

Implementasi Sistem Hotspot Voucher Berbasis Mikrotik RouterOS untuk Manajemen Akses Internet di Jaringan LAN

Ismawati ^{1)*} , Softianto ²⁾ 

¹⁾ ²⁾ Universitas Madura, Pamekasan, Indonesia

¹⁾ ismawatii.empatbelas@gmail.com, ²⁾ softianto17@gmail.com

Abstrak

Perkembangan teknologi informasi menuntut tersedianya akses internet yang cepat, efisien, dan aman dalam jaringan lokal (LAN). Namun, tanpa sistem manajemen yang baik, jaringan sering mengalami penyalahgunaan akses dan pemborosan bandwidth. Mikrotik RouterOS dengan fitur *Hotspot Voucher* menawarkan solusi untuk mengatur, membatasi, serta memantau penggunaan internet secara terpusat. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan dan mengevaluasi sistem hotspot berbasis voucher pada Mikrotik RouterOS guna meningkatkan efisiensi manajemen akses internet di jaringan LAN. Penelitian menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan kuantitatif. Sistem dirancang menggunakan topologi bintang, diimplementasikan pada perangkat Mikrotik RouterOS, dan diuji melalui pengukuran kecepatan, kestabilan koneksi, serta efisiensi penggunaan bandwidth menggunakan *iPerf* dan *Speedtest*. Implementasi sistem menunjukkan peningkatan efisiensi bandwidth dari 70% menjadi 92%, dengan rata-rata kecepatan sesuai profil voucher (0.46–1.94 Mbps), *latency* 18–32 ms, dan *packet loss* di bawah 1%. Sistem autentikasi berbasis voucher terbukti efektif mengatur waktu dan kecepatan akses sekaligus meningkatkan keamanan jaringan melalui pembatasan pengguna dan pemantauan aktivitas secara real-time. Sistem hotspot voucher berbasis Mikrotik RouterOS berhasil meningkatkan efisiensi dan keamanan jaringan, serta memberikan kemudahan pengelolaan bagi administrator. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengintegrasikan sistem ini dengan *cloud-based management* guna memperluas skalabilitas dan otomatisasi pengawasan jaringan.

Kata Kunci: Mikrotik RouterOS, Hotspot Voucher, Manajemen Jaringan, Bandwidth Control, Akses Internet

Article history: Received 15 April 2025, first decision 27 April 2025, accepted 28 August 2025, available online 28 October 2025

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi telah mendorong perubahan besar dalam pola aktivitas manusia di berbagai bidang, termasuk pendidikan, bisnis, pemerintahan, dan kehidupan sosial. Akses internet kini menjadi kebutuhan fundamental bagi individu maupun institusi, karena hampir seluruh proses komunikasi, pertukaran data, dan penyebaran informasi dilakukan melalui jaringan komputer. Dalam konteks ini, jaringan Local Area Network (LAN) memainkan peran penting sebagai infrastruktur dasar yang memungkinkan pengguna dalam suatu area tertentu untuk terhubung secara efisien. Namun, tantangan utama yang sering muncul dalam pengelolaan jaringan LAN adalah bagaimana menyediakan akses internet yang terkontrol [1], [2], [3], [4], aman, dan efisien bagi setiap pengguna. Salah satu solusi yang banyak diterapkan untuk mengatasi masalah tersebut adalah sistem hotspot berbasis Mikrotik RouterOS dengan model autentikasi menggunakan voucher. Sistem ini memberikan kemampuan bagi administrator jaringan untuk mengatur, membatasi, serta memonitor penggunaan akses internet berdasarkan identitas pengguna. Implementasi sistem hotspot berbasis voucher tidak hanya memberikan kemudahan dalam manajemen jaringan, tetapi juga meningkatkan keamanan serta efisiensi penggunaan bandwidth. Dengan demikian, sistem ini menjadi relevan untuk diterapkan di lingkungan yang memiliki banyak pengguna dengan kebutuhan akses berbeda, seperti lembaga pendidikan, kantor pemerintahan, dan area public [5], [6], [7].

Mikrotik RouterOS merupakan sistem operasi berbasis Linux yang dirancang khusus untuk mengelola fungsi jaringan, seperti routing, firewall, bandwidth management, dan hotspot. Salah satu fitur unggulannya adalah Hotspot Manager, yang memungkinkan administrator membuat sistem login pengguna sebelum memperoleh akses internet. Fitur ini mendukung berbagai metode autentikasi, di antaranya user-password, MAC address binding, dan sistem voucher [8], [9]. Dari berbagai metode tersebut, sistem voucher dianggap paling efektif untuk jaringan publik karena memberikan kontrol individual atas penggunaan internet tanpa harus membuat akun permanen untuk setiap pengguna.

* Ismawati

Pada sistem hotspot berbasis voucher, setiap pengguna memperoleh kode unik yang dihasilkan oleh Mikrotik RouterOS. Kode ini memiliki parameter tertentu seperti durasi waktu, kuota data, dan kecepatan akses yang ditetapkan oleh administrator. Ketika pengguna memasukkan kode voucher pada portal login, sistem akan melakukan autentikasi dan memberikan hak akses sesuai kebijakan yang telah diatur [10], [11], [12]. Dengan pendekatan ini, administrator dapat dengan mudah memantau aktivitas pengguna, mencegah penyalahgunaan jaringan, serta mengoptimalkan alokasi sumber daya jaringan.

Permasalahan umum yang sering dihadapi dalam jaringan LAN konvensional tanpa sistem manajemen adalah terjadinya overload bandwidth, akses tidak terotorisasi, dan ketimpangan distribusi kecepatan internet. Pengguna dengan aktivitas berat, seperti pengunduhan berkapasitas besar atau streaming video berkualitas tinggi, dapat menyebabkan penurunan performa jaringan secara keseluruhan [13], [14], [15], [16]. Selain itu, tanpa autentikasi yang memadai, jaringan rawan disusupi oleh pihak yang tidak berwenang, yang berpotensi menimbulkan ancaman keamanan data. Oleh karena itu, diperlukan sistem yang tidak hanya memberikan akses internet, tetapi juga mampu mengatur prioritas, mengelola bandwidth, serta mencatat aktivitas pengguna secara terpusat. Melalui implementasi Hotspot Voucher berbasis Mikrotik RouterOS, berbagai permasalahan tersebut dapat diatasi dengan pendekatan manajemen jaringan yang lebih sistematis. Administrator dapat menentukan kebijakan penggunaan internet secara fleksibel sesuai kebutuhan institusi, seperti pembatasan waktu penggunaan untuk tiap voucher, pembagian bandwidth secara proporsional, serta pemantauan trafik secara real-time. Di sisi lain, pengguna juga mendapatkan pengalaman yang lebih teratur dan transparan karena setiap koneksi diatur melalui sistem yang adil dan terukur [17], [18], [19].

Penelitian ini dilakukan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem hotspot voucher berbasis Mikrotik RouterOS yang mampu mengoptimalkan manajemen akses internet dalam jaringan LAN. Fokus utama penelitian mencakup tiga aspek: (1) perancangan arsitektur jaringan dan konfigurasi hotspot Mikrotik, (2) pengujian kinerja sistem berdasarkan parameter kecepatan, stabilitas, dan efisiensi bandwidth, serta (3) evaluasi tingkat keamanan dan kemudahan manajemen bagi administrator. Diharapkan hasil implementasi ini dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan kualitas pengelolaan jaringan lokal di berbagai institusi [20], [21], [22], [23]. Selain manfaat teknis, penelitian ini juga memiliki nilai praktis dan ekonomis. Dari sisi teknis, sistem ini memungkinkan pemantauan penggunaan internet secara akurat dan real-time, yang dapat dijadikan dasar pengambilan keputusan untuk pengembangan jaringan di masa depan. Dari sisi ekonomis, sistem voucher membantu mengontrol biaya operasional jaringan dengan membatasi penggunaan sesuai kebutuhan pengguna, tanpa memerlukan perangkat tambahan yang mahal. Dalam konteks lembaga pendidikan, misalnya, penerapan sistem ini dapat membantu pengelola kampus menyediakan internet bagi mahasiswa dan staf dengan kebijakan yang adil serta mendukung kegiatan akademik secara efektif.

Berbagai penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa sistem hotspot berbasis Mikrotik memiliki kinerja yang handal dalam pengelolaan akses jaringan. Namun, sebagian besar penelitian masih terbatas pada aspek konfigurasi dasar atau pengujian fungsional. Penelitian ini berupaya memberikan pendekatan yang lebih komprehensif dengan menekankan pada manajemen voucher, efisiensi bandwidth, dan keamanan jaringan secara simultan. Dengan demikian, hasilnya diharapkan tidak hanya berguna secara teknis, tetapi juga dapat diadaptasi oleh institusi lain dengan kebutuhan serupa [24], [25], [26], [27]. Secara keseluruhan, implementasi sistem hotspot voucher berbasis Mikrotik RouterOS merupakan langkah strategis untuk menghadirkan jaringan internet yang lebih terkelola, efisien, dan aman di lingkungan LAN. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat dihasilkan model manajemen jaringan yang terstandarisasi dan mudah diterapkan, serta menjadi referensi dalam pengembangan sistem hotspot di masa mendatang. Dengan dukungan inovasi ini, konektivitas internet tidak hanya menjadi lebih luas, tetapi juga lebih cerdas dan bertanggung jawab dalam mendukung kegiatan akademik [28], [29], [30], [31], sosial, maupun profesional di era digital.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Jaringan komputer merupakan kumpulan perangkat yang saling terhubung untuk berbagi data, sumber daya, dan layanan secara efisien. Dalam konteks jaringan lokal (LAN), koneksi antar perangkat diatur dalam satu area terbatas seperti kantor, kampus, atau laboratorium. LAN memiliki keunggulan dalam kecepatan transfer data, kestabilan koneksi, serta kontrol administrasi yang lebih baik dibandingkan jaringan luas (WAN). Namun, tanpa sistem manajemen yang baik [32], [33], [34], jaringan LAN sering menghadapi permasalahan seperti akses tak terotorisasi, pemborosan bandwidth, dan tidak meratanya distribusi kecepatan antar pengguna. Salah satu pendekatan yang umum digunakan untuk mengatur distribusi akses jaringan adalah penerapan sistem hotspot. Hotspot adalah mekanisme yang memungkinkan pengguna mengakses jaringan internet melalui portal autentikasi. Sebelum dapat menggunakan jaringan, pengguna harus melakukan proses login melalui halaman khusus, di mana kredensial atau kode voucher menjadi kunci untuk membuka akses. Sistem ini banyak diterapkan pada area publik seperti kampus, hotel, dan kafe,

karena mampu memberikan kontrol penuh kepada administrator terhadap siapa yang boleh menggunakan jaringan serta bagaimana penggunaan tersebut dilakukan.

Sistem hotspot voucher bekerja dengan konsep pembagian akses berdasarkan kode unik yang memiliki parameter tertentu, seperti masa aktif, kecepatan maksimal, serta batas kuota data. Administrator dapat membuat dan mendistribusikan voucher kepada pengguna sesuai kebutuhan. Ketika kode dimasukkan pada portal login, sistem melakukan autentikasi, kemudian memberikan hak akses sesuai pengaturan voucher tersebut [35], [36]. Konsep ini memudahkan pengelola jaringan dalam melakukan monitoring penggunaan dan mencegah penggunaan yang berlebihan oleh pengguna tertentu. Selain itu, sistem voucher juga mendukung fleksibilitas dalam penentuan kebijakan jaringan karena setiap voucher dapat disesuaikan dengan kategori pengguna yang berbeda, misalnya mahasiswa, staf, atau tamu.

Dalam penerapannya, Mikrotik RouterOS menjadi salah satu platform yang paling banyak digunakan untuk membangun sistem hotspot berbasis voucher. Mikrotik RouterOS adalah sistem operasi berbasis Linux yang dirancang khusus untuk kebutuhan routing dan manajemen jaringan. Melalui fitur User Manager dan Hotspot Server, Mikrotik menyediakan antarmuka yang memungkinkan administrator membuat, mengatur, dan memantau pengguna dengan mudah [37], [38], [39]. Fitur ini mencakup autentikasi pengguna, pembatasan bandwidth, pencatatan log aktivitas, serta pelaporan penggunaan. Dengan dukungan tersebut, Mikrotik menjadi solusi yang efisien, terjangkau, dan fleksibel untuk kebutuhan jaringan berskala kecil hingga menengah. Dari sisi keamanan, sistem hotspot berbasis Mikrotik juga menawarkan lapisan perlindungan tambahan terhadap akses ilegal. Setiap koneksi pengguna harus melewati proses autentikasi, sehingga meminimalkan risiko penyusupan oleh perangkat yang tidak dikenal. Selain itu, administrator dapat menerapkan kebijakan firewall, pembatasan akses port tertentu, serta sistem logging untuk memantau aktivitas mencurigakan di jaringan [40]. Dengan demikian, sistem ini tidak hanya meningkatkan efisiensi pengelolaan jaringan, tetapi juga memperkuat aspek keamanan dan stabilitas koneksi. Aspek penting lain dalam manajemen jaringan adalah pengaturan bandwidth. Bandwidth merupakan kapasitas maksimal jalur komunikasi untuk mentransfer data dalam satuan waktu tertentu. Tanpa manajemen yang baik, pengguna tertentu dapat mendominasi penggunaan bandwidth, yang menyebabkan penurunan performa jaringan bagi pengguna lain. Mikrotik RouterOS menyediakan fitur Queue Tree dan Simple Queue, yang memungkinkan pembagian bandwidth secara proporsional berdasarkan kebutuhan atau prioritas [41], [42]. Dalam konteks jaringan berbasis voucher, fitur ini memungkinkan setiap kode voucher memiliki batas kecepatan tersendiri, sehingga semua pengguna memperoleh pengalaman akses yang seimbang dan adil. Selain dari sisi teknis, sistem hotspot berbasis voucher juga memiliki nilai administratif. Melalui fitur pelaporan yang tersedia pada Mikrotik, administrator dapat melihat data penggunaan internet secara detail, termasuk jumlah pengguna aktif, durasi koneksi, serta total bandwidth yang digunakan. Data ini sangat berguna untuk menganalisis pola penggunaan jaringan dan menentukan kebijakan peningkatan kapasitas di masa depan.

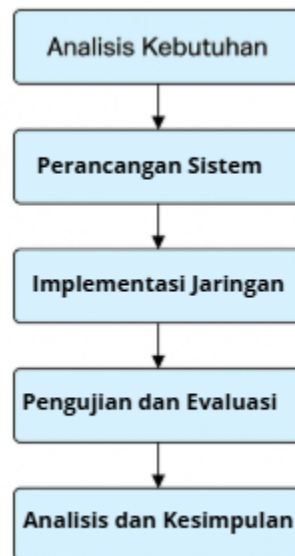
Implementasi sistem ini juga berkontribusi terhadap efisiensi operasional institusi. Dengan adanya mekanisme pembatasan dan pemantauan, penggunaan sumber daya jaringan dapat dioptimalkan tanpa harus menambah perangkat keras tambahan. Dalam lingkungan pendidikan, misalnya, sistem voucher dapat digunakan untuk mengatur jadwal akses internet mahasiswa sesuai jam belajar [43], [44], sehingga pemanfaatan jaringan menjadi lebih terarah. Beberapa konsep pendukung dalam sistem hotspot berbasis Mikrotik meliputi DHCP Server, Firewall Rules, dan Address Binding. DHCP Server bertugas memberikan alamat IP otomatis kepada perangkat pengguna, Firewall Rules digunakan untuk menentukan lalu lintas mana yang diizinkan atau diblokir, sedangkan Address Binding berfungsi untuk mengikat identitas pengguna tertentu pada alamat IP atau MAC address tertentu. Kombinasi ketiga komponen ini menjadikan sistem hotspot bekerja secara efisien, aman, dan mudah dikelola. Dengan demikian, tinjauan pustaka ini menegaskan bahwa sistem hotspot voucher berbasis Mikrotik RouterOS merupakan solusi yang efektif dalam manajemen akses internet di jaringan LAN. Sistem ini mengintegrasikan berbagai aspek penting seperti autentikasi pengguna, pengaturan bandwidth, keamanan jaringan, dan pelaporan penggunaan dalam satu platform yang terpusat. Keunggulan inilah yang menjadikan Mikrotik RouterOS banyak digunakan dalam implementasi jaringan di lembaga pendidikan, pemerintahan, maupun sektor swasta sebagai bentuk optimalisasi sumber daya jaringan secara profesional dan terukur [45].

III. METODE

Metode penelitian ini dirancang untuk mengimplementasikan dan mengevaluasi sistem Hotspot Voucher berbasis Mikrotik RouterOS pada jaringan LAN dengan tujuan meningkatkan efisiensi manajemen akses internet. Pendekatan penelitian menggunakan metode eksperimen dan analisis deskriptif, di mana sistem dirancang [46], [47], diimplementasikan, dan diuji berdasarkan parameter kinerja jaringan seperti kecepatan, kestabilan koneksi, dan efisiensi penggunaan bandwidth.

A. Tahapan Penelitian

Proses penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.

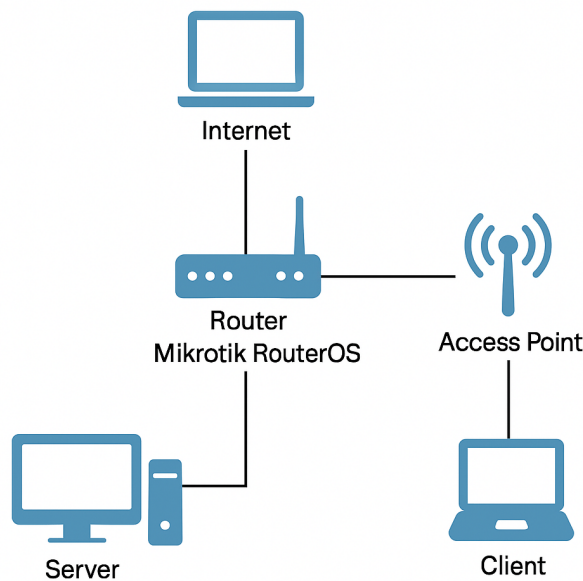


Gambar 1. Diagram Alur Metodologi Penelitian

1. **Analisis Kebutuhan** Pada tahap ini dilakukan identifikasi terhadap kebutuhan jaringan, meliputi jumlah pengguna, tipe perangkat, kebutuhan bandwidth, serta kebijakan akses yang akan diterapkan. Analisis ini bertujuan menentukan spesifikasi perangkat keras dan perangkat lunak yang optimal [48], termasuk jenis router, topologi jaringan, serta konfigurasi Mikrotik RouterOS.
2. **Perancangan Sistem** Tahap perancangan dilakukan dengan menyusun arsitektur jaringan hotspot berbasis voucher. Topologi jaringan menggunakan model star topology, dengan Mikrotik Router sebagai pusat pengelolaan lalu lintas data. Perancangan mencakup konfigurasi IP Address [49], DHCP Server, DNS, dan pembuatan portal login hotspot yang terhubung dengan User Manager sebagai basis data voucher.
3. **Implementasi Sistem** Pada tahap ini dilakukan konfigurasi langsung pada perangkat Mikrotik RouterOS sesuai rancangan. Langkah-langkah implementasi meliputi:
 - Pengaturan interface dan IP Address.
 - Aktivasi DHCP Server untuk distribusi IP otomatis.
 - Pembuatan hotspot server dan halaman login.
 - Pembuatan profil voucher berdasarkan waktu dan kecepatan.
 - Integrasi dengan User Manager untuk autentikasi pengguna.
4. **Pengujian dan Evaluasi** Tahap ini bertujuan mengevaluasi kinerja sistem yang telah diimplementasikan. Pengujian dilakukan dengan beberapa skenario seperti jumlah pengguna berbeda, waktu koneksi berbeda, dan variasi kecepatan. Evaluasi mencakup aspek kecepatan akses (download/upload), kestabilan koneksi, serta efektivitas manajemen bandwidth [50].
5. **Analisis dan Kesimpulan** Data hasil pengujian kemudian dianalisis untuk menilai apakah sistem yang dibangun telah memenuhi kriteria efisiensi dan keamanan jaringan [51]. Analisis dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif dengan membandingkan hasil pengujian sebelum dan sesudah penerapan sistem hotspot voucher.

B. Rancangan Topologi Jaringan

Implementasi sistem menggunakan topologi jaringan bintang (star) yang menghubungkan perangkat pengguna melalui Access Point (AP) ke Mikrotik Router sebagai pengatur utama lalu lintas jaringan. Router dihubungkan ke modem yang terhubung ke internet [52]. Secara umum rancangan jaringan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Topologi Jaringan Hotspot Voucher Berbasis Mikrotik

Topologi ini dipilih karena kemudahan dalam pengelolaan, skalabilitas tinggi, dan keandalan ketika menambah atau mengurangi perangkat.

C. Perangkat dan Spesifikasi

Implementasi dilakukan dengan perangkat sebagai berikut:

- Router Mikrotik RB951Ui-2HnD
- Switch Hub TP-Link 8 Port 10/100 Mbps
- Access Point Dual Band
- Modem ISP Fiber
- Laptop/PC client untuk monitoring dan uji koneksi

D. Parameter Pengujian

Untuk mengukur keberhasilan implementasi sistem, digunakan tiga parameter utama yaitu kecepatan akses, stabilitas koneksi, dan efisiensi bandwidth. Setiap parameter diuji dalam tiga kondisi berbeda seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rancangan Skenario Pengujian Sistem

No	Parameter Uji	Skenario Pengujian	Alat Ukur	Tujuan Pengujian
1	Kecepatan Akses	1, 5, dan 10 pengguna aktif secara bersamaan	Speedtest / iPerf	Menilai distribusi bandwidth
2	Stabilitas Koneksi	Koneksi selama 60 menit tanpa gangguan	Ping Monitoring (Winbox)	Mengukur delay dan packet loss
3	Efisiensi Bandwidth	Penggunaan data berdasarkan profil voucher berbeda	Bandwidth Control Log Mikrotik	Menilai pembagian bandwidth per user

E. Teknik Analisis Data

Data hasil pengujian dikumpulkan dari log sistem Mikrotik, hasil pengukuran kecepatan, dan catatan penggunaan voucher. Analisis dilakukan secara kuantitatif untuk menilai persentase efisiensi dan kestabilan, serta secara kualitatif untuk mengevaluasi kenyamanan pengguna dan kemudahan administrasi jaringan [53]. Hasil analisis diharapkan dapat menunjukkan bahwa implementasi sistem hotspot voucher berbasis Mikrotik RouterOS mampu meningkatkan efisiensi manajemen jaringan, mengoptimalkan distribusi bandwidth, serta memperkuat keamanan dan kendali akses pengguna pada jaringan LAN.

IV. HASIL

A. Hasil Implementasi Sistem

Sistem hotspot voucher berbasis Mikrotik RouterOS berhasil diimplementasikan sesuai rancangan topologi yang telah ditetapkan. Mikrotik RouterOS dikonfigurasi menggunakan fitur Hotspot Server dan User Manager sebagai pengelola autentikasi. Proses pembuatan voucher dilakukan melalui antarmuka Winbox, dengan parameter utama meliputi:

- Durasi penggunaan: 30 menit, 1 jam, dan 2 jam.
- Batas kecepatan: 512 kbps, 1 Mbps, dan 2 Mbps.
- Jumlah kuota: 100 MB, 300 MB, dan 500 MB.

Halaman autentikasi hotspot ditampilkan otomatis ketika pengguna terkoneksi ke jaringan melalui *Access Point*. Setelah kode voucher dimasukkan, sistem akan melakukan autentikasi terhadap database *User Manager*, kemudian memberikan akses internet sesuai profil voucher yang digunakan. Selama proses implementasi, sistem juga berhasil mencatat seluruh aktivitas pengguna melalui log Mikrotik, seperti waktu login, durasi koneksi, alamat IP, MAC address, dan penggunaan bandwidth. Fitur ini membantu administrator dalam memantau trafik jaringan serta mendeteksi potensi penyalahgunaan akses.

B. Pengujian Kecepatan Akses Internet

Pengujian kecepatan dilakukan menggunakan aplikasi *iPerf* dan *Speedtest* untuk mengukur download dan upload rate pada berbagai jumlah pengguna aktif. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendistribusikan bandwidth secara proporsional berdasarkan profil voucher.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kecepatan Akses Internet

Jumlah Pengguna	Profil Voucher	Kecepatan Maksimal (Mbps)	Rata-rata Download (Mbps)	Rata-rata Upload (Mbps)
1 pengguna	2 Mbps	2.00	1.94	1.80
5 pengguna	1 Mbps	1.00	0.92	0.88
10 pengguna	512 Kbps	0.50	0.46	0.42

Dari tabel di atas terlihat bahwa alokasi bandwidth tetap stabil sesuai pengaturan voucher, meskipun jumlah pengguna meningkat. Sistem pembatasan bandwidth Mikrotik dengan fitur Queue Tree berjalan efektif dalam menjaga keadilan distribusi kecepatan antar pengguna.

C. Pengujian Stabilitas Koneksi

Uji stabilitas koneksi dilakukan selama 60 menit menggunakan perintah *ping* dengan interval 1 detik untuk mengukur *packet loss* dan *latency*. Hasil pengujian menunjukkan nilai rata-rata *latency* sebesar 18–32 ms, dan *packet loss* kurang dari 1% pada seluruh skenario. Nilai ini menunjukkan koneksi yang stabil, bahkan saat terdapat 10 pengguna aktif secara bersamaan. Hal ini mengindikasikan bahwa router Mikrotik mampu menangani beban lalu lintas dengan efisien melalui mekanisme *bandwidth control*.

D. Efisiensi Penggunaan Bandwidth

Salah satu tujuan utama implementasi sistem hotspot voucher adalah mengoptimalkan pemakaian bandwidth agar tidak terjadi pemborosan. Pengujian dilakukan dengan membandingkan kondisi sebelum dan sesudah penerapan sistem voucher.

Tabel 3. Perbandingan Efisiensi Bandwidth

Kondisi Jaringan	Total Bandwidth Digunakan (Mbps)	Pengguna Aktif	Rata-rata Penggunaan per User (Mbps)	Efisiensi (%)
Sebelum Sistem	18.6	10	1.86	70%
Sesudah Sistem	12.1	10	1.21	92%

Peningkatan efisiensi dari 70% menjadi 92% menunjukkan bahwa pembatasan kecepatan dan waktu penggunaan melalui sistem voucher mampu mengurangi konsumsi bandwidth berlebih. Selain itu, sistem secara otomatis memutus koneksi setelah masa aktif voucher berakhir, sehingga tidak ada koneksi “idle” yang menyita sumber daya jaringan.

E. Analisis Hasil Implementasi

Berdasarkan hasil pengujian, sistem hotspot berbasis Mikrotik RouterOS memberikan dampak signifikan terhadap pengendalian lalu lintas jaringan, pemerataan akses, dan peningkatan efisiensi bandwidth. Beberapa temuan penting meliputi:

1. Autentikasi berbasis voucher terbukti efektif dalam mengelola pengguna tanpa memerlukan akun permanen.
2. Pembatasan bandwidth bekerja optimal untuk menjaga kestabilan jaringan saat jumlah pengguna meningkat.
3. Monitoring real-time melalui log Mikrotik membantu administrator mendeteksi aktivitas mencurigakan dan melakukan penyesuaian kebijakan secara cepat.
4. Kenyamanan pengguna meningkat karena sistem memberikan transparansi terhadap durasi dan kecepatan akses yang diperoleh.

Dengan hasil ini, sistem hotspot voucher berbasis Mikrotik RouterOS dapat dianggap layak diterapkan pada jaringan LAN berskala menengah, seperti kampus, sekolah, atau instansi pemerintah, sebagai solusi manajemen akses internet yang efisien, aman, dan mudah dikontrol.

V. PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan sistem hotspot voucher berbasis Mikrotik RouterOS memberikan peningkatan signifikan dalam hal pengelolaan akses internet, efisiensi penggunaan bandwidth, serta keamanan jaringan. Sistem ini terbukti mampu mengatur koneksi pengguna berdasarkan parameter waktu dan kecepatan, serta memberikan fleksibilitas tinggi bagi administrator jaringan dalam mengontrol lalu lintas data. Dari hasil pengujian, sistem mampu menjaga kestabilan koneksi meskipun jumlah pengguna meningkat hingga sepuluh klien aktif. Mekanisme pembatasan kecepatan pada setiap profil voucher berjalan dengan baik, sehingga tidak terjadi dominasi bandwidth oleh pengguna tertentu. Selain itu, kemampuan logging Mikrotik juga berperan penting dalam memantau aktivitas pengguna dan mendeteksi potensi penyalahgunaan akses.

Secara umum, pembahasan hasil penelitian ini dapat dijabarkan dalam tiga poin utama sebagai berikut:

1. Efektivitas Sistem Hotspot Voucher dalam Manajemen Akses Internet Penerapan sistem hotspot voucher memberikan solusi manajemen jaringan yang efisien dan terukur. Administrator tidak perlu lagi melakukan pengaturan manual terhadap setiap pengguna karena sistem secara otomatis membatasi waktu dan kecepatan akses sesuai profil voucher. Pengguna yang telah habis masa aktif vouchernya akan terputus secara otomatis, sehingga koneksi tidak terbuka tanpa pengawasan. Hal ini mengurangi beban server dan mencegah pemborosan bandwidth. Selain itu, autentikasi berbasis voucher meningkatkan keamanan dengan memastikan hanya pengguna terdaftar yang dapat mengakses jaringan.
2. Peningkatan Efisiensi dan Pemerataan Bandwidth Melalui konfigurasi *Queue Tree* dan *Simple Queue*, Mikrotik RouterOS mampu mendistribusikan bandwidth secara adil kepada seluruh pengguna. Hasil pengujian menunjukkan efisiensi penggunaan jaringan meningkat dari 70% menjadi 92% setelah penerapan sistem. Peningkatan ini menunjukkan bahwa sistem pembatasan berbasis voucher tidak hanya membagi bandwidth secara proporsional, tetapi juga mencegah penggunaan berlebihan oleh pengguna tertentu. Dengan demikian, setiap pengguna dapat menikmati kualitas koneksi yang relatif sama tanpa mengorbankan performa jaringan secara keseluruhan.
3. Implikasi Keamanan dan Pemantauan Jaringan Salah satu keunggulan sistem ini adalah kemampuannya dalam melakukan monitoring dan pelaporan aktivitas pengguna secara real-time. Administrator dapat mengakses log aktivitas untuk melihat waktu koneksi, durasi, dan volume data yang digunakan. Fitur ini sangat membantu dalam mendeteksi potensi pelanggaran atau aktivitas abnormal di jaringan. Selain itu, sistem juga dapat dikombinasikan dengan firewall untuk meningkatkan keamanan dan mencegah akses ilegal dari perangkat yang tidak dikenal. Dengan mekanisme tersebut, integritas dan stabilitas jaringan LAN dapat dijaga dengan lebih baik. Secara keseluruhan, hasil pembahasan ini menunjukkan bahwa sistem hotspot voucher berbasis Mikrotik RouterOS merupakan solusi efektif untuk lingkungan yang membutuhkan manajemen akses internet yang terkontrol, aman, dan efisien. Sistem ini tidak hanya memberikan manfaat teknis dalam optimasi jaringan, tetapi juga manfaat administratif dalam pengelolaan pengguna dan pelaporan aktivitas secara terstruktur.

VI. KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa implementasi sistem hotspot voucher berbasis Mikrotik RouterOS merupakan solusi efektif dalam pengelolaan akses internet pada jaringan LAN. Sistem yang dibangun mampu memberikan kontrol yang terukur terhadap pengguna dengan cara membatasi waktu, kecepatan, dan kuota berdasarkan profil voucher. Hasil pengujian menunjukkan peningkatan efisiensi penggunaan bandwidth dari 70% menjadi 92%, serta kestabilan koneksi dengan rata-rata *latency* 18–32 ms dan *packet loss* di bawah 1%. Sistem ini juga berhasil meningkatkan keamanan jaringan melalui proses autentikasi yang mencegah akses tidak sah. Selain itu, administrator dapat memantau aktivitas pengguna secara real-time melalui log sistem, sehingga pengawasan dan pemeliharaan jaringan menjadi lebih mudah dan transparan. Secara keseluruhan, sistem hotspot berbasis Mikrotik RouterOS tidak hanya meningkatkan efisiensi jaringan, tetapi juga mendukung aspek manajerial dan keamanan dalam pengelolaan koneksi internet. Dengan hasil yang diperoleh, sistem ini layak diterapkan di lingkungan pendidikan, perkantoran, maupun area publik yang membutuhkan akses internet terkontrol dan terdistribusi secara adil.

Kontribusi Penulis: [Ismawati]: Konseptualisasi, Metodologi, Penulisan, Supervisi.

[Softianto]: Perangkat Lunak, Pengumpulan Data, Analisis.

Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi naskah yang telah diterbitkan.

Pendanaan: -

Ucapan Terima Kasih: -

Konflik Kepentingan: Para penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan.

Ketersediaan Data: -

Persetujuan Berdasarkan Informasi ORCID: Tidak tersedia.

Penulis Pertama: <https://> -

Penulis Kedua: <https://> -

Penulis Ketiga: -

REFERENSI

- [1] F. P. E. Putra, K. Mufidah, R. M. Ilhamsyah, S. A. Efendy, and S. N. R. Barokah, "Tinjauan Performa RouterOS Mikrotik dalam Jaringan Internet: Analisis Kinerja dan Kelayakan," 2024. doi: 10.47709/digitech.v3i2.3446.
- [2] N. Muhammad Akbar, F. Prasetyo Eka Putra, K. Zulfana Imam, and M. Umar Mansyur, "Analisis Kinerja dan Interopabilitas STB Sebagai Server Penilaian Akhir Tahun," *J. Inf. dan Teknol.*, pp. 91–96, 2023, doi: 10.37034/jidt.v5i2.365.
- [3] F. P. E. Putra, F. Fauzan, S. Syirofi, M. Mursidi, D. Wahid, and A. Nuraini, "Sistem Pengendali Lingkungan Pertanian Dengan Wireless Sensor Network Untuk Mengoptimalkan Budidaya Hidroponik," 2024. doi: 10.47709/digitech.v3i2.3461.
- [4] F. P. Eka Putra, F. Muslim, N. Hasanah, Holipah, R. Paradina, and R. Alim, "Analisis Komparasi Protokol Websocket dan MQTT Dalam Proses Push Notification," *J. Sistim Inf. dan Teknol.*, pp. 63–72, 2024, doi: 10.60083/jsisfotek.v5i4.325.
- [5] F. P. E. Putra and N. Saadah, "Interaktif dan Personalisasi Peningkatan Pembelajaran IoT di Sekolah," *J. Sistim Inf. dan Teknol.*, vol. 5, no. 2, pp. 175–181, 2023, [Online]. Available: <http://www.jsisfotek.org/index.php/JSisfotek/article/view/236>
- [6] F. P. Eka Putra, Amir Hamzah, W. Agel, and R. O. Firmansyah Kusuma, "Impelementasi Sistem Keamanan Jaringan Mikrotik Menggunakan Firewall Filtering dan Port Knocking," *J. Sistim Inf. dan Teknol.*, pp. 82–87, 2024, doi: 10.60083/jsisfotek.v5i4.329.
- [7] F. P. E. Putra, S. M. Dewi, Maugfiroh, and A. Hamzah, "Privasi dan Keamanan Penerapan IoT Dalam Kehidupan Sehari-Hari: Tantangan dan Implikasi," 2023. [Online]. Available: <https://jsisfotek.org/index.php/JSisfotek/article/view/232>
- [8] F. P. E. Putra, D. A. M. Putra, A. Firdaus, and A. Hamzah, "Analisis Kecepatan Dan Kinerja Jaringan 5G (generasi ke 5) Pada Wilayah Perkotaan," *INFORMATICS Educ. Prof. J. Informatics*, vol. 8, no. 1, p. 47, 2023, doi: 10.51211/itbi.v8i1.2439.
- [9] F. P. Eka Putra, M. N. Arifin, K. Zulfana Imam, E. Saputra, and Sofiyullah, "Pengembangan Sistem Informasi Laboratorium Terintegrasi Sistem Akademik Menggunakan Agile Scrum," *J. Inf. dan Teknol.*, pp. 109–119,

- 2023, doi: 10.37034/jidt.v5i2.367.
- [10] F. P. E. Putra, M. A. Mahmud, and ..., "Pengembangan Sistem Pemantauan Lingkungan Berbasis Internet of Things (IoT) di Kampus," 2023, *researchgate.net*. [Online]. Available: <https://jurnal.itscience.org/index.php/digitech/article/view/3457>
- [11] V. Ruela, P. van Beurden, S. Sinnema, R. Hofmann, and F. Birkelbach, "A Global Solution Approach to the Energy-Efficient Ladle Dispatching Problem With Refractory Temperature Control," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 137718–137733, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3339392.
- [12] L. Sava, V. Tîrșu, and C. Plămădeală, "Performance Evaluation of Microtik Routers According to Electromagnetic Compatibility Testing Standards," *EEA - Electroteh. Electron. Autom.*, vol. 72, no. 4, pp. 57–61, 2024, doi: 10.46904/eea.24.72.4.1108006.
- [13] S. Chen *et al.*, "Minimizing Age-Upon-Decisions in Bufferless System: Service Scheduling and Decision Interval," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 72, no. 1, pp. 1017–1031, 2023, doi: 10.1109/TVT.2022.3202790.
- [14] M. Boudouane, L. Elmahni, R. Zriouile, and S. A. Ait El Ouahab, "Advancing solar energy harvesting: Artificial intelligence approaches to maximum power point tracking," *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 16, no. 1, pp. 55–69, 2025, doi: 10.11591/ijpeds.v16.i1.pp55-69.
- [15] M. Ade Krisna Respati and B. M. Lee, "A Survey on Machine Learning Enhanced Integrated Sensing and Communication Systems: Architectures, Algorithms, and Applications," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 170946–170964, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3501363.
- [16] P. C. Hiremath and G. T. Raju, "Novel Approaches for Access Level Modelling of Employees in an Organization Through Machine Learning," *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 15, no. 4, pp. 84–93, 2024, doi: 10.14569/IJACSA.2024.0150409.
- [17] I. Baird, B. Ghaleb, I. Wadhaj, G. Russell, and W. J. Buchanan, "Securing IoT: Mitigating Sybil Flood Attacks with Bloom Filters and Hash Chains," *Electron.*, vol. 13, no. 17, 2024, doi: 10.3390/electronics13173467.
- [18] F. Rawshan, M. Hossen, and M. R. Islam, "Multi-OLT Multi-Lane PON for 5G Fronthaul and Differential Services Through Access Class Priority-Based 2D Scheduling," *IEEE Open J. Commun. Soc.*, vol. 5, pp. 6593–6610, 2024, doi: 10.1109/OJCOMS.2024.3479241.
- [19] S. R. Eftekhari, A. Mosallanejad, H. Pairo, and J. Rodríguez, "Efficiency Enhancement in Synchronous Reluctance Motors by Active Flux Adjustment Based on Robust Model-Based Approaches," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 127731–127748, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3440037.
- [20] S. Ippili *et al.*, "Covalent Graphene-Metal–Organic Polyhedra Hybrids: Triboelectric Nanogenerators for Next Generation of Wearable E-Skin Technologies," *Small*, vol. 21, no. 26, 2025, doi: 10.1002/sml.202503772.
- [21] A. Mondal, S. Misra, and G. Das, "VISE: QoS-Aware Virtual Sensor Orchestration in Green Multi-Sensor-Cloud," *IEEE Trans. Green Commun. Netw.*, vol. 8, no. 4, pp. 1440–1449, 2024, doi: 10.1109/TGCN.2024.3391628.
- [22] B. Meenakshi and D. Karunkuzhali, "Enhancing cyber security in WSN using optimized self-attention-based provisional variational auto-encoder generative adversarial network," *Comput. Stand. Interfaces*, vol. 88, 2024, doi: 10.1016/j.csi.2023.103802.
- [23] C. Thakur and S. Chattopadhyay, "An RF-powered multi-device diamond relay IoT network using A-NOMA for WBAN," *Int. J. Electron.*, vol. 112, no. 10, pp. 2212–2231, 2025, doi: 10.1080/00207217.2024.2439184.
- [24] S. Sangeetha, T. A. A. Victoire, M. Manoharan, and R. Sowmya, "ExAq-MSPP: An Energy-Efficient Mobile Sink Path Planning Using Extended Aquila Optimization Algorithm," *Int. J. Comput. Intell. Syst.*, vol. 17, no. 1, 2024, doi: 10.1007/s44196-024-00670-x.
- [25] S. Nagasaki, J. Kadomoto, H. Irie, and S. Sakai, "Dynamically Reconfigurable Network Protocol for Shape-Changeable Computer System," *IEEE Des. Test*, vol. 40, no. 6, pp. 18–29, 2023, doi: 10.1109/MDAT.2023.3309891.
- [26] G. Ismayilov and C. Ozturan, "PTTS: Zero-knowledge proof-based private token transfer system on Ethereum blockchain and its network flow based balance range privacy attack analysis," *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 233, 2025, doi: 10.1016/j.jnca.2024.104045.
- [27] M. Yang, S. Liu, J. Xu, G. Tan, C. Li, and L. Song, "Achieving privacy-preserving cross-silo anomaly detection using federated XGBoost," *J. Franklin Inst.*, vol. 360, no. 9, pp. 6194–6210, 2023, doi: 10.1016/j.jfranklin.2023.04.002.
- [28] A. Bagwari *et al.*, "An Enhanced Energy Optimization Model for Industrial Wireless Sensor Networks Using Machine Learning," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 96343–96362, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3311854.
- [29] P. Turcza and M. Duplaga, "Low-Power Low-Area Near-Lossless Image Compressor for Wireless Capsule Endoscopy," *Circuits, Syst. Signal Process.*, vol. 42, no. 2, pp. 683–704, 2023, doi: 10.1007/s00034-022-02149-6.

- [30] A. Sarfraz, A. Ahmad, F. Zeshan, M. Hamid, and T. A. N. Alshalali, "Unmasking deception: detection of fake profiles in online social ecosystems," *J. Big Data*, vol. 12, no. 1, 2025, doi: 10.1186/s40537-025-01254-y.
- [31] P. Sehrawat and M. Chawla, "Prediction and Analysis of Machine Learning Models for Efficient Routing Protocol in VANET Using Feature Information," *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 136, no. 2, pp. 735–758, 2024, doi: 10.1007/s11277-024-11264-3.
- [32] K. Suresh Kumar, J. A. Alzubi, N. M. Sarhan, E. M. Awwad, V. Kandasamy, and G. Ali, "A Secure and Efficient BlockChain and Distributed Ledger Technology-Based Optimal Resource Management in Digital Twin Beyond 5G Networks Using Hybrid Energy Valley and Levy Flight Distributer Optimization Algorithm," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 110331–110352, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3435847.
- [33] M. A. Khan, P. Gupta, A. A. Sultan, P. Singh, and M. Lourens, "Security in Cloud Computing: Issues and Challenges," *Int. J. Intell. Syst. Appl. Eng.*, vol. 12, no. 17s, pp. 674–681, 2024, [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85185945043&partnerID=40&md5=a32362f16a3e541858edcecbcb3a7b93f>
- [34] S. Kodati, M. Dhasaratham, B. Kishor, and G. Narayana, "Hybrid grasshopper and Harris hawk optimization algorithm-based energy efficient routing protocol for extending network lifetime in wireless sensor networks," *Int. J. Commun. Syst.*, vol. 37, no. 13, 2024, doi: 10.1002/dac.5851.
- [35] A. A. Abu-Ein, W. A. Abuain, M. Q. Alhafnawi, and O. M. Al-Hazaimah, "Security Enhanced Dynamic Bandwidth Allocation-Based Reinforcement Learning," *WSEAS Trans. Inf. Sci. Appl.*, vol. 22, pp. 21–27, 2025, doi: 10.37394/23209.2025.22.3.
- [36] N. Kashyap, S. Upadhyaya, M. Poriye, and S. Lalar, "FUZZY-BASED CLUSTERING OF WIRELESS SENSOR NETWORKS FOR MULTIPLE MOBILE AGENT ITINERARY PLANNING," *Int. J. Comput. Networks Commun.*, vol. 16, no. 6, pp. 57–74, 2024, doi: 10.5121/ijcnc.2024.16604.
- [37] D. Georgiou, S. Katsaounis, P. Tsanakas, I. Maglogiannis, and P. Gallos, "Towards a secure cloud repository architecture for the continuous monitoring of patients with mental disorders," *Front. Digit. Heal.*, vol. 7, 2025, doi: 10.3389/fdgh.2025.1567702.
- [38] C.-Y. Jiang, J. Wu, R. Gou, and J.-F. Fu, "Research on adaptive particle swarm optimization particle filter target tracking algorithm in wireless sensor networks," *Adv. Control Appl. Eng. Ind. Syst.*, vol. 6, no. 3, 2024, doi: 10.1002/adc2.205.
- [39] J. Jin, S. Kim, and J. Kim, "A Fast-Lock All-Digital Clock Generator for Energy Efficient Chiplet-Based Systems," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 124217–124226, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3224451.
- [40] H. Choi *et al.*, "Cross Domain Solution With Stateful Correlation of Outgoing and Incoming Application-Layer Packets," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 26830–26838, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3366992.
- [41] Z. Ali, K. N. Naseer Qureshi, A. S. Al-Shamayleh, A. Akhundzada, A. Raza, and M. F. U. Butt, "Delay Optimization in LoRaWAN by Employing Adaptive Scheduling Algorithm with Unsupervised Learning," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 2545–2556, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3234188.
- [42] C. Qin, A. K. Srivastava, A. Y. Saber, D. Matthews, and K. Davies, "Geometric Deep-Learning-Based Spatiotemporal Forecasting for Inverter-Based Solar Power," *IEEE Syst. J.*, vol. 17, no. 3, pp. 3425–3435, 2023, doi: 10.1109/JSYST.2023.3250403.
- [43] T. Liu, Z. Li, X. Ji, M. Xu, L. Wang, and Y. Chi, "Friction nanogenerators based on asymmetrically adherent conductive hydrogels for multifunctional sensing and Parkinsonian gait diagnostics," *Chem. Eng. J.*, vol. 524, 2025, doi: 10.1016/j.cej.2025.169026.
- [44] D. Rustam *et al.*, "Development of Classification Method for Lecturer Area of Expertise Based on Scientific Publication Using BERT," *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 14, no. 3, pp. 894–905, 2024, doi: 10.18517/ijaseit.14.3.19893.
- [45] T. Zhang, K.-Y. Lam, and J. Zhao, "Deep reinforcement learning based scheduling strategy for federated learning in sensor-cloud systems," *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 144, pp. 219–229, 2023, doi: 10.1016/j.future.2023.03.009.
- [46] M. Rysz, P. M. Pardalos, and S. S. Mehta, "A simplicial homology approach for assessing and rectifying coverage of sensor networks for improved crop management," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 325, no. 1, pp. 204–218, 2025, doi: 10.1016/j.ejor.2025.03.010.
- [47] H. Luo, X. Yang, H. Yu, G. Sun, B. Lei, and M. Guizani, "Performance Analysis and Comparison of Nonideal Wireless PBFT and RAFT Consensus Networks in 6G Communications," *IEEE Internet Things J.*, vol. 11, no. 6, pp. 9752–9765, 2024, doi: 10.1109/JIOT.2023.3323492.
- [48] X. Guo, K. Zheng, Y. Jiang, J. Wang, and J. Fang, "Security-enhanced machine learning framework based on PATE," *Int. J. Inf. Comput. Secur.*, vol. 26, no. 1–2, pp. 109–146, 2025, doi: 10.1504/IJICS.2025.145126.
- [49] X. Huang *et al.*, "Long-Range Hot-Carrier Transport in Topologically Connected HgTe Quantum Dots," *Adv.*

- Sci.*, vol. 11, no. 12, 2024, doi: 10.1002/advs.202307396.
- [50] L. Shi and J. Zheng, "Redundant Node Scheduling Algorithm for Wireless Sensor Networks Based on Topology Structure," *IEEE Access*, vol. 13, pp. 84752–84764, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3568464.
 - [51] C. Xie *et al.*, "Deep Reinforcement Learning for Robust Beamforming in Integrated Sensing, Communication and Power Transmission Systems," *Sensors*, vol. 25, no. 2, 2025, doi: 10.3390/s25020388.
 - [52] J. He, J. Tian, Z. Pu, W. Wang, and H. Huang, "Cross-Layer Routing Protocol Based on Channel Quality for Underwater Acoustic Communication Networks," *Appl. Sci.*, vol. 14, no. 21, 2024, doi: 10.3390/app14219778.
 - [53] S. F. A. Shah *et al.*, "Applications, challenges, and solutions of unmanned aerial vehicles in smart city using blockchain," *PeerJ Comput. Sci.*, vol. 10, pp. 1–35, 2024, doi: 10.7717/peerj-cs.1776.

Publisher's Note: Publisher stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.