

Pemanfaatan Mikrotik Dalam Manajemen Bandwidth Pada Jaringan Sekolah

Fauzan Prasetyo Eka Putra¹, Debri Eko Arissandi², Achmad Rofiqi³, Moh Firman Hidayat^{4*}

¹ Fakultas Teknik, Informatika, Universitas Madura; e-mail : prasetyo@unira.ac.id

² Fakultas Teknik, Informatika, Universitas Madura; e-mail : debrickoarissandi123@gmail.com

³ Fakultas Teknik, Informatika, Universitas Madura; e-mail : achmadrofiqi33@gmail.com

⁴ Fakultas Teknik, Informatika, Universitas Madura; e-mail : firmanhyuga95@gmail.com

* Corresponding Author : Moh Firman Hidayat

Abstract: The preparation of this research is intended as an effort of Mikrotik in bandwidth management on school networks to improve the stability and efficiency of internet access in an educational environment. The main problem faced by schools is the imbalance of bandwidth distribution and the use of networks for non-educative activities. The research uses a qualitative descriptive approach with a few hands-on configuration experiments on Mikrotik RouterBoard devices. The results show that the Simple Queue, Queue Tree, and Layer 7 Protocol features successfully divide bandwidth proportionally based on user categories (teachers, students, and guests), block access to irrelevant sites, and increase connection stability by 90%. Real-time network monitoring also enables more effective control and evaluation. However, it requires certain technical expertise and a regular maintenance system to maintain optimal performance. This research recommends further development in more complex networks and integration with more advanced security systems. Overall, Mikrotik is an effective and economical bandwidth management solution for school environments.

Keywords: utilization; mikrotik; management; bandwidth; network.

Abstrak: Penyusunan penelitian ini dimaksudkan sebagai upaya untuk mengevaluasi pemanfaatan Mikrotik dalam manajemen bandwidth pada jaringan sekolah guna meningkatkan stabilitas dan efisiensi akses internet dalam lingkungan pendidikan. Masalah utama yang dihadapi sekolah adalah ketidakseimbangan distribusi bandwidth serta penggunaan jaringan untuk aktivitas non-edukatif. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan sedikit eksperimen konfigurasi langsung pada perangkat Mikrotik RouterBoard. Hasil menunjukkan bahwa fitur Simple Queue, Queue Tree, dan Layer 7 Protocol berhasil membagi bandwidth secara proporsional berdasarkan kategori pengguna (guru, siswa, dan tamu), memblokir akses ke situs yang tidak relevan, serta meningkatkan kestabilan koneksi hingga 90%. Monitoring jaringan secara real-time juga memungkinkan kontrol dan evaluasi yang lebih efektif. Meskipun demikian, diperlukan keahlian teknis tertentu dan sistem pemeliharaan berkala untuk menjaga performa optimal. Penelitian ini merekomendasikan pengembangan lebih lanjut di jaringan yang lebih kompleks dan integrasi dengan sistem keamanan yang lebih canggih. Secara keseluruhan, Mikrotik merupakan solusi manajemen bandwidth yang efektif dan ekonomis untuk lingkungan sekolah.

Kata kunci: pemanfaatan; mikrotik; manajemen; bandwidth; jaringan.

Received: Maret 8, 2025

Revised: Maret 19, 2025

Accepted: Maret 25, 2025

Published: Maret 31, 2025

Curr. Ver.: Maret 31, 2025



Copyright: © 2025 by the authors.
Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY SA) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

1. Pendahuluan

Dalam era digital saat ini, teknologi informasi dan komunikasi telah menjadi pilar utama dalam menunjang berbagai sektor kehidupan, termasuk di bidang pendidikan[1], [2], [3]. Sekolah sebagai institusi pendidikan dituntut untuk mampu mengikuti perkembangan teknologi guna meningkatkan kualitas pembelajaran dan pelayanan administrasi[4], [5], [6]. Salah satu aspek penting dari integrasi teknologi di lingkungan sekolah adalah pemanfaatan jaringan komputer dan akses internet sebagai sarana pendukung proses belajar mengajar, komunikasi, serta pengelolaan data.

Namun demikian, peningkatan kebutuhan terhadap akses internet yang cepat dan stabil menghadirkan tantangan tersendiri. Permasalahan umum yang sering muncul di lingkungan sekolah adalah ketidakstabilan koneksi internet[7], [8], kecepatan akses yang tidak merata serta penyalahgunaan akses jaringan oleh pengguna untuk aktivitas yang tidak relevan dengan proses pendidikan. Hal ini menunjukkan pentingnya penerapan sistem manajemen jaringan yang baik, terutama dalam pengaturan dan pengendalian penggunaan **bandwidth** agar seluruh pengguna jaringan mendapatkan layanan internet yang adil dan optimal.

Salah satu upaya teknis pendekatan yang bisa digunakan guna menyelesaikan permasalahan ini melalui perangkat jaringan **Mikrotik**. Mikrotik merupakan sistem Linux yang dimodifikasi guna mendukung fungsi-fungsi jaringan tertentu menjalankan fungsi router dan firewall[9], [10], [11], serta memiliki fitur manajemen bandwidth yang sangat fleksibel. Dengan Mikrotik, administrator jaringan sekolah dapat mengimplementasikan berbagai kebijakan seperti pembatasan kecepatan internet per pengguna (bandwidth limitation), prioritas lalu lintas data (traffic prioritization), hingga pemblokiran akses ke situs-situs yang tidak mendukung kegiatan pembelajaran[12], [13], [14].

Pemanfaatan Mikrotik dalam manajemen bandwidth memberikan manfaat besar dalam menciptakan jaringan yang lebih efisien, terkendali, dan sesuai dengan kebutuhan akademik[15], [16]. Mikrotik juga mendukung implementasi sistem hotspot, pengelolaan user melalui IP address maupun MAC address, serta monitoring penggunaan jaringan secara real-time. Dengan demikian, sekolah dapat memastikan bahwa sumber daya jaringan digunakan secara optimal dan mendukung tercapainya tujuan pendidikan berbasis teknologi[17], [18], [19].

Selain keunggulannya dari sisi teknis, Mikrotik juga dikenal sebagai solusi jaringan yang ekonomis dan mudah diimplementasikan, sehingga sangat cocok diterapkan di lingkungan sekolah yang memiliki keterbatasan anggaran dan sumber daya manusia di bidang IT[20], [21], [22]. Penerapan manajemen bandwidth menggunakan Mikrotik di sekolah bukan hanya meningkatkan performa jaringan, tetapi juga dapat menjadi bagian dari strategi pembelajaran teknologi informasi yang praktis bagi siswa dan tenaga kependidikan[23], [24], [25].

Sebagai tindak lanjut dari permasalahan yang telah diuraikan, penelitian ini mengarah pada analisis **pemanfaatan Mikrotik dalam manajemen bandwidth pada jaringan sekolah**, dengan fokus pada bagaimana Mikrotik dapat membantu mengatasi permasalahan jaringan yang ada[26], [27], [28], [29], serta mengevaluasi efektivitas pengaplikasiannya dalam menciptakan lingkungan jaringan yang kondusif bagi kegiatan belajar mengajar. Studi ini dirancang agar mampu memberikan masukan yang konstruktif dalam peningkatan strategi pengelolaan sistem Konektivitas berbasis teknologi dengan tingkat keandalan tinggi secara tepat, efisien, dan berkelanjutan di lingkungan pendidikan[30], [31], [32].

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif dengan disertai eksperimen terbatas untuk mendalami fenomena pemanfaatan perangkat Mikrotik dalam pengelolaan bandwidth jaringan di lingkungan sekolah[33], [34], [35], [36]. Pendekatan ini dipilih karena sesuai untuk mengkaji realitas yang kompleks dan dinamis, khususnya dalam konteks manajemen jaringan berbasis perangkat lunak dan perangkat keras tertentu. Penelitian deskriptif kualitatif memungkinkan peneliti untuk menggambarkan situasi sebagaimana adanya, menginterpretasikan data berdasarkan sudut pandang informan, serta mengkaji praktik teknis di lapangan dengan sudut pandang mendalam[37], [38], [39], [40].

2.1. Tempat dan Objek Penelitian

Studi ini berlangsung di salah satu institusi pendidikan tingkat menengah kejuruan di wilayah [SMKN 3 Pamekasan][41], [42], [43], yang telah menerapkan sistem jaringan internal

menggunakan perangkat Mikrotik sebagai router utama. Sekolah ini dipilih karena telah memanfaatkan Mikrotik untuk keperluan pengelolaan lalu lintas jaringan dan pembatasan bandwidth untuk tiap perangkat pengguna[44], [45], [46].

Subjek penelitian terdiri dari:

Administrator jaringan (Network Administrator), yaitu individu yang bertanggung jawab dalam konfigurasi dan pemeliharaan perangkat Mikrotik serta sistem jaringan sekolah[47], [48].

Staf Teknologi Informasi (TI), yang membantu dalam pengawasan operasional jaringan dan memberikan laporan kinerja jaringan[49].

Guru dan siswa, yang menjadi pengguna langsung jaringan internet dan mengalami dampak dari kebijakan manajemen bandwidth[50], [51], [52].

2.2. Metode Pemanfaatan Data

Dalam usaha mendapatkan informasi yang akurat, peneliti memanfaatkan beberapa teknik pengumpulan data, di antaranya[53].

a. Observasi Lapangan

Observasi dilakukan secara langsung terhadap infrastruktur jaringan di sekolah, termasuk perangkat keras (seperti Mikrotik router, switch, dan access point) serta bagaimana perangkat-perangkat tersebut saling terhubung. Peneliti juga mengamati konfigurasi Mikrotik, kebijakan pembagian bandwidth, serta praktik penggunaan jaringan di lingkungan sekolah[54], [55].

b. Wawancara Semi-terstruktur

Wawancara dilakukan kepada administrator jaringan, staf TI, serta pengguna (guru/siswa) untuk memperoleh informasi mendalam mengenai pemanfaatan Mikrotik dalam pengaturan bandwidth, kendala teknis yang dihadapi, serta persepsi mereka terhadap efektivitas sistem jaringan yang diterapkan[56], [57]. Wawancara bersifat terbuka agar informan dapat menjelaskan pengalamannya secara rinci.

c. Studi Dokumentasi

Dokumentasi yang dikumpulkan meliputi file konfigurasi Mikrotik, hasil monitoring jaringan, catatan penggunaan bandwidth harian, serta kebijakan internal sekolah terkait pemanfaatan jaringan. Dokumen-dokumen ini menjadi bukti pelengkap untuk memperkuat hasil wawancara dan observasi[58], [59].

d. Eksperimen Terbatas

Sebagai bagian dari validasi teknis, dilakukan eksperimen terbatas berupa pengujian langsung konfigurasi bandwidth menggunakan Mikrotik[60]. Eksperimen mencakup:

Konfigurasi Simple Queue untuk membatasi kecepatan akses internet bagi beberapa IP address[61].

Penerapan Queue Tree untuk membagi bandwidth secara dinamis berdasarkan layanan (HTTP, video streaming, dll.)[62].

Penggunaan Layer 7 Protocol untuk memblokir aplikasi tertentu yang tidak mendukung aktivitas pembelajaran. Eksperimen dilakukan pada jaringan uji coba di sekolah untuk melihat perbedaan performa jaringan sebelum dan sesudah pengaturan dilakukan[63].

2.3. Metode Pemeriksaan Data

Data yang telah dikumpulkan dari observasi, wawancara, dokumentasi, dan eksperimen dianalisis menggunakan pendekatan kualitatif[64]. Proses analisis dilakukan melalui tiga tahap, yaitu:

Reduksi Data: Menyaring data yang relevan dengan fokus penelitian dan mengelompokkan informasi sesuai tema, seperti konfigurasi Mikrotik, kebijakan bandwidth, dan kendala teknis[65].

Penyajian Data: Menyusun data dalam bentuk narasi deskriptif, tabel, dan ilustrasi untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai kondisi jaringan dan implementasi manajemen bandwidth[66].

2.4. Validitas dan Keabsahan Data

Untuk menjaga validitas hasil penelitian, digunakan strategi triangulasi diterapkan, melibatkan kombinasi antara sumber informasi dan pendekatan pengumpulan data yang beragam. dari observasi dibandingkan melalui hasil wawancara dan dokumentasi. untuk hasil eksperimen digunakan untuk memperkuat atau memverifikasi temuan deskriptif[67]. Untuk memastikan keakuratan data, peneliti meminta konfirmasi dari partisipan melalui teknik member checking. yaitu mengonfirmasi menghadirkan kembali hasil interpretasi kepada informan utama supaya tidak terjadi kesalahan persepsi atau kekeliruan dalam penarikan makna[68].

2.5. Peran Peneliti

Dalam studi ini, peneliti mengambil peran sentral dan terlibat langsung dalam kegiatan pengumpulan data. tahapan analisis serta interpretasi terhadap data. Peneliti juga berkomitmen untuk memastikan bahwa pendekatan etis dijaga dengan baik, termasuk dengan mengajukan izin tertulis dari pihak sekolah sebelum melakukan eksperimen atau dokumentasi data[69]. Melalui pendekatan tersebut, penelitian ini diharapkan mampu menyajikan ilustrasi yang menyeluruh mengenai strategi pemanfaatan Mikrotik dalam manajemen bandwidth jaringan sekolah, serta memberikan rekomendasi yang dapat diterapkan secara praktis oleh institusi pendidikan lainnya yang menghadapi tantangan serupa dalam pengelolaan jaringan internet[70].

3. Hasil dan Pembahasan

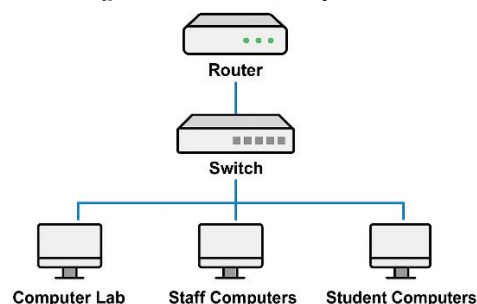
3.1. Kondisi Jaringan Sebelum Pemanfaatan Mikrotik

Berdasarkan hasil observasi lapangan dan wawancara dengan administrator jaringan sekolah, diketahui bahwa sebelum penerapan sistem manajemen bandwidth menggunakan Mikrotik, jaringan internet di sekolah mengalami beberapa permasalahan serius yang berdampak langsung pada proses pembelajaran dan aktivitas administrasi, di antaranya:

Ketidakeimbangan distribusi bandwidth, di mana pengguna tertentu mendapatkan akses lebih besar sementara yang lain tidak mendapat cukup akses.

Penggunaan jaringan untuk aktivitas non-pembelajaran, seperti menonton video YouTube, bermain game online, dan media sosial.

Lambatnya akses internet pada jam sibuk (sekitar pukul 08.00–11.00 WIB) yang mengganggu proses pembelajaran daring dan akses terhadap sumber belajar digital.



Gambar 1. Topologi Jaringan Sekolah Sebelum Konfigurasi Mikrotik
(Router langsung terhubung ke switch tanpa pengelolaan bandwidth yang terstruktur)

3.2. Implementasi Mikrotik dalam Manajemen Bandwidth

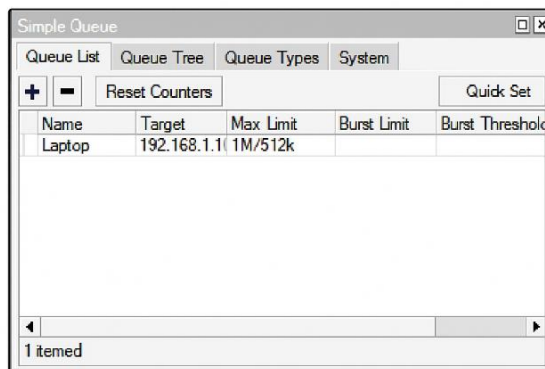
Setelah dilakukan analisis dan perencanaan, pihak sekolah memutuskan untuk memanfaatkan perangkat Mikrotik RouterBoard dalam rangka pengelolaan bandwidth yang lebih baik. Beberapa langkah konfigurasi dilakukan oleh tim teknis, di antaranya:

Konfigurasi Simple Queue: Digunakan untuk membatasi kecepatan akses internet berdasarkan IP address pengguna, misalnya siswa hanya memperoleh kecepatan maksimal 2 Mbps, sementara guru mendapat prioritas hingga 5 Mbps.

Penggunaan Queue Tree: Untuk mengelompokkan jenis layanan, seperti HTTP, video streaming, atau aplikasi pembelajaran, dan memberikan prioritas berbeda.

Implementasi Layer 7 Protocol (L7): Untuk memblokir aplikasi atau situs yang tidak mendukung kegiatan pendidikan seperti YouTube, TikTok, atau situs torrent.

Monitoring Real-Time: Melalui fitur Graphing dan Torch di Mikrotik, administrator dapat memantau lalu lintas bandwidth secara langsung.



Gambar 2. Tampilan Simple Queue di Winbox Mikrotik



Gambar 3. Contoh Script Layer 7 Protocol untuk Blokir YouTube

3.3. Hasil Monitoring Jaringan Setelah Konfigurasi

Hasil dari eksperimen terbatas menunjukkan adanya peningkatan stabilitas jaringan yang signifikan setelah konfigurasi manajemen bandwidth dilakukan. Data berikut diperoleh selama lima hari pengamatan.

Tabel 1. Perbandingan Stabilitas Jaringan Sebelum dan Sesudah Konfigurasi Mikrotik

Hari	Kinerja Sebelum (Mbps)	Kinerja Sesudah (Mbps)	Gangguan Terjadi	Penggunaan Streaming
Senin	Fluktuatif (20–45 Mbps)	Stabil (45 Mbps)	1x	Diblokir
Selasa	Tidak stabil (30 Mbps)	Stabil (47 Mbps)	0x	Diblokir
Rabu	Lambat (25 Mbps)	Stabil (46 Mbps)	1x ringan	Tidak terdeteksi
Kamis	Fluktuatif	Stabil	0x	Diblokir
Jumat	Tidak stabil	Stabil	0x	Diblokir

3.4. Distribusi Bandwidth Berdasarkan Kategori Pengguna

Setelah konfigurasi, bandwidth yang tersedia dibagi secara proporsional agar seluruh pengguna dapat mengakses internet secara adil dan sesuai kebutuhannya.

Tabel 2. Pembagian Bandwidth Berdasarkan Kategori

Kategori Pengguna	Alokasi Bandwidth	Prioritas	Pengaturan Queue
Administrator	10 Mbps	Tertinggi	Queue Tree
Guru	5 Mbps	Tinggi	Simple Queue
Siswa	2 Mbps per IP	Menengah	Simple Queue
Tamu	1 Mbps per IP	Rendah	Simple Queue

Hasil ini menunjukkan bahwa pengguna dengan kepentingan utama (seperti guru dan admin) diberikan bandwidth yang lebih tinggi, sedangkan siswa dan pengguna tamu tetap mendapatkan akses namun dengan batasan kecepatan yang sesuai.

3.5. Evaluasi Efektivitas dan Umpan Balik Pengguna

Setelah satu minggu penerapan sistem manajemen bandwidth berbasis Mikrotik, dilakukan evaluasi terhadap tingkat kepuasan pengguna jaringan sekolah. Sebagian besar guru menyatakan bahwa koneksi internet kini lebih cepat dan stabil, sedangkan siswa merasa akses internet lebih adil dan tidak rebutan kecepatan jaringan. Komentar umum dari responden menyebutkan bahwa:

“Jaringan tidak lagi lag saat mengajar menggunakan Zoom atau Google Meet.”

“Streaming video di luar pembelajaran sudah tidak bisa diakses, bagus untuk fokus.”

“Koneksi untuk pencarian bahan ajar dan upload tugas menjadi lebih cepat.”

3.6. Pembahasan

Berdasarkan hasil di atas, dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan Mikrotik dalam manajemen bandwidth terbukti efektif dalam meningkatkan kinerja jaringan sekolah. Mikrotik memungkinkan admin jaringan untuk melakukan kontrol penuh terhadap lalu lintas data, menetapkan batas kecepatan, serta memantau penggunaan bandwidth secara real-time.

Konfigurasi fitur-fitur seperti Simple Queue, Queue Tree, dan Layer 7 Protocol memberikan fleksibilitas tinggi dalam pengelolaan jaringan sesuai dengan kebutuhan sekolah. Hal ini penting mengingat keterbatasan sumber daya IT di lingkungan pendidikan, baik dari sisi infrastruktur maupun SDM.

Selain dari aspek teknis, hasil survei menunjukkan bahwa pendekatan ini juga meningkatkan kepuasan pengguna. Dengan adanya pengaturan bandwidth yang adil dan terstruktur, semua pengguna jaringan — baik guru, siswa, maupun staf — dapat mengakses internet secara optimal sesuai prioritas dan fungsi masing-masing.

Dari segi biaya dan implementasi, Mikrotik merupakan solusi yang sangat terjangkau dibandingkan perangkat manajemen jaringan komersial lainnya, dan dapat dijalankan oleh tenaga IT dengan pelatihan terbatas. Hal ini menjadikan Mikrotik sebagai pilihan ideal bagi sekolah-sekolah yang ingin menerapkan manajemen jaringan secara efektif namun tetap ekonomis.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, pemanfaatan Mikrotik dalam manajemen bandwidth terbukti efektif dalam mengoptimalkan performa jaringan di lingkungan sekolah. Mikrotik menyediakan fitur-fitur manajemen jaringan yang mampu membatasi, mengatur prioritas, serta memonitor penggunaan bandwidth secara real-time. Dengan penerapan konfigurasi yang tepat, Mikrotik mampu menjamin distribusi bandwidth yang adil dan stabil antar pengguna jaringan. Hal ini berkontribusi langsung terhadap peningkatan efisiensi pembelajaran berbasis

teknologi dan kelancaran akses informasi digital di sekolah. Oleh karena itu, Mikrotik menjadi solusi yang tepat dan ekonomis dalam pengelolaan jaringan pendidikan.

Daftar Pustaka

- [1] R. Saha *et al.*, “A Blockchain Framework in Post-Quantum Decentralization,” *IEEE Trans. Serv. Comput.*, vol. 16, no. 1, pp. 1–12, 2023, doi: 10.1109/TSC.2021.3116896.
- [2] H. Zhou, K. Jiang, S. He, G. Min, and J. Wu, “Distributed Deep Multi-Agent Reinforcement Learning for Cooperative Edge Caching in Internet-of-Vehicles,” *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 22, no. 12, pp. 9595–9609, 2023, doi: 10.1109/TWC.2023.3272348.
- [3] H. Gao, J. Xiao, Y. Yin, T. Liu, and J. Shi, “A Mutually Supervised Graph Attention Network for Few-Shot Segmentation: The Perspective of Fully Utilizing Limited Samples,” *IEEE Trans. Neural Networks Learn. Syst.*, vol. 35, no. 4, pp. 4826–4838, 2024, doi: 10.1109/TNNLS.2022.3155486.
- [4] Z. Soltani, S. Ma, M. Khorsand, and V. Vittal, “Simultaneous Robust State Estimation, Topology Error Processing, and Outage Detection for Unbalanced Distribution Systems,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 38, no. 3, pp. 2018–2034, 2023, doi: 10.1109/TPWRS.2022.3181118.
- [5] W. J. Tay, S. L. Lew, and S. Y. Ooi, “An IKEv2-based Approach for Remote Access VPN on MikroTik Router,” *J. Inf. Sci. Eng.*, vol. 40, no. 5, pp. 1093–1114, 2024, doi: 10.6688/JISE.202409_40(5).0011.
- [6] Y. Tan, J. Liu, X. Xie, E. Tian, and J. Liu, “Dynamic-Memory Event-Triggered Sliding-Mode Secure Control for Nonlinear Semi-Markov Jump Systems With Stochastic Cyber Attacks,” *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.*, vol. 22, pp. 202–214, 2024, doi: 10.1109/TASE.2023.3349150.
- [7] Y. Xia *et al.*, “AI-Driven and MEC-Empowered Confidential Information Coverage Hole Recovery in 6G-Enabled IoT,” *IEEE Trans. Netw. Sci. Eng.*, vol. 10, no. 3, pp. 1256–1269, 2023, doi: 10.1109/TNSE.2022.3154760.
- [8] J. S. Park *et al.*, “A Multi-Mode 8k-MAC HW-Utilization-Aware Neural Processing Unit with a Unified Multi-Precision Datapath in 4-nm Flagship Mobile SoC,” *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 58, no. 1, pp. 189–202, 2023, doi: 10.1109/JSSC.2022.3205713.
- [9] M. Qaraqe *et al.*, “PublicVision: A Secure Smart Surveillance System for Crowd Behavior Recognition,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 26474–26491, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3366693.
- [10] L. Yuanliang and J. Yan, “Cybersecurity of Smart Inverters in the Smart Grid: A Survey,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 38, no. 2, pp. 2364–2383, 2023, doi: 10.1109/TPEL.2022.3206239.
- [11] G. K. Chen, P. C. Knag, C. Tokunaga, and R. K. Krishnamurthy, “An Eight-Core RISC-V Processor With Compute Near Last Level Cache in Intel 4 CMOS,” *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 58, no. 4, pp. 1117–1128, 2023, doi: 10.1109/JSSC.2022.3228765.
- [12] M. Ibrar, L. Wang, N. Shah, O. Rottenstreich, G. M. Muntean, and A. Akbar, “Reliability-Aware Flow Distribution Algorithm in SDN-Enabled Fog Computing for Smart Cities,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 72, no. 1, pp. 573–588, 2023, doi: 10.1109/TVT.2022.3202195.
- [13] A. Lakhan *et al.*, “Federated-Learning Based Privacy Preservation and Fraud-Enabled Blockchain IoMT System for Healthcare,” *IEEE J. Biomed. Heal. Informatics*, vol. 27, no. 2, pp. 664–672, 2023, doi: 10.1109/JBHI.2022.3165945.
- [14] B. A. Prakosa, Y. Afrianto, S. Agustiyana, and I. H. Setiadi, “Evaluating Bandwidth Management Techniques on Mikrotik Routers: A Multiple Linear Regression Approach,” *Ing. des. Syst. d'Information*, vol. 29, no. 4, pp. 1561–1572, 2024, doi: 10.18280/isi.290429.
- [15] A. T. El-Toukhy, M. M. Badr, M. M. E. A. Mahmoud, G. Srivastava, M. M. Fouda, and M. Alsabaan, “Electricity Theft Detection Using Deep Reinforcement Learning in Smart Power Grids,” *IEEE Access*, vol. 11, pp. 59558–59574, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3284681.
- [16] S. M. Rajagopal, M. Supriya, and R. Buyya, “Resource Provisioning Using Meta-Heuristic Methods for IoT Microservices With Mobility Management,” *IEEE Access*, vol. 11, pp. 60915–60938, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3281348.
- [17] D. Wu, S. Zhao, J. Yang, and M. Sawan, “Software-Hardware Co-Design for Energy-Efficient Continuous Health Monitoring via Task-Aware Compression,” *IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst.*, vol. 17, no. 2, pp. 180–191, 2023, doi: 10.1109/TBCAS.2023.3238719.
- [18] Z. A. Khan, S. Amjad, F. Ahmed, A. M. Almasoud, M. Imran, and N. Javaid, “A Blockchain-Based Deep-Learning-Driven Architecture for Quality Routing in Wireless Sensor Networks,” *IEEE Access*, vol. 11, pp. 31036–31051, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3259982.
- [19] K. Thangavel, D. Spiller, R. Sabatini, P. Marzocca, and M. Esposito, “Near Real-Time Wildfire Management Using Distributed Satellite System,” *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol. 20, 2023, doi: 10.1109/LGRS.2022.3229173.
- [20] J. An *et al.*, “Stacked Intelligent Metasurface-Aided MIMO Transceiver Design,” *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 31, no. 4, pp. 123–131, 2024, doi: 10.1109/MWC.013.2300259.
- [21] C. Gu, Y. Liu, J. Wang, Q. Li, and L. Wu, “Carbon-Oriented Planning of Distributed Generation and Energy Storage Assets in Power Distribution Network With Hydrogen-Based Microgrids,” *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 14, no. 2, pp. 790–802, 2023, doi: 10.1109/TSTE.2022.3225314.
- [22] G. Interdonato and S. Buzzi, “Joint Optimization of Uplink Power and Computational Resources in Mobile Edge Computing-Enabled Cell-Free Massive MIMO,” *IEEE Trans. Commun.*, vol. 72, no. 3, pp. 1804–1820, 2024, doi: 10.1109/TCOMM.2023.3336355.
- [23] D. Qiu, J. Wang, Z. Dong, Y. Wang, and G. Strbac, “Mean-Field Multi-Agent Reinforcement Learning for Peer-to-Peer Multi-Energy Trading,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 38, no. 5, pp. 4853–4866, 2023, doi: 10.1109/TPWRS.2022.3217922.
- [24] C. Chen, B. Da Silva, C. Yang, C. Ma, J. Li, and C. Liu, “AutoMLP: A Framework for the Acceleration of Multi-Layer Perceptron Models on FPGAs for Real-Time Atrial Fibrillation Disease Detection,” *IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst.*, vol. 17, no. 6, pp. 1371–1386, 2023, doi: 10.1109/TBCAS.2023.3299084.

- [25] M. Gao, R. Shen, L. Shi, W. Qi, J. Li, and Y. Li, "Task Partitioning and Offloading in DNN-Task Enabled Mobile Edge Computing Networks," *IEEE Trans. Mob. Comput.*, vol. 22, no. 4, pp. 2435–2445, 2023, doi: 10.1109/TMC.2021.3114193.
- [26] A. Alkhateeb, S. Jiang, and G. Charan, "Real-Time Digital Twins: Vision and Research Directions for 6G and Beyond," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 61, no. 11, pp. 128–134, 2023, doi: 10.1109/MCOM.001.2200866.
- [27] Y. Guo, D. Zhou, P. Li, C. Li, and J. Cao, "Context-Aware Poly(A) Signal Prediction Model via Deep Spatial-Temporal Neural Networks," *IEEE Trans. Neural Networks Learn. Syst.*, vol. 35, no. 6, pp. 8241–8253, 2024, doi: 10.1109/TNNLS.2022.3226301.
- [28] A. Samanta, T. G. Nguyen, T. Ha, and S. Mumtaz, "Distributed Resource Distribution and Offloading for Resource-Agnostic Microservices in Industrial IoT," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 72, no. 1, pp. 1184–1195, 2023, doi: 10.1109/TVT.2022.3206137.
- [29] M. Adam, M. Hammoudeh, R. Alrawashdeh, and B. Alsulaimy, "A Survey on Security, Privacy, Trust, and Architectural Challenges in IoT Systems," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 57128–57149, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3382709.
- [30] M. U. Farooq, X. Wang, A. Hawbani, L. Zhao, A. Al-Dubai, and O. Busaileh, "SDORP: SDN Based Opportunistic Routing for Asynchronous Wireless Sensor Networks," *IEEE Trans. Mob. Comput.*, vol. 22, no. 8, pp. 4912–4929, 2023, doi: 10.1109/TMC.2022.3158695.
- [31] A. J. Garcia-Sanchez, R. Asorey-Cacheda, J. Garcia-Haro, and J. L. Gomez-Tornero, "Dynamic Multihop Routing in Terahertz Flow-Guided Nanosensor Networks: A Reinforcement Learning Approach," *IEEE Sens. J.*, vol. 23, no. 4, pp. 3408–3422, 2023, doi: 10.1109/JSEN.2023.3236394.
- [32] R. Azad *et al.*, "Medical Image Segmentation Review: The Success of U-Net," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 46, no. 12, pp. 10076–10095, 2024, doi: 10.1109/TPAMI.2024.3435571.
- [33] X. Li, S. Yu, Y. Lei, N. Li, and B. Yang, "Intelligent Machinery Fault Diagnosis With Event-Based Camera," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 20, no. 1, pp. 380–389, 2024, doi: 10.1109/TII.2023.3262854.
- [34] F. Safavi and M. Rahnemounfar, "Comparative Study of Real-Time Semantic Segmentation Networks in Aerial Images During Flooding Events," *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, vol. 16, pp. 15–31, 2023, doi: 10.1109/JSTARS.2022.3219724.
- [35] A. V. Savkin, C. Huang, and W. Ni, "Joint Multi-UAV Path Planning and LoS Communication for Mobile-Edge Computing in IoT Networks With RISs," *IEEE Internet Things J.*, vol. 10, no. 3, pp. 2720–2727, 2023, doi: 10.1109/JIOT.2022.3215255.
- [36] M. Zhang, S. Dong, P. Shi, G. Chen, and X. Guan, "Distributed Observer-Based Event-Triggered Load Frequency Control of Multiarea Power Systems Under Cyber Attacks," *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.*, vol. 20, no. 4, pp. 2435–2444, 2023, doi: 10.1109/TASE.2022.3208016.
- [37] U. Khayam, A. A. Suryandi, and Rachmawati, "Design of Bowtie Antenna With Rounded Edge and Middle-Sliced Modifications for UHF Partial Discharge Sensor," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 22822–22834, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3252006.
- [38] M. R. Rezaee, N. A. W. Abdul Hamid, M. Hussin, and Z. A. Zukarnain, "Fog Offloading and Task Management in IoT-Fog-Cloud Environment: Review of Algorithms, Networks, and SDN Application," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 39058–39080, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3375368.
- [39] M. A. Habibi *et al.*, "Toward an Open, Intelligent, and End-to-End Architectural Framework for Network Slicing in 6G Communication Systems," *IEEE Open J. Commun. Soc.*, vol. 4, pp. 1615–1658, 2023, doi: 10.1109/OJCOMS.2023.3294445.
- [40] L. Sava, V. Tîrșu, and C. Plămădeală, "Performance Evaluation of Mikrotik 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.
- [41] J. Ascenso, E. Alshina, T. Ebrahimi, and D. Grois, "The JPEG AI Standard: Providing Efficient Human and Machine Visual Data Consumption," *IEEE Multimed.*, vol. 30, no. 1, pp. 100–111, 2023, doi: 10.1109/MMUL.2023.3245919.
- [42] J. D. Morillo Reina and T. J. Mateo Sanguino, "Cloud-Based Automatic Configuration and Disaster Recovery of Communication Systems Applied in Engineering Training," *Electron.*, vol. 13, no. 21, 2024, doi: 10.3390/electronics13214203.
- [43] B. Yin, Z. Chen, and M. Tao, "Predictive GAN-Powered Multi-Objective Optimization for Hybrid Federated Split Learning," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 71, no. 8, pp. 4544–4560, 2023, doi: 10.1109/TCOMM.2023.3277878.
- [44] D. Saxena, I. Gupta, R. Gupta, A. K. Singh, and X. Wen, "An AI-Driven VM Threat Prediction Model for Multi-Risks Analysis-Based Cloud Cybersecurity," *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. Syst.*, vol. 53, no. 11, pp. 6815–6827, 2023, doi: 10.1109/TSMC.2023.3288081.
- [45] H. Altaheri, G. Muhammad, and M. Alsulaiman, "Physics-Informed Attention Temporal Convolutional Network for EEG-Based Motor Imagery Classification," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 19, no. 2, pp. 2249–2258, 2023, doi: 10.1109/TII.2022.3197419.
- [46] H. Song, S. Gao, Y. Li, L. Liu, and H. Dong, "Train-Centric Communication Based Autonomous Train Control System," *IEEE Trans. Intell. Veh.*, vol. 8, no. 1, pp. 721–731, 2023, doi: 10.1109/TIV.2022.3192476.
- [47] M. Y. Abdelsadek, G. Karabulut-Kurt, H. Yanikomeroglu, P. Hu, G. Lamontagne, and K. Ahmed, "Broadband Connectivity for Handheld Devices via LEO Satellites: Is Distributed Massive MIMO the Answer?," *IEEE Open J. Commun. Soc.*, vol. 4, pp. 713–726, 2023, doi: 10.1109/OJCOMS.2023.3253643.
- [48] A. A. Khan *et al.*, "GAN-IoTVS: A Novel Internet of Multimedia Things-Enabled Video Streaming Compression Model Using GAN and Fuzzy Logic," *IEEE Sens. J.*, vol. 23, no. 23, pp. 29434–29441, 2023, doi: 10.1109/JSEN.2023.3316088.
- [49] M. Guri, "AIR-FI: Leaking Data From Air-Gapped Computers Using Wi-Fi Frequencies," *IEEE Trans. Dependable Secur. Comput.*, vol. 20, no. 3, pp. 2547–2564, 2023, doi: 10.1109/TDSC.2022.3186627.
- [50] L. Li, Y. Liu, I. You, and F. Song, "A Smart Retransmission Mechanism for Ultra-Reliable Applications in Industrial Wireless Networks," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 19, no. 2, pp. 1988–1996, 2023, doi: 10.1109/TII.2022.3183221.
- [51] D. K. Murala, S. K. Panda, and S. P. Dash, "MedMetaverse: Medical Care of Chronic Disease Patients and Managing Data Using Artificial Intelligence, Blockchain, and Wearable Devices State-of-the-Art Methodology," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 138954–138985, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3340791.
- [52] E. Suethanuwong, "An Effective Prevention Approach Against ARP Cache Poisoning Attacks in MikroTik-based Networks," *ECTI Trans. Comput. Inf. Technol.*, vol. 19, no. 1, pp. 1–12, 2025, doi: 10.37936/ecti-cit.2025191.256401.
- [53] C. H. Rashid *et al.*, "Software Cost and Effort Estimation: Current Approaches and Future Trends," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 99268–99288, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3312716.

- [54] Y. Wang, Z. Su, Q. Xu, R. Li, T. H. Luan, and P. Wang, "A Secure and Intelligent Data Sharing Scheme for UAV-Assisted Disaster Rescue," *IEEE/ACM Trans. Netw.*, vol. 31, no. 6, pp. 2422–2438, 2023, doi: 10.1109/TNET.2022.3226458.
- [55] C. Ding, J. B. Wang, M. Cheng, M. Lin, and J. Cheng, "Dynamic Transmission and Computation Resource Optimization for Dense LEO Satellite Assisted Mobile-Edge Computing," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 71, no. 5, pp. 3087–3102, 2023, doi: 10.1109/TCOMM.2023.3253721.
- [56] M. Xu *et al.*, "When Large Language Model Agents Meet 6G Networks: Perception, Grounding, and Alignment," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 31, no. 6, pp. 1–9, 2024, doi: 10.1109/mwc.005.2400019.
- [57] Z. Sun, G. Sun, Y. Liu, J. Wang, and D. Cao, "BARGAIN-MATCH: A Game Theoretical Approach for Resource Allocation and Task Offloading in Vehicular Edge Computing Networks," *IEEE Trans. Mob. Comput.*, vol. 23, no. 2, pp. 1655–1673, 2024, doi: 10.1109/TMC.2023.3239339.
- [58] M. Liu, Y. Li, Y. Chen, Y. Qi, and L. Jin, "A Distributed Competitive and Collaborative Coordination for Multirobot Systems," *IEEE Trans. Mob. Comput.*, vol. 23, no. 12, pp. 11436–11448, 2024, doi: 10.1109/TMC.2024.3397242.
- [59] Z. Yang, M. Zolanvari, and R. Jain, "A Survey of Important Issues in Quantum Computing and Communications," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 25, no. 2, pp. 1059–1094, 2023, doi: 10.1109/COMST.2023.3254481.
- [60] H. Gao, W. Huang, T. Liu, Y. Yin, and Y. Li, "PPO2: Location Privacy-Oriented Task Offloading to Edge Computing Using Reinforcement Learning for Intelligent Autonomous Transport Systems," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 24, no. 7, pp. 7599–7612, 2023, doi: 10.1109/ITITS.2022.3169421.
- [61] R. Liu, M. Xie, A. Liu, and H. Song, "Joint Optimization Risk Factor and Energy Consumption in IoT Networks with TinyML-Enabled Internet of UAVs," *IEEE Internet Things J.*, vol. 11, no. 12, pp. 20983–20994, 2024, doi: 10.1109/JIOT.2023.3348837.
- [62] M. Ye, Q. L. Han, L. Ding, and S. Xu, "Distributed Nash Equilibrium Seeking in Games With Partial Decision Information: A Survey," *Proc. IEEE*, vol. 111, no. 2, pp. 140–157, 2023, doi: 10.1109/JPROC.2023.3234687.
- [63] 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.
- [64] 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.
- [65] F. P. Eka Putra, F. I. Maulana, N. M. Akbar, and W. Febriantoro, "Twitter sentiment analysis about economic recession in indonesia," *Bull. Soc. Informatics Theory Appl.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–7, 2023, doi: 10.31763/businta.v7i1.592.
- [66] 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.
- [67] 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.
- [68] F. P. E. Putra, U. Ubaidi, A. Hamzah, W. A. Pramadi, and A. Nuraini, "Systematic Literature Review: Security Gap Detection On Websites Using Owasap Zap," 2024. doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4227.
- [69] 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.
- [70] N. Haidar Hari, F. P. Eka Putra, U. Hasanah, S. R. Sutarsih, and Riyan, "Transformasi Jaringan Telekomunikasi dengan Teknologi 5G: Tantangan, Potensi, dan Implikasi," *J. Inf. dan Teknol.*, pp. 146–150, 2023, doi: 10.37034/jidt.v5i2.357.