

Analisis Perbandingan Quality Of Service (Qos) Pada Performa Bandwidth Jaringan Dengan Metode Hierarchical Token Bucket (Htb) Dan Per Connection Queue (Pcq).

Adytia A. Tambunan¹, Lukman²

Informatika Fakultas Ilmu Komputer Universitas AMIKOM Yogyakarta
Jl. Ring Road Utara Condong Catur, Depok, Sleman, Yogyakarta 55283
¹adytia.tambunan@students.amikom.ac.id, ²masman@amikom.ac.id

INTISARI

Quality of Service (QoS) adalah cara cerdas untuk mengalokasikan bandwidth yang tersedia. Penggunaan manajemen bandwidth sebagai parameter Quality of Service tidak hanya membatasi tetapi menjaga kualitas bandwidth, sehingga semua pengguna yang terhubung dalam satu jaringan mendapatkan kualitas internet yang merata dan stabil. Ada beberapa cara untuk mengaplikasikan bandwidth manajemen untuk meningkatkan Quality of Service, salah satunya yakni menggunakan mikrotik.

Ada banyak metode manajemen bandwidth yang dapat digunakan atau diterapkan pada jaringan yang menggunakan router mikrotik. Adapun yang paling sering digunakan dalam jaringan berskala menengah atau pun besar seperti metode Hierarchical Token Bucket (HTB) dan Per Connection Queue (PCQ).

Penelitian ini akan melakukan analisis variabel Quality of Service (QoS) terhadap performa bandwidth dengan membandingkan dua metode antrian yaitu metode Hierarchical Token Bucket (HTB) dan metode Per Connection Queue (PCQ). Penelitian dilakukan untuk mengetahui metode manakah lebih baik untuk di implementasikan oleh administrator jaringan agar efisien dan tepat untuk digunakan.

Kata kunci: Manajemen Bandwidth, QOS, PCQ, HTB, Mikrotik.

ABSTRACT

Quality of Service (QoS) is a smart way to allocate available bandwidth. The use of bandwidth management as a Quality of Service parameter not only limits but maintains bandwidth quality, so that all users connected in one network get an even and stable internet quality. There are several ways to apply bandwidth management to improve Quality of Service, one of which is using a proxy.

There are many bandwidth management methods that can be used or applied to networks that use a proxy router. As for what is most often used in medium or large scale networks such as the Hierarchical Token Bucket (HTB) and Per Connection Queue (PCQ) methods.

This study will analyze the Quality of Service (QoS) variable on bandwidth performance by comparing two queuing methods, namely the Hierarchical Token Bucket (HTB) method and the Per Connection Queue (PCQ) method. The study was conducted to determine which method is better for network administrators to implement in order to be efficient and appropriate to use.

Keywords: Bandwidth Management, QOS, PCQ, HTB, Mikrotik.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Perkembangan Teknologi yang terbuka bebas, jaringan komputer dan akses internet sangat di butuhkan sebagai pencarian informasi, alat komunikasi, media sosial, dan pencarian hiburan[1]. Semakin tinggi penggunaan akses internet maka teknologi akan semakin berkembang[2]. Hal tersebut membuat orang tidak bisa lepas dari yang namanya internet. Untuk memenuhi kebutuhan aktivitas di internet maka di bangunlah sistem management *bandwidth*, yaitu melakukan teknik antrian *Quality of Service(QoS)*.

Quality of Service (QoS) adalah cara cerdas untuk mengalokasikan bandwidth yang tersedia. Penggunaan manajemen bandwidth sebagai parameter Quality of Service tidak hanya membatasi tetapi menjaga kualitas bandwidth, sehingga semua pengguna yang terhubung dalam satu jaringan mendapatkan kualitas internet yang merata dan stabil[3]. Ada beberapa cara untuk mengaplikasikan bandwidth manajemen untuk meningkatkan Quality of Service, salah satunya yakni menggunakan mikrotik.

Ada banyak metode manajemen bandwidth yang dapat digunakan atau

diterapkan pada jaringan yang menggunakan *router* mikrotik. Adapun yang paling sering digunakan dalam jaringan berskala menengah atau pun besar seperti metode *Hierarchical Token Bucket* (HTB) dan *Per Connection Queue* (PCQ)[4].

Pertanyaan yang timbul adalah permasalahan bagaimana cara mengetahui metode yang mana paling tepat terhadap pemilihan metode *Hierarchical Token Bucket* (HTB) dan *Per Connection Queue* (PCQ) di jaringan. Secara umum sistem *Hierarchical Token Bucket* (HTB) sangat baik jika jumlah *client* sedikit, sehingga admin jaringan bisa menentukan parameter *limit-at*. Sedangkan, jika *user* yang kita *handle* merupakan user dengan jumlah yang cukup banyak maka *Per Connection Queue* (PCQ) adalah metode yang paling tepat karena dapat melakukan *bandwidth sharing* otomatis dan merata ke *multiclient*[5]. Pada saat jaringan yang sudah di buat, banyak yang belum mengujikan parameter variabel QoS itu sendiri. Apakah metode tersebut sesuai dengan kriteria parameter QoS atau sebaliknya.

Maka penelitian ini akan melakukan analisis variabel *Quality of Service* (QoS) terhadap performa *bandwidth* dengan membandingkan dua metode antrian yaitu metode *Hierarchical Token Bucket* (HTB) dan metode *Per Connection Queue* (PCQ). Penelitian dilakukan untuk mengetahui metode manakah lebih baik untuk di implementasikan oleh *administrator* jaringan agar efisien dan tepat untuk digunakan.

B. Maksud dan Tujuan Penelitian

Penelitian mengenai Analisis Perbandingan *Quality of Service* (QoS) pada Performa *Bandwidth* Jaringan dengan Metode *Hierarchical Token Bucket* (HTB) dan *Per Connection Queue* (PCQ) bermaksud untuk :

1. Melakukan analisa perbandingan manajemen *bandwidth* dengan menggunakan metode *Hierarchical Token Bucket* (HTB) dan *Per Connection Queue* (PCQ).
2. Memberikan referensi kepada administrator jaringan dalam menentukan metode mana yang paling tepat dan benar dalam manajemen *bandwidth*.

Adapun tujuan penelitian ini sebagai berikut :

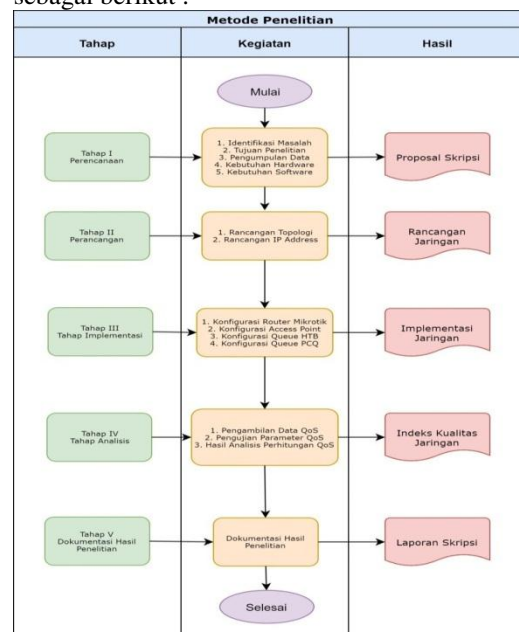
1. Untuk mengetahui dan menentukan nilai *Quality of Service* (QoS) dari perbandingan kedua metode tersebut.

2. Menghasilkan sebuah informasi berupa hasil analisis jaringan yang sesuai dengan standar QoS.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Jenis penelitian ini memakai metode penelitian eksperimen (uji coba), di gunakan untuk melakukan perbandingan metode HTB dan PCQ. Metode penelitian eksperimen yang akan di gunakan merupakan pendekatan salah satu metode kuantitatif, di gunakan apabila peneliti ingin melakukan percobaan untuk mencari pengaruh variabel perlakuan tertentu terhadap variabel hasil dalam kondisi yang terkontrol. Dalam penelitian ini hanya melakukan uji coba sehingga variabel perlakuan dan variabel hasil itu tidak ada. Di karenakan pada variabel perlakuan di lakukan pada saat jaringan yang sudah ada, lalu di teliti dengan perbandingan variabel hasil. Sedangkan pada penelitian ini, jaringan belum di buat sehingga penelitian ini bereksperimen membuat sebuah jaringan dengan memakai dua metode yaitu HTB dan PCQ yang akan di bandingi. Kegunaan hasil penelitian adalah untuk mencapai tujuan yang di harapkan peneliti. Walaupun metode penelitian ini hanya uji coba, tetapi tahapan alur penelitian tetap menggunakan pendekatan sistematika penulisan pada metode penelitian eksperimen.

Dalam penyusunan penelitian, di mulai dari pengumpulan data hingga hasil penelitian maka terlebih dahulu membuat diagram *flowchart*. Diagram tersebut digunakan untuk mempermudah tentang alur penelitian. Adapun alur penelitian dapat di lihat pada Gambar sebagai berikut :



Gambar 1. Flowchart Alur Penelitian

Adapun penjelasan di setiap tahapnya sebagai berikut:

1. Tahap I Perencanaan

Kegiatan yang dilakukan pada tahap perencanaan ini meliputi mengidentifikasi masalah, mengumpulkan data yang berasal dari subjek penelitian lain yang diperoleh dari buku, skripsi, jurnal, dan informasi menyangkut bandwidth dan terkait parameter QoS untuk mendukung penelitian penulis. Serta melakukan perencanaan baik kebutuhan perangkat keras dan kebutuhan perangkat lunak untuk persiapan, seperti yang bisa dilihat ditabel berikut.

TABEL I.
KEBUTUHAN PERANGKAT KERAS

No	Perangkat keras	Spesifikasi
1	Komputer	<ul style="list-style-type: none"> - Laptop Asus X555QG - Processor= AMD A12-9700P ~2.5GHz - RAM = 8192MB DDR4 - Hardisk = 1 TB - VGA AMD Radeon
2	Mikrotik RB951Ui-2HnD	<ul style="list-style-type: none"> - Architecture = MIPS-BE - CPU = AR9344 600MHZ - Main Storage = 64MB - RAM = 128MB - Wireless = 802.11 b/g/n
3	Kabel UTP	<ul style="list-style-type: none"> - UTP dengan Connector RJ45 dengan rancangan kabel <i>Straight</i>
4	Switch	<ul style="list-style-type: none"> - TP-Link TL-SF1005D (unmanageable)
5	Access point	<ul style="list-style-type: none"> - TP-LINK 300Mbps Wireless Router - TL-WR840N

TABEL II.

KEBUTUHAN PERANGKAT LUNAK

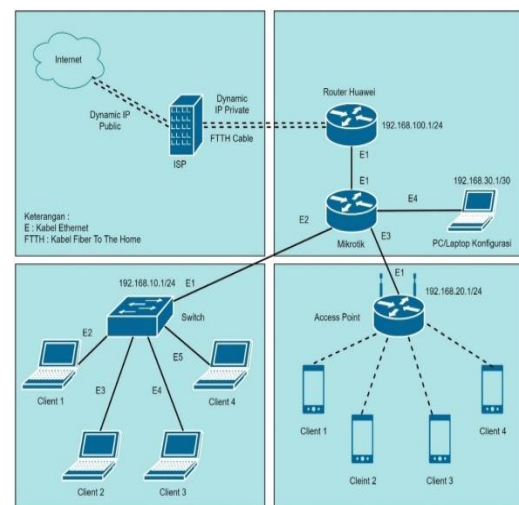
No	Perangkat lunak	Fungsi
1	Windows 10 64 Bit	Sistem operasi yang digunakan dalam komputer (Laptop)
2	RouterOS	Sistem operasi yang digunakan dalam mikrotik
3	Winbox	Aplikasi untuk meremote mikrotik dengan tampilan GUI (Graphical User Interface) dan

		mensinkronasikan bot dengan mikrotik
4	Wireshark	Sebagai <i>tool</i> penganalisa paket jaringan yang dipakai untuk melihat parameter <i>delay, jitter, packet loss</i> , dan <i>throughput</i> .
5	Microsoft Excel	Digunakan sebagai alat hitung untuk menjumlahkan parameter nilai dari <i>delay, jitter, packet loss</i> , dan <i>throughput</i> .

2. Tahap II Perancangan

Untuk memenuhi tahap implementasi, di butuhkan perancangan sebuah jaringan. Tahap perancangan ini terdiri dari :

Rancangan Topologi. Sebuah model jaringan sangat penting dalam sebuah penelitian agar mempermudah implementasi dari sebuah sistem yang akan dibangun, sehingga dalam tahap ini dilakukan perancangan topologi. Adapun rancangan topologi yang digunakan peneliti ditujukan pada gambar berikut.



Gambar 2. Rancangan Topologi Jaringan

Rancangan IP Address. Pemberian IP Address pada Ether1-Internet menggunakan DHCP *Client*. Untuk interface Ether2-Switch dan Ether3-AP pemberian IP Address dilakukan secara dinamis yang diberikan oleh DHCP *Server*. DHCP *Server* dapat mempermudah karena pembagian IP dilakukan secara otomatis. Untuk pemberian IP Address Ether4-Admin dilakukan IP statik dan berperan sebagai konfigurator serta analisis QoS. Adapun rancangan IP Address dapat di lihat tabel berikut.

TABEL III.
RANCANGAN IP ADDRESS

Interface	IP Address	Subnet Mask
Ether1-INTERNET	192.168.100.10/24	255.255.255.0
Ether2-SWITCH	192.168.10.1 /24	255.255.255.0
Ether3-AP	192.168.20.1 /24	255.255.255.0
Ether4-ADMIN	192.168.30.1 /30	255.255.255.252

3. Tahap III Implementasi

Setelah penerapan dari tahap perancangan di lakukan tahap implementasi. Tahap implementasi bertujuan untuk menerapkan rancangan jaringan setiap metode untuk mengukur parameter Quality of Service (QoS). Setelah penerapan implementasi yang akan di lakukan adalah membandingi performa bandwidth pada metode HTB dan PCQ dengan memanfaatkan fitur dari routerboard mikrotik.

4. Tahap IV Analisis

Untuk pengambilan data ada beberapa tahap meliputi :

- Pengujian Quality of Service (QoS) di lakukan 5 hari dengan 2 sesi yaitu jam siang 12.00-16.00 dan jam malam 18.00-22.00. Hasil dari pengujian QoS metode Hierarchical Token Bucket (HTB) dan metode Per Connection Queue (PCQ) akan di analisa untuk perbandingan.
- Pengujian Quality of Service (QoS) dilakukan pada saat semua user sedang mengakses internet.
- Pengujian Quality of Service (QoS) menggunakan bandwidth sebesar 20Mbps untuk trafik download maupun trafik upload.
- Pengujian parameter QoS yang terdiri dari delay, jitter, throughput, dan packet loss akan menggunakan perangkat lunak wireshark dengan melakukan capture paket saat download maupun upload di protokol TCP. Layanan yang di pakai untuk download adalah <https://testmy.net/download> dan upload <https://testmy.net/upload> dengan manual test size masing-masing sebesar 12MB.

Setelah mendapatkan pengambilan data, analisis pertama di lakukan pada metode Hierarchical Token Bucket (HTB) lalu dilakukan perbandingan kedua yaitu, analisis metode Per Connection Queue (PCQ). Analisis yang di maksud adalah parameter QoS yang terdiri dari delay, jitter, throughput, dan packet loss yang di gunakan untuk mengukur serta membandingi performa kualitas jaringan yang mana lebih bagus sesuai standarisasi QoS.

Jika hasil rata-rata nilai parameter QoS itu sama yang berdasarkan nilai index QoS , maka di lakukan perbandingan nilai QoS yang sebenarnya. Nilai QoS yang sebenarnya di dapatkan dari hasil nilai rata-rata setiap parameter QoS yaitu throughput, delay, jitter, dan packet loss. Untuk itu, sebelum pengambilan data maka di lakukan tahap implementasi.

Saat pemecahan masalah dapat tercapai maka hasil analisis QoS dapat terjawab sesuai dengan standarisasi QoS TIPHON. Jika nantinya perbandingan nilai rata-rata indeks QoS nantinya sama, yang di ukur adalah nilai rata-rata parameter QoS yang sebenarnya. Hasil analisa nantinya adalah solusi yang terdapat pada jaringan, yang dimana metode manakah paling tepat untuk penelitian ini. Untuk mencapai hasil analisa maka penelitian ini memakai metode penelitian eksperimen yang akan membandingi metode HTB dan PCQ dengan parameter QoS tersebut.

5. Tahap V Dokumentasi hasil penelitian

Pada tahap ini dokumentasi berupa kesimpulan dan saran. Dokumentasi tercipta setelah hasil penelitian telah tercapai. Adapun kesimpulan yaitu rumusan masalah yang dapat terjawab dengan proses analisa sebelumnya dan saran merupakan harapan penulis terhadap kekurangan penelitian ini sehingga dapat di kembangkan penelitian ini nantinya.

III.HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi

Sebelum melakukan tahap uji data, pada tahap ini dilakukan kegiatan implementasi yang sudah di rancang sebelumnya di tahap perancangan. Tahap implementasi di gunakan untuk menerapkan rancangan perbandingan Quality of Service (QoS) terhadap performa bandwidth metode HTB dan PCQ menggunakan fitur dari Mikrotik. Untuk konfigurasi dalam mikrotik akan menggunakan

software winbox. Berikut yang perlu dikonfigurasi pada device :

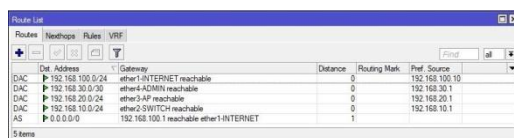
1. Konfigurasi Router Mikrotik

Sebelum konfigurasi router dilakukan instalasi winbox 3.18. Tahap awal masuk ke dalam winbox menggunakan Connect To : MAC Address yang ada pada mikrotik. Secara default Login : admin dan Password : dikosongkan kemudian pilih connect dan akan masuk halaman awal winbox.

Tahap pertama adalah konfigurasi interface winbox, pada router mikrotik RB951Ui-2HnD mempunyai lima interface. Konfigurasi interface di gunakan untuk memudahkan konfigurasi jaringan dengan melakukan penamaan pada tiap interface yang akan di pakai.

Berdasarkan rancangan IP Address pada Bab 3 maka ip address yang akan di terapkan pada ether1-INTERNET adalah 192.168.100.10/24, ether2-SWITCH 192.168.10.1/24, ether3-AP 192.168.20.1/24, dan ether4-ADMIN 192.168.30.1/30.

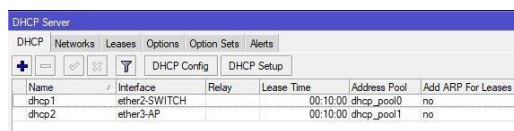
Gateway berfungsi sebagai gerbang router mikrotik untuk menuju internet. Pada Dst-Address di isi default gateway 0.0.0.0/0 dan gateway adalah 192.168.100.1.



Dest. Address	Gateway	Distance	Routing Mark	Ref. Source
DAC	192.168.100.0/24	0	192.168.100.10	
DAC	192.168.30.0/30	0	192.168.30.1	
DAC	192.168.20.0/24	0	192.168.20.1	
DAC	192.168.10.0/24	0	192.168.10.1	
AS	0.0.0.0/0	1	192.168.100.1	

Gambar 3. Hasil Konfigurasi Interface

Selanjutnya dilanjutkan konfigurasi DNS, konfigurasi NAT agar dapat terkoneksi dengan internet, serta konfigurasi DHCP yang berperan sebagai pemberi IP Address, subnet mask, gateway, dns secara otomatis kepada user di dalam jaringan.



Name	Interface	Relay	Lease Time	Address Pool	Add ARP For Leases
dhcp1	ether2-SWITCH		00:10:00	dhcp_pool0	no
dhcp2	ether3-AP		00:10:00	dhcp_pool1	no

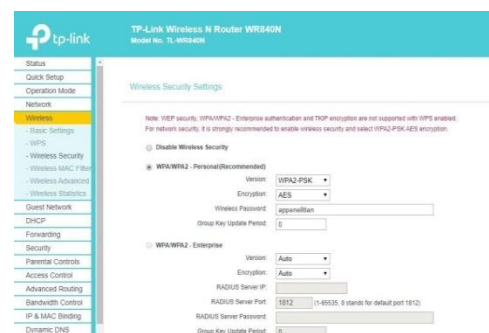
Gambar 4. Hasil Konfigurasi DHCP

2. Konfigurasi Access Point

Untuk mengkonfigurasi Access Point TP-Link TL-WR840N bisa menggunakan wireless maupun kabel UTP. Dalam penelitian ini menggunakan kabel UTP

yang di colokkan pada port LAN 1 TP-Link TL-WR840N. Setelah konfigurasi, nantinya port LAN 1 TP-Link TL-WR840N di sambungkan pada port Ether3-AP. Langkah awal konfigurasi dilakukan login melalui browser dengan ip default TP-Link TL-WR840N 192.168.0.1 dengan username admin dan password admin.

Selanjutnya konfigurasi IP access point dengan 192.168.20.2, kemudian disable DHCP pada access point dan pengaktifan wireless sebagai media penghubung client dan juga wireless security untuk keamanan.



Gambar 5. Konfigurasi Wireless Security

3. Marking Packet HTB

Untuk melakukan marking packet terhadap traffic upload dan download pada penelitian ini langkah pertama yaitu melakukan konfigurasi marking packet pada firewall mangle. Konfigurasi di awali dengan melakukan marking connection pada chain prerouting yang berguna menangkap koneksi client. Setelah konfigurasi marking connection, di lanjutkan konfigurasi marking packet. Konfigurasi marking packet dilakukan pada chain prerouting.

Ada juga parameter passthrough=yes digunakan untuk marking connection agar packet yang sudah di proses masih dapat dimarketing oleh marking packet selanjutnya. Parameter lain yang harus di gunakan adalah passthrough=no digunakan untuk marking packet agar packet yang sudah di-marketing tidak lagi di proses oleh konfigurasi yang lain.

#	Action	Chain	Src. Address	Dst. Address	Proto	Src. Port	Dst. Port	In. Interface	Out. Interface	Bytes	Packets
1	mark connection	pre-routing	192.168.10.0/24		eth0/2	SWITCH1		0.0.0.0	0.0.0.0	0	0
2	mark packet	pre-routing			eth0/2	SWITCH1		0.0.0.0	0.0.0.0	0	0
3	mark connection	pre-routing	192.168.10.0/24		eth0/2	SWITCH2		0.0.0.0	0.0.0.0	0	0
4	mark packet	pre-routing			eth0/2	SWITCH2		0.0.0.0	0.0.0.0	0	0
5	mark connection	pre-routing	192.168.10.0/24		eth0/2	INTERNET		0.0.0.0	0.0.0.0	0	0
6	mark packet	pre-routing			eth0/2	INTERNET		0.0.0.0	0.0.0.0	0	0
7	mark connection	pre-routing	192.168.10.0/24		eth0/2	SWITCH1		0.0.0.0	0.0.0.0	0	0
8	mark packet	pre-routing			eth0/2	SWITCH1		0.0.0.0	0.0.0.0	0	0
9	mark connection	pre-routing	192.168.10.0/24		eth0/2	SWITCH2		0.0.0.0	0.0.0.0	0	0
10	mark packet	pre-routing			eth0/2	SWITCH2		0.0.0.0	0.0.0.0	0	0
11	mark connection	pre-routing	192.168.10.0/24		eth0/2	INTERNET		0.0.0.0	0.0.0.0	0	0
12	mark packet	pre-routing			eth0/2	INTERNET		0.0.0.0	0.0.0.0	0	0
13	mark connection	pre-routing	192.168.10.0/24		eth0/3	AP		0.0.0.0	0.0.0.0	0	0
14	mark packet	pre-routing			eth0/3	AP		0.0.0.0	0.0.0.0	0	0
15	mark connection	pre-routing	192.168.10.0/24		eth0/3	AP		0.0.0.0	0.0.0.0	0	0
16	mark packet	pre-routing			eth0/3	AP		0.0.0.0	0.0.0.0	0	0
17	mark connection	pre-routing	192.168.10.0/24		eth0/3	INTERNET		0.0.0.0	0.0.0.0	0	0
18	mark packet	pre-routing			eth0/3	INTERNET		0.0.0.0	0.0.0.0	0	0
19	mark connection	pre-routing	192.168.10.0/24		eth0/3	AP		0.0.0.0	0.0.0.0	0	0
20	mark packet	pre-routing			eth0/3	AP		0.0.0.0	0.0.0.0	0	0
21	mark connection	pre-routing	192.168.10.0/24		eth0/3	INTERNET		0.0.0.0	0.0.0.0	0	0
22	mark packet	pre-routing			eth0/3	INTERNET		0.0.0.0	0.0.0.0	0	0
23	mark connection	pre-routing	192.168.10.0/24		eth0/3	AP		0.0.0.0	0.0.0.0	0	0
24	mark packet	pre-routing			eth0/3	INTERNET		0.0.0.0	0.0.0.0	0	0

Gambar 6. Hasil Konfigurasi Marking Packet HTB

4. Marking Packet PCQ

Pada PCQ marking packet cukup dilakukan terhadap *network address* nya. Namun *marking packet* tetap terpisah baik untuk *traffic upload* dan *traffic download*.

#	Action	Chain	Src. Address	Dst. Address	Proto	Src. Port	Dst. Port	In. Interface	Out. Interface	Bytes	Packets
1	mark connection	pre-routing	192.168.10.0/24		eth0/2	SWITCH1		0.0.0.0	0.0.0.0	0	0
2	mark packet	pre-routing			eth0/2	SWITCH1		0.0.0.0	0.0.0.0	0	0
3	mark connection	pre-routing	192.168.10.0/24		eth0/3	AP		0.0.0.0	0.0.0.0	0	0
4	mark packet	pre-routing			eth0/3	AP		0.0.0.0	0.0.0.0	0	0
5	mark connection	pre-routing	192.168.10.0/24		eth0/3	INTERNET		0.0.0.0	0.0.0.0	0	0

Gambar 7. Hasil Konfigurasi Marking Packet PCQ

5. Queue HTB

Setelah konfigurasi *marking packet*, tahap selanjutnya adalah melakukan konfigurasi HTB pada *queue tree*. Di tahap ini pada *traffic upload* dan *download* akan di buat menggunakan hasil *marking packet* yang sudah di buat.

Adapun yang dikonfigurasi adalah *Inner Queue Download* dan *Inner Queue Upload*.

Name	Parent	Packet Marks	Limit At B.	Max Limit B.	Avg. Rate	Queued Bytes	Bytes	Packets
TOTAL DOWNLOAD	global		10M	20M	0bps	0B	0B	0
DOWN-AP	TOTAL DOWNLOAD		10M	10M	0bps	0B	0B	0
AP-CLIENTS-DOWN	DOWN-AP	Packet-AP-Down-Client1	2500K	10M	0bps	0B	0B	0
AP-CLIENTS-DOWN	DOWN-AP	Packet-AP-Down-Client2	2500K	10M	0bps	0B	0B	0
AP-CLIENTS-DOWN	DOWN-AP	Packet-AP-Down-Client3	2500K	10M	0bps	0B	0B	0
AP-CLIENTS-DOWN	DOWN-AP	Packet-AP-Down-Client4	2500K	10M	0bps	0B	0B	0
DOWN-SW	TOTAL DOWNLOAD		10M	10M	0bps	0B	0B	0
SW-CLIENTS-DOWN	DOWN-SW	Packet-SW-Down-Client1	2500K	10M	0bps	0B	0B	0
SW-CLIENTS-DOWN	DOWN-SW	Packet-SW-Down-Client2	2500K	10M	0bps	0B	0B	0
SW-CLIENTS-DOWN	DOWN-SW	Packet-SW-Down-Client3	2500K	10M	0bps	0B	0B	0
SW-CLIENTS-DOWN	DOWN-SW	Packet-SW-Down-Client4	2500K	10M	0bps	0B	0B	0
TOTAL UPLOAD	eth0/1-INTERNET		10M	20M	0bps	0B	0B	0
UP-AP	TOTAL UPLOAD		10M	10M	0bps	0B	0B	0
AP-CLIENTS-UP	UP-AP	Packet-AP-UP-Client1	2500K	10M	0bps	0B	0B	0
AP-CLIENTS-UP	UP-AP	Packet-AP-UP-Client2	2500K	10M	0bps	0B	0B	0
AP-CLIENTS-UP	UP-AP	Packet-AP-UP-Client3	2500K	10M	0bps	0B	0B	0
AP-CLIENTS-UP	UP-AP	Packet-AP-UP-Client4	2500K	10M	0bps	0B	0B	0
UP-SW	TOTAL UPLOAD		10M	10M	0bps	0B	0B	0
SW-CLIENTS-UP	UP-SW	Packet-SW-UP-Client1	2500K	10M	0bps	0B	0B	0
SW-CLIENTS-UP	UP-SW	Packet-SW-UP-Client2	2500K	10M	0bps	0B	0B	0
SW-CLIENTS-UP	UP-SW	Packet-SW-UP-Client3	2500K	10M	0bps	0B	0B	0
SW-CLIENTS-UP	UP-SW	Packet-SW-UP-Client4	2500K	10M	0bps	0B	0B	0

Gambar 8. Hasil Konfigurasi Queue HTB

6. Queue PCQ

Untuk melakukan *marking packet* terhadap *traffic upload* dan *download* pada metode PCQ, konfigurasi sama saja dengan *queue HTB*. Hanya saja dalam penggunaan PCQ *marking packet* cukup di lakukan terhadap *network address*-nya saja.

Adapun yang dikonfigurasi adalah *Inner Queue Download* dan *Inner Queue Upload*.

Name	Parent	Packet Marks	Limit At B.	Max Limit B.	Avg. Rate	Queued Bytes	Bytes	Packets
TOTAL DOWNLOAD	global		10M	20M	0bps	0B	0B	0
AP-DOWN	TOTAL DOWNLOAD	Packet-AP-Down	10M	10M	0bps	0B	0B	0
SW-DOWN	TOTAL DOWNLOAD	Packet-SW-Down	10M	10M	0bps	0B	0B	0
TOTAL UPLOAD	eth0/1-INTERNET		10M	20M	0bps	0B	0B	0
AP-UP	TOTAL UPLOAD	Packet-AP-UP	10M	10M	0bps	0B	0B	0
SW-UP	TOTAL UPLOAD	Packet-SW-UP	10M	10M	0bps	0B	0B	0

Gambar 9. Hasil Konfigurasi Queue PCQ

B. Pengujian

Tahap ini akan menguji Quality of Service (QoS) yang di lakukan selama 5 hari dengan 2 sesi yaitu jam siang 12.00-16.00 dan jam malam 18.00-22.00 dengan 10 kali percobaan. Menurut L. Dharmawan (2017) untuk mengukur pengambilan data parameter QoS antara perbandingan metode di lakukan pengujian 10 kali dalam penelitian nya [23]. Dalam penelitian K.Dian (2017) menguji parameter QoS di lakukan pada trafik jam sibuk [8] dan penelitian dari S. Elvitra (2017) pengukuran parameter QoS di lakukan 2 sesi jam sibuk [24]. Sehingga pada penelitian ini di lakukan 2 sesi jam sibuk yaitu jam siang 12.00-16.00 dan jam malam 18.00-22.00 sesuai kebutuhan penelitian ini.

Hasil dari pengujian QoS metode Hierarchical Token Bucket (HTB) dan metode Per Connection Queue (PCQ) akan di analisa untuk perbandingan.

Untuk menangkap semua *traffic* paket dari mikrotik ke wireshark, fitur mikrotik yang di gunakan adalah *packet sniffer* yang terdapat di menu winbox tools > *packet sniffer*. Untuk pengaturan di menu *streaming*, *streaming enabled* di centang, lalu *server* di masukkan ip *admin* sebagai *server* penangkap *traffic* paket. Di bagian menu *filter*, kolom *ip address* di masukkan *ip network* setiap interface dan ip protocol yang di gunakan tcp. Untuk detail nya dapat dilihat sebagai berikut :

General	Streaming	Filter
Server: 192.168.30.2	<input checked="" type="checkbox"/> Streaming Enabled	Interfaces: <input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Filter Stream	Start	MAC Address: <input type="text"/>
Stop	Stop	MAC Protocol: <input type="text"/>
Packets	Packets	IP Address: <input type="text"/>
Connections	Connections	IPv6 Address: <input type="text"/>
Hosts	Hosts	IP Protocol: <input type="text"/>
Protocols	Protocols	Port: <input type="text"/>
		CPU: <input type="text"/>
		Direction: any
		Filter Operation: or

Gambar 10. Konfigurasi Packet Sniffer

Untuk menerima *stream* paket dari mikrotik di lakukan konfigurasi yaitu *udp port 37008* di *interface ether4-Admin*. Router akan mengirim informasi melalui port UDP 37008 sehingga di wirehark juga harus menambahkan filter.

Pengambilan data *throughput*, *delay*, *jitter*, dan *packet loss* menggunakan perangkat lunak wireshark dengan cara *capture* paket saat *download* dan *upload* berkas sebesar 12 MB. Pada layanan *testmynet upload* maupun *download* saat penelitian ini akan berlangsung, berkas yang paling terkecil yang hanya sekali kirim pada *manual test size* yaitu sebesar 12 MB.

Pada eksperimen ini, proses *download* dan *upload* akan di lakukan semua *client* secara bersamaan yang berasumsi untuk menguji QoS dalam kondisi padat. Setelah selesai *capture* paket, kemudian di lakukan filter paket pada protokol TCP karena proses *download* dan *upload* akan di *capture* pada protokol TCP. Informasi tentang paket TCP dapat di lihat pada menu *Statistic > Capture File Properties*, sehingga di dapat hasil sebagai berikut :

The screenshot shows the 'Capture File Properties' window in Wireshark. It displays details about the capture file 'u2-HTTP.pcapng', including its location, size (129 MB), and the number of packets (129,327). It also shows the capture time (2020-03-18 21:45:57 to 2020-03-18 21:45:58) and the capture interface (Ethernet 2). The 'Statistics' section shows a comparison between 'Captured' and 'Displayed' data, with 'Captured' showing 129,327 packets and 'Displayed' showing 129,327 (100.0%).

Gambar 11. Capture File Properties Wireshark

Pengujian *throughput* di lakukan untuk mengetahui jumlah total kedatangan paket yang sukses di ukur dalam bps. Pengujian untuk mencari nilai *throughput* dapat di lihat pada baris *Bytes* dengan kolom *Displayed* dan baris *Time span* kolom *Displayed*. Adapun rumus perhitungan *throughput* sebagai berikut:

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Paket data diterima}}{\text{Lama pengalaman}}$$

Total bandwidth pada penelitian ini untuk setiap network sebesar 10 Mbps (10000 kb/s), perhitungan di atas adalah contoh mencari *throughput*. Kemudian untuk perhitungan *throughput* dalam persentasi di lakukan dengan rumus :

$$\% \text{Throughput} = \frac{\text{Throughput}}{\text{Alokasi Bandwidth Network}} \times 100\%$$

Untuk hasil pengujian *throughput* metode HTB dan PCQ sebagai berikut:

TABEL IV.
HASIL UJI *THROUGHPUT* HTB

Urutan Uji	Throughput (kb/s)		Throughput(%)	
	AP	SW	AP	SW
Uji 1	6744	9473	67	95
Uji 2	10341	11021	103	110
Uji 3	8857	10290	89	103
Uji 4	10392	10392	95	104
Uji 5	10011	11335	100	113
Uji 6	7841	8538	78	85
Uji 7	8673	9336	87	93
Uji 8	8291	8243	83	82
Uji 9	8640	8793	86	88
Uji 10	8477	8922	85	89
Rata-rata Throughput	8827 kb/s	9634 kb/s	87 %	96 %

Untuk melakukan perbandingan metode HTB dan PCQ di lakukan pengujian juga terhadap metode PCQ sesuai table sebagai berikut.

TABEL V.
HASIL UJI *THROUGHPUT* PCQ

Urutan Uji	Throughput (kb/s)		Throughput(%)	
	AP	SW	AP	SW
Uji 1	9013	9525	90	95
Uji 2	6335	10275	63	103
Uji 3	9870	11431	99	114
Uji 4	9047	8054	90	81
Uji 5	9562	8200	96	82
Uji 6	5142	6657	51	67
Uji 7	9297	10201	93	102
Uji 8	7230	9920	72	99
Uji 9	9493	5924	95	59
Uji 10	9676	9525	97	95
Rata-rata Throughput	8466 kb/s	8971 kb/s	85 %	90 %

Dapat di lihat pada tabel IV dan tabel V untuk nilai rata-rata *throughput* di dalam *interface* AP, pengujian *throughput* HTB AP bernilai 8827 kb/s dengan persentase 87 % dan metode PCQ AP bernilai 8466 kb/s dengan persentase 85 %. Untuk perbandingan metode HTB lebih unggul daripada metode PCQ dalam *interface* AP. Untuk perbandingan *interface* SW, metode HTB juga lebih unggul daripada metode PCQ yang di mana nilai *throughput* HTB SW sebesar 9634 kb/s dengan persentase 96 % dan nilai *throughput* PCQ SW sebesar 8971 kb/s persentase 90 %.

Pengujian delay di lakukan untuk mengukur lamanya waktu yang di butuhkan data untuk menempuh jarak dari asal ke tujuan. Sehingga semakin kecil nilai *delay* semakin baik.

TABEL VI.
HASIL UJI *DELAY* HTB

Urutan Uji	AP			SW		
	Time Span (s)	Packet	Rata-rata Delay (ms)	Time Span (s)	Packet	Rata-rata Delay (ms)
Uji 1	147.238	132156	1.1141	105.382	128869	0.8177
Uji 2	91.934	120230	0.7647	90.956	129327	0.7033
Uji 3	108.799	125427	0.7975	104.592	138636	0.7544
Uji 4	100.152	123378	0.8117	93.946	123146	0.7629
Uji 5	95.691	124395	0.8137	82.597	116136	0.7112
Uji 6	120.697	114833	1.0511	78.672	114182	0.6890
Uji 7	111.024	117790	0.9426	99.946	114961	0.8694
Uji 8	115.674	117707	0.9827	111.943	112070	0.9989
Uji 9	110.869	116766	0.9495	104.725	112531	0.9306
Uji 10	112.776	116810	0.9655	103.403	112586	0.9184
Hasil Rata-rata Delay			0.9193 ms			

Setelah mendapatkan nilai rata-rata *delay* metode HTB dilakukan perbandingan metode PCQ sesuai table berikut.

TABEL VII.
HASIL UJI *DELAY* PCQ

Urutan Uji	AP			SW		
	Time Span (s)	Packet	Rata-rata Delay (ms)	Time Span (s)	Packet	Rata-rata Delay (ms)
Uji 1	107.466	125010	0.8597	107.592	119143	0.9030
Uji 2	153.691	128265	1.1982	95.560	123689	0.7726
Uji 3	95.609	119893	0.7975	88.453	125752	0.7034
Uji 4	104.665	122755	0.8526	124.789	126823	0.9840

Uji 5	100.685	124395	0.8094	116.369	121926	0.9544
Uji 6	192.155	130737	1.4698	111.815	114898	0.9732
Uji 7	102.297	117790	0.8539	90.648	115607	0.7841
Uji 8	134.383	126200	1.0648	93.080	115928	0.8029
Uji 9	100.786	121636	0.8286	156.209	116713	1.3384
Uji 10	99.131	121598	0.8152	96.753	115007	0.8413
Hasil Rata-rata Delay			0.9550 ms			

Dapat di lihat pada tabel VI dan tabel VII untuk nilai rata-rata *delay* di dalam *interface* AP, pengujian rata-rata *delay* metode HTB AP bernilai 0,9193 ms dan metode PCQ AP bernilai 0,9550 ms . Untuk eksperimen perbandingan, metode HTB lebih unggul daripada metode PCQ dalam *interface* AP walaupun selisih 0,0357 ms. Untuk perbandingan *interface* SW, metode HTB juga lebih unggul daripada metode PCQ yang di mana nilai rata-rata *delay* HTB SW sebesar 0,8156 ms dengan dan nilai rata-rata *delay* PCQ SW sebesar 0.9057 ms dengan selisih 0,0901 ms.

Pengujian jitter di lakukan untuk mengetahui variasi *delay* atau variasi waktu kedatangan paket sampai ke tujuan. Sehingga semakin kecil nilai *jitter* semakin bagus kualitas jaringan.

Setelah dilakukan pengambilan data uji *jitter* pada HTB dan PCQ didapatkan, untuk PCQ mendapatkan nilai rata-rata *jitter* sebesar 0,9488 ms di *interface* AP, sedangkan *interface* SW mendapatkan nilai rata-rata *jitter* sebesar 0,8981 ms. Pada eksperimen *jitter* metode HTB AP mendapatkan nilai rata-rata 0.9142 ms sedangkan metode PCQ dengan nilai rata-rata 0,9488 ms. Hasil yang di dapat pada *interface* AP metode HTB lebih unggul dengan selisih 0,0346 ms. Kemudian pada *interface* SW yang unggul adalah metode HTB juga, dengan nilai rata-rata 0,8087 ms lalu metode PCQ yang bernilai rata-rata 0,8981 ms. Selisih yang di dapatkan sebesar 0,0894 ms.

Pengujian packet loss di lakukan untuk mengetahui jumlah total paket yang hilang karena *congestion* atau kemacetan tranmisi dalam jaringan. Kualitas jaringan yang baik adalah nilai *packet loss* yang semakin kecil. Untuk melakukan pengambilan data *packet loss* pada perangkat lunak wireshark perlu adanya filter paket dengan perintah `tcp.analysis.lost_segment` untuk mencari paket yang hilang. Informasi tentang *packet loss* dapat di lihat pada menu *Statistic > Capture File Properties*.

TABEL VIII.
HASIL UJI *PAKETLOSS HTB*

Urutan Uji	AP			SW		
	Packet Data di kirim	Packet Data di	Hasil Packet Loss %	Packet Data di kiri	Packet Data di terim	Hasil Packet Loss %
Uji 1	134535	1098	0.82	130573	537	0.41
Uji 2	120230	383	0.32	129327	849	0.66
Uji 3	125427	451	0.36	138636	1332	0.96
Uji 4	123378	454	0.37	123146	646	0.52
Uji 5	117593	344	0.29	116136	388	0.33
Uji 6	114833	410	0.36	114898	232	0.20
Uji 7	117790	388	0.33	115437	446	0.39
Uji 8	117707	257	0.22	112070	303	0.27
Uji 9	116766	238	0.20	112531	310	0.28
Uji 10	116810	284	0.24	112586	259	0.23
Rata-rata			0.35 %			0.43 %

TABEL IX.
HASIL UJI *PAKETLOSS PCQ*

Urutan Uji	AP			SW		
	Packet Data di kirim	Packet Data di	Hasil Packet Loss %	Packet Data di kiri	Packet Data di terim	Hasil Packet Loss %
Uji 1	125010	252	0.20	119143	185	0.16
Uji 2	128265	1072	0.84	123689	382	0.31
Uji 3	119893	222	0.19	125752	433	0.34
Uji 4	122755	851	0.69	126823	974	0.77
Uji 5	125372	365	0.29	121926	256	0.21
Uji 6	130737	914	0.70	122409	628	0.51
Uji 7	119804	124	0.10	115607	232	0.20
Uji 8	126200	643	0.51	115928	218	0.19
Uji 9	121636	240	0.20	116713	741	0.63
Uji 10	121598	242	0.20	115007	184	0.16
Rata-rata			0.39 %			0.35 %

Dapat di lihat hasil dari nilai rata-rata *packet loss* metode PCQ di dapatkan nilai 0,39% untuk *interface* AP dan nilai 0,35% untuk *interface* SW. Dapat di simpulkan, dalam eksperimen perbandingan *packet loss* metode HTB juga lebih unggul daripada PCQ. Selisih metode HTB dengan PCQ terhadap *interface* AP hanya 0,04% walaupun demikian tetaplah metode HTB yang lebih baik karena di ambil dari nilai paling terkecil. Kemudian pada *interface* SW yang lebih unggul adalah metode PCQ karena mendapatkan nilai 0,35% dan metode HTB mendapatkan nilai 0,43 %. Hal ini di karenakan pada pengujian metode HTB SW uji 1,2,3 hasil *packet loss* lumayan besar yaitu

0,41%, 0,66%, dan 0,96%. Sedangkan pada metode PCQ uji 1,2,3 hasil *packet loss* nilai rata-rata sangat kecil yaitu 0,16%, 0,31%, 0,34%.

C. Analisa Hasil

Berdasarkan hasil eksperimen pengujian QoS pada metode *Hierarchical Token Bucket* (HTB) dan metode *Per Connection Queue* (PCQ), di lakukan pengukuran perhitungan QoS menurut standarisasi *Telecommunication and Internet Protocol Harmonization Over Networks* (TIPHON) yang di buat oleh *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI). Hasil yang akan di dapatkan adalah metode mana yang paling baik menurut TIPHON, dengan cara melakukan perbandingan nilai hasil dari rata-rata tiap metode.

Adapun hasil analisis dalam penelitian ini di lakukan pengujian sepuluh kali untuk mengetahui seberapa baik kinerja performa *bandwidth* dengan metode HTB. Hasil analisis dapat di lihat pada tabel berikut :

TABEL X.
HASIL ANALISIS KINERJA METODE HTB

Kinerja Metode	Data Interface	Parameter QoS	Nilai yang di dapat	TIPHON	
				Indeks	Ket.
Hierarchical Token Bucket (HTB)	Switch	Throughput	87%	3	Bagus
		Delay	0.9193	4	Sangat Bagus
		Jitter	0.9142	3	Bagus
		Packet Loss	0.35%	4	Sangat Bagus
	Access Point	Throughput	96%	3	Bagus
		Delay	0.8156	4	Sangat Bagus
		Jitter	0.8087	3	Bagus
		Packet Loss	0.43%	4	Sangat Bagus
Rata-rata Hasil HTB		Throughput	91.5%	3	Bagus
		Delay	0.8675	4	Sangat Bagus
		Jitter	0.8615	3	Bagus
		Packet Loss	0.39%	4	Sangat Bagus

TABEL XI.
HASIL ANALISIS KINERJA METODE PCQ

Kinerja Metode	Data Interface	Parameter QoS	Nilai yang di dapat	TIPHON	
				Indeks	Ket.
	Switch	Throughput	85%	3	Bagus
		Delay	0.9550	4	Sangat Bagus
		Jitter	0.9488	3	Bagus

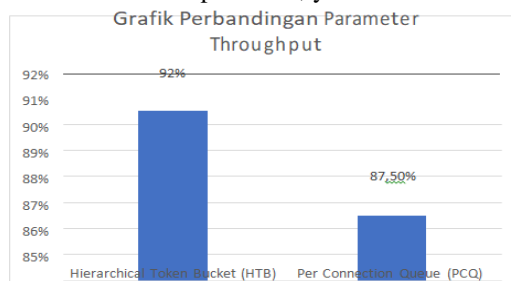
Hierarchical Token Bucket (HTB)	Access Point	Packet Loss	0.39%	4	Sangat Bagus
		Throughput	90%	3	Bagus
		Delay	0.9057	4	Sangat Bagus
		Jitter	0.8981	3	Bagus
		Packet Loss	0.35%	4	Sangat Bagus
Rata-rata Hasil HTB		Throughput	87.5%	3	Bagus
		Delay	0.9303	4	Sangat Bagus
		Jitter	0.9234	3	Bagus
		Packet Loss	0.37%	4	Sangat Bagus

Hasil perbandingan dari kedua metode yakni HTB dan PCQ dapat di lihat pada tabel dan gambar berikut :

TABEL XII.
PERBANDINGAN NILAI AKHIR QoS

Parameter QoS	Hierarchical Token Bucket (HTB)	Per Connection Queue (PCQ)
Throughput	3	3
Delay	4	4
Jitter	3	3
Packet Loss	4	4
Rata-rata	3.5	3.5
Keterangan	Memuaskan	Memuaskan

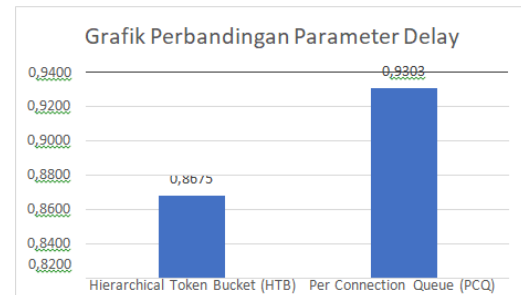
Untuk mendapatkan hasil akhir QoS maka di lakukan perbandingan berdasarkan nilai parameter QoS yang sebenarnya[8]. Nilai parameter QoS di dapatkan dari rata-rata hasil analisis setiap metode HTB dan PCQ. Berikut grafik perbandingan dari rata-rata parameter hasil analisis setiap metode, yaitu :



Gambar 12. Grafik Perbandingan Nilai Parameter Throughput Sebenarnya

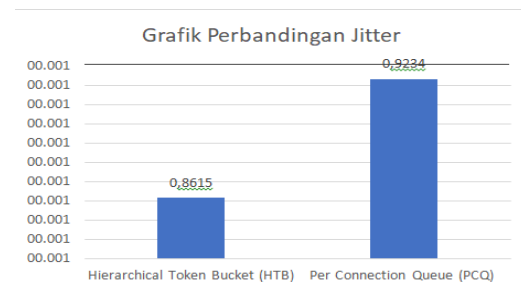
Dapat di lihat pada gambar di atas nilai rata-rata *throughput* metode HTB memiliki nilai 92 % dan metode PCQ nilai rata-rata *throughput* berada di 87,50%. Untuk performa, metode

HTB yang lebih unggul karena mendekati nilai 100% dengan nilai indeks 4 yaitu sangat bagus.



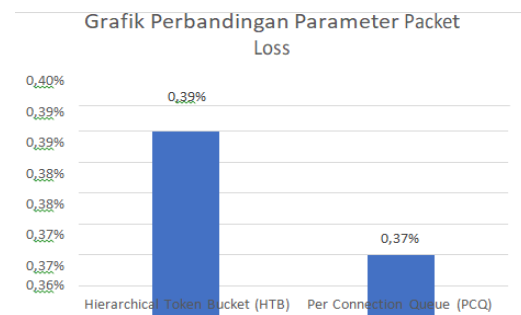
Gambar 13. Grafik Perbandingan Nilai Parameter Delay Sebenarnya

Untuk hasil nilai rata-rata parameter *delay* metode HTB bernilai 0,8675 ms dan untuk nilai rata-rata parameter *delay* metode PCQ berada di 0,9303 ms. Dapat di simpulkan metode yang paling baik adalah metode HTB karena *delay* bergantung juga pada nilai rata-rata *throughput* yang baik. Hal ini di karenakan pengaruh *bandwidth* dapat di kontrol HTB setiap *client* nya.



Gambar 14. Grafik Perbandingan Nilai Parameter Jitter Sebenarnya

Hasil *jitter* tidak berbeda jauh dengan *delay*. *Jitter* di hasilkan dari total variasi delay di bagi total paket yang di terima. Untuk nilai rata-rata perbandingan nilai *jitter* metode HTB bernilai 0,8615 ms dan metode PCQ bernilai 0,9234 ms. Hasil perbandingan nilai *jitter* adalah metode HTB lebih baik daripada metode PCQ.



Gambar 15. Grafik Perbandingan Nilai Parameter Packet Loss Sebenarnya

Dapat di lihat gambar di atas nilai rata-rata parameter *packet loss* untuk metode HTB berada di persentase 0,39 % dan metode PCQ memiliki persentase nilai 0,37%. Hasil yang di dapatkan metode yang paling unggul adalah metode PCQ walaupun selisih nilai hanya 0,02% dengan metode HTB. Hal ini berkaitan dengan metode HTB yang membagikan *bandwidth* secara antrian. Sedangkan, metode PCQ membagikan *bandwidth* secara merata setiap *client* yang aktif pada jaringan.

IV. KESIMPULAN

Hasil akhir eksperimen dari grafik perbandingan nilai akhir *Quality of Service* (QoS) berdasarkan nilai parameter QoS yang sebenarnya, secara keseluruhan metode *Hierarchical Token Bucket* (HTB) yang lebih unggul daripada metode *Per Connection Queue* (PCQ). Walau pun nilai perbandingan yang berdasarkan nilai index parameter QoS pada nilai nya sama. Maka dari itu di lakukan perbandingan berdasarkan nilai parameter QoS yang sebenarnya.

Kesimpulan bahwa metode *Hierarchical Token Bucket* (HTB) yang lebih unggul dapat di lihat pada perbandingan nilai rata-rata *throughput*, *delay*, *jitter* yang di mana metode HTB selalu unggul daripada metode *Per Connection Queue* (PCQ). Sedangkan perbandingan nilai rata-rata *packet loss* yang lebih unggul adalah metode *Per Connection Queue* (PCQ). Walaupun begitu, selisih nilai *packet loss* hanya 0,02 % yang tidak begitu jauh. Sehingga dapat di simpulkan bahwa metode *Hierarchical Token Bucket* (HTB) adalah yang lebih unggul menurut standarisasi *Telecommunication and Internet Protocol Harmonization Over Networks* (TIPHON).

REFERENSI

- [1] C. Smansub, B. Purahong, P. Sithiyopasakul, and C. Benjangkaprasert, "A study of network bandwidth management by using queue tree with per connection queue," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1195, no. 1, 2019.
- [2] I. P. Sari and Sukri, "Analisis Penerapan Metode Antrian Hierarchical Token Bucket untuk Management Bandwidth Jaringan Internet," *J. RESTI (Rekayasa Sist. dan Teknol. Informasi)*, vol. 2, no. 2, pp. 522–529, 2018.
- [3] Sugianto and M. F. Rohmah, "Perbandingan Performance Manajemen Bandwidth Metode Hierarchical Token Bucket (Htb) Dan Per Connection Queue Menggunakan Mikrotik Rb450G," pp. 260–265, 2018.
- [4] Hardiman, L. F. Aksara, and Subardin, "Analisis perbandingan QoS (Quality Of Service) Pada Manajemen Bandwidth Dengan Metode PCQ (Per Connection Queue) Dan HTB (Hierarchical Token Bucket)," *semanTIK*, vol. 4, no. 1, pp. 121–128, 2018.
- [5] L. Purnomo and I. Susilawati, "Analisis Perbandingan Quality of Service Pada Manajemen Bandwidth Per Connection Queue dan Hierarchical Token Bucket di Jaringan Komputer," Universitas Mercu Buana Yogyakarta, 2018.
- [6] D. Kurnia, "Analisis QoS pada Pembagian Bandwidth dengan Metode Layer 7 Protocol, PCQ, HTB dan Hotspot di SMK Swasta Al-Washliyah Pasar Senen," *CESS (Journal Comput. Eng. Syst. Sci.)*, vol. 2, no. 2, pp. 102–111, 2017.
- [7] I. Budi, *Jaringan Komputer*, 1st ed. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2005.
- [8] M. Muhammad and I. Hasan, "Analisa Dan Pengembangan Jaringan Wireless Berbasis Mikrotik Router Os V.5.20 Di Sekolah Dasar Negeri 24 Palu," *J. Elektron. Sist. Inf. dan Komput.*, vol. 2, no. 1, pp. 10–19, 2016.
- [9] M. Y. Choirullah, M. Anif, and A. Rochadi, "Analisis Kualitas Layanan Virtual Router Redundancy Protocol Menggunakan Mikrotik pada Jaringan VLAN," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 5, no. 4, pp. 278–285, 2016.
- [10] Madcoms, *Panduan Lengkap Membangun Sistem Jaringan Komputer dengan Mikrotik RouterOS*, 1st ed. Yogyakarta: Andi, 2019.
- [11] R. Towidjojo, *Mikrotik Kung Fu : Kitab 1*, 2019th ed. Palu: Jasakom, 2019.
- [12] Willyam, Wilibrodus, and H. Agung, "Pengimplementasian Jaringan Wireless Dengan Hierarchical Token Bucket Pada Mikrotik Dan Squid," vol. 6, no. 2, pp. 63–72, 2017.
- [13] Sukri and Jumati, "Analisa Bandwidth Menggunakan Metode Antrian Per Connection Queue," *J. Teknol. dan Sist. Inf. Univrab*, vol. 2, no. 2, pp. 136–151, 2017.
- [14] Mike Flannagan, R. Froom, and K. Turek, *Cisco Catalyst QoS: Quality of Service in Campus Networks*, 1st ed. Cisco Press, 2003.
- [15] J. R. Fraenkel and N. E. Wallen, *How to Design and Evaluate research in Education*, 7th ed. New York: McGraw-Hill, 2009.