

INTEGRASI METODE PCQ DAN HTB UNTUK MENGOPTIMALKAN PENGGUNAAN *BANDWIDTH INTERNET* DI LINGKUNGAN SEKOLAH

INTEGRATION OF PCQ AND HTB METHODS TO OPTIMIZE SCHOOL INTERNET BANDWIDTH

Fransiska Sisilia Mukti¹⁾, Syahfadi Latul Roza²⁾

^{1), 2)} Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknologi dan Desain, Institut Teknologi dan Bisnis
Asia Malang

Email : ms.frans@asia.ac.id¹⁾, syhfalatul@gmail.com²⁾

Abstrak

Berlangganan kapasitas bandwidth yang besar tidak selalu memberikan jaminan bahwa layanan yang diberikan kepada pengguna akan maksimal. Tanpa adanya manajemen bandwidth yang tepat, maka pengguna dapat saja berebut internet dan terjadi sebuah ketimpangan bandwidth yang diterima. Pengelolaan bandwidth biasanya akan diimbangi dengan adanya pengelolaan user melalui konsep pemetaan tingkat prioritas user, dengan tujuan untuk mendapatkan hasil manajemen jaringan yang lebih baik. Untuk itu, penelitian ini secara khusus mengusulkan sebuah metode pengintegrasian skema manajemen jaringan dalam bentuk manajemen pengguna dan manajemen bandwidth. Manajemen pengguna dilakukan melalui pengklasifikasian pengguna berdasarkan tingkat kepentingannya masing-masing dengan menggunakan metode Hierarchical Token Bucket (HTB). Sementara manajemen bandwidth yang merata untuk seluruh pengguna diusulkan dengan mengintegrasikan konsep Per Connection Queue (PCQ) yang bersifat dinamis, tanpa membebani router. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengintegrasian metode PCQ-HTB memberikan sebuah alternatif baru dalam manajemen jaringan. Terjadi peningkatan nilai throughput yang dihasilkan mencapai 12,18 kali lipat, yang juga diimbangi dengan akses internet pengguna yang lebih merata.

Kata kunci: HTB, Internet Sekolah, Manajemen Bandwidth, Mikrotik, PCQ

Abstract

Subscribing to a large bandwidth capacity does not always guarantee that internet services which is provided to users will be maximized. Without proper bandwidth management, users may compete for the internet and an imbalance of received bandwidth occurs. Bandwidth management will usually be accompanied by user management through the concept of mapping user priority levels, with the aim of getting better network management results. This research specifically proposes a method of integrating network management schemes in case of user management and bandwidth management. User management is carried out by classifying users based on their level of importance using the Hierarchical Token Bucket (HTB) method. Meanwhile, evenly distributed bandwidth management for all users is proposed by integrating the dynamic Per Connection Queue (PCQ) concept, without burdening routers. The results show that the integration of the PCQ-HTB method provides a new alternative in network management. There was a throughput increase up to 12.18 times, which was also offset by a more even distribution of user internet access..

Keywords: Bandwidth Management, HTB, Mikrotik, PCQ, School Internet

1. PENDAHULUAN

Interconnected Network atau biasa dikenal dengan istilah *internet*, merupakan teknologi jaringan komunikasi global yang menghubungkan berbagai perangkat komputer di seluruh penjuru dunia. *Internet* menjadi salah satu kebutuhan mutlak di era sekarang karena pemanfaatannya di beragam sektor kehidupan, terutama dalam bidang komunikasi. Teknologi *internet* mengizinkan pengguna untuk dapat berkomunikasi tanpa batas ruang dan waktu [1].

Mengingat internet memiliki peranan penting dalam kehidupan sehari-hari, maka penyediaan layanannya harus diimbangi dengan pemilihan perangkat, konfigurasi dan manajerial yang tepat. Lebih lanjut, tingkat kecepatan akses internet juga dipengaruhi oleh kapasitas *bandwidth* yang disediakan serta jumlah pengguna yang aktif. *Bandwidth* didefinisikan sebagai kapasitas yang dapat dilalui oleh media transmisi dalam melakukan transfer data [2].

Kapasitas *bandwidth* yang besar tidak selalu menjadi jaminan bahwa akses *internet* pengguna juga akan cepat. Dinamisnya jumlah pengguna akan sangat mempengaruhi tingkat kecepatan dalam mengakses *internet*, semakin banyak pengguna maka level kecepatan akses juga akan menurun. Bahkan banyak kasus ditemui bahwa terjadi ketimpangan akses antar pengguna. Oleh karena itu, manajemen *bandwidth* menjadi salah satu isu krusial dalam manajemen jaringan untuk menyediakan kecepatan akses *internet* yang lebih stabil dan merata untuk seluruh pengguna [3].

Terkait peranannya sebagai institusi pendidikan, sekolah menjadi salah satu sektor yang keberadaannya tidak lepas dari penggunaan *internet* sebagai fasilitas wajib yang disediakan untuk para siswa. Salah satu permasalahan yang umumnya terjadi di lingkungan sekolah terkait dengan penyediaan layanan *internet* adalah keterbatasan jumlah kapasitas *bandwidth* yang dapat diberikan (karena berkorelasi langsung terhadap biaya langganan yang harus dibayarkan).

Terbatasnya kapasitas *bandwidth* ini pada akhirnya akan sangat mempengaruhi performa layanan akses yang dapat diberikan. Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah sistem manajemen *bandwidth* yang efisien untuk mengakomodir kebutuhan akses *internet* bagi seluruh siswa dan warga sekolah.

Terdapat dua mekanisme yang biasanya digunakan dalam manajemen *bandwidth*, yaitu berdasarkan jumlah atau level dari pengguna. Dalam lingkungan *MikroTik RouterOS*, metode yang biasanya digunakan untuk memberikan pemerataan akses bagi seluruh pengguna yang aktif adalah *Per Connection Queue* (PCQ), sementara mekanisme manajemen *bandwidth* yang mengklasifikasikan level pengguna (skala prioritas) menggunakan metode *Hierarchical Token Bucket* (HTB).

Beberapa penelitian telah dilakukan dengan mengimplementasikan kedua metode ini sebagai metode manajemen *bandwidth* di lingkungan sekolah [4][5], kampus [6], [7] maupun perkantoran [8]–[10]. Masing-masing penelitian menyebutkan bahwa metode PCQ berhasil memberikan *bandwidth* yang lebih merata sementara HTB memiliki kemampuan dalam menyediakan kapasitas *bandwidth* sesuai dengan level penggunaannya. Namun kedua metode tersebut masih dijalankan secara terpisah.

Penelitian ini secara khusus mengintegrasikan kedua metode tersebut (PCQ dan HTB) dengan tujuan untuk mengoptimalkan penggunaan *bandwidth* di lingkungan sekolah (studi kasus: SMK PGRI 2 Malang). Tujuan pengintegrasian ini adalah untuk menggabungkan kelebihan dari masing-masing metode dimana metode HTB membantu router dalam mengklasifikasikan tingkat pengguna (laboratorium, guru dan *HotSpot* untuk siswa) namun memberikan akses yang merata kepada seluruh pengguna sesuai dengan levelnya.

2. DASAR TEORI

2.1. Penelitian Tekait

Sebuah analisis dilakukan oleh Faisal dan Fauzi [11] untuk mengevaluasi performa jaringan ketika menggunakan metode PCQ dan diimplementasikan pada *Queue Tree* di lingkungan *RouterOS*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan beberapa parameter *Quality of Services* (QoS) seperti *throughput*, *delay* dan *jitter*. Hasil penelitian membuktikan bahwa PCQ memberikan nilai *throughput* yang lebih baik apabila dibandingkan dengan tanpa metode PCQ. PCQ juga memberikan waktu tunda yang lebih baik dalam proses pengiriman data. Namun dalam penelitian ini, justru tidak ditekankan mengenai tujuan utama dari metode PCQ itu sendiri, yaitu pemerataan akses pada user.

Sidqi dkk [12] mengusulkan mekanisme manajemen *bandwidth* dengan menggunakan metode HTB. Melalui implementasinya pada fitur *Queue*, HTB menjadikan bekerja dengan lebih terstruktur karena adanya konsep *parent* dan *child*. Hasil pengujian membuktikan bahwa HTB memudahkan administrator dalam melakukan pemerataan *bandwidth* dalam sebuah jaringan, namun masih didapati *packet loss* sebesar 7% dari 200 paket yang terkirim. Konsep HTB

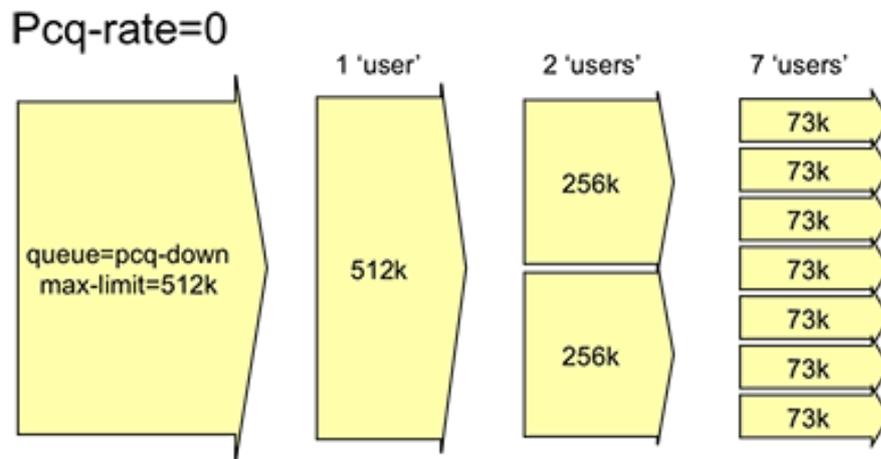
membantu dalam membatasi *child* dalam mengakses *bandwidth* tidak melebihi kapasitas yang telah diberikan [12].

Untuk mengetahui performa dari masing-masing metode yang diusulkan, sebuah analisis perbandingan antara metode PCQ dan HTB dilakukan oleh Tambunan [13] dan Nurdianto dan Deli [14] melakukan berdasarkan 4 parameter QoS yaitu *throughput*, *delay*, *jitter* dan *packet loss*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa HTB memberikan performa yang lebih baik pada 3 parameter yaitu *throughput*, *delay* dan *jitter* dibandingkan PCQ. Namun apabila dilihat dari sisi kehandalan metode, PCQ memberikan performa yang lebih baik karena memiliki *packet loss* yang lebih sedikit (berbeda 0,02%) dibandingkan metode HTB. Hasil komparasi ini menjadi sebuah rekomendasi bagi administrator dalam melakukan manajemen *bandwidth* di lingkungannya.

2.2. Per Connection Queue (PCQ)

PCQ merupakan salah satu fitur manajemen *bandwidth* yang disediakan oleh MikroTik RouterOS untuk membantu dalam mengelola *traffic rate* pengguna secara adil dan merata untuk seluruh pengguna. Metode ini menjadi metode yang paling banyak digunakan untuk mengelola jaringan dengan jumlah pengguna yang dinamis [15].

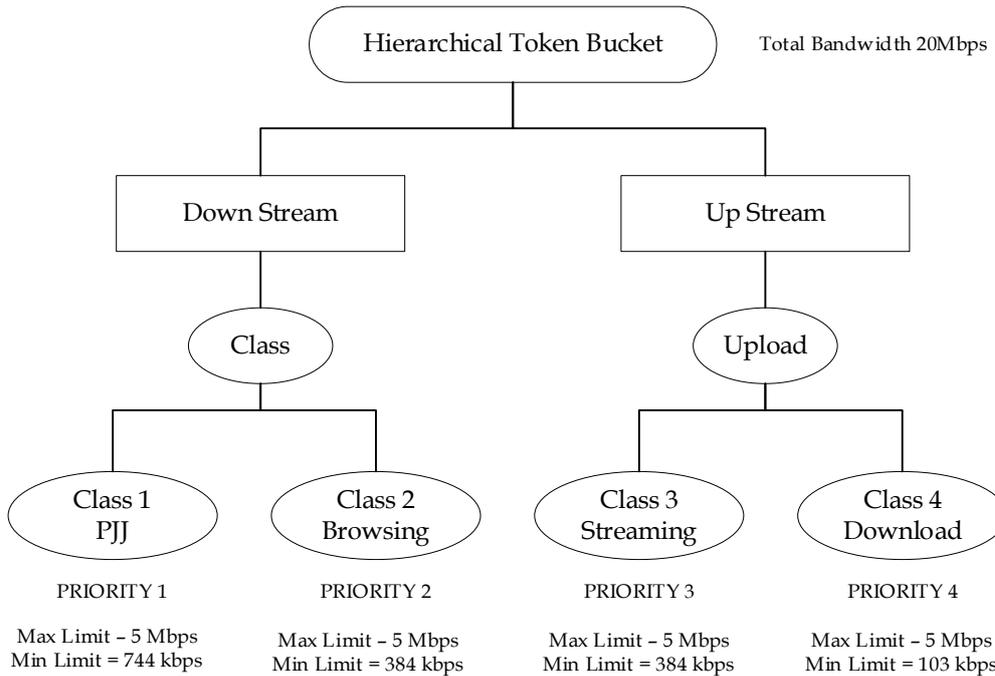
PCQ bekerja dengan cara membuat *sub-stream* (*sub-queue*) dengan menggunakan *classifier* yang dapat berupa *IP address* pengirim (*src-address*) atau *IP Address* tujuan (*dst-address*). Sementara parameter *pcq-rate* digunakan untuk membatasi nilai *bandwidth* maksimum yang bisa didapatkan oleh setiap *substream*. Jika parameter yang digunakan *pcq-rate=0* maka *sub-stream* bisa mendapatkan nilai *bandwidth* maksimum sesuai nilai yang dikonfigurasi pada menu *Queue* [3]. Gambar 1 menunjukkan gambaran mekanisme PCQ dalam mengalokasikan *bandwidth* secara dinamis untuk jumlah pengguna yang sedang aktif.



Gambar 1. Alokasi *Bandwidth* Menggunakan PCQ

2.3. Hierarchical Token Bucket (HTB)

Sedikit berbeda konsep dengan PCQ, HTB memungkinkan adanya pembuatan antrian secara hirarki, melalui adanya *parent* dan *child*. Pertama-tama *parent* akan menentukan jumlah batasan nilai *bandwidth* yang dapat disediakan untuk *child*. Berapapun jumlah *child* yang sedang aktif, *parent* akan mendistribusikan *bandwidth* kepada *child* dengan melihat tingkat prioritas *child*. Level prioritas dibedakan menjadi 8, dengan angka 1 menjadi prioritas utama. *Child* dengan level prioritas 1 akan mendapatkan nilai *bandwidth* yang besar dibandingkan level lainnya [2].



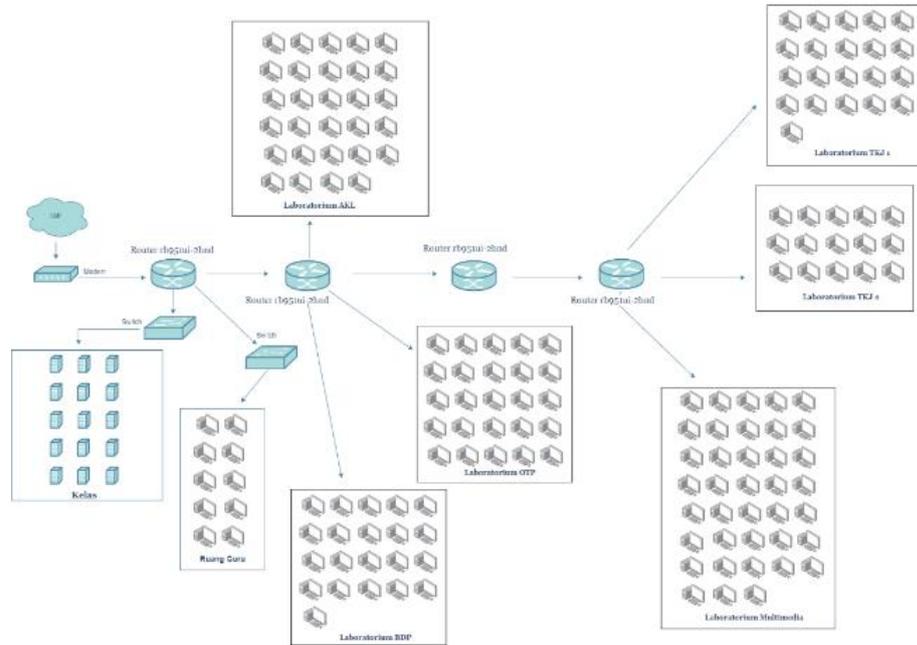
Gambar 2. Konsep Hirarki dalam HTB

Metode HTB memungkinkan kita membuat *queue* menjadi lebih terstruktur, dengan melakukan pengelompokan bertingkat. Metode ini biasanya digunakan untuk menjamin ketersediaan *bandwidth* untuk setiap pengguna dengan memperhatikan level prioritasnya masing-masing. Gambar 2 menunjukkan contoh konsep hirarki dalam metode HTB, dimana total *bandwidth* yang disediakan untuk keseluruhan jaringan adalah sebesar 20Mbps. Terdapat 4 *child* dengan tingkat prioritas yang berbeda: *Class 1* dengan prioritas 1 mendapatkan nilai *max-limit* sebesar 5Mbps dan *min-limit* atau biasa dikenal dengan *limit-at* sebesar 744kbps. *Class 2* dan *class 3* memiliki nilai yang sama, yaitu *max-limit* sebesar 5Mbps dan *limit-at* sebesar 384kbps, namun memiliki tingkat prioritas yang berbeda. Sementara untuk prioritas terakhir pada *class 4* dengan nilai *max-limit* 5Mbps dan *limit-at* sebesar 103kbps. Sekalipun keempat *class* memiliki nilai *max-limit* yang sama, namun masing-masing memiliki nilai *limit-at* yang berbeda. Nilai *limit-at* ini berfungsi sebagai kecepatan minimal yang akan didapatkan oleh masing-masing user sesuai dengan skala prioritasnya.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Gambaran Sistem

Jaringan di SMK PGRI 2 Malang dibedakan menjadi dua jenis, yaitu jaringan *wired* (kabel) dan *wireless*. Untuk jaringan berkabel tersebar di 6 laboratorium dan ruang guru dengan jumlah total komputer sebanyak 160 buah, sementara jaringan *wireless* disediakan bagi para siswa melalui layanan *HotSpot*. Untuk mengakomodir layanan internet untuk seluruh pengguna, pihak sekolah menyediakan *bandwidth* sebesar 100Mbps (layanan *broadband* atau *up to 100Mbps*). Gambar 3 menunjukkan topologi yang saat ini digunakan pada studi kasus.



Gambar 3. Topologi Jaringan SMK PGRI 2 Malang

Terdapat 4 buah *router* MikroTik tipe RB951UI-2HnD yang bertanggungjawab dalam mengelola layanan internet untuk laboratorium, ruang guru dan kelas. Setiap *router* dikonfigurasi secara *default* dan masih belum ditemui adanya manajemen jaringan dalam hal *bandwidth* ataupun pengguna. Melihat fungsionalitasnya, maka penelitian ini mengusulkan sebuah manajemen jaringan dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Pengguna diklasifikasikan menjadi 3 klasifikasi, yaitu guru, siswa dan laboratorium.
2. Sesuai dengan pemanfaatan metode HTB, maka pengguna diklasifikasikan prioritasnya sebagai berikut : laboratorium (prioritas 1), guru (prioritas 2) dan siswa (prioritas 3).
3. Pembagian kapasitas *bandwidth* maksimum (*max-limit*) yang disediakan untuk hirarki atau prioritas pengguna adalah sebagai berikut: prioritas 1 sebesar 40Mbps, prioritas 2 sebesar 30Mbps dan prioritas 3 sebesar 20Mbps.
4. Proses konfigurasi pemberian limitasi *bandwidth* maksimum untuk masing-masing prioritas dilakukan melalui pembuatan *parent* pada *Simple Queue*.
5. Untuk menjamin pemerataan *bandwidth* untuk seluruh pengguna, maka diterapkan metode PCQ di dalam setiap klasifikasi pengguna. Metode PCQ akan membagi rata kapasitas *bandwidth* yang tersedia pada setiap klasifikasi atau prioritas sesuai dengan jumlah pengguna yang sedang aktif.
6. Proses konfigurasi penambahan metode PCQ untuk masing-masing prioritas dilakukan pada setiap *parent*, baik untuk trafik *upload* maupun trafik *download*.
7. Untuk meningkatkan efisiensi penggunaan metode yang diusulkan (dalam hal *CPU Load router*), maka dilakukan proses otomatisasi dalam penambahan *rule* pada *router* melalui proses *scripting* pada *DHCP Leases*. Setiap pengguna yang aktif dalam jaringan akan otomatis mendapatkan *rule* dari *router*, namun *rule* akan hilang secara otomatis ketika pengguna sudah tidak lagi aktif menggunakan layanan internet.

3.2 Skenario Pengujian

Sesuai dengan tujuan utama dari penelitian ini, maka proses pengujian dilakukan dengan mengevaluasi nilai *throughput* yang dihasilkan oleh setiap pengguna. *Throughput* sendiri merupakan salah satu parameter *Quality of Service* (QoS) yang diukur dalam satuan *bit per second* (bps). Nilai *throughput* menunjukkan nilai *bandwidth* yang sesungguhnya dari setiap proses komunikasi dalam interval waktu tertentu [2], [3]. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *Cacti*, aplikasi pemantauan jaringan berbasis *open-source* yang dapat menampilkan nilai-nilai

parameter QoS dalam rentang waktu setiap 5 menit. Skenario pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini dijabarkan sebagai berikut:

1. Sampel pengguna diambil dari laboratorium Multimedia, ruang guru dan jaringan HotSpot. Pengujian dilaksanakan di luar jam efektif kegiatan belajar-mengajar (pukul 13.00 – 14.00).
2. Mekanisme pengujian dibedakan menjadi dua jenis: pengujian sistem saat ini dan pengujian sistem setelah diintegrasikan metode PCQ dan HTB.
3. Proses pengujian dilakukan dengan menjalankan mekanisme download di setiap pengguna. Hal ini berlaku untuk pengujian sistem saat ini maupun pengujian sistem dengan menggunakan PCQ-HTB.
4. Analisis hasil pengujian dilakukan dengan mengkomparasikan hasil pengujian antara sebelum dan sesudah metode dijalankan untuk mengevaluasi tingkat efektivitas metode yang diusulkan

4. PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Keterbatasan pemahaman administrator jaringan pada studi kasus membuat layanan internet yang disediakan masih bersifat *default*. Tidak ada pembatasan *bandwidth* dan tidak ada pertimbangan level pengguna dalam layanan yang disediakan, sehingga seluruh pengguna bisa saja saling berebut layanan.

4.1 Pengujian Kondisi Saat Ini

Secara khusus, sebuah pengujian dilakukan pada jam aktif pelaksanaan kegiatan belajar-mengajar, untuk mengetahui kondisi layanan yang saat ini tersedia di lingkungan studi kasus. Pengujian dilakukan pada 30 pengguna yang tersebar dalam 3 ruangan, yaitu laboratorium multimedia, ruang guru dan pengguna HotSpot. Pengujian dilakukan melalui proses *download* secara serentak oleh seluruh pengguna, dan hasil *throughput* yang didapatkan pengguna disimpan ke dalam *log Cacti* dan hasilnya ditunjukkan melalui Tabel 1.

Tabel 1. *Sampel Pengujian Kondisi Internet Saat Ini (kbps)*

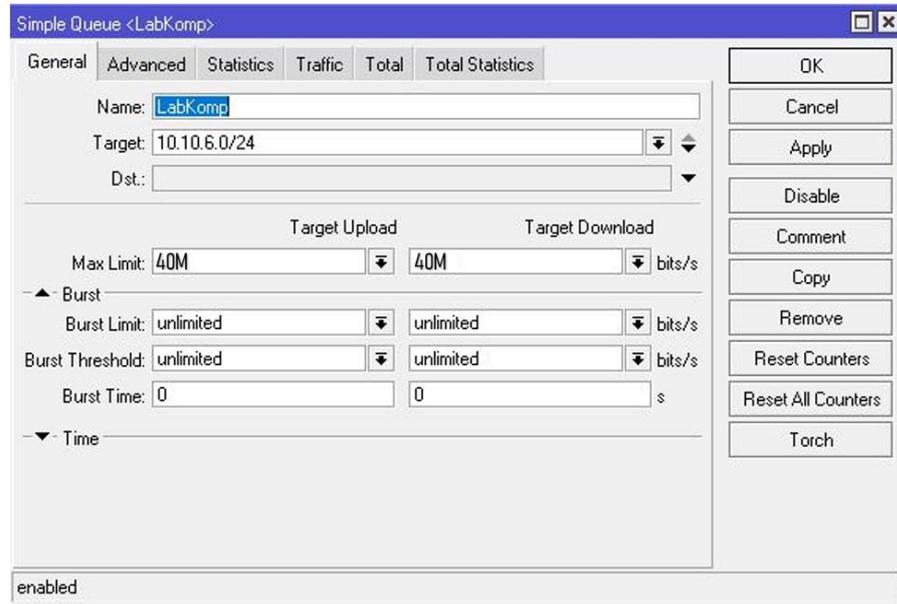
Pengguna	Lab. Multimedia	Ruang Guru	HotSpot
1	2.968	2.481	4.571
2	3.639	2.305	4.368
3	7.240	9.474	904
4	3.905	1.017	1.120
5	4.010	1.337	4.293
6	321	3.356	2.863
7	3.343	1.460	1.612
8	2.486	2.423	2.161
9	2.156	2.248	1.831
10	1.947	1.082	1.890

Hasil pengujian pada Tabel 1 menunjukkan sebuah ketimpangan *bandwidth* yang dialami oleh pengguna, sebagai contoh *user 6* pada lab Multimedia hanya mendapatkan kecepatan transfer data (*throughput*) sebesar 321kbps sementara di saat yang sama *user 3* pada ruang guru mendapatkan kecepatan *throughput* mencapai 9,4Mbps.

4.2 Konfigurasi Integrasi Metode PCQ-HTB

Konfigurasi pengintegrasian metode PCQ dan HTB dalam penyelesaian masalah yang diusulkan dilakukan melalui menu *Simple Queue* pada MikroTik. Prosedur pertama yang dilakukan adalah menyediakan *parent global* untuk setiap prioritas pengguna yang telah ditetapkan. Untuk kapasitas maksimum yang diberikan pada setiap level pengguna

dikonfigurasi pada bagian *max-limit* pada *Target Upload* dan *Target Download*, sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Konfigurasi *Parent* untuk Prioritas-1

Selanjutnya dilakukan proses pengaktifan metode PCQ secara otomatis melalui *scripting* pada menu DHCP Leases, seperti yang terlihat pada Gambar 5. Tujuan otomatisasi ini untuk mengurangi beban pada *router* akibat terlalu banyak *rule* yang diberikan. *Script* akan menghapus *rule* secara otomatis setiap kali pengguna tidak lagi aktif.

```
:local child "MacAddr - $leaseActMAC"
:if ($leaseBound = "1") do={
/queue simple add name=$child
target=($leaseActIP."/32") limit-at=4M/4M max-
limit=40M/40M burst-limit=4M/4M burst-threshold=2M/3M
burst-time=8/8 priority=1/1 parent="LabKomp"
comment=("_____client ".[/ip dhcp-server
lease get [find where active-mac-address=$leaseActMAC &&
active-address=$leaseActIP] host-name]);
} else={
/queue simple remove $child
}
```

Gambar 5. DHCP Leases Script

4.3 Hasil Pengujian Metode yang Diusulkan

Untuk mengevaluasi kinerja dari metode yang diusulkan, pengujian kembali dilakukan dengan menggunakan prosedur pengujian yang sama dengan prosedur pengujian pada kondisi sebelumnya. Sejumlah 30 pengguna yang tersebar pada ruangan laboratorium, ruang guru dan HotSpot melakukan akses internet secara bersamaan dengan kurun waktu yang sama. Hasil dari pengujian direkam ke dalam *database Cacti* dan hasilnya ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Sampel Pengujian Integrasi Metode PCQ-HTB (kbps)

Pengguna	Lab. Multimedia	Ruang Guru	HotSpot
1	4.817	3.386	2.238
2	4.112	3.430	2.137
3	4.717	2.876	1.893
4	4.663	3.302	1.955
5	4.572	3.057	1.996

Pengguna	Lab. Multimedia	Ruang Guru	HotSpot
6	3.910	3.751	2.319
7	4.463	3.189	2.425
8	4.287	3.221	1.935
9	4.509	3.049	2.259
10	4.802	3.471	1.943
BK*	44.852	32.732	21.100
Total Bandwidth			98.684

*BK = Jumlah Bandwidth Per Klasifikasi

4.4 Kesesuaian Alokasi Bandwidth

Sebagaimana telah ditetapkan sebelumnya, laboratorium sebagai prioritas pertama mendapatkan kapasitas *bandwidth* maksimum sebesar 40M, ruang guru mendapat kapasitas maksimum sebesar 30Mbps dan *HotSpot* sebagai prioritas terakhir mendapat kapasitas maksimum sebesar 20Mbps. Jika ditotal, maka kapasitas *bandwidth* maksimum yang diatur dalam *router* adalah 90Mbps. Jika mengingat dari kapasitas *bandwidth* yang disediakan oleh pihak sekolah sebesar 100Mbps, maka setidaknya masih tersisa 10Mbps. Di sinilah peran metode HTB mengalokasikan *residual bandwidth* atau *bandwidth* sisa sesuai dengan skala prioritas pengguna.

Terlihat pada Tabel 2, jumlah *bandwidth* yang terpakai untuk prioritas 1 (laboratorium) mencapai 44,8Mbps, terdapat selisih *bandwidth* sebesar 4,8Mbps dari kapasitas maksimum yang dikonfigurasi. Namun hal ini berbeda dengan jumlah *bandwidth* yang terpakai untuk prioritas 3 (*HotSpot*) yang mencapai 21,1Mbps, yang menandakan bahwa hanya terdapat selisih sebesar 1,1Mbps saja.

Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa *residual bandwidth* terbesar akan pertamanya dialokasikan kepada klasifikasi pengguna dengan prioritas tertinggi, yaitu laboratorium. Sedangkan sisanya akan dialokasikan kepada prioritas berikutnya sesuai dengan tingkatan prioritasnya (prioritas 2 akan mendapatkan *residual bandwidth* yang lebih besar dibandingkan dengan prioritas 3). Namun jumlah total *bandwidth* yang akan terpakai dalam jaringan tidak akan melebihi kapasitas *bandwidth* yang tersedia (tidak akan melebihi 100Mbps, tercatat hanya sampai 98,6Mbps).

4.5 Peningkatan Throughput

Selain bertujuan untuk memberikan prioritas berdasarkan klasifikasi pengguna, namun pengintegrasian metode PCQ dan HTB juga terbukti mampu memberikan layanan akses *internet* yang lebih adil dan merata. Terlihat pada Tabel II bahwa tidak terdapat sebuah perbedaan yang signifikan antara pengguna satu dengan yang lain (maksimum perbedaan *bandwidth* hanya sekitar 0,9Mbps saja).

Lebih lanjut, adanya pemerataan kapasitas *bandwidth* yang diterima oleh pengguna nyatanya mampu memberikan performansi *throughput* yang lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi *default* yang sebelumnya diterapkan (mencapai 12,18 kali lipat pada pengguna-3). Tabel 3 merupakan sampel hasil perhitungan peningkatan *throughput* yang dialami oleh pengguna pada prioritas 1, yaitu laboratorium.

Tabel 3. Data Peningkatan Throughput untuk Prioritas-1

Pengguna	Konfigurasi Default	Metode PCQ-HTB	Peningkatan (kali)
1	2.968	4.817	1,62
2	3.639	4.112	1,13
3	7.240	4.717	0,65
4	3.905	4.663	1,19

Pengguna	Konfigurasi Default	Metode PCQ-HTB	Peningkatan (kali)
5	4.010	4.572	1,14
6	321	3.910	12,18
7	3.343	4.463	1,34
8	2.486	4.287	1,72
9	2.156	4.509	2,09
10	1.947	4.802	2,47

5. KESIMPULAN

Keterbatasan kapasitas *bandwidth* yang dapat disediakan dalam sebuah institusi, khususnya sekolah, sudah selayaknya diimbangi dengan adanya sebuah manajemen jaringan yang baik. Salah satu indikator kenyamanan pengguna dalam mengakses *internet* adalah tingkat kecepatan akses yang diterima (secara teknis disebut sebagai *throughput*). Sekalipun *bandwidth* yang tersedia besar, namun apabila tidak dilakukan manajemen dapat saja menyebabkan adanya ketimpangan *bandwidth* antara pengguna satu dengan yang lain.

Penelitian ini mengusulkan sebuah kolaborasi manajemen jaringan menggunakan metode HTB dan PCQ. Metode HTB digunakan sebagai manajemen pengguna melalui pengklasifikasian pengguna dan pemberian prioritas, sementara metode PCQ membantu dalam memberikan akses *internet* yang lebih merata pada pengguna yang aktif. Melalui pengklasifikasian pengguna, didapatkan hasil bahwa HTB berhasil menjamin ketersediaan *bandwidth* untuk seluruh pengguna sesuai dengan kapasitas yang diberikan, bahkan *residual bandwidth* yang ada akan dialokasikan secara baik sesuai dengan tingkat prioritasnya masing-masing (prioritas 1 akan mendapatkan *residual bandwidth* tertinggi). Selanjutnya, konsep PCQ dinamis yang diusulkan melalui penelitian ini terbukti memberikan akses *internet* yang lebih merata kepada seluruh pengguna. Bahkan terjadi peningkatan *throughput* mencapai 12,18 kali lipat apabila dibandingkan dengan tanpa adanya manajemen jaringan.

Untuk mendapatkan sistem manajemen yang lebih baik, penelitian dapat dilanjutkan dengan menambahkan algoritma klasifikasi *machine learning* untuk dapat memprioritaskan pengguna dalam sudut pandangan trafik jaringan yang sedang diakses (*streaming* atau *browsing*).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. M. Sukarsa, I. N. Piarsa, and I. G. B. P. Putra, "Simple solution for low cost bandwidth management," *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, vol. 19, no. 4, pp. 1419–1427, 2021, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.v19i4.17109.
- [2] Y. Susdyastama Putra, M. T. Indriastuti, and S. Mukti, "Optimalisasi Nilai Throughput Jaringan Laboratorium Menggunakan Metode Hierarchical Token Bucket (Studi Kasus: STMIK ASIA Malang)," *Jurnal Ilmiah NERO*, vol. 5, no. 2, pp. 83–90, 2020, doi: <http://dx.doi.org/10.21107/nero.v5i2.161>.
- [3] Y. S. Putra, F. S. Mukti, and M. T. Indriastuti, "Integration of HTB Mechanism to Solve User Priority Problems on PCQ Bandwidth Management Methods," *International Journal of Engineering and Future Technology*, vol. 18, no. 2, pp. 28–37, 2021, Accessed: Jun. 25, 2022. [Online]. Available: <http://www.ceser.in/ceserp/index.php/IJEFT/article/view/6631>
- [4] S. Pramudita, "Manajemen Bandwidth dengan Menggunakan Metode Hierarchical Token Bucket (HTB) (Studi Kasus: SMPN 1 Susukan Kabupaten Semarang)," Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga, 2014.
- [5] D. Oleh, K. Imtihan, A. S. Pardiansyah, J. Teknik Informatika, and S. Lombok, "Proxy Server dan Management Bandwidth Jaringan Komputer Menggunakan Mikrotik RB952Ui5ac2nD (Studi Kasus MA Ishlahul Ikhwan Nahdlatul Wathan Mispalah Praya)," *Jurnal Informatika & Rekayasa Elektronika*, vol. 1, no. 1, 2018, [Online]. Available: <http://e-journal.stmiklombok.ac.id/index.php/jire>

- [6] A. Syukur, “Analisis Management Bandwidth Menggunakan Metode Per Connection Queue (PCQ) dengan Authentikasi RADIUS,” *IT Journal Research and Development*, vol. 2, no. 2, pp. 78–89, 2018.
- [7] K. Gede, W. P. Putra, G. S. Santyadiputra, M. Windu, and A. Kesiman, “Penerapan Manajemen Bandwidth Menggunakan Metode Hierarchical Token Bucket pada Layanan Hotspot Mikrotik UNDIKSHA,” *Journal of Computer Engineering System and Science (CESS)*, vol. 5, no. 1, pp. 146–154, 2020.
- [8] U. Azizah and I. Veritawati, “Implementasi Management Bandwidth Menggunakan Metode Queue Tree Dengan PCQ (Per Connection Queue),” *Journal of Informatics and Advanced Computing*, vol. 2, no. 1, 2021.
- [9] A. Maulana, “Penerapan Manajemen Bandwidth Menggunakan Metode Hierarchical Token Bucket (HTB),” in *Seminar Nasional Ilmu Sosial dan Teknologi 4 (SNISTEK 4)*, 2022, pp. 102–107.
- [10] A. Tantoni, M. taufan A. Zaen, and K. Imtihan, “Analisis Kebutuhan Kecepatan Bandwidth Game Online(Free fire, Mobile Legends, PUBG mobile),” *Jurnal Informatika & Rekayasa Elektronika*, vol. 2, no. 2, pp. 81–90, 2019.
- [11] I. Faisal and A. Fauzi, “Analisis QoS Pada Implementasi Manajemen Bandwith Menggunakan Metode Queue Tree dan PCQ (Per Connection Queueing),” *Jurnal Penelitian Teknik Informatika*, vol. 1, no. 1, pp. 137–142, 2018.
- [12] T. Oktafi Sidqi *et al.*, “Implementasi Manajemen Bandwith Menggunakan Metode HTB (Hierarchical Token Bucket) Pada Jaringan Mikrotik,” *Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika*, vol. 6, no. 1, pp. 132–138, 2021.
- [13] A. A. Tambunan, “Analisis Perbandingan Quality Of Service (Qos) Pada Performa Bandwidth Jaringan Dengan Metode Hierarchical Token Bucket (Htb) Dan Per Connection Queque (Pcq),” *Jurnal Teknologi Informasi*, vol. XV, no. 3, pp. 24–34, 2020.
- [14] A. Nurdiyanto and Deli, “Studi Komparsi Managemen Bandwidth Antara Metode Hirarchical Token Bucket (HTB) DAN Peer Connection QUEUE (PCQ),” in *Conference on Business, Social Sciences and Innovation Technology*, 2020, pp. 487–497. [Online]. Available: <http://journal.uib.ac.id/index.php/cbsit>
- [15] M. A. S. Arifin, “Penerapan Bandwidth Management Untuk Dynamic User Pada Mikrotik Menggunakan Per Connection Queue (PCQ),” *Jatisi*, vol. 4, no. 2, pp. 194–198, 2018.