QUALITY OF SERVICE MANAJEMEN BANDWIDTH DENGAN BUCKET TOKEN DAN BURST PADA JARINGAN INTRANET LABORATORIUM JARINGAN UNIVERSITAS BUNDA MULIA

Matthew Marvelino, Jusia Amanda Ginting
Teknik Informatika, Universitas Bunda Mulia
Jl. Lodan Raya Ancol, Jakarta Utara, Indonesia
S32210006@sutndet.ubm.ac.id

ABSTRAK

Laboratorium Jaringan Komputer Bunda Mulia telah terimplementasi sebuah *network environment* di mana pengguna bisa saling mengirim email, mengunduh dan mengunggah file, serta mengakses web. Namun, laboratorium tersebut belum memiliki manajemen bandwidth, sehingga kecepatan jaringan tidak stabil dan jitter yang tinggi mengakibatkan *Quality of Service* (QoS) jaringan tidak cukup baik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis implementasi metode burst dan token bucket dalam meningkatkan QoS jaringan laboratorium dengan menggunakan metode *Network Development Life Cycle* (NDLC) yang mencakup analisis, desain, simulation prototyping, implementasi, monitoring, dan manajemen. Pada tahap monitoring, pengujian parameter QoS seperti throughput, packet loss, delay, dan jitter dilakukan secara terstruktur melalui pencatatan log, pengolahan data, hingga visualisasi hasil untuk memastikan validitas dan reliabilitas data. Pengujian dilakukan dalam tiga kondisi, yaitu *high traffic*, *mixed traffic* dan *low traffic*. Hasil pengujian menggunakan metode *Burst* dan *Token Bucket*, namun metode *burst* lebih unggul di aktivitas pengiriman *file* dengan rata-rata peningkatan hingga 42,91%, sementara *Token Bucket* pada pengiriman *email* dan pengaksesan *web* dengan rata-rata peningkatan sebesar 46,04%. Kesimpulannya, metode burst direkomendasikan untuk trafik berat, sementara token bucket lebih cocok untuk trafik ringan hingga sedang, dan penelitian lanjutan disarankan untuk mengimplementasikan metode ini dalam skenario jaringan nyata guna mendapatkan hasil yang lebih aplikatif.

Kata kunci : *Burst*, Jaringan Komputer, Manajemen *Bandwidth, Quality of Service, Token Bucket*

1. PENDAHULUAN

Interconnection atau saling terhubung merupakan konsep komunikasi yang digunakan saat ini. *Interconnection* ini memungkinkan setiap individu dapat berinteraksi satu dengan yang lain tanpa dibatasi oleh ruang dan waktu. Hal ini dapat terjadi, disebabkan adanya teknologi jaringan komputer yang menghubungkan satu perangkat dengan perangkat yang lain[1]. Jaringan komputer memberikan sebuah layanan yang berfungsi untuk mengirim, menerima, menyimpan, dan menggunakan informasi data dengan melalui *end device*, *intermediary device*, dan media komunikasi seperti kabel UTP, Fiber Optic, dan jaringan nirkabel [2].

Universitas Bunda Mulia merupakan salah satu Universitas terkemuka di Jakarta, yang telah mengimplementasikan *interconnection* khususnya dalam kegiatan akademik.

Laboratorium Jaringan Universitas Bunda Mulia memiliki lingkungan jaringan yang digunakan untuk mensimulasikan topologi jaringan universitas. Di laboratorium tersebut, terdapat beberapa server yang berfungsi untuk menangani *website*, pengunduhan file, dan pengiriman *email*. Namun, lingkungan jaringan ini belum menerapkan teknik manajemen jaringan yang memadai, sehingga dapat menimbulkan gangguan koneksi seperti, network congestion(traffic jaringan yang penuh), koneksi yang tidak stabil, latensi yang tinggi, atau kecepatan jaringan yang sangat lambat. Hal ini dapat mempengaruhi kegiatan akademik yang dilakukan di Universitas Bunda Mulia.

Jaringan komputer yang memerlukan teknik manajemen jaringan yang baik untuk memastikan kualitas dari jaringan tersebut[3]. Hal ini dapat dicapai dengan melakukan pengukuran *Quality of Service* (QoS) pada jaringan yang tersedia. QoS dilakukan untuk memastikan kualitas sebuah jaringan dengan mengukur berbagai parameter seperti *throughput* sebagai kecepatan asli, *delay* sebagai jeda waktu paket dikirim dan diterima, *jitter* sebagai variasi di dalam *delay* yang menjadi penentu kestabilan jaringan, dan *packet loss* untuk menghitung berapa paket yang hilang atau tidak terkirim didalam jaringan[4]. QoS memiliki beberapa metode untuk manajemen traffic jaringan, antara lain *Token Bucket* dan *Burst*.

Hasil dari penelitian ini adalah perbandingan output dari percobaan pengukuran QoS tanpa menggunakan metode, dan pengukuran QoS dengan menggunakan metode *burst*, dan metode *token bucket*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan QoS di Lab Jaringan Komputer dengan menggunakan metode *burst* dan metode *token bucket*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Quality Of Service* (QoS)

Quality of Service (QoS) adalah kemampuan suatu jaringan untuk menyediakan layanan yang baik dengan mengelola berbagai parameter kinerja jaringan[5]. QoS memastikan bahwa jaringan dapat memenuhi kebutuhan aplikasi dan pengguna tertentu.

2.2. *Throughput*

Kecepatan aktual yang terukur pada ukuran waktu tertentu dalam mentransmisikan *file* atau data[6]. Nilai maksimal dari *throughput* dapat berubah seiring dengan banyaknya pengguna yang menggunakan jaringan yang sama[26].

$$Throughput = \frac{Paket\ Data\ Diterima}{Total\ Waktu\ Paket\ Diterima} \quad (1)$$

2.3. *Delay*

Waktu yang dibutuhkan paket untuk menempuh jarak dari sumber ke tujuan. *Delay* terdiri dari tiga jenis, yaitu *processing delay*, *queuing delay*, dan *propagation delay* yang dapat dimodelkan sebagai *flow rate* secara umum[7].

$$Total\ delay = \sum_{i=2}^{n} (paket(i) - paket(i-1)) \quad (2)$$

$$Rata - Rata\ Delay = \frac{Total\ Delay}{Total\ Paket\ yang\ Diterima} \quad (3)$$

2.4. Jitter

Jitter adalah selisih dari besar *delay* pertama dengan besar *delay* berikutnya yang sering disebut sebagai variasi *delay*. Variasi *delay* dapat mempengaruhi *experience* dalam melakukan aktivitas yang membutuhkan sebuah jaringan[8].

$$Total\ Jitter = \sum_{i=2}^{n} (delay(i) - delay(i-1)) \quad (4)$$

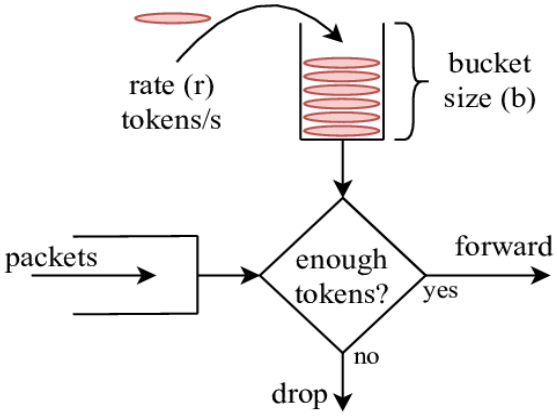
$$Rata - rata\ jitter = \frac{Total\ Jitter}{Total\ Paket\ Diterima} \quad (5)$$

2.5. Packet Loss

Packet loss adalah sebuah porsi paket yang menghilang saat mengirimkan data, biasanya disebabkan oleh kualitas sinyal yang rendah, kesalahan pada perangkat keras jaringan, maupun dampak eksternal pada lokasi di sekitar perangkat[9].

$$Packet\ loss = \frac{Paket\ Data\ Dikirim - Paket\ Data\ Diterima}{Paket\ Data\ Dikirim}\ x\ 100\% \quad (6)$$

2.6. *Token Bucket*

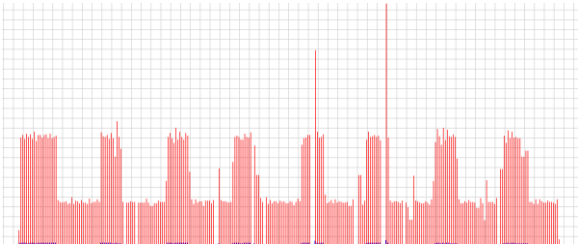


Gambar 1. Metode *token bucket*

Metode *Token Bucket* merupakan metode yang bekerja dengan membuat sebuah *bucket* yang akan diisi oleh *token* setiap detiknya sebesar *limit bandwidth* yang diberikan. *Token bucket* memberikan tambahan kecepatan *bandwidth* user selama *token* yang ada di dalam *bucket* tidak habis[10].

2.7. *Burst*

Metode *burst* adalah metode dalam mengelolah QoS untuk menaikan kecepatan diatas *max-limit* dalam waktu singkat[11]. Metode *burst* merupakan metode yang fleksibel karena bekerja menggunakan rata-rata penggunaan bandwidth dalam periode waktu tertentu sesuai *rules* yang telah ditetapkan sehingga biasanya digunakan pada aktivitas jaringan yang akan digunakan secara kontinu.



Gambar 2. Hasil *traffic* setelah menggunakan metode *burst*

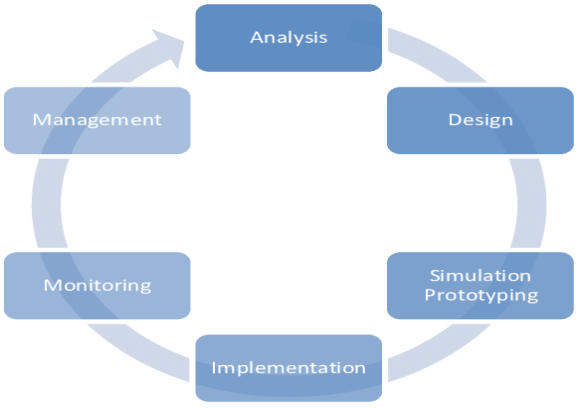
2.8. *Network Monitoring*

Monitoring jaringan digunakan untuk melihat *traffic* jaringan yang terjadi. *Monitoring* jaringan dimulai dari pengumpulan data(log), pengelolahan data, dan analisa data. Monitoring jaringan dilakukan dengan mengambil data dari perangkat jaringan ataupun menggunakan perangkat lunak tertentu dengan *packet capture*[12], [13]. Log merupakan catatan yang menyimpan seluruh aktivitas jaringan.

Beberapa kolom yang tersedia dalam perangkat lunak *wireshark*, yaitu: nomor paket yang sedang berjalan, waktu dalam *capture* yang telah dilakukan, sumber IP dari pengiriman paket, tujuan IP dari pengiriman paket, protokol yang digunakan, panjang dari bit paket yang dikirim, informasi mengenai paket dan metadata untuk mengidentifikasi sumber yang berbeda[14].

3. METODE PENELITIAN

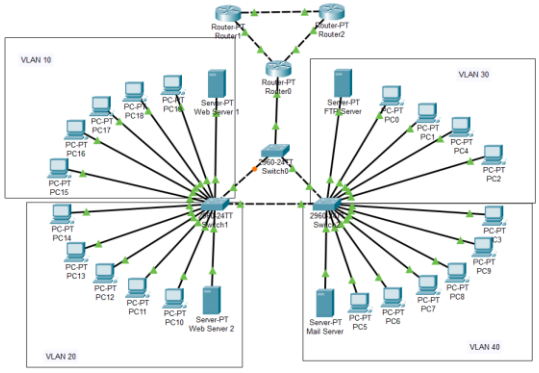
3.1. Pemilihan metode



Gambar 3. *Network development life cycle*

Berdasarkan Gambar 3, tahap dalam NDLC terdiri dari 6 tahapan yaitu: *Analysis* bertujuan untuk mengindentifikasi kebutuhan pengguna dan jaringan komputer, *Design* untuk merancang suatu infrastruktur jaringan sesuai dengan analisis yang dilakukan pada tahap sebelumnya, *Simulation Prototyping* untuk menguji desain jaringan sebelum diimplementasikan menggunakan perangkat lunak seperti *cisco packet tracer* dan GNS3, *Implementation* untuk merealisasikan desain yang telah berhasil di simulasikan, *Monitoring* untuk memantau performa dan operasional jaringan yang telah di implementasikan, dan *Management* untuk pengelolahan jaringan berkelanjutan, meliputi maintenance, peningkatan perangkat, atau perencanaan pengembangan jaringan.

3.2. Analisis Kebutuhan



Gambar 4. Topologi Laboratorium Jaringan Komputer

Berdasarkan topologi yang ada pada gambar 4., untuk melakukan implementasi QoS terhadap sebuah topologi jaringan komputer yang telah dibuat di Laboratorium Jaringan Komputer Universitas Bunda Mulia, khususnya dalam menganalisis kemampuan metode *Token Bucket* dengan *Burst*. Agar dapat melakukan implementasi dan analisa QoS, kebutuhan yang diperlukan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 3 *Router*, yang berfungsi sebagai penghubung utama antar jaringan dan pengaturan routing.
- 3 *Switch*, yang bertugas mendistribusikan koneksi ke perangkat lain dalam jaringan lokal.
- 4 *Server*, dengan fungsi masing-masing: server database, server aplikasi, server web, dan server cadangan.
- Beberapa PC *Client* yang akan digunakan sebagai subjek analisa dari tes yang dilakukan

3.3. Perancangan Proses

Gambar 5. Perancangan proses

Dari percanganan yang ada pada gambar 5., dijelaskan sebagai berikut:

a. Menentukan Kondisi
   Langkah awal adalah menentukan kondisi awal atau parameter yang akan diuji pada jaringan seperti *high traffic, mixed traffic*, atau *low traffic*.
b. Memilih Pengujian
   Setelah kondisi ditentukan, pilih jenis pengujian yang sesuai. Contohnya, pengujian *throughput*, *packet loss, delay, jitter* dan manajemen yang akan diuji sepeti *queue limit, burst,* atau *token bucket*.
c. Melakukan Pengujian
   Jalankan pengujian berdasarkan metode atau alat yang telah ditentukan menggunakan software seperti *Wireshark*.
d. Analisis Log
   Data log berbentuk csv akan dianalisis untuk mendapatkan informasi mendetail terkait performa jaringan (Gambar 4.32 Hasil ekspor CSV), seperti penggunaan bandwidth, waktu yang diperlukan, ukuran total log, *packet* loss, dan lama waktu paket dikirim.
e. Dokumentasi Hasil Log
   Langkah terakhir dalam penelitian ini adalah mendokumentasikan seluruh hasil pengolahan dan visualisasi data log ke dalam bentuk laporan yang terstruktur sebagai bagian dari laporan penelitian skripsi. Dokumentasi ini mencakup penjabaran hasil perhitungan, analisis data, serta interpretasi visualisasi yang mendukung kesimpulan penelitian.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Kondisi Pengujian

Pengujian dilakukan dilakukan dalam 3 kondisi yaitu:

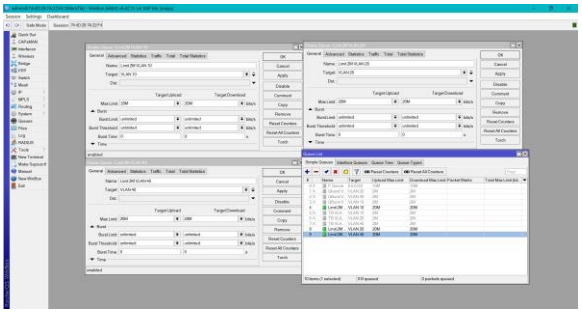
a. *High Traffic*
   Pengujian *High Traffic* dilakukan dengan aktivitas pengunduhan file berukuran 100MB dari server FTP, menggunakan file bernama 100MB.bin
b. *Mixed traffic*
   Pengujian *Mixed Traffic* dilakukan dengan tiga aktivitas sekaligus: pengunduhan *file* sebesar 100MB, pengiriman *email* dengan lampiran *file* berukuran 7MB, dan penjelajahan *web* menggunakan *web browser*.
c. *Low traffic*
   Pengujian *Low Traffic* dilakukan dengan dua aktivitas sekaligus: pengiriman *email* dengan lampiran *file* sebesar 7MB, dan penjelajahan *web* menggunakan *web browser*.

Setiap proses dilakukan *monitoring* menggunakan perangkat lunak seperti *Wireshark*. Selama proses pengujian utama, perangkat lunak *Wireshark* dijalankan untuk menangkap semua paket data yang berjalan di jaringan. Paket data yang ditangkap mencakup informasi penting seperti alamat IP, *port*, protokol yang digunakan, dan waktu pengiriman paket. Proses ini memungkinkan identifikasi pola komunikasi, analisis penggunaan

bandwidth, serta evaluasi performa jaringan berdasarkan parameter QoS.

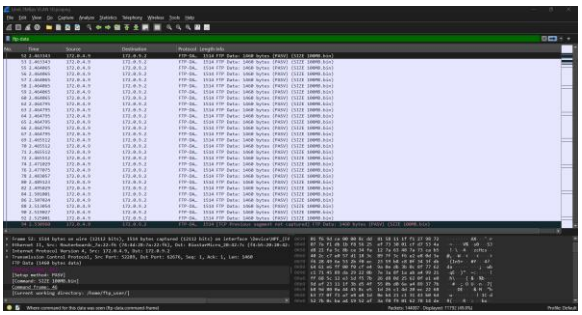
4.2. Melakukan Pengujian

Pengujian dilakukan di Laboratorium Universitas Bunda Mulia dengan 20 client dan 4 server. Server yang ada terdiri dari 2 web server, 1 mail server, dan 1 ftp server. Pengujian ini menggunakan pengujian secara manual dimana setiap PC akan melakukan aktivitas tertentu seperti: mengunduh file, mengirim email, atau mengakses web, yang kemudian hasil dari aktivitas tersebut akan ditangkap menggunakan perangkat lunak Wireshark untuk kemudian di analisis menggunakan excel.



Gambar 6. Aktivitas Pengujian dari Router Mikrotik

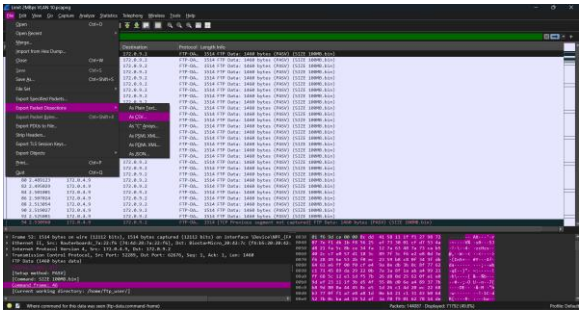
Selama proses pengujian utama, perangkat lunak Wireshark dijalankan untuk menangkap semua paket data yang berjalan di jaringan. Paket data yang ditangkap mencakup informasi penting seperti alamat IP, port, protokol yang digunakan, dan waktu pengiriman paket. Proses ini memungkinkan identifikasi pola komunikasi, analisis penggunaan bandwidth, serta evaluasi performa jaringan berdasarkan parameter QoS. Setelah hasil log didapatkan, diperlukan sebuah filtering untuk mendapatkan data sesuai dengan kebutuhan, antara lain: ftp-data untuk pengunduhan file, http untuk website, dan tls untuk email.



Gambar 7. Monitoring dengan Wireshark

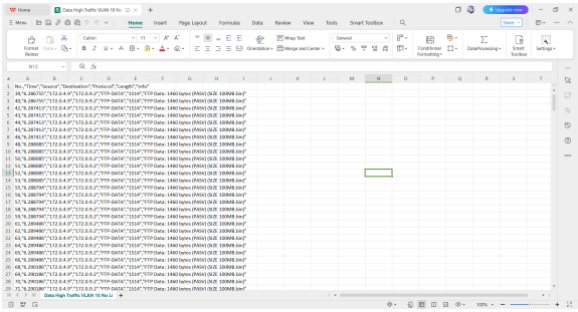
4.3. Analisis Log

Perangkat lunak Wireshark menyediakan fitur ekspor untuk menyimpan data dalam berbagai format, salah satunya adalah format .csv seperti pada gambar 4.32. Data log yang telah ditangkap akan diekspor dalam format ini kemudian akan menjadi dasar untuk tahap analisis berikutnya.



Gambar 8. Export ke csv dari wireshark

Data hasil log yang telah diekspor akan memiliki bentuk seperti pada dibawah.



Gambar 9. Hasil Export CSV

Data tersebut kemudian diubah menggunakan fitur *Text-to-Column*. Dari data ini, hanya data *time* yang akan digunakan, karena data untuk melakukan perhitungan lainnya dapat diperoleh melalui menu *Statistics -> Capture File Properties* pada perangkat lunak *Wireshark* seperti pada gambar 4.35. Beberapa parameter yang akan diambil dari capture properties tersebut antara lain, *Packets*, *Bytes*, dan *time span* untuk menghitung *throughput* dan *packet loss*.

Setelah mendapatkan log dan informasi paket, data tersebut akan dipindahkan ke dalam file *excel* untuk melakukan perhitungan terhadap setiap parameter QoS, yaitu *throughput*, *packet loss*, *delay*, dan *jitter*. Kolom yang diambil hanya dua, yaitu time no, dan time karena parameter lain dapat didapatkan melalui capture packet properties, yang kemudian akan diletakan pada kolom No dan Time di excel. Mulai dari time ke 2 dan seterusnya akan di copy dan diletakan di sebelah time yang sudah ada sehingga bisa dengan mudah dilakukan kalkulasi delay antar paket.

4.4. Dokumentasi Hasil Log

Hasil yang didapatkan dari hasil pengelolahan data akan didokumentasikan kedalam tabel. Isi dari tabel tersebut adalah :

a. Pengujian Traffic
   Berisi tampilan pengujian yang dilakukan seperti *high traffic*, *mixed traffic*, dan *low traffic*.
b. Aktivitas
   Berisi aktivitas pengujian yang dilakukan seperti pengiriman file (FTP), pengiriman email (SMTP) dan pengaksesan web (HTTP).

c. Jenis Pengujian
Berisi mengenai jenis pengujian bandwidth yang dilakukan. Dimana *Queue limit* sebagai acuan hasil yang didapat sebelum dilakukan manajemen banwdith, dan *bucket token* atau *burst* sebagai hasil setelah dilakukan manajemen bandwdith.

d. Parameter pengujian
Berisi beberapa parameter QoS yang dijadikan sebagai pengujian antara lain Throughtput sebagai kecepatan asli, Packet loss sebagai acuan berapa packet yang hilang, Delay sebagai acuan berapa lama rata-rata paket dikirimkan, dan Jitter sebagai acuan untuk melihat variasi delay dalam pengujian.

e. Hasil pengujian
Berisi hasil pengujian dari masing-masing parameter, jenis, dan aktivitas pengujian berdasarkan traffic yang ditentukan.

4.5. *High Traffic*

High Traffic				
Aktivitas	Queue Limit			
	Throughput (Mb/s)	Packet Loss	AVG Delay (ms)	AVG Jitter (ms)
FTP (1)	2,0237	1,1868%	6,129	0,160
FTP (2)	2,0240	1,1740%	5,984	0,145
FTP (30	2,0236	1,2223%	6,058	0,155
Aktivitas	Burst			
	Throughput (Mb/s)	Packet Loss	AVG Delay (ms)	AVG Jitter (ms)
FTP (1)	3,1745	1,1047%	3,776	0,105
FTP (2)	3,1830	1,1171%	3,805	0,082
FTP (30	3,1797	1,1366%	3,809	0,110
Aktivitas	Bucket Token			
	Throughput (Mb/s)	Packet Loss	AVG Delay (ms)	AVG Jitter (ms)
FTP (1)	2,0702	1,1616%	5,847	0,165
FTP (2)	2,0715	1,1574%	5,847	0,154
FTP (30	2,0692	1,2024%	5,853	0,147

Gambar 6. Hasil pengujian *high traffic*

Berdasarkan hasil uji coba kondisi *high traffic* menggunakan metode *burst, token bucket*, dan *queue limit* pada proses FTP, bahwa metode burst menunjukkan performa terbaik secara keseluruhan. metode ini mampu menghasilkan throughput tertinggi berkat cara kerja tambahan kecepatan *bandwidth* hingga batas *burst limit* yang sangat efektif untuk proses transfer data yang kontinu seperti FTP. Selain itu, *burst* juga mencatat rata-rata *delay* dan *jitter* yang lebih rendah dibandingkan metode lainnya, menunjukkan kestabilan jaringan yang lebih baik dengan rata-rata peningkatan sebesar 37,25%..

4.6. *Mixed Traffic*

Mixed Traffic				
VLAN	Queue Limit			
	Throughput (Mb/s)	Packet Loss	AVG Delay (ms)	AVG Jitter (ms)
FTP	2,0226	1,2053%	6,061	2,967
HTTP	0,1497	0,0000%	13,024	11,301
SMTP	1,7885	0,0000%	22,518	44,215
VLAN	Burst			
	Throughput (Mb/s)	Packet Loss	AVG Delay (ms)	AVG Jitter (ms)
FTP	3,1682	1,1668%	3,868	2,528
HTTP	0,3563	0,0000%	12,931	11,075
SMTP	6,2662	0,0000%	2,314	2,716
VLAN	Bucket Token			
	Throughput (Mb/s)	Packet Loss	AVG Delay (ms)	AVG Jitter (ms)
FTP	2,0714	1,1588%	5,916	0,072
HTTP	0,2354	0,0000%	12,289	3,256
SMTP	11,0401	0,0000%	1,905	1,842

Gambar 7. Hasil pengujian *mixed traffic*

Berdasarkan pengujian yang dilakukan pada kondisi *mixed traffic* untuk kegiatan menggunakan FTP, HTTP, dan SMTP didapatkan hasil analisa limit, metode *burst*, dan metode *token bucket*. Untuk pengujian FTP, didapatkan bahwa metode *burst* dapat memberikan hasil *throughput* terbaik dan rata-rata *delay* yang sangat rendah, menunjukan keunggulan karena cara kerja metode *burst* yang dapat menangani *traffic* yang berat dan bersifat kontinu. Sementara metode *token bucket* menunjukan sebuah kinerja yang baik dalam menangani *traffic* yang terbilang cukup ringan seperti HTTP, dan SMTP dengan *throughput* yang sangat tinggi, rata-rata *delay* yang rendah serta rata-rata *jitter* yang rendah juga dibandingkan dengan metode *burst* dan *queue limit* dengan rata-rata peningkatan sebesar 48,57%..

4.7. *Low Traffic*

Low Traffic				
Aktivitas	Queue Limit			
	Throughput (Mb/s)	Packet Loss	AVG Delay (ms)	AVG Jitter (ms)
HTTP	0,5537	0,0000%	2,946	2,450
HTTP (2)	0,4925	0,0000%	3,498	4,283
SMTP	2,3229	0,0000%	0,891	0,732
VLAN	Burst			
	Throughput (Mb/s)	Packet Loss	AVG Delay (ms)	AVG Jitter (ms)
HTTP	0,1930	0,0000%	3,006	3,582
HTTP (2)	0,1737	0,0000%	3,187	2,382
SMTP	2,6608	0,0000%	0,916	0,644
VLAN	Token Bucket			
	Throughput (Mb/s)	Packet Loss	AVG Delay (ms)	AVG Jitter (ms)
HTTP	0,2470	0,0000%	3,006	3,582
HTTP (2)	0,7197	0,0000%	2,513	3,305
SMTP	2,2331	0,0000%	0,911	0,761

Gambar 8. Hasil pengujian *low traffic*

Berdasarkan hasil pengujian pada kondisi *low traffic* untuk protokol HTTP dan SMTP, jaringan dengan implementasi metode *token bucket* menunjukkan kinerja yang unggul pada *throughput*, rata-rata *delay*, dan rata-rata *jitter*, dibandingkan dengan *queue limit* dan metode *burst*. Hasil packet loss pada semua uji coba memiliki nilai yang sama yaitu 0%, menunjukkan bahwa pada pengujian *low traffic* dengan aktivitas menggunakan HTTP dan SMTP tidak terlalu berpengaruh. Akan tetapi metode *token bucket* lebih unggul sebesar 9,31% untuk SMTP, dan 13,87% untuk HTTP.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kondisi *traffic* pada kasus yang diteliti dapat mempengaruhi hasil QoS yang didapatkan. Pada kondisi *High Traffic* dengan aktivitas pengunduhan *file* memiliki nilai *throughput* lebih tinggi daripada kondisi *mixed traffic* dan *low traffic*, sementara di kondisi *low traffic* dan *mixed traffic* untuk aktivitas pengiriman *email* dan *web* memiliki *delay*, *jitter*, dan *packet loss* yang lebih rendah dibanding *high traffic*. Hasil pengujian QoS standar berdasarkan kondisi dan aktivitas yang dilakukan, mendapatkan nilai parameter QoS yang rendah seperti *Throughput* yang rendah, *delay*, *jitter* dan *packet loss* yang tinggi dibandingkan dengan pengujian menggunakan metode *Burst* dan *Token Bucket*, namun metode *burst* lebih unggul di aktivitas pengiriman *file* dengan rata-rata peningkatan

hingga 42,91%, sementara *Token Bucket* pada pengiriman *email* dan pengaksesan *web* dengan rata-rata peningkatan sebesar 46,04%.

Saran untuk penelitan selanjutnya diharapkan agar pengujian lebih baik dilakukan secara *real-time* di lingkungan nyata, sehingga hasil analisis dapat lebih akurat dan relevan dalam mendukung kegiatan akademik.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Dinas Komunikasi Informatika dan Persandian Kabupaten Buleleng. Jaringan Teknologi Komunikasi. https://kominfosanti.bulelengkab.go.id/informasi/detail/artikel/jaringan-teknologi-komunikasi-62. Diakses pada 7 Oktober 2024.

[2] Ginting, J. A. dan Suryantara, I. G. N. (2023). Pengujian Kerentanan Sistem dengan Menggunakan Metode Penetration Testing di Universitas XYZ. Infotech: Journal of Technology Information, vol. 7, no. 1, pp. 41-46.

[3] Firmansyah, R. dan Nugroho, D. (2023). Improved Bandwidth Management Using Token Bucket Algorithm. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Electronics, vol. 18, no. 2, pp. 45-52.

[4] Hu, Z., et al. (2023). A QoS-Guaranteed Burst-Token Mechanism for 5G Core Network Slicing. Symmetry, vol. 15, no. 2, p. 513.Simargolang, M. Y., & Widarma, A. (2022). Quality of Service (QoS) for Network Performance Analysis Wireless Area Network (WLAN). CESS (Journal of Computer Engineering, System and Science), 7(1), 162.

[5] Sciancalepore, S. dan Di Pietro, R. (2023). SOS: Standard-Compliant and Packet Loss Tolerant Security Framework for ADS-B Communications. IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, vol. 18, no. 4, pp. 1681-1698.

[6] Putra, I. B. A. E. M., Adnyana, M. S. I. D., & Jasa, L. (2021). Analisis Quality of Service Pada Jaringan Komputer. Majalah Ilmiah Teknologi Elektro, 20(1), 95-102.

[7] Jin, Y. dan Lee, T. (2023). Throughput Analysis of NOMA-ALOHA. IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 21, no. 4, pp. 1463-1475.

[8] Liu, Q., Deng, L., Zeng, H., dan Chen, M. (2020). A Tale of Two Metrics in Network Delay Optimization. IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 28, no. 3, pp. 1241-1254.

[9] Mughrabi, M. H., Mutasim, A. K., Stuerzlinger, W., dan Batmaz, A. U. (2022). My Eyes Hurt: Effects of Jitter in 3D Gaze Tracking. 2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW), Christchurch, New Zealand, pp. 310-315.

[10] Wu, Z., Qin, H., Song, X., Fu, G., dan Li, J. (2023). The Improvement of Scheduling Algorithm Based on Token Bucket and Weighted Fair Queue. 2023 12th International Conference of Information and Communication Technology (ICTech), Wuhan, China, pp. 66-72.

[11] MikroTik. Queue Burst. Help MikroTik, Artūras C., 22 Juli 2022. https://help.mikrotik.com/docs/spaces/ROS/pages/137986091/Queue+Burst. Diakses pada 16 Oktober 2024.

[12] Abane, A., Battou, A., Amlou, A., dan Zhang, T. (2023). A Data Collection Platform for Network Management. 2023 20th ACS/IEEE International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA), Giza, Egypt, pp. 1-7.

[13] Saputra, J. dan Ginting, J. A. (2023). Penyembunyian Data Menggunakan Metode Overwriting Metadata. JIKO (Jurnal Informatika dan Komputer), vol. 7, no. 2, pp. 280-160.

[14] Sembiring, I., Suharyadi, I., Iriani, A., Ginting, J. V. B., dan Ginting, J. A. (2023b). A Novel Approach to Network Forensic Analysis: Combining Packet Capture Data and Social Network Analysis. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, vol. 14, no. 3, pp. 466-472.