel 2. 3** Standar Penilaian Jitter

Kategori	Jitter	Indeks
Sangat Bagus	0 ms	4
Bagus	1 – 75 ms	3
Sedang	75 – 125 ms	2
Jelek	125 – 225 ms	1

#### 4. *Packetloss*

Merupakan paket data yang tidak berhasil mencapai alamat tujuan setelah dikirim dari sumbernya. Berikut rumus menghitung *packet loss* dan standar penilaian berdasarkan kategori, hasil, dan indeks.

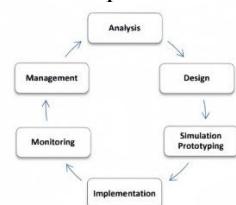
$$\text{Packetloss} = \frac{(\text{paket yang dikirim} - \text{paket yang diterima})}{\text{paket yang dikirim}} \times 100\% \quad (4)$$

**Tabel 2. 4** Standar Penilaian *Packet Loss*

Kategori	Packet loss	Indeks
Sangat Bagus	0% - 2%	4
Bagus	3% - 14%	3
Sedang	15% - 25%	2
Jelek	>25%	1

### 3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metodologi *Network Development Life Cycle* (NDLC) sebagai pendekatan dalam pengembangan sistem jaringan. *Network Development Life Cycle* (NDLC) dipilih karena menyediakan tahapan yang jelas dan terstruktur, mulai dari analisis kebutuhan jaringan, perancangan topologi, hingga implementasi dan evaluasi sistem. Adapun tahapan dari *Network Development Life Cycle* (NDLC) dapat dilihat pada Gambar 3.1:



**Gambar 3. 1** Tahapan *Network Development Life Cycle* (NDLC)

Adapun penjelasan tahapan *Network Development Life Cycle* (NDLC) pada Gambar 3.1 sebagai berikut:

#### 3.1 Analysis

Tahap analisis dilakukan melalui observasi awal di SMK Trikarya untuk mengidentifikasi kondisi jaringan yang sudah ada dan permasalahan yang muncul. Analisis dilakukan dengan wawancara terkait ketersediaan bandwidth, alokasi bandwidth per pengguna. Selain itu, dilakukan pengujian awal jaringan tanpa manajemen bandwidth menggunakan parameter Quality of Service (QoS) pada empat perangkat di setiap laboratorium pada waktu yang sama selama tiga hari.

#### 3.2 Design

Tahap perancangan dilakukan dengan menyusun desain alur kerja sistem manajemen bandwidth berdasarkan hasil analisis awal. Perancangan ini bertujuan untuk memberikan gambaran kebutuhan sistem dan skema penerapan manajemen bandwidth yang akan diimplementasikan.

#### 3.3 Simulation

Tahap simulasi bertujuan untuk menguji rancangan sistem manajemen bandwidth sebelum diterapkan pada jaringan asli. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak simulasi jaringan seperti Cisco Packet Tracer dan GNS3 untuk melihat kinerja awal sistem yang dirancang.

#### 3.4 Implementation

Pada tahap implementasi, dilakukan penerapan manajemen bandwidth menggunakan metode Per Connection Queue (PCQ) pada jaringan asli di SMK Trikarya sesuai dengan rancangan yang telah dibuat.

#### 3.5 Monitoring

Tahap monitoring dilakukan untuk mengevaluasi kinerja jaringan setelah penerapan manajemen bandwidth. Evaluasi dilakukan dengan pengujian parameter Quality of Service (QoS) meliputi delay, jitter, packet loss, dan throughput pada empat perangkat di setiap laboratorium pada waktu yang sama selama tiga hari.

#### 3.6 Management

Tahap manajemen bertujuan untuk menjaga kestabilan dan keamanan jaringan melalui pengelolaan perangkat keras dan

perangkat lunak agar sistem dapat beroperasi secara berkelanjutan.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1. Analysis

Dalam analisis lebih lanjut dilakukan didapati hasil sebagai berikut:

###### 4.1.1 Observasi

Topologi jaringan yang digunakan di SMK Trikarya adalah topologi fisik tipe gabungan bus dan star dan topologi logika tipe Ethernet. Metode Per Connection Queue (PCQ) diterapkan untuk manajemen bandwidth yang dirancang. Penelitian ini diharapkan mampu mengevaluasi apakah pembagian bandwidth telah merata, sekaligus memantau dan mengelola jaringan agar sistem manajemen bandwidth dapat berfungsi secara berkelanjutan di kemudian hari.

###### 4.1.2 Wawancara

Pada tahap ini dilakukan wawancara Pada Kepala Laboratorium SMK Trikarya. Di SMK Trikarya sudah menggunakan jaringan internet dari provider Indihome (PT. Telkom Indonesia) dengan kecepatan 50 Mbps dan belum dilakukan management bandwidth yang menyebabkan pengalokasian bandwidth yang tidak merata ke pengguna internet di SMK Trikarya.

###### 4.1.3 Pengujian Awal *Quality of Service (QoS)*

Pada tahap ini dilakukan pengujian *Quality of Service (QoS)* yang meliputi parameter throughput, packet loss, delay, dan jitter sebelum penerapan manajemen bandwidth. Pengujian dilakukan pada empat perangkat di setiap laboratorium pada waktu yang sama selama tiga hari, yaitu pukul 10.00–14.30 WIB, dengan pengambilan data pada tiga client sebagai perwakilan pengguna.

###### 1. Throughput

**Tabel 4. 1** Hasil Pengujian Awal QoS Throughput Client

Client	Throughput	
	Hasil	Indeks
Client 1	431 Kb/s	1
Client 2	296 Kb/s	0
Client 3	972 Kb/s	2

Hasil pengujian Throughput pada semua client menunjukkan adanya ketidak sama rataan dan hasil yang didapat

dikatakan kecil, hasil terbesar ada di client 3 dengan nilai 972 Kb/s dengan indeks 2, client 1 dengan nilai 431 kb/s dengan indeks 1, dan terkecil ada di client 2 dengan nilai 296 kb/s dengan indeks 0.

###### 2. Packet loss

**Tabel 4. 2** Hasil Pengujian Awal QoS Packet Loss Client

Client	Packet Loss	
	Hasil	Indeks
Client 1	0%	4
Client 2	0%	4
Client 3	0%	4

Dari pengujian *Quality of Service* selama pada semua client tidak ditemukan adanya packet loss dengan indeks 4.

###### 3. Delay

**Tabel 4. 3** Hasil Pengujian Awal QoS Delay Client

Client	Delay	
	Hasil	Indeks
Client 1	18 ms	4
Client 2	27 ms	4
Client 3	6 ms	4

Berdasarkan hasil pengukuran parameter delay yang diperoleh dari 3 client menunjukkan semua sudah mendapat indeks 4 (sangat bagus) dengan terkecil berada di 6ms dan terbesar di 27ms.

###### 4. Jitter

**Tabel 4. 4** Hasil Pengujian Awal QoS Jitter Client

Client	Jitter	
	Hasil	Indeks
Client 1	18 ms	3
Client 2	27 ms	3
Client 3	6 ms	3

Berdasarkan hasil pengukuran parameter delay yang diambil dari 3 client menunjukkan semua sudah berada di indeks 3 (Bagus).

Setelah pengujian *Quality of Service* dilakukan pada seluruh perangkat, data hasil pengujian dijumlahkan untuk mendapatkan nilai rata-rata tiap segmen internet. Hasil QoS pasca implementasi manajemen bandwidth dengan metode per connection queue dapat dilihat pada Tabel

4. hingga 4. yang telah disusun berdasarkan masing-masing parameter.

#### 1. Throughput

**Tabel 4. 5** Hasil Pengujian Awal QoS Throughput

Segmen Internet	Throughput	
	Hari ke 1	
	Hasil	Indeks
Lab-MM	2691 Kb/s	4
Lab-TKJ	1288 Kb/s	2
Lab-AK	1660 Kb/s	3
Wifi	2702 Kb/s	4
Segmen Internet	Throughput	
	Hari ke 2	
	Hasil	Indeks
Lab-MM	2719 Kb/s	4
Lab-TKJ	1540 Kb/s	3
Lab-AK	830 Kb/s	2
Wifi	1420 Kb/s	3
Segmen Internet	Throughput	
	Hari ke 3	
	Hasil	Indeks
Lab-MM	2113 Kb/s	4
Lab-TKJ	1979 Kb/s	3
Lab-AK	3814 Kb/s	4
Wifi	1999 Kb/s	3

Berdasarkan tabel throughput pada hari ke-1 hingga hari ke-3, dapat dijelaskan bahwa nilai throughput pada setiap segmen internet mengalami fluktuasi selama periode pengujian. Pada hari ke-1, nilai throughput tertinggi diperoleh segmen Wi-Fi sebesar 2702 Kb/s dengan indeks 4, diikuti Laboratorium Multimedia (Lab-MM) sebesar 2691 Kb/s dengan indeks 4, sementara Laboratorium TKJ dan Laboratorium Akuntansi berada pada kategori indeks lebih rendah. Pada hari ke-2, terjadi perubahan nilai throughput pada seluruh segmen, di mana Lab-MM tetap berada pada indeks 4 dengan nilai 2719 Kb/s, sedangkan segmen lainnya mengalami penurunan indeks. Pada hari ke-3, Laboratorium Akuntansi menunjukkan peningkatan signifikan dengan throughput 3814 Kb/s dan indeks 4, sementara segmen lain berada pada indeks 3 dan 4.

#### 2. Packet Loss

**Tabel 4. 6** Hasil Pengujian Awal QoS Packet Loss

Segmen	Packet Loss

Segmen Internet	Hari ke 1	
	Hasil	Indeks
Lab-MM	0%	4
Lab-TKJ	0%	4
Lab-AK	0%	4
Wifi	0%	4
Segmen Internet	Packet Loss	
	Hari ke 2	
	Hasil	Indeks
Lab-MM	0%	4
Lab-TKJ	0%	4
Lab-AK	0%	4
Wifi	0%	4
Segmen Internet	Packet Loss	
	Hari ke 3	
	Hasil	Indeks
Lab-MM	0%	4
Lab-TKJ	0%	4
Lab-AK	0%	4
Wifi	0%	4

Berdasarkan hasil uji *Quality Of Service* awal pada tabel diatas tidak ditemukan packet loss di semua segmen internet yang artinya semua mendapatkan indeks 4.

#### 3. Delay

**Tabel 4. 7** Hasil Pengujian Awal QoS Delay

Segmen Internet	Delay	
	Hari ke 1	
	Hasil	Indeks
Lab-MM	14 ms	4
Lab-TKJ	9 ms	4
Lab-AK	9 ms	4
Wifi	5 ms	4
Segmen Internet	Delay	
	Hari ke 2	
	Hasil	Indeks
Lab-MM	69 ms	4
Lab-TKJ	7 ms	4
Lab-AK	14 ms	4
Wifi	6 ms	4
Segmen Internet	Delay	
	Hari ke 3	
	Hasil	Indeks
Lab-MM	4 ms	4
Lab-TKJ	7 ms	4
Lab-AK	6 ms	4
Wifi	6 ms	4

Berdasarkan hasil pengukuran delay selama tiga hari, seluruh segmen internet

menunjukkan nilai delay yang rendah dan konsisten. Pada hari ke-1 hingga hari ke-3, nilai delay pada seluruh segmen berada pada rentang 4 ms hingga 69 ms dan seluruhnya memperoleh indeks 4, yang menunjukkan kategori kualitas sangat baik. Meskipun pada hari ke-2 segmen Lab-MM mengalami peningkatan delay hingga 69 ms, nilai tersebut masih berada dalam batas standar kualitas layanan yang sangat baik.

#### 4. Jitter

**Tabel 4. 8** Hasil Pengujian Awal QoS Jitter

Segmen Internet	Jitter	
	Hari ke 1	
	Hasil	Indeks
Lab-MM	14 ms	4
Lab-TKJ	9 ms	4
Lab-AK	9 ms	4
Wifi	5 ms	4
Segmen Internet	Jitter	
	Hari ke 2	
	Hasil	Indeks
Lab-MM	69 ms	4
Lab-TKJ	7 ms	4
Lab-AK	14 ms	4
Wifi	6 ms	4
Segmen Internet	Jitter	
	Hari ke 3	
	Hasil	Indeks
Lab-MM	4 ms	4
Lab-TKJ	7 ms	4
Lab-AK	6 ms	4
Wifi	6 ms	4

Hasil pengukuran jitter menunjukkan bahwa seluruh segmen internet memperoleh indeks 3 pada setiap hari pengujian. Nilai jitter yang relatif seragam pada setiap segmen menunjukkan kestabilan variasi delay antar paket data. Meskipun tidak mencapai indeks tertinggi, nilai jitter yang konsisten pada indeks 3.

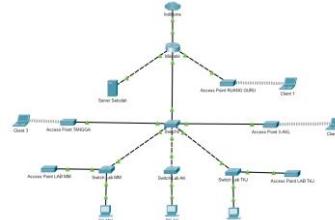
#### 4.2. Design

Tahapan design merupakan Hasil dari design pada topologi jaringan yang digunakan dan juga gambaran yang menjelaskan bagaimana tahapan perancangan metode PCQ yang akan dibangun dalam penelitian ini.

##### 4.2.1. Topologi Yang Digunakan

Gambar dibawah merupakan rancangan topologi terbaru yang sudah ditambahkan

perangkat mikrotik. Penambahan perangkat ini bertujuan untuk melakukan manajemen bandwidth.



**Gambar 4. 1** Topologi Yang Akan Digunakan

##### 4.2.2. Topologi Logic

Pembagian ip address yang dilakukan di SMK Trikarya mulai dari internet yang bersumber dari modem internet dengan IP Address 192.168.1.2 kemudian dilakukan konfigurasi di router mikrotik dengan IP Address 172.16.10.1 yang kemudian disebarluaskan oleh switch dengan ke Access Point dan diterima oleh client dengan IP DHCP 172.16.10.2 – 172.16.10.253 dengan Max Limit perclient 50 Mbps.

#### 4.3. Simulation

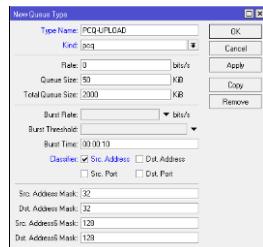
Pada tahap simulation, dilakukan simulasi terhadap topologi jaringan yang sudah direncanakan. Simulasi ini menggunakan *software Cisco Packet Tracer*, yang memungkinkan simulasi topologi jaringan agar sesuai dengan rancangan pada tahap desain.

**Gambar 4. 2** Hasil Uji Simulasi Jaringan

Pada tahap ini, topologi jaringan yang telah disimulasikan dalam penelitian ini berhasil diterapkan. Hasilnya, seluruh jaringan telah berhasil terkoneksi dan terhubung satu sama lain

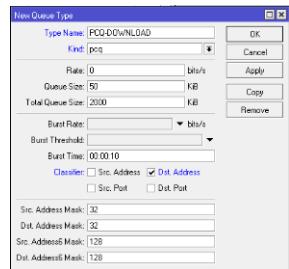
#### 4.4. Implementation

Langkah awal yang dilakukan untuk menerapkan manajemen bandwidth menggunakan metode Per Connection Queue adalah membuat Queue Type PCQ Download dan Upload pada menu Queue di winbox.



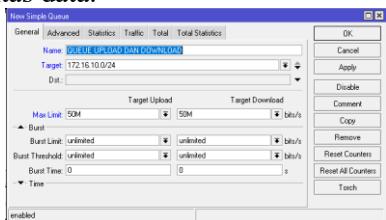
**Gambar 4. 3 Konfigurasi Queue Type Upload**

Queue Type PCQ-Upload menggunakan jenis pcq dengan classifier Src. Address untuk membagi bandwidth upload secara merata berdasarkan pengguna aktif, karena proses upload berasal dari pengguna lokal sebagai sumber lalu lintas data.



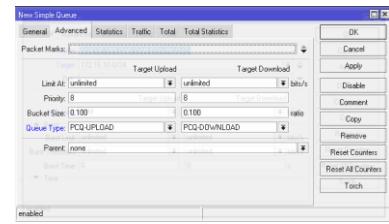
**Gambar 4. 4 Konfigurasi Queue Download**

Queue Type PCQ-Download menggunakan jenis pcq dengan classifier Dst. Address untuk membagi bandwidth download secara merata berdasarkan pengguna aktif, karena proses download menjadikan pengguna sebagai tujuan lalu lintas data.



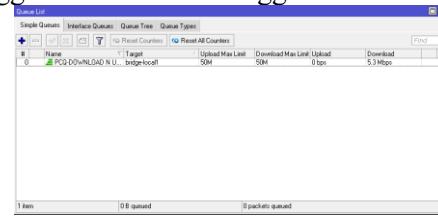
**Gambar 4. 5 Konfigurasi Simple Queue General**

Setelah Queue Type dibuat, pembatasan bandwidth diterapkan melalui menu *Simple Queue* seperti ditunjukkan pada Gambar di atas. Aturan diberi nama Queue Upload dan Download dengan Target IP 172.16.10.0/24 sehingga berlaku untuk seluruh pengguna pada segmen tersebut. Nilai *Max-Limit* diatur sebesar 50 Mbps untuk upload dan 50 Mbps untuk download guna membatasi total bandwidth maksimum yang dapat digunakan jaringan.



**Gambar 4. 6 Konfigurasi Simple Queue Advanced**

Konfigurasi selanjutnya dilakukan pada tab Advanced seperti ditunjukkan pada Gambar 4.9. Queue Type untuk Target Upload diatur menjadi PCQ-UPLOAD dan Target Download menjadi PCQ-DOWNLOAD sesuai konfigurasi sebelumnya. Parameter Limit-At dibiarkan pada nilai unlimited agar sisa bandwidth dapat dimanfaatkan secara optimal ketika jumlah pengguna aktif sedikit hingga batas Max-Limit.



**Gambar 4. 7 Hasil Konfigurasi Rule Simple Queue**

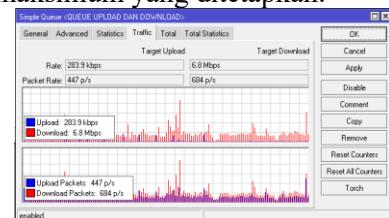
Setelah seluruh konfigurasi disimpan, hasil penerapan tersebut dapat dilihat pada menu Queue. Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar di atas, rule antrian baru telah berhasil terbentuk dan aktif pada daftar Simple Queues.

#### 4.5. Monitoring

Pada tahapan monitoring dilakukan kegiatan memantau atau memonitor aktifitas jaringan internet setelah penerapan metode per connection queue yang dipadukan dengan simple queue dan juga dilakukan penilaian Quality of Service dengan standarisasi ETSI.

##### 4.5.1 Monitoring Simple Queue

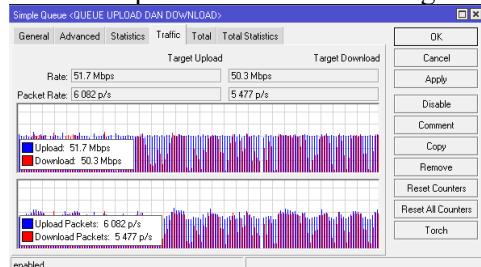
Pada Gambar 4 menunjukkan kondisi jaringan saat trafik rendah, di mana penggunaan bandwidth masih ringan dan belum mencapai batas maksimum yang ditetapkan.



**Gambar 4. 8 Trafik Internet Ketika Senggang**

Sedangkan pada gambar menunjukkan ketika kondisi jaringan saat trafik tinggi, di mana

pembatasan bandwidth melalui *Simple Queue* tetap bekerja sehingga penggunaan upload dan download tetap terkontrol sesuai konfigurasi.



**Gambar 4.9** Trafik Internet Ketika Padat

#### 4.5.2 Monitoring Hasil *Quality of Service* (QoS)

Dilakukan Monitoring untuk mendapatkan hasil akhir dari *Quality of Service* (QoS) dan dilakukan perbandingan untuk mengetahui perbedaan dari hasil awal dan akhir.

##### 1. Throughput

**Tabel 4.9** Hasil Pengujian Awal QoS Throughput Client

Client	Throughput	
	Hasil	Indeks
Client 1	3042 Kb/s	4
Client 2	3156 Kb/s	4
Client 3	5344 Kb/s	4

Hasil pengujian Throughput pada semua client menunjukkan adanya kenaikan yang sangat signifikan, hasil terbesar ada di client 3 dengan nilai 5344 Kb/s dengan indeks 4, client 2 dengan nilai 3156 kb/s dengan indeks 4, dan terkecil ada di client 1 dengan nilai 3042 kb/s dengan indeks 4.

##### 2. Packet loss

**Tabel 4.10** Hasil Pengujian Awal QoS Packet Loss Client

Client	Packet Loss	
	Hasil	Indeks
Client 1	0%	4
Client 2	0%	4
Client 3	0%	4

Dari pengujian *Quality of Service* pada semua client tidak ditemukan adanya packet loss dengan indeks 4. Dapat disimpulkan penelitian ini berhasil menjaga packet loss dengan baik

##### 3. Delay

**Tabel 4.11** Hasil Pengujian Awal QoS Delay Client

Client	Delay	
	Hasil	Indeks
Client 1	3 ms	4
Client 2	3 ms	4
Client 3	2 ms	4

Berdasarkan hasil pengukuran parameter delay yang diperoleh dari 3 client menunjukkan semua sudah mendapat indeks 4 (sangat bagus) dengan terkecil berada di 2 ms dan terbesar di 3 ms.

##### 4. Jitter

**Tabel 4.12** Hasil Pengujian Awal QoS Jitter Client

Client	Jitter	
	Hasil	Indeks
Client 1	3 ms	3
Client 2	3 ms	3
Client 3	2 ms	3

Berdasarkan hasil pengukuran parameter delay yang diambil dari 3 client menunjukkan semua sudah berada di indeks 3 (Bagus) dengan hasil terkecil di 2 ms.

Setelah dilakukan pengujian akhir *Quality of Service* (QoS), tahap selanjutnya adalah melakukan perbandingan hasil sebelum dan sesudah penerapan manajemen bandwidth pada setiap client sebagai berikut.

##### 1. Throughput

**Tabel 4.13** Hasil Perbandingan QoS Throughput Client

Client	Throughput			
	Sebelum	indeks	Sesudah	indeks
Client 1	431 Kb/s	1	3042 Kb/s	4
Client 2	296 Kb/s	0	3156 Kb/s	4
Client 3	972 Kb/s	2	5344 Kb/s	4

##### 2. Packet Loss

**Tabel 4.14** Hasil Perbandingan QoS Packet Loss Client

Client	Packet Loss			
	Sebelum	indeks	Sesudah	indeks

Client 1	0%	4	0%	4
Client 2	0%	4	0%	4
Client 3	0%	4	0%	4

### 3. Delay

**Tabel 4. 15** Hasil Perbandingan QoS Delay Client

Client	Delay			
	Sebelum m	indeks	Sesudah h	indeks
Client 1	18 ms	4	3 ms	4
Client 2	27 ms	4	3 ms	4
Client 3	6 ms	4	2 ms	4

### 4. Jitter

**Tabel 4. 16** Hasil Perbandingan QoS Jitter Client

Client	Jitter			
	Sebelum m	indeks	Sesudah h	indeks
Client 1	18 ms	3	3 ms	3
Client 2	27 ms	3	3 ms	3
Client 3	6 ms	3	2 ms	3

Setelah pengujian dan perbandingan Quality of Service dilakukan pada seluruh perangkat, data hasil pengujian dijumlahkan untuk mendapatkan nilai rata-rata tiap segmen internet.

### 1. Throughput

**Tabel 4. 17** Hasil Pengujian Akhir QoS Throughput

Segmen Internet	Throughput	
	Hari ke 1	
	Hasil	Indeks
Lab-MM	5204 Kb/s	4
Lab-TKJ	2592 Kb/s	4
Lab-AK	2043 Kb/s	3
Wifi	2698 Kb/s	4
Segmen Internet	Throughput	
	Hari ke 2	
	Hasil	Indeks
Lab-MM	3503 Kb/s	4
Lab-TKJ	1851 Kb/s	3
Lab-AK	4355 Kb/s	4
Wifi	3409 Kb/s	4
Segmen Internet	Throughput	
	Hari ke 3	
	Hasil	Indeks
Lab-MM	2113 Kb/s	4
Lab-TKJ	2488 Kb/s	4

Lab-AK	3814 Kb/s	4
Wifi	3698 Kb/s	4
	1527 Kb/s	3

Berdasarkan hasil uji Quality of Service akhir pada tabel diatas, terjadi perubahan signifikan pada hasil throughput, yang mana hampir semua mendapatkan nilai indeks 4 dengan hasil terbesar yaitu 5204 Kb/s untuk hasil terkecilnya 1527 Kb/s dengan indeks 3 dan sudah tidak ada hasil uji yang mendapatkan nilai indeks dibawah 3.

### 2. Packet Loss

**Tabel 4. 18** Hasil Pengujian Akhir QoS Packet Loss

Segmen Internet	Packet Loss	
	Hari ke 1	
	Hasil	Indeks
Lab-MM	0%	4
Lab-TKJ	0%	4
Lab-AK	0%	4
Wifi	0%	4
Segmen Internet	Packet Loss	
	Hari ke 2	
	Hasil	Indeks
Lab-MM	0%	4
Lab-TKJ	0%	4
Lab-AK	0%	4
Wifi	0%	4
Segmen Internet	Packet Loss	
	Hari ke 3	
	Hasil	Indeks
Lab-MM	0%	4
Lab-TKJ	0%	4
Lab-AK	0%	4
Wifi	0%	4

Berdasarkan hasil uji Quality Of Service awal pada tabel diatas tidak ditemukan packet loss di semua segmen internet yang artinya semua mendapatkan indeks 4.

### 3. Delay

**Tabel 4. 19** Hasil Pengujian Akhir QoS Delay

Segmen Internet	Delay	
	Hari ke 1	
	Hasil	Indeks
Lab-MM	2 ms	4
Lab-TKJ	5 ms	4
Lab-AK	4 ms	4
Wifi	3 ms	4

Segmen Internet	Delay	
	Hari ke 2	
	Hasil	Indeks
Lab-MM	3 ms	4
Lab-TKJ	6 ms	4
Lab-AK	2 ms	4
Wifi	3 ms	4
Segmen Internet	Delay	
	Hari ke 3	
	Hasil	Indeks
Lab-MM	4 ms	4
Lab-TKJ	3 ms	4
Lab-AK	3 ms	4
Wifi	5 ms	4

Berdasarkan hasil pengukuran delay selama tiga hari, hasil delay sudah ada tidak ada yang lebih dari 69 ms seperti pada hasil awal, karena hasil delay terbesar hanya 6 ms dan semua segmen internet juga mendapatkan nilai indeks 4.

#### 4. Jitter

**Tabel 4. 20** Hasil Pengujian Akhir QoS Jitter

Segmen Internet	Jitter	
	Hari ke 1	
	Hasil	Indeks
Lab-MM	2 ms	4
Lab-TKJ	5 ms	4
Lab-AK	4 ms	4
Wifi	3 ms	4
Segmen Internet	Jitter	
	Hari ke 2	
	Hasil	Indeks
Lab-MM	3 ms	4
Lab-TKJ	6 ms	4
Lab-AK	2 ms	4
Wifi	3 ms	4
Segmen Internet	Jitter	
	Hari ke 3	
	Hasil	Indeks
Lab-MM	4 ms	4
Lab-TKJ	7 ms	4
Lab-AK	6 ms	4
Wifi	6 ms	4

Nilai hasil jitter pada uji Quality of Service juga berubah menjadi kecil dan tidak lebih dari 10 ms dengan nilai terbesarnya yaitu 6 ms dengan indeks 3.

Setelah seluruh data hasil pengujian Quality of Service (QoS) diperoleh, dilakukan analisis lanjutan dengan

membandingkan hasil pengujian sebelum dan sesudah penerapan manajemen bandwidth.

#### 1. Throughput

**Tabel 4. 21** Hasil Perbandingan QoS Throughput

Segmen Internet	Throughput Hari Ke-1			
	Sebelum		Sesudah	
	Hasil	Indeks	Hasil	Indeks
Laboratorium Akuntansi	2691 Kb/s	4	5204 Kb/s	4
Laboratorium Multi Media	1288 Kb/s	2	2592 Kb/s	4
Laboratorium TKJ	1660 Kb/s	3	2043 Kb/s	3
Wi-Fi	2702 Kb/s	4	2698 Kb/s	4
Segmen Internet	Throughput Hari Ke-2			
	Sebelum		Sesudah	
	Hasil	Indeks	Hasil	Indeks
Laboratorium Akuntansi	2719 Kb/s	4	3503 Kb/s	4
Laboratorium Multi Media	1540 Kb/s	3	1851 Kb/s	3
Laboratorium TKJ	830 Kb/s	2	4355 Kb/s	4
Wi-Fi	1420 Kb/s	3	3409 Kb/s	4
Segmen Internet	Throughput Hari Ke-3			
	Sebelum		Sesudah	
	Hasil	Indeks	Hasil	Indeks
Laboratorium Akuntansi	2113 Kb/s	4	2488 Kb/s	4
Laboratorium Multi Media	1979 Kb/s	3	3814 Kb/s	4
Laboratorium TKJ	3814 Kb/s	4	3698 Kb/s	4
Wi-Fi	1999 Kb/s	3	1527 Kb/s	3

#### 2. Packet Loss

**Tabel 4. 22** Hasil Perbandingan QoS Packet Loss

Segmen Internet	Packet Loss Hari Ke-1			
	Sebelum		Sesudah	
	Hasil	Indeks	Hasil	Indeks
Laboratorium Akuntansi	0%	4	0%	4

Laboratorium Multi Media	0%	4	0%	4
Laboratorium TKJ	0%	4	0%	4
Wi-Fi	0%	4	0%	4
Segmen Internet	Packet Loss Hari Ke-2			
	Sebelum		Sesudah	
	Hasil	Indeks	Hasil	Indeks
	Laboratorium Akuntansi	0%	4	0%
Laboratorium Multi Media	0%	4	0%	4
Laboratorium TKJ	0%	4	0%	4
Wi-Fi	0%	4	0%	4
Segmen Internet	Packet Loss Hari Ke-3			
	Sebelum		Sesudah	
	Hasil	Indeks	Hasil	Indeks
	Laboratorium Akuntansi	0%	4	0%
Laboratorium Multi Media	0%	4	0%	4
Laboratorium TKJ	0%	4	0%	4
Wi-Fi	0%	4	0%	4

## 3. Delay

Tabel 4. 23 Hasil Perbandingan QoS Delay

Segmen Internet	Delay Hari Ke-1			
	Sebelum		Sesudah	
	Hasil	Indeks	Hasil	Indeks
	Laboratorium Akuntansi	14 ms	4	2 ms
Segmen Internet	Delay Hari Ke-2			
	Sebelum		Sesudah	
	Hasil	Indeks	Hasil	Indeks
	Laboratorium Akuntansi	69 ms	4	3 ms
Segmen Internet	Delay Hari Ke-3			
	Sebelum		Sesudah	
	Hasil	Indeks	Hasil	Indeks
	Laboratorium Akuntansi	69 ms	4	3 ms
Segmen Internet	Delay Hari Ke-4			
	Sebelum		Sesudah	
	Hasil	Indeks	Hasil	Indeks
	Laboratorium Akuntansi	69 ms	4	3 ms

Wi-Fi	6 ms	4	3 ms	4
Segmen Internet	Delay Hari Ke-3			
	Sebelum		Sesudah	
	Hasil	Indeks	Hasil	Indeks
Laboratorium Akuntansi	4 ms	4	4 ms	4
Laboratorium Multi Media	7 ms	4	3 ms	4
Laboratorium TKJ	6 ms	4	3 ms	4
Wi-Fi	6 ms	4	5 ms	4

## 4. Jitter

Tabel 4. 24 Hasil Perbandingan QoS Throughput

Segmen Internet	Jitter Hari Ke-1			
	Sebelum		Sesudah	
	Hasil	Indeks	Hasil	Indeks
	Laboratorium Akuntansi	14 ms	3	2 ms
Segmen Internet	Jitter Hari Ke-2			
	Sebelum		Sesudah	
	Hasil	Indeks	Hasil	Indeks
	Laboratorium Akuntansi	69 ms	3	3 ms
Segmen Internet	Jitter Hari Ke-3			
	Sebelum		Sesudah	
	Hasil	Indeks	Hasil	Indeks
	Laboratorium Akuntansi	69 ms	3	3 ms

Secara keseluruhan, penerapan manajemen jaringan terbukti berhasil meningkatkan kualitas layanan (QoS) secara signifikan. Pada

kondisi Sesudah, distribusi bandwidth menjadi jauh lebih optimal dengan kenaikan Throughput yang merata hingga mencapai indeks tertinggi, memperbaiki penurunan performa yang sempat terjadi sebelumnya. Stabilitas jaringan juga membaik drastis, di mana Delay dan Jitter yang sebelumnya sempat melonjak tinggi hingga 69 ms berhasil ditekan menjadi sangat rendah (rata-rata 2-6 ms). Dikombinasikan dengan Packet Loss yang konsisten di angka 0%, seluruh segmen kini beroperasi pada performa maksimal dengan kategori "Sangat Bagus".

#### 4.6. Management

Manajemen sistem dilakukan dengan menjaga kondisi perangkat keras jaringan agar tetap aman dan stabil, serta memastikan perangkat lunak dan konfigurasi jaringan berjalan optimal melalui pencadangan dan pemantauan log sistem.

### 5. KESIMPULAN

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian Penerapan Manajemen Bandwidth Menggunakan Metode Per Connection Queue di SMK TRIKARYA, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Penerapan manajemen bandwidth menggunakan metode Per Connection Queue (PCQ) di SMK Trikarya terbukti mampu mengoptimalkan alokasi bandwidth jaringan. Metode PCQ membagi bandwidth secara adil kepada setiap pengguna berdasarkan jumlah koneksi aktif, sehingga tidak terjadi ketimpangan penggunaan bandwidth antar pengguna maupun antar segmen jaringan. Dengan penerapan PCQ melalui fitur Simple Queue pada perangkat MikroTik, penggunaan bandwidth menjadi lebih terkontrol, stabil, dan sesuai dengan kapasitas yang tersedia, baik pada kondisi trafik rendah maupun trafik padat.
2. Hasil pengujian parameter Quality of Service (QoS) menunjukkan adanya perbaikan kinerja jaringan setelah penerapan metode PCQ. Parameter throughput menjadi lebih merata di seluruh segmen jaringan dan tidak lagi menunjukkan nilai rendah seperti pada kondisi sebelum implementasi. Selain itu, nilai delay dan jitter mengalami penurunan serta menjadi lebih stabil, yang menandakan peningkatan kualitas layanan

jaringan. Sementara itu, parameter packet loss tetap berada pada nilai 0% baik sebelum maupun sesudah penerapan, sehingga dapat disimpulkan bahwa metode PCQ tidak menurunkan kualitas transmisi data dan justru meningkatkan kualitas layanan jaringan secara keseluruhan.

#### 5.1. Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan perbandingan antara metode Per Connection Queue (PCQ) dengan metode manajemen bandwidth lainnya, seperti Hierarchical Token Bucket (HTB), Queue Tree, atau metode lain yang relevan. Selain itu, penelitian berikutnya juga dapat menambahkan analisis terhadap jenis layanan atau aplikasi yang digunakan oleh pengguna, seperti streaming, video conference, dan layanan berbasis internet lainnya, agar pengaruh manajemen bandwidth terhadap masing-masing jenis layanan dapat dievaluasi secara lebih spesifik.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada keluarga dan teman-teman yang senantiasa mendukung serta memberikan saya semangat untuk menyelesaikan skripsi ini. Begitu juga kepada pihak-pihak yang telah membantu saya dalam proses ini. Untuk semua usaha dan do'a-nya saya ucapan terima kasih.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Setiawan, R. Kurniawan, dan D. Pratama, "Pemanfaatan Internet dalam Mendukung Proses Pembelajaran Berbasis Teknologi Informasi," *Jurnal Teknologi Informasi*, vol. 5, no. 2, pp. 101–108, 2021.
- [2] S. Hidayat dan M. Ramadhan, "Peran Jaringan Internet terhadap Efektivitas Pembelajaran Digital," *Jurnal Pendidikan Teknologi*, vol. 6, no. 1, pp. 45–52, 2022.
- [3] R. Putra, Y. Saputra, dan A. Nugroho, "Pengaruh Kualitas Jaringan terhadap Implementasi E-Learning," *Jurnal Sistem Informasi*, vol. 7, no. 3, pp. 210–218, 2020.
- [4] F. Maulana dan I. Akbar, "Analisis Penggunaan Bandwidth pada Jaringan Sekolah," *Jurnal Jaringan Komputer*, vol. 8, no. 2, pp. 134–142, 2021.
- [5] D. Wijaya dan T. Prakoso, "Analisis Delay dan Packet Loss pada Jaringan Tanpa Manajemen Bandwidth," *Jurnal Informatika*, vol. 9, no. 1, pp. 55–63, 2020.

- [6] L. Sari, R. Ananda, dan H. Fajri, “Evaluasi Quality of Service (QoS) pada Jaringan Komputer,” *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 10, no. 2, pp. 98–105, 2022.
- [7] M. Rizky dan A. Firmansyah, “Pengaruh Manajemen Bandwidth terhadap Kinerja Jaringan,” *Jurnal Ilmu Komputer*, vol. 11, no. 1, pp. 1–9, 2023.
- [8] N. Hakim dan S. Wahyuni, “Analisis Kebutuhan Bandwidth pada Laboratorium Pendidikan,” *Jurnal Pendidikan Vokasi*, vol. 6, no. 2, pp. 77–85, 2021.
- [9] A. Prasetyo dan E. Saputro, “Implementasi Metode Per Connection Queue pada Router MikroTik,” *Jurnal Jaringan dan Telekomunikasi*, vol. 9, no. 3, pp. 150–158, 2022.
- [10] E. B. dkk., “Penerapan PCQ untuk Peningkatan Quality of Service Jaringan Sekolah,” *JITET (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan)*, vol. 12, no. 1, pp. 30–38, 2024.
- [11] H. Gunawan dan R. Prabowo, “Konsep Dasar Internet dan Implementasinya,” *Jurnal Teknologi Informasi*, vol. 7, no. 1, pp. 10–17, 2020.
- [12] A. Yuliana dan B. Santoso, “Dasar Jaringan Komputer pada Lingkungan Pendidikan,” *Jurnal Sistem Komputer*, vol. 8, no. 2, pp. 89–96, 2021.
- [13] R. Fauzi dan D. Lestari, “Manajemen Bandwidth sebagai Solusi Kepadatan Trafik Jaringan,” *Jurnal Informatika Terapan*, vol. 10, no. 1, pp. 22–29, 2022.
- [14] P. Nugraha dan A. Wibowo, “Penerapan Network Development Life Cycle pada Perancangan Jaringan,” *Jurnal Teknologi Jaringan*, vol. 9, no. 2, pp. 65–72, 2021.
- [15] S. Kurniawan dan T. H. Putri, “Analisis Metode PCQ pada Router MikroTik,” *Jurnal Jaringan Komputer*, vol. 11, no. 3, pp. 140–147, 2023.
- [16] M. A. Rahman dan I. Setyawan, “Optimasi Bandwidth Menggunakan Metode Per Connection Queue,” *JITET (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan)*, vol. 11, no. 2, pp. 90–98, 2022.
- [17] R. P. Aditya dan Y. K. Pratama, “Penerapan Simple Queue untuk Pengelolaan Bandwidth Jaringan,” *Jurnal Teknologi Informasi*, vol. 8, no. 3, pp. 120–127, 2021.
- [18] S. Alfarizi dan R. Hidayah, “Pengukuran Quality of Service (QoS) pada Jaringan Berbasis MikroTik,” *Jurnal Jaringan dan Sistem Informasi*, vol. 12, no. 1, pp. 15–23, 2023.
- [19] M. H. Ridwan, A. Solehudin, dan C. Rozikin, “Analisis Quality of Service (QoS) Jaringan Wireless dengan Penerapan PCQ (Studi Kasus: Kantor Kecamatan Kemang),” *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 8, no. 3, pp. 3293–3309, 2024.