



QOS untuk Meningkatkan Kualitas Jaringan SMK PGRI Kromengan

Derry Rahmat Fitroni^{1*}, Farid Wahyudi², Zurriat Nyndia Rahmawati³, Anisa Hudi Widaningrum⁴, Novia Ratnasari⁵

^{1,2,3,4,5} Sistem Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Raden Rahmat, Indonesia

Info Artikel

Riwayat Artikel:

Diterima : **22-06-2024**

Direvisi : **21-10-2024**

Diterbitkan : **15-12-2024**

Kata Kunci:

*Jaringan Komputer,
TIPHON,
Quality of Service*

ABSTRAK

Meningkatkan kualitas jaringan nirkabel di SMK PGRI Kromengan melalui analisis *Quality of Service* menjadi fokus utama penelitian ini. Jaringan yang andal sangat penting dalam mendukung kegiatan pembelajaran di era digital. Metode yang digunakan adalah *Action Research*, terdiri dari diagnosis masalah, perencanaan tindakan, implementasi, evaluasi, dan refleksi. Data dikumpulkan menggunakan *Wireshark* dan dianalisis berdasarkan standar TIPHON, dengan fokus pada *throughput*, *packet loss*, *delay*, dan *jitter*. Hasil menunjukkan sebagian besar ruangan memiliki kualitas jaringan kurang memuaskan. Rekomendasi meliputi peningkatan infrastruktur, penambahan *access point*, penempatan strategis, serta teknik manajemen jaringan seperti *load balancing* dan *QoS prioritization*. Implementasi ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas layanan jaringan di SMK PGRI Kromengan, mendukung proses belajar mengajar, dan memberikan pengalaman pengguna yang lebih baik bagi siswa dan staf pengajar.

Keywords:

*Computer Network,
TIPHON,
Quality of Service*

ABSTRACT

Improving the quality of the wireless network at SMK PGRI Kromengan through Quality of Service analysis is the main focus of this research. A reliable network is essential in supporting learning activities in the digital era. The method used is Action Research, consisting of problem diagnosis, action planning, implementation, evaluation, and reflection. Data was collected using Wireshark and analysed based on TIPHON standards, focusing on throughput, packet loss, delay, and jitter. Results showed that most rooms had unsatisfactory network quality. Recommendations include infrastructure upgrades, additional access points, strategic placement, and network management techniques such as load balancing and QoS prioritisation. This implementation is expected to improve the quality of network services at SMK PGRI Kromengan, support the teaching and learning process, and provide a better user experience for students and teaching staff.

Penulis Korespondensi:

Derry Rahmat Fitroni,
Prodi Sistem Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi,
Universitas Islam Raden Rahmat
Email: rahmatderry68@gmail.com

This is an open access article under the [CC BY-SA](#) license



1. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan teknologi yang semakin pesat, jaringan nirkabel menjadi kebutuhan utama di berbagai institusi, termasuk lembaga pendidikan seperti SMK PGRI Kromengan. Meskipun jaringan nirkabel telah diimplementasikan, masalah rendahnya kualitas layanan jaringan masih sering terjadi, ditandai dengan rendahnya *throughput*, tingginya *packet loss*, *delay*, dan *jitter*. [1], [2], [3] Masalah ini berdampak langsung pada pengalaman pengguna, baik siswa maupun staf pengajar, yang mengalami kesulitan dalam mengakses *internet* dan mengunduh materi pembelajaran. Manajemen jaringan yang kurang optimal, seperti alokasi *bandwidth*

yang tidak merata dan penempatan *access point* yang kurang maksimal, memperburuk kondisi ini. Implementasi *Quality of Service* (QoS) yang belum optimal juga menjadi penyebab utama rendahnya kualitas jaringan, karena QoS yang baik dapat mengatasi kemacetan jaringan dan memastikan aplikasi penting mendapatkan prioritas akses.

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan utama yang ingin dicapai. Pertama, penelitian ini bertujuan guna mengenali masalah-masalah utama yang pengaruhi kualitas jaringan nirkabel di SMK PGRI Kromengan, seperti rendahnya kecepatan transfer data, ketidakstabilan koneksi, dan kesulitan dalam mengakses jaringan. Kedua, penelitian ini berusaha untuk menganalisis parameter-parameter QoS pada jaringan nirkabel di SMK PGRI Kromengan, termasuk *throughput*, *packet loss*, *delay*, dan *jitter*. [4], [5] Analisis ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Wireshark* untuk mengumpulkan data yang relevan dari berbagai lokasi di sekolah. [6], [7] Ketiga, penelitian ini bertujuan untuk merancang langkah-langkah perbaikan yang tepat untuk meningkatkan kualitas jaringan berdasarkan hasil analisis QoS.

Ruang lingkup penelitian ini mencakup analisis QoS pada jaringan nirkabel di SMK PGRI Kromengan. Fokus utama dari penelitian ini adalah mengidentifikasi parameter-parameter QoS semacam *throughput*, *packet loss*, *delay*, serta *jitter* di berbagai ruangan sekolah. [8], [9] Data dikumpulkan menggunakan perangkat lunak *Wireshark* dan dianalisis berdasarkan standar TIPHON. Penelitian ini juga mencakup pengumpulan data dari berbagai lokasi di sekolah untuk mendapatkan gambaran menyeluruh tentang kondisi jaringan. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi acuan bagi peningkatan manajemen dan infrastruktur jaringan di SMK PGRI Kromengan serta dapat diaplikasikan di institusi pendidikan lainnya.

2. METODE PENELITIAN

Action Research adalah metode penelitian partisipatif yang fokus pada perbaikan praktik atau pemecahan masalah dalam konteks tertentu. Bersamaan dengan teknik kuantitatif, penelitian ini juga akan menggunakan strategi Riset Aksi. Setelah diagnosis menyeluruh terhadap lingkungan masalah, teknik *Action Research* (juga dikenal sebagai riset aksi) didasarkan pada premis bahwa teori dan praktik dapat beroperasi secara tertutup dan terpadu, dengan pelajaran yang dipetik dari hasil tindakan yang direncanakan [8]

Metode *Action Research* memiliki beberapa tahapan [10] yang akan dilakukan pada saat penelitian dilaksanakan seperti berikut:

1. Diagnosis (*Diagnosing*):

Penelitian ini dimulai dengan tahap diagnosis, yang meliputi pemahaman konteks masalah, konsultasi dengan para pemangku kepentingan, analisis data pendukung, pengamatan awal, validasi masalah, dan perumusan masalah utama terkait dengan kualitas layanan jaringan QoS di SMK PGRI Kromengan.

2. Perencanaan Tindakan (*Action Planning*):

Peneliti menyusun rencana tindakan untuk mengatasi masalah dengan pihak SMK PGRI Kromengan. Menentukan jadwal pemantauan, mengukur kualitas layanan, dan menganalisis data merupakan bagian dari proses ini. Dari tanggal 7 Agustus hingga 9 September 2023, semua ruangan dengan koneksi internet akan dipantau dari hari Senin hingga Sabtu, pukul 09.00 hingga 21.00.

3. Pengambilan Tindakan (*Action Taking*):

Pada tahap ini, peneliti melakukan tindakan langsung pada objek penelitian dengan mengukur jaringan menggunakan sistem monitoring QoS dan alat *Wireshark*. Langkah-langkahnya meliputi penetapan kriteria QoS, identifikasi parameter, pemilihan alat dan bahan, pembuatan rencana pengukuran, pelaksanaan pengukuran, analisis hasil, dan identifikasi penyebab masalah.

4. Evaluasi (*Evaluating*):

Delay, Packet Loss, Jitter, dan Throughput merupakan beberapa metrik kualitas layanan yang diteliti dalam penelitian ini. Hasil pemantauan jaringan menyediakan data yang digunakan dalam analisis ini. Setiap parameter kualitas layanan (QoS) dianalisis dengan menggunakan rumus yang sesuai dan standar TIPHON.

5. Menentukan Pembelajaran (*Specifying Learning*):

Tahap terakhir ini melibatkan peninjauan seluruh siklus, analisis nilai QoS yang diperoleh, dan penarikan kesimpulan untuk menetapkan standar penelitian. Hasil penelitian ini akan digunakan sebagai dasar untuk perbaikan selanjutnya dan pertimbangan tindakan di masa depan terkait dengan peningkatan kualitas jaringan di SMK PGRI Kromengan.

Selain itu digunakan juga perhitungan dengan memakai parameter-parameter QoS (*Quality Of Service*) diantaranya [11]:

a. *Throughput*

Throughput adalah ukuran kinerja jaringan yang menunjukkan jumlah informasi yang dapat dikirimkan dari satu titik ke titik lain dalam satu waktu.

Tabel 1. Standar *Throughput*

Kategori <i>Throughput</i>	<i>Throughput</i> (%)	Index
Sangat Bagus	100	4
Bagus	75	3
Sedang	50	2
Jelek	<25	1

Sumber : [12]

b. *Packet Loss*

Packet Loss atau kehilangan paket merupakan banyaknya paket yang gagal mencapai tempat tujuan paket itu dikirimkan.

Tabel 2. Standar *Packet Loss*

Kategori Degradasi	<i>Packet Loss</i> (%)	Index
Sangat Bagus	0	4
Bagus	3	3
Sedang	15	2
Jelek	25	1

Sumber : [12]

c. *Delay*

Delay adalah waktu penundaan atau lama waktu yang diperlukan untuk mengirim paket data dari sumber ke tujuan melalui jaringan.

Tabel 3. Standar *Delay*

Kategori Latency	Besaran <i>Delay</i> (ms)	Index
Sangat Bagus	> 150	4
Bagus	150 s/d 300 ms	3
Sedang	300 s/d 450 ms	2
Jelek	> 450 ms	1

Sumber : [12]

d. *Jitter*

Jitter atau disebut latensi, adalah penundaan yang terjadi ketika paket data dialihkan di antara koneksi jaringan.

Tabel 4. Standar *Jitter*

Kategori	Peak <i>Jitter</i> (ms)	Index
Sangat Bagus	0	4
Bagus	0 s/d 75	3
Sedang	75 s/d 125	2
Jelek	125 s/d 225	1

Sumber : [12]

e. *Quality of Service*

Data QoS yang diperoleh dari hasil pengukuran parameter seperti *throughput*, *packet loss*, *delay*, dan *jitter* memakai perangkat lunak *Wireshark*. Diperoleh nilai *index* dari tiap-tiap parameter, setelah itu akan dilakukan penghitungan QoS yang akan menentukan kualitas jaringan. Dihitung memakai rumus berikut, dan hasilnya menyesuaikan standar QoS yang ada pada tabel.

$$\frac{\text{Jumlah index QoS yang didapat}}{\text{Jumlah Index maksimum QoS}} \times 100\% \quad (1)$$

Tabel 5. Standar QoS

Kategori	Presentase (%)	Index
Sangat Memuaskan	95 - 100	4
Memuaskan	75 - 94,75	3
Kurang Memuaskan	50 - 74,75	2
Jelek	25 - 49,75	1

3. HASIL DAN ANALISIS

Penelitian ini berfokus pada jaringan kabel dan nirkabel di SMK PGRI Kromengan, menggunakan metodologi *Action Research* untuk meningkatkan kualitas jaringan berdasarkan parameter QoS (Quality of Service) serupa throughput, packet loss, delay, serta jitter. Pada tahap awal, peneliti mengidentifikasi masalah utama QoS melalui konsultasi dengan pemangku kepentingan dan analisis data, menemukan masalah pada *throughput*, *packet loss*, *delay*, dan *jitter*. Pemantauan jaringan dilakukan dari 7 Agustus hingga 9 September 2023, setiap Senin hingga Sabtu pukul 09.00-09.20 di seluruh ruangan dengan koneksi internet.

Hari/Tgl	Ruangan	Waktu (WIB)
Senin, 7/8/2023 s/d Sabtu, 12/8/2023	Kelas 12 TKJ & TKR	09.00 – 09.20 WIB
Senin, 14/8/2023 s/d Sabtu 19/8/2023	Kelas 11 TKJ & TKR	09.00 – 09.20 WIB
Senin, 21/8/2023 s/d Sabtu 26/8/2023	Kelas 10 TKJ & TKR	09.00 – 09.20 WIB
Senin, 28/8/2023 s/d Sabtu, 2/9/2023	Ruang Guru	09.00 – 09.20 WIB
Senin, 4/9/2023 s/d Sabtu, 9/9/2023	Ruang Perbaikan Komputer & LabKom (Wired)	09.00 – 09.20 WIB

Gambar 1. Jadwal Pengukuran

Data dikumpulkan menggunakan perangkat lunak *Wireshark*, dengan fokus pada parameter QoS. Pelaksanaan tindakan dilakukan dengan pengukuran langsung terhadap jaringan menggunakan sistem monitoring QoS dengan alat *Wireshark*. Langkah-langkah meliputi penetapan kriteria QoS, identifikasi parameter yang relevan seperti *throughput*, *packet loss*, *delay*, dan *jitter*, serta pemilihan alat dan bahan yang tepat untuk pengukuran. Data yang diperoleh dari pengukuran tersebut kemudian dianalisis untuk memahami performa jaringan secara mendalam.

3.1 Analisis Jaringan Wireless

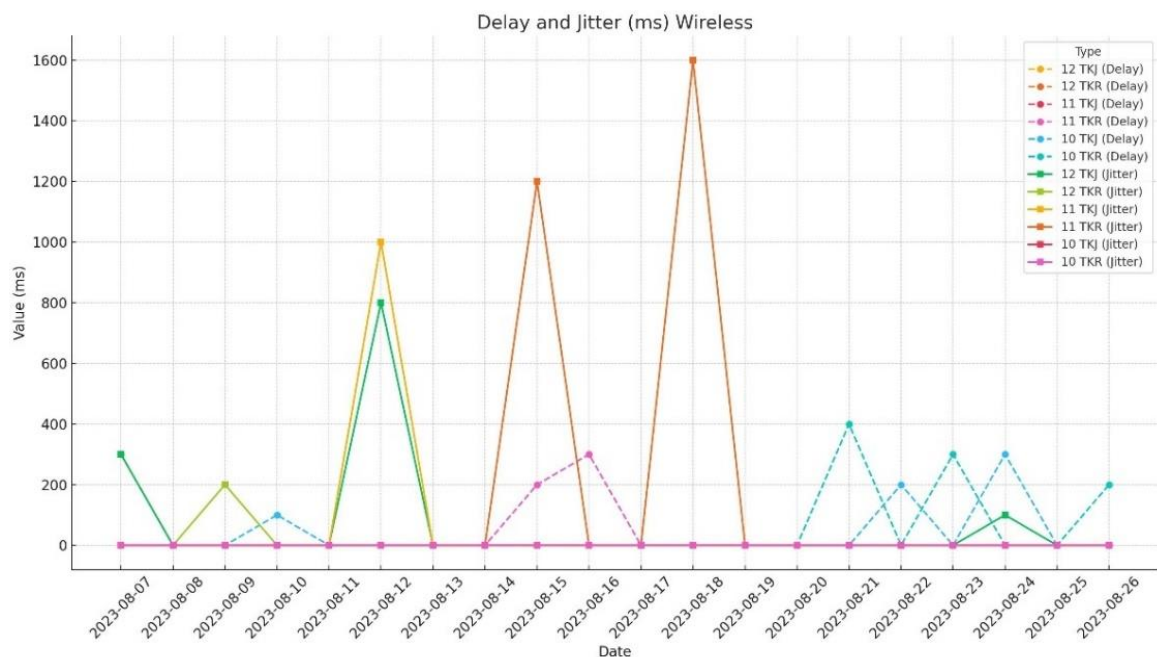
a. *Throughput & Packet Loss (%)*

Grafik ini menunjukkan persentase *packet loss* dan *throughput* untuk jaringan nirkabel di berbagai kelas dari tanggal 7 Agustus 2023 hingga 26 Agustus 2023. *Packet loss* tertinggi sekitar 10% terjadi pada tanggal 15 hingga 16 Agustus untuk 11 TKR. Variasi *throughput* signifikan pada beberapa kelas, dengan puncak *throughput* terjadi pada 11 TKR pada tanggal 15 Agustus.



Gambar 2. Grafik Perolehan Troughput & Packet Loss Wireless

b. Delay & Jitter (ms)

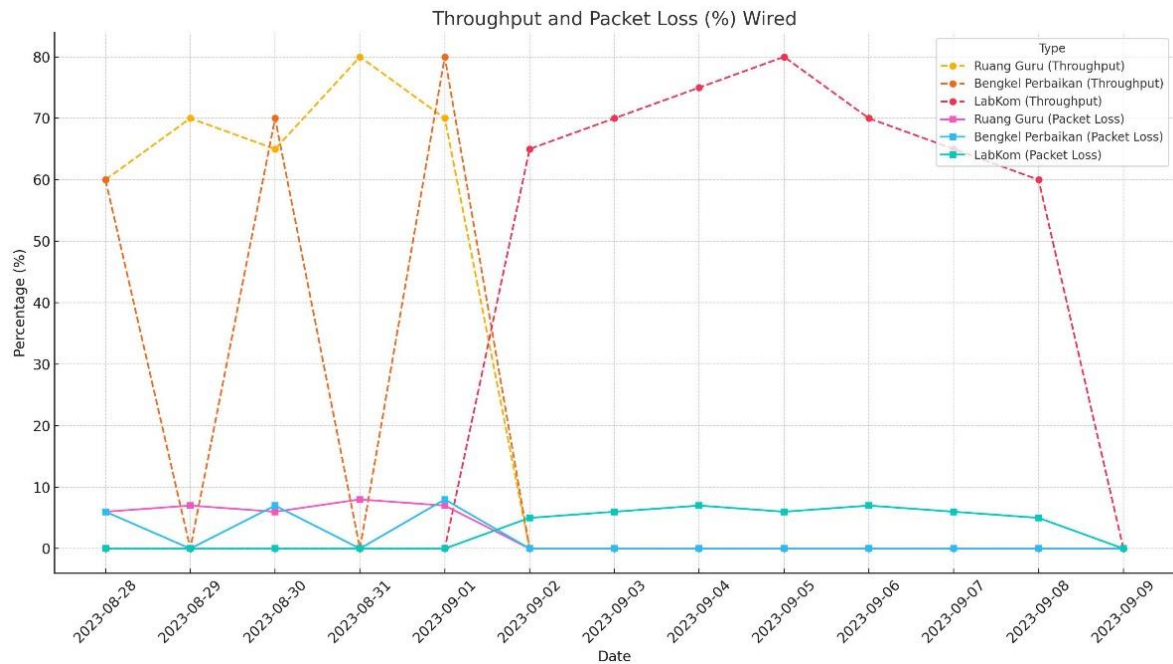


Gambar 3. Grafik Perolehan Delay & Jitter Wireless

Grafik ini menunjukkan variasi *delay* dan *jitter* dalam milidetik (ms) untuk jaringan nirkabel di berbagai kelas dari tanggal 7 Agustus 2023 hingga 26 Agustus 2023. Puncak *delay* terjadi pada tanggal 15 hingga 18 Agustus untuk 11 TKR dan 10 TKR. Variasi *jitter* yang lebih rendah dibandingkan *delay*, ditunjukkan dengan garis solid dan kotak.

3.2 Analisis Jaringan Wired

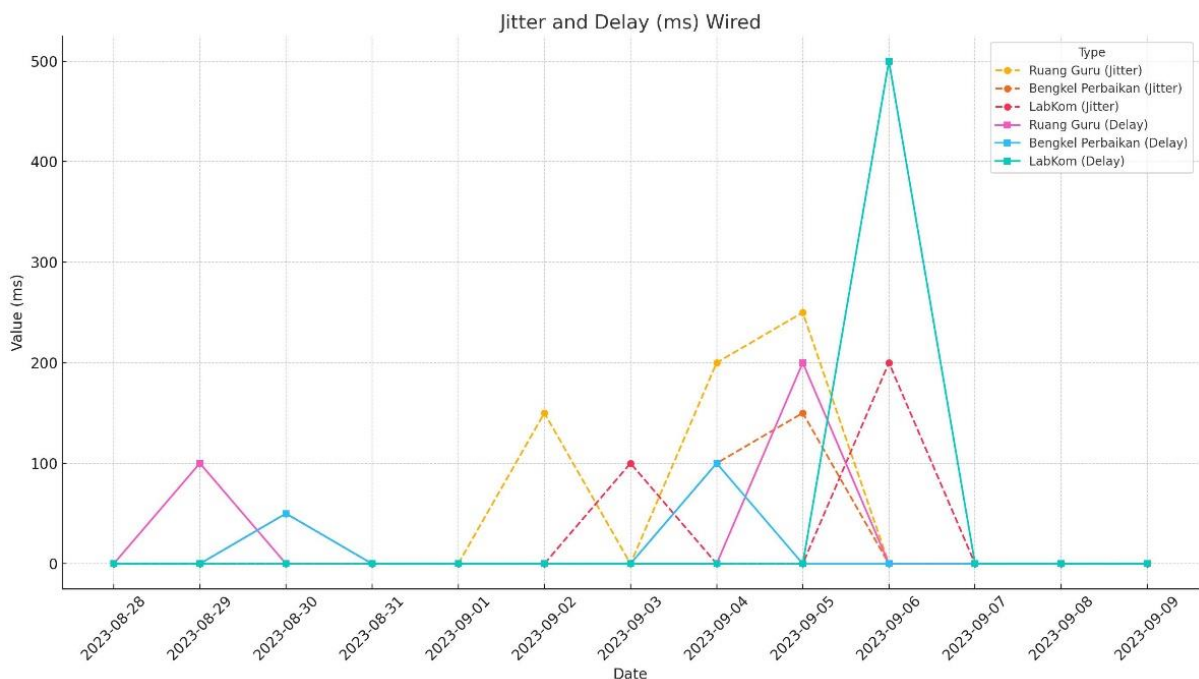
a. Throughput & Packet Loss (%)



Gambar 4. Grafik Perolehan *Throughput* & *Packet Loss* Wired

Grafik ini menunjukkan persentase *throughput* dan *packet loss* untuk jaringan berkabel di Ruang Guru, Bengkel Perbaikan, dan LabKom dari tanggal 28 Agustus 2023 hingga 9 September 2023. *Throughput* tertinggi mencapai 80% terjadi pada beberapa titik waktu untuk Ruang Guru dan Bengkel Perbaikan. *Packet loss* tertinggi sekitar 8% untuk Ruang Guru dan Bengkel Perbaikan pada awal periode.

b. Delay & Jitter (ms)



Gambar 5. Grafik Perolehan *Jitter* & *Delay* Wired

Grafik ini menunjukkan variasi *jitter* dan *delay* dalam milidetik (ms) untuk jaringan berkabel di Ruang Guru, Bengkel Perbaikan, dan LabKom dari tanggal 28 Agustus 2023 hingga 9 September 2023. Variasi *jitter* yang signifikan terjadi pada tanggal 2 hingga 5 September, sedangkan puncak *delay* terjadi di LabKom pada tanggal 5 September dengan nilai mencapai 500 ms.

3.3 Rekapitulasi Hasil

Tabel 6. Rekapitulasi Jaringan Wireless

No	Access Point	Presentase (%)	Kategori
1	R-12TKJ	50	Kurang Memuaskan
2	R-12TKR	75	Memuaskan
3	R-11TKJ	56,25	Kurang Memuaskan
4	R-11TKR	50	Kurang Memuaskan
5	R-10TKJ	43,75	Kurang Memuaskan
6	R-10TKR	50	Kurang Memuaskan
Hasil		54	Kurang Memuaskan

Berdasarkan hasil analisis *Quality of Service* jaringan WLAN di SMK PGRI Kromengan, khususnya pada masing-masing ruangan, terdapat variasi kategori yang perlu diperhatikan. Ruangan R-12TKR mencapai *presentase* 75%, diklasifikasikan sebagai kategori Memuaskan. Sementara itu, R-11TKJ, R-11TKR, R-10TKR. Ruangan R-12TKJ dan R-10TKJ memiliki *presentase* masing-masing sebesar 50% dan 43,75%, juga dikategorikan sebagai Kurang Memuaskan. Secara rata-rata, kualitas jaringan WLAN di SMK PGRI Kromengan mencapai 54%, yang masih berada dalam kategori "**Kurang Memuaskan**".

Tabel 6. Rekapitulasi Jaringan Wired

No	Ruangan	Presentase (%)	Kategori
1	Bengkel Perbaikan	68,75	Kurang Memuaskan
2	Lab Komputer	81,25	Memuaskan
3	Ruang Guru	68,75	Kurang Memuaskan
Hasil		72	Kurang Memuaskan

Berdasarkan tabel rekapitulasi hasil analisis QoS jaringan *wired*, Bengkel Perbaikan Komputer dan Ruang Guru memiliki *presentase* QoS yang sama, yaitu 68,75%, dan keduanya dikategorikan sebagai "Kurang Memuaskan", menunjukkan bahwa performa jaringan di kedua ruangan ini perlu ditingkatkan. Sebaliknya, Lab Komputer menunjukkan performa yang lebih baik dengan QoS sebesar 81,25%, dikategorikan sebagai "Memuaskan", yang berarti jaringan di lab ini sudah memenuhi kebutuhan pengguna dengan baik. Secara keseluruhan, rata-rata QoS dari ketiga ruangan adalah 72%, yang masih berada dalam kategori "**Kurang Memuaskan**",

3.4 Rekomendasi

Untuk meningkatkan kualitas jaringan, penting melakukan pengujian pada berbagai kondisi dan memakai metode serta alat yang tepat. Hasil pengujian harus dapat diandalkan dan sesuai dengan tujuan serta lingkup analisis. [13], [14] Berikut rekomendasi untuk mengatasi parameter QoS yang tidak sesuai:

a. Throughput Buruk

Upgrade paket *internet*, gunakan *load balancing* atau *bonding*, dan batasi *bandwidth* pengguna jika terjadi kepadatan jaringan.

b. Packet Loss Tinggi

Prioritaskan lalu lintas penting dengan pengaturan *bandwidth* yang tepat, periksa kekuatan dan stabilitas sinyal, atur daya transmisi atau kanal frekuensi, dan gunakan *fasttrack* pada *MikroTik*.

c. Delay atau Latensi Tinggi

Implementasikan QoS, gunakan *Traffic Shaper*, dan terapkan *queue type CoDel* untuk mengurangi latensi.

d. Jitter Tinggi

Gunakan *Traffic Shaper* pada *MikroTik* untuk mengatur dan membatasi lalu lintas jaringan sesuai kapasitas yang tersedia.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Identifikasi masalah utama dilakukan melalui survei pengguna dan pengukuran teknis yang menunjukkan masalah seperti rendahnya kecepatan transfer data, ketidakstabilan koneksi, dan kesulitan mengakses jaringan, dengan faktor utama berupa kemacetan jaringan, interferensi sinyal, dan hambatan fisik. Analisis QoS melibatkan pemantauan parameter kinerja seperti *throughput*, *delay*, *jitter*, serta *packet loss*, yang menampilkan variasi signifikan dalam *delay* dan *jitter* selama jam puncak, serta *packet loss* pada waktu tertentu. Untuk meningkatkan kualitas jaringan, disarankan untuk meningkatkan infrastruktur dan bandwidth, menempatkan *access point* secara strategis, serta menerapkan manajemen jaringan seperti *load balancing* dan QoS *prioritization*.

4.2 Saran

Untuk meningkatkan kualitas jaringan, disarankan untuk meningkatkan infrastruktur dan *bandwidth*, menempatkan *access point* secara strategis, serta menerapkan teknik manajemen jaringan seperti *load balancing* dan QoS *prioritization*. Pemantauan dan perawatan rutin sangat penting untuk menjaga kinerja jaringan tetap optimal dan mencegah masalah di masa depan. Implementasi langkah-langkah ini diharapkan dapat menciptakan lingkungan pembelajaran yang lebih baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada SMK PGRI Kromengan atas dukungan dan kerjasamanya selama proses riset ini.

REFERENSI

- [1] R. Nindyasari, A. C. Murti, and M. I. Ghazali, "ANALISIS QoS (Quality of Service) JARINGAN UNBK DENGAN MENGGUNAKAN MICROTIC ROUTER (Studi Kasus: Jaringan UNBK SMAN 1 Jakenan Pati)," 2019.
- [2] S. Wisnu Pamungkas and E. Pramono, "Analisis Quality of Service (QoS) Pada Jaringan Hotspot SMA Negeri XYZ," 2018.
- [3] I. Suryani, L. Lindawati, and I. Salamah, "Analisa QOS (Quality Of Service) Jaringan Internet Di Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya," *IT JOURNAL RESEARCH AND DEVELOPMENT*, vol. 3, no. 1, pp. 32–42, Aug. 2018, doi: 10.25299/itjrd.2018.vol3(1).1846.
- [4] G. V. Kazenas, "Wireshark: больше плюсов чем минусов," in *Languages in professional communication*, 2020, pp. 533–537.
- [5] A. A. Muharram, "Analisis Quality Of Service Jaringan Wireless Virtual Local Area Network Pada UIN Syarif Hidayatullah Jakarta," 2021, [Online]. Available: [https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/handle/123456789/56366%0Ahttps://repository.uinjkt.ac.id/dspace/bitstream/123456789/56366/1/ABDUL AZIZ MUHARRAM-FST.pdf](https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/handle/123456789/56366%0Ahttps://repository.uinjkt.ac.id/dspace/bitstream/123456789/56366/1/ABDUL%20AZIZ%20MUHARRAM-FST.pdf)
- [6] I. Putra, M. S. Indradewi, and L. Jasa, "Analisis Quality of Service Pada Jaringan Komputer," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 20, no. 1, pp. 95–102, 2021.
- [7] M. Purwahid and J. Triloka, "Analisis Quality of Service (QOS) Jaringan Internet Untuk Mendukung Rencana Strategis Infrastruktur Jaringan Komputer Di SMK N I Sukadana," 2019.
- [8] I. Juarsa and Hutrianto, "Evaluasi Kualitas Jaringan Internet Pada Kantor Subdit III Jatanras Polda Sumatera Selatan Menggunakan Metode Action Research," *Journal of Information Technology Ampera*, vol. 4, no. 1, pp. 57–67, 2023.
- [9] I. Kadek, S. Satwika, and M. Sukafona, "Analisis Quality Of Service Jaringan Virtual Private Network (VPN) di STMIK STIKOM Indonesia," 2019.
- [10] M. Ryan Kamil, F. Arzalega, and A. Sani, "JBPI-Jurnal Bidang Penelitian Informatika Ciptaan disebarluaskan di bawah Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional Analisis Kualitas Layanan Jaringan Internet Wifi PT.XYZ dengan Metode QoS (Quality of Service)," pp. 77–88, 2023, [Online]. Available: <https://ejournal.kreatifcemerlang.id/index.php/jbpi>
- [11] H. Adi Saputra and G. Mahendra Saputra, "Analisis QOS Jaringan 4G Dengan Menggunakan Aplikasi Wireshark (Studi Kasus: Tepian Samarinda, Taman Samarinda, dan Taman Cerdas) Pohny," *Prosiding Seminar Nasional Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi*, vol. 5, no. 1, 2020.

- [12] ETSI, "Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks (TIPHON); General aspects of Quality of Service (QoS)," 1999. [Online]. Available: <http://www.etsi.org>
- [13] M. Z. Chowdhury, M. T. Hossan, M. K. Hasan, and Y. M. Jang, "Integrated RF/Optical Wireless Networks for Improving QoS in Indoor and Transportation Applications," *Wirel Pers Commun*, vol. 107, no. 3, pp. 1401–1430, 2019, doi: 10.1007/s11277-018-5971-3.
- [14] S. Wang, H. Deng, R. Xiong, G. Liu, Y. Liu, and H. Liu, "A multi-objective model-based vertical handoff algorithm for heterogeneous wireless networks," *EURASIP J Wirel Commun Netw*, vol. 2021, no. 1, 2021, doi: 10.1186/s13638-021-01952-0.