

Implementasi *Wireless Backhaul* antar Gedung menggunakan *Ubiquiti 5AC Gen2* dan *MikroTik*

Implementation of Inter-Building Wireless Backhaul using Ubiquiti 5AC Gen2 and MikroTik

¹Hashfi Adha Fadhillah*, ²Ichwan Nul Ichsan

^{1,2}Sistem Telekomunikasi, Kampus Daerah Purwakarta, Universitas Pendidikan Indonesia

^{1,2}Jl. Veteran No. 8, Kabupaten Purwakarta, Jawa Barat, Indonesia

*e-mail: hash6677@upi.edu

(received: 30 January 2026, revised: 10 February 2026, accepted: 14 February 2026)

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan dan mengevaluasi kinerja jaringan *wireless backhaul* antar gedung menggunakan perangkat *Ubiquiti LiteBeam 5AC Gen2* yang terintegrasi dengan *router MikroTik* sebagai solusi distribusi internet tanpa penambahan layanan ISP baru. Latar belakang penelitian didasarkan pada meningkatnya kebutuhan konektivitas jaringan berkecepatan tinggi dan andal antar gedung, sementara implementasi jaringan berbasis kabel memiliki keterbatasan dari segi biaya dan fleksibilitas instalasi. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan eksperimental dengan analisis deskriptif kuantitatif melalui pengukuran langsung parameter *Quality of Service (QoS)*, meliputi *throughput*, *delay*, dan *jitter*. Pengujian dilakukan pada tiga skenario, yaitu *link wireless backhaul* secara langsung, jaringan *WiFi* lantai 1, dan jaringan *WiFi* lantai 2 pada gedung wisma. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *wireless backhaul* mampu menyediakan *throughput* rata-rata sebesar 87,95 Mbps untuk unduh dan 48,60 Mbps untuk unggah dengan *delay* sebesar 1,19 ms. Pada sisi jaringan akses, *throughput* yang diperoleh masih mencukupi untuk kebutuhan pengguna, meskipun terjadi peningkatan *delay* dan *jitter* seiring bertambahnya jumlah perangkat dan beban trafik. Penelitian ini menyimpulkan bahwa implementasi *wireless backhaul* berbasis IEEE 802.11ac menggunakan *Ubiquiti LiteBeam 5AC Gen2* dan *MikroTik* efektif digunakan sebagai solusi konektivitas antar gedung pada skala menengah dengan performa yang masih memenuhi kebutuhan layanan internet harian.

Kata kunci: MikroTik, QoS, ubiquiti 5AC Gen2, wireless backhaul

Abstract

This study aims to implement and evaluate the performance of an inter-building wireless backhaul network using the Ubiquiti LiteBeam 5AC Gen2 integrated with a MikroTik router as a solution for internet distribution without the need to subscribe to an additional ISP service. The study is motivated by the increasing demand for high-speed and reliable network connectivity between buildings, while wired network implementations are often limited in terms of cost and installation flexibility. The research adopts an experimental approach with descriptive quantitative analysis through direct measurement of Quality of Service (QoS) parameters, including throughput, delay, and jitter. Testing was conducted under three scenarios: a direct wireless backhaul link, a WiFi network on the first floor, and a WiFi network on the second floor of the building. The results show that the wireless backhaul provides an average throughput of 87.95 Mbps for download and 48.60 Mbps for upload, with a delay of 1.19 ms. On the access network side, the achieved throughput remains sufficient for user needs, although delay and jitter increase as the number of connected devices and traffic load grows. This study concludes that the implementation of an IEEE 802.11ac-based wireless backhaul using Ubiquiti LiteBeam 5AC Gen2 and MikroTik is effective as a medium-scale inter-building connectivity solution, delivering performance that meets typical daily internet service requirements.

Keywords: MikroTik, QoS, Ubiquiti 5AC Gen2, wireless backhaul

1 Pendahuluan

Kebutuhan akan konektivitas jaringan antar gedung yang berkecepatan tinggi dan andal terus meningkat seiring dengan pesatnya perkembangan layanan digital, sistem pembelajaran daring, serta aplikasi berbasis cloud. Implementasi jaringan berbasis kabel sering kali menghadapi keterbatasan dari segi biaya, waktu instalasi, dan fleksibilitas infrastruktur, terutama pada lingkungan yang telah terbangun. Oleh karena itu, wireless backhaul menjadi solusi alternatif yang fleksibel dan efisien untuk menghubungkan jaringan antar gedung tanpa ketergantungan pada media kabel.

Kinerja *wireless backhaul* sangat dipengaruhi oleh kualitas jaringan nirkabel serta jenis data yang ditransmisikan. Parameter performa seperti *throughput*, *delay*, *jitter*, dan *round-trip time* (RTT) merupakan indikator utama dalam mengevaluasi kualitas layanan jaringan nirkabel, khususnya pada skenario backhaul yang melayani banyak klien atau node akses [1]. Pengukuran terhadap parameter-parameter tersebut bertujuan untuk memastikan bahwa jaringan mampu memenuhi kebutuhan layanan yang berjalan di atasnya.

Dari perspektif arsitektur jaringan, pendekatan *hybrid fiber–wireless* (FiWi) menjadikan *Quality of Service* (QoS) sebagai kendala utama dalam perancangannya [2]. Keterbatasan pada *wireless backhaul*, terutama pada aspek *delay* dan *throughput*, dapat memberikan dampak yang signifikan terhadap kinerja layanan jaringan secara keseluruhan. Hal ini semakin menegaskan pentingnya pengukuran parameter QoS dalam implementasi *wireless backhaul* antar gedung.

Optimasi kinerja *backhaul* dengan menggunakan teknik beamforming telah banyak diteliti untuk mencapai transmisi dengan delay minimum pada jaringan *wireless backhaul*. Meskipun penelitian-penelitian tersebut berfokus pada pendekatan optimasi tingkat lanjut, delay tetap menjadi parameter kritis yang harus dikendalikan, terutama pada jaringan backhaul yang melayani banyak node akses. Studi mengenai kinerja *Integrated Access and Backhaul* (IAB) pada jaringan 5G dan Wi-Fi menunjukkan adanya hubungan yang erat antara desain *backhaul* dengan pencapaian *throughput* serta *latensi end-to-end* [3].

Pada implementasi skala menengah, teknologi IEEE 802.11ac *outdoor* masih banyak digunakan karena menawarkan keseimbangan antara kinerja, jangkauan, dan biaya. Perangkat *wireless point-to-point* berbasis IEEE 802.11ac mampu menyediakan *throughput* yang memadai untuk konektivitas antar gedung, dengan catatan didukung oleh perencanaan link dan konfigurasi jaringan yang tepat. Integrasi *wireless backhaul* dengan perangkat routing dan access point pada sisi penerima juga menjadi aspek penting dalam menjamin kualitas layanan bagi pengguna akhir, termasuk stabilitas koneksi dan konsistensi kinerja jaringan.

Penelitian ini berfokus pada implementasi *wireless backhaul* antar gedung menggunakan *Ubiquiti 5AC Gen2* sebagai media transmisi *point-to-point* yang diintegrasikan dengan *router MikroTik* pada sisi jaringan penerima. Evaluasi kinerja dilakukan berdasarkan kualitas sinyal, *throughput*, latensi, dan *jitter*, baik pada *link backhaul* maupun pada jaringan akses yang terhubung ke *access point*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran empiris mengenai kinerja *wireless backhaul* berbasis IEEE 802.11ac dalam skenario antar gedung.

2 Tinjauan Literatur

Kajian mengenai performa *wireless backhaul* menunjukkan bahwa parameter kualitas layanan seperti *throughput*, *delay*, dan *jitter* menjadi indikator utama dalam menilai kemampuan jaringan nirkabel dalam mendukung kebutuhan pengguna. Pemodelan dan analisis performa *wireless backhaul* menunjukkan bahwa keterbatasan kapasitas dan peningkatan latensi pada segmen *backhaul* dapat berdampak langsung terhadap kualitas layanan *end-to-end*, terutama pada jaringan dengan trafik yang dinamis dan jumlah pengguna yang relatif banyak [6]. Oleh karena itu, evaluasi performa *wireless backhaul* tidak hanya perlu dilakukan pada sisi link, tetapi juga pada jaringan akses yang terhubung setelahnya.

Perkembangan arsitektur jaringan terintegrasi, seperti *Integrated Access and Backhaul* (IAB), semakin menegaskan peran penting backhaul dalam menjaga stabilitas performa jaringan akses. Evaluasi empiris pada jaringan IAB menunjukkan bahwa desain dan kinerja backhaul memiliki pengaruh signifikan terhadap *throughput* dan latensi jaringan secara keseluruhan, khususnya pada skenario dengan banyak node akses dan pengguna aktif [3].

Temuan ini mengindikasikan bahwa backhaul tidak dapat dipandang sebagai komponen terpisah, melainkan sebagai bagian integral dari kualitas layanan jaringan akses.

Selain pendekatan arsitektural, pengujian berbasis data eksperimental juga menjadi pendekatan penting dalam kajian *wireless backhaul*. Dataset hasil pengukuran jaringan backhaul pada implementasi lapangan menunjukkan bahwa pengukuran *throughput* dan *round-trip time* (RTT) merupakan metode yang efektif untuk mengevaluasi performa jaringan nirkabel secara objektif [1]. Pendekatan eksperimental ini relevan untuk menilai performa jaringan pada kondisi nyata yang sering kali tidak sepenuhnya dapat direpresentasikan melalui simulasi atau pemodelan.

Integrasi *wireless backhaul* dengan perangkat routing dan jaringan akses juga menjadi aspek penting dalam implementasi jaringan antar gedung. *Router* berperan dalam pengelolaan trafik, pembagian *bandwidth*, dan pengendalian kualitas layanan, sedangkan *access point* bertugas mendistribusikan koneksi ke pengguna akhir. Kajian mengenai jaringan terintegrasi menunjukkan bahwa performa jaringan akses sangat dipengaruhi oleh kapasitas dan stabilitas backhaul yang digunakan, terutama pada lingkungan dengan kepadatan pengguna yang tinggi [5], [15].

3 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dan deskriptif kuantitatif. Pendekatan eksperimental dilakukan melalui implementasi langsung jaringan *wireless backhaul* antar gedung, sedangkan pendekatan deskriptif kuantitatif digunakan untuk menganalisis performa jaringan berdasarkan hasil pengukuran parameter jaringan yang diperoleh selama pengujian. Pendekatan ini digunakan karena mampu merepresentasikan kondisi operasional sebenarnya dan memberikan hasil pengukuran yang objektif terhadap kualitas layanan jaringan [4], [6].

2.1. Lokasi Penelitian

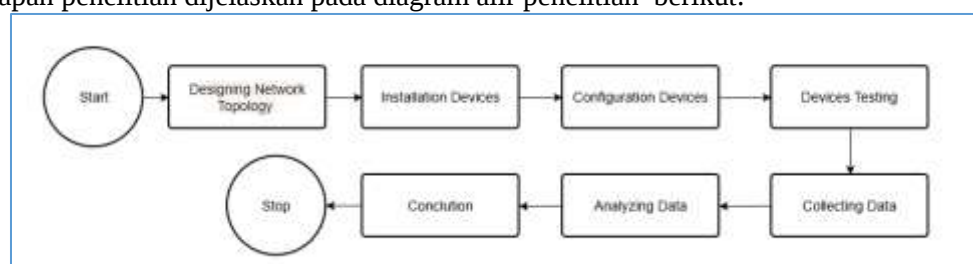
Penelitian ini dilaksanakan di bangunan yang secara fisik terpisah. Bangunan yang pertama yaitu Graha TRIAS, dan bangunan yang kedua yaitu Wisma TRIAS, kedua bangunan ini berlokasi di Kecamatan Bantar Gebang, Kabupaten Bekasi. Bangunan Graha menjadikan sumber internet yang akan dikirimkan ke Wisma dengan menggunakan perangkat *router outdoor Ubiquiti 5ac gen2*. Bangunan Wisma merupakan sebuah hunian sewa (kontrakan) memiliki 22 total kamar yang dapat muat diisi sekitar kurang lebih 30 orang. Lokasi penelitiannya berfokus di bangunan wisma karena di Wisma ini belum memiliki sistem jaringan Internet WiFi untuk penghuninya. Jarak antar kedua bangunan sekitar 100Meter. Dengan Karakteristik lingkungan hunian dengan jumlah pengguna relatif banyak dan pola trafik yang dinamis sering digunakan sebagai skenario uji performa jaringan akses dan *backhaul* karena mencerminkan kondisi penggunaan nyata [1], [7].

2.2. Objek Penelitian

Objek yang diteliti pada penelitian ini mencakup perangkat yang berada di sistem jaringan *wireless backhaul* dan juga perangkat yang berada di wisma. Pertama *Ubiquiti LiteBeam 5AC Gen2* merupakan perangkat yang digunakan untuk dijadikan *wireless backhaul* pada penelitian ini. Kedua *router MikroTik* yang mengatur sistem routing yang berada di wisma. Kemudian yang lainnya yaitu akses poin *Ruckus* yang nantinya digunakan untuk menguji jaringan yang sudah terdistribusi melalui *wireless backhaul*.

2.3. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dijelaskan pada diagram alir penelitian berikut:

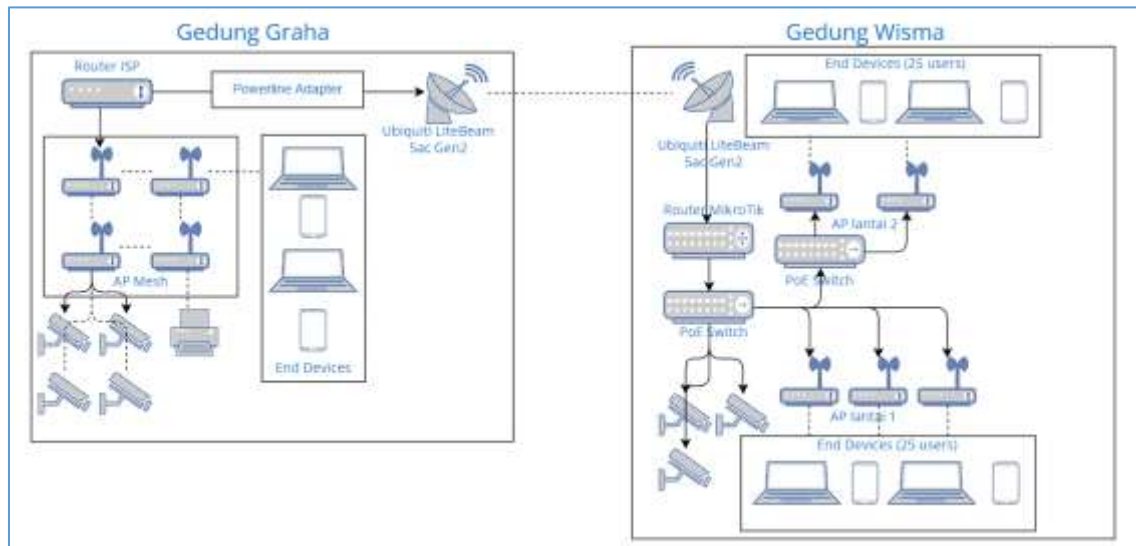


Gambar 1 Diagram alir penelitian

Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini bisa terlihat jelas pada Gambar 1 yang menampilkan diagram alir penelitian. Pada tahapan awal yaitu mendesain topologi jaringan pada gedung Graha dan juga perancangan topologi untuk gedung Wisma. Berikutnya instalasi perangkat yang dilanjutkan mengkonfigurasi perangkat. Setelah selesai mengkonfigurasi tentu saja dilakukan pengujian perangkat untuk mengumpulkan data yang nantinya akan dianalisis. Setelah selesai menganalisis data ditutup dengan memberikan kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini.

2.3.1. Desain Topologi Jaringan

Tahapan awal penelitian ini yaitu desain topologi untuk kedua gedung. Tujuan dari desain topologi ini dapat menentukan perangkat apa saja yang dibutuhkan untuk membangun jaringan internet WiFi di Wisma.



Gambar 2 Desain topologi antar dua bangunan

Pada Gambar 2, Internet berasal dari router ISP yang kemudian menggunakan perangkat powerline adapter agar dapat menghemat kabel ethernet. Dari powerline terhubung langsung dengan Ubiquiti pengirim yang terhubung secara wireless dengan penerima di Wisma. Selanjutnya dari Ubiquiti penerima dihubungkan ke router MikroTik agar nantinya dapat disebarkan kembali ke akses poin.

2.3.2. Pengujian perangkat

Pengujian dilakukan setelah proses instalasi dan konfigurasi jaringan selesai. Skenario pengujian akan dijelaskan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Skenario pengujian perangkat

Skenario pengujian	Titik Pengujian	Media Koneksi	Perangkat yang Diuji	Parameter Pengujian
Pengujian wireless backhaul (langsung)	Router Outdoor (Rx) – Gedung Wisma	Wireless	Ubiquiti LiteBeam 5AC Gen2	Throughput, Delay, Jitter
Pengujian jaringan WiFi lantai 1	Access Point Ruckus Lantai 1	Wireless	AP Ruckus	Throughput, Delay, Jitter
Pengujian jaringan WiFi lantai 2	Access Point Ruckus Lantai 2	Wireless	AP Ruckus	Throughput, Delay, Jitter

Pada Tabel 1 tersebut memberi detail skenario yang akan dilakukan untuk pengujian perangkat. Pada skenario yang pertama berarti pengujian dilakukan dengan menghubungkan laptop atau handphone langsung dengan kabel LAN ke Ubiquiti yang berada di Wisma. Pada skenario kedua dilakukan pengujian dilantai 1 Wisma dengan menghubungkan handphone atau laptop ke akses poin

yang berada di lantai 1. Selanjutnya dilakukan pengujian di lantai 2 dengan menghubungkan handphone atau laptop ke akses poin yang berada di lantai 2.

2.3.3. Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Data pengujian dikumpulkan melalui pengukuran langsung pada jaringan yang telah diimplementasikan. Hasil pengukuran dicatat dan dianalisis secara kuantitatif untuk membandingkan performa jaringan pada kedua skenario pengujian.

Analisis dilakukan dengan membandingkan nilai *throughput*, *delay*, dan *jitter* untuk menilai dampak penggunaan wireless backhaul serta distribusi jaringan melalui router MikroTik dan access point Ruckus di gedung wisma.

Pendekatan analisis komparatif ini banyak digunakan dalam evaluasi jaringan backhaul untuk menilai efektivitas desain dan implementasi jaringan pada kondisi nyata [3], [8].

4 Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini menampilkan data kuantitatif yang didapatkan dari hasil pengujian, data yang didapatkan tersebut kemudian akan dibahas pada bagian ini juga. Memiliki target utama untuk memastikan performa Ubiquiti LiteBeam 5AC Gen2 jika dijadikan wireless backhaul untuk menyediakan layanan Internet tanpa perlu menambahkan ISP baru itu sudah cukup efektif.

3.1. Hasil Penelitian

Pada bagian ini menampilkan data kuantitatif yang berasal dari hasil pengujian terhadap perangkat yang menjadi objek penelitian. Tujuan melakukan pengujian perangkat ini ingin melihat seberapa bagus performa perangkat Ubiquiti LiteBeam 5ac gen2 dijadikan wireless backhaul untuk menyediakan layanan Internet di bangunan wisma.

3.2.1. Pengujian pada Ubiquiti

Pada pengujian Ubiquiti ini dilakukan langsung melalui IP lokal ketika menghubungkan WiFi kontrol yang disediakan oleh perangkat langsung.



Gambar 3 Speedtest perangkat ubiquiti

Gambar 3 merupakan hasil pengujian perangkat *Ubiquiti* dengan melakukan *speed test* ke perangkat *Ubiquiti* pengirim (Tx). Bisa dilihat kalau dari throughput yang dihasilkan bisa kecepatan Tx (Download) mencapai 110Mbps pada awal namun kemudian turun ke sekitar 80 sampai 90 dan kecepatan Rx (Upload) hanya mendapatkan rata-rata 48.60Mbps, tetapi ping atau delaynya dapat di 1.19ms. Kalau diperhatikan juga terdapat *packet loss* beberapa kali.

3.2.2. Pengujian pada akses poin di Wisma

Pada bagian ini pengujiannya dilakukan dengan menghubungkan perangkat *handphone* atau laptop ke akses poin di tiap lantai. Terkait hasil dari pengujiannya dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5 berikut.



Gambar 4 Speedtest akses poin lantai 1



Gambar 5 Speedtest akses poin lantai 2

Gambar 4 dan 5 merupakan hasil pengujian yang dilakukan dengan cara terhubung ke akses poin pada lantai 1 dan lantai 2 mendapatkan hasil yang tidak terlalu beda secara latensi nya, untuk *throughput* terdapat perbedaan pada Uploadnya yakni berbeda 10Mbps dan packet loss nya disini lebih kecil <1%. Sedangkan nilai jitter sekitar 10-13ms yang mungkin bisa lebih atau kurang dari nilai tersebut.

Berdasarkan *throughput* yang didapat pada pengujian ini, terbilang masih cukup untuk melayani kebutuhan akses internet pengguna wisma.

3.2.3. Pengujian pada router di Graha

Pengujian ini dilakukan untuk menjadi perbandingan kecepatan di gedung graha dan gedung wisma. Dengan begitu bisa menilai efektivitas penggunaan wireless backhaul untuk kasus yang sama.



Gambar 6 Speedtest router graha

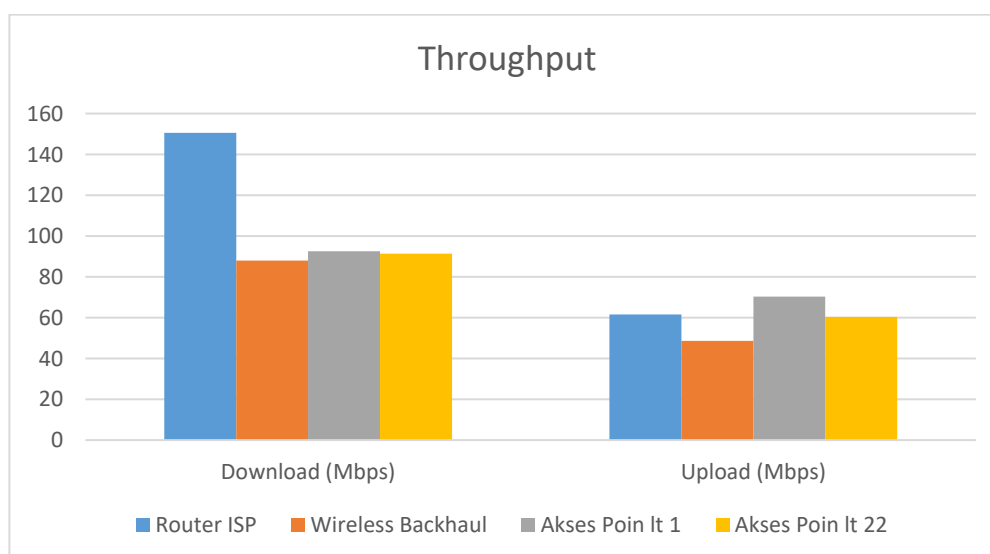
Dapat dilihat pada Gambar 6, throughput yang didapat dari hasil pengujian pada router ISP di graha. Jika membandingkan dengan hasil data yang didapat pada perangkat yang di wisma, terdapat penurunan yang lumayan besar kurang lebih 40% dari hasil berikut.

3.2. Perbandingan Performansi antar Skenario Pengujian

Untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif, dilakukan perbandingan performa jaringan antar seluruh skenario pengujian, mulai dari perangkat wireless backhaul, jaringan WiFi di Wisma dan juga router di Graha.

Tabel 2 Perbandingan performa

Variabel	Router Graha	ISP	Perangkat Wireless Backhaul	Akses poin lantai 1	Akses poin lantai 2
Throughput (Download / Upload) Mbps	150.60 / 61.51	87.95 / 48.60	92.54 / 70.29	91.42 / 60.34	
Delay	8 ms	1.19 ms	14 ms	14 ms	
Jitter	13 ms	-	10 ms	13 ms	



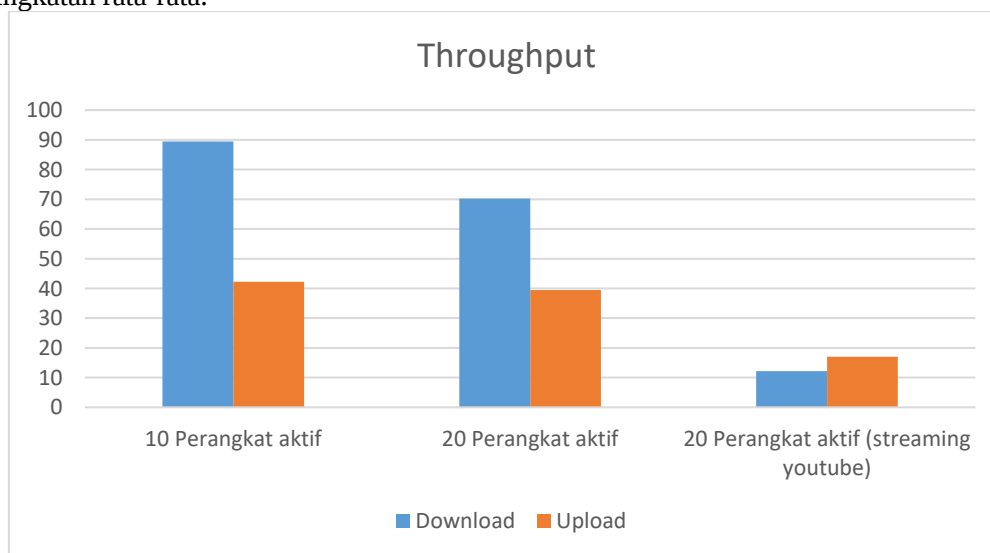
Gambar 7 Grafik throughput

Tabel 2 merupakan data perbandingan dari hasil pengujian yang dilakukan pada 4 tempat yang berbeda. Pertama dilakukan pada router ISP graha, kedua pada *wireless backhaul*, ketiga dan keempat Akses poin pada lantai 1 dan 2 di wisma. Jika dilihat dari data tersebut, untuk throughput memang

<http://sistemasi.ftik.unisi.ac.id>

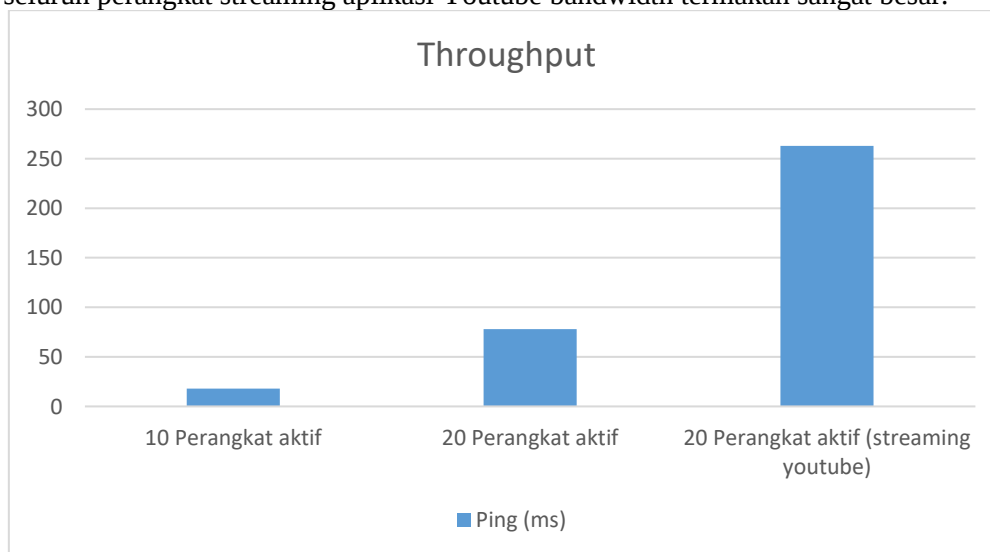
terdapat penurunan yang sangat besar setelah melewati perangkat Ubiquiti ini, tetapi hasil yang didapatkan di wisma tidak jauh beda dari hasil yang dari *wireless backhaul*. Kalau dari delay pada pengujian perangkat *wireless backhaul* dilakukan dengan cara *speed test* ke perangkat pengirim, alhasil mendapatkan ping atau delay yang lebih rendah. Untuk di akses poin memiliki delay lebih tinggi, dikarenakan pengujiannya di dalam ruangan atau di dalam kamar secara *wireless*, dan kalau yang dari router ISP dilakukan diruangan yang sama dengan perangkat secara *wireless*. Untuk jitter untuk yang *wireless backhaul* ditulis strip karena pengujiannya dilakukan pada web base nya yang tidak diberikan detail mengenai jitter tersebut.

Penurunan Throughput terlihat sangat jelas jika melihat Gambar 7, penurunan langsung terasa bahkan dari perangkat *wireless backhaul* nya. Tetapi ketika percobaan pada akses poin mengalami peningkatan rata-rata.



Gambar 8 Grafik throughput berdasarkan jumlah perangkat

Gambar 8 merupakan grafik hasil pengujian ketika akses poin di wisma dihubungkan dengan banyak perangkat dengan beban streaming Youtube. Terlihat penurunan troughput sangat besar, tetapi jika seluruh perangkat streaming aplikasi Youtube bandwidth termakan sangat besar.



Gambar 9 Grafik delay berdasarkan jumlah perangkat

Dapat dilihat sebuah grafik pada Gambar 9, terlihat kenaikan ping yang sangat signifikan ketika mencoba jaringan internet dibebankan dengan cukup banyak. Dengan melihat kenaikan ping sebesar itu sudah pasti ketika sedang melakukan zoom meeting, video call, streaming video atau kegiatan internet sehari-hari akan terasa sangat mengganggu, karena kualitas gambar dan audio sudah pasti terasa patah-patah.

5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa wireless backhaul antar gedung menggunakan *Ubiquiti LiteBeam 5AC Gen2* yang diintegrasikan dengan *router MikroTik* mampu menyediakan layanan internet secara efektif tanpa memerlukan penambahan infrastruktur kabel maupun layanan ISP baru. Hasil pengukuran parameter kualitas layanan menunjukkan bahwa link backhaul memiliki nilai delay yang rendah serta *throughput* yang relatif tinggi, sehingga layak dimanfaatkan sebagai media distribusi jaringan antar gedung pada jarak menengah. Meskipun terjadi penurunan *throughput* dibandingkan dengan koneksi langsung dari router ISP di gedung sumber, performa jaringan yang diterima di gedung wisma masih berada pada tingkat yang memadai untuk mendukung kebutuhan akses internet pengguna. Di sisi lain, peningkatan jumlah perangkat dan beban trafik, terutama aktivitas streaming video, terbukti memberikan dampak terhadap kenaikan delay dan penurunan *throughput* yang berpotensi memengaruhi layanan real-time seperti konferensi video dan panggilan suara berbasis internet. Temuan ini menunjukkan bahwa pengembangan lebih lanjut, seperti penerapan manajemen *bandwidth*, optimasi konfigurasi QoS pada *router MikroTik*, serta evaluasi penggunaan teknologi *wireless* dengan standar yang lebih tinggi, diperlukan untuk meningkatkan stabilitas dan kualitas layanan jaringan pada kondisi trafik yang padat.

Referensi

- [1] T. Ferreira *et al.*, “Experimental mmWave WiGig-based Backhaul Network Dataset,” *Data in Brief*, Vol. 52, p. 109954, Feb. 2024, DOI: 10.1016/j.dib.2023.109954.
- [2] C. He, R. Wang, D. Wu, H. Zhang, and Z. Tan, “QoS-Aware Hybrid Cloudlet Placement Over Joint Fiber and Wireless Backhaul Access Network,” *Optical Switching and Networking*, Vol. 45, p. 100678, Sep. 2022, DOI: 10.1016/j.osn.2022.100678.
- [3] M. Khadmaoui-Bichouna, J. M. Alcaraz-Calero, and Q. Wang, “Empirical Evaluation of 5G and Wi-Fi Mesh Interworking for Integrated Access and Backhaul Networking Paradigm,” *Computer Communications*, Vol. 209, pp. 429–443, Sep. 2023, DOI: 10.1016/j.comcom.2023.07.007.
- [4] M. Mackay, A. Raschella, and O. Toma, “Modelling and Analysis of Performance Characteristics in a 60 Ghz 802.11ad Wireless Mesh Backhaul Network for an Urban 5G Deployment,” *Future Internet*, Vol. 14, No. 2, p. 34, Jan. 2022, DOI: 10.3390/fi14020034.
- [5] E. Oughton, G. Geraci, M. Polese, V. Shah, D. Bubley, and S. Blue, “Reviewing Wireless Broadband Technologies in the Peak Smartphone Era: 6G Versus Wi-Fi 7 and 8,” *Telecommunications Policy*, Vol. 48, No. 6, p. 102766, Jul. 2024, DOI: 10.1016/j.telpol.2024.102766.
- [6] G. Gemmi, L. Cerda-Alabern, and L. Maccari, “A Realistic Open-Data-based Cost Model for Wireless Backhaul Networks in Rural Areas,” in *2022 18th International Conference on Network and Service Management (CNSM)*, Thessaloniki, Greece: IEEE, Oct. 2022, pp. 55–63. DOI: 10.23919/CNSM55787.2022.9964562.
- [7] L. Liu, C. Hua, J. Yu, and J. Xu, “Joint Beamforming for Delay Optimal Transmission in Cache-Enabled Wireless Backhaul Networks,” *Journal of Communications and Information Networks*, Vol. 8, No. 2, pp. 141–154, Jun. 2023, DOI: 10.23919/JCIN.2023.10173730.
- [8] R. Liao, B. Bellalta, J. Barcelo, V. Valls, and M. Oliver, “Performance Analysis of IEEE 802.11ac Wireless Backhaul Networks in Saturated Conditions,” *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, Vol. 2013, Sep. 2013, DOI: 10.1186/1687-1499-2013-226.
- [9] R. G. Alavicheh, S. M. Razavizadeh, and H. Yanikomeroglu, “Integrated Access and Backhaul (IAB) in Low Altitude Platforms,” *IEEE Open Journal of the Communications Society*, Vol. PP, pp. 1–1, Jul. 2024, DOI: 10.1109/OJCOMS.2024.3435870.
- [10] M. Hourston, D. Waltrick, S. Blight, A. Denham, A. Hesp, and S. Taylor, *Developing Novel Remote Camera Approaches to Assess and Monitor the Population Status of Australian Sea Lions*. North Beach, Western Australia: Fisheries Research Division, Western Australian Fisheries and Marine Research Laboratories, 2022.
- [11] M. Yu, Y. Pi, A. Tang, and X. Wang, “Coordinated Parallel Resource Allocation for Integrated Access and Backhaul Networks,” *Computer Networks*, Vol. 222, p. 109533, 2023, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2022.109533>.

- [12]C. Huang, A. Tang, B. Zhai, and X. Wang, “*Physical Layer Forwarding for 5G Multi-Hop Backhaul Networks*,” *Computer Networks*, Vol. 207, p. 108830, Apr. 2022, DOI: 10.1016/j.comnet.2022.108830.
- [13]Ubiquiti Inc, “*LiteBeam 5AC Gen2 Datasheet*.” 2019.
- [14]J. Rarugal and N. L. Sermona, “*Development and Evaluation of Remote Learning Management System using Intranet Network for Hinterland Schools*,” *Procedia Computer Science*, Vol. 234, pp. 1633–1641, Jan. 2024, DOI: 10.1016/j.procs.2024.03.167.
- [15]M. Sheng, Y. Zhang, J. Liu, Z. Xie, T. Q. S. Quek, and J. Li, “*Enabling Integrated Access and Backhaul in Dynamic Aerial-Terrestrial Networks for Coverage Enhancement*,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 23, No. 8, pp. 9072–9084, Aug. 2024, DOI: 10.1109/TWC.2024.3358296.
- [16]H. J. S. Carranza, C. M. F. Roman, A. S. A. Sanchez, D. H. C.Villacrés, and P. M. A. Wong Wong, “*Data Loss Study in Zonal Systems and Servers in a Shopping Center Parking Lot*,” *INGENIO*, Vol. 8, No. 2, pp. 157–166, Jul. 2025, DOI: 10.29166/ingenio.v8i2.7301.