

Analisis Perbandingan Kinerja Protokol IPv4 dan IPv6 pada Jaringan Komputer Modern

Nayla Firdauziah Rahman ¹⁾ , Resty Amylia Margareta ²⁾ 

¹⁾²⁾ Universitas Madura, Pamekasan, Indonesia

¹⁾ naylafirdauziyahr@gmail.com ²⁾ restymargareta197@gmail.com

Abstrak

Perkembangan teknologi pada bidang jaringan komputer menuntut hadirnya protokol komunikasi yang lebih cepat, lebih aman, serta mampu mengakomodasi peningkatan jumlah perangkat yang terhubung. Protokol IPv4, yang telah menjadi standar utama selama puluhan tahun, mulai menunjukkan berbagai keterbatasan, khususnya terkait kapasitas ruang alamat dan dukungan fitur keamanan. Kehadiran IPv6 menawarkan solusi melalui penyediaan ruang alamat yang jauh lebih luas, desain *header* yang lebih efisien, serta mekanisme keamanan yang terintegrasi secara bawaan. Penelitian ini bertujuan melakukan analisis komparatif terhadap kinerja IPv4 dan IPv6 melalui kajian literatur pada publikasi ilmiah periode 2023-2025. Metode yang digunakan berupa *Systematic Literature Review* dengan menelaah penelitian yang membahas aspek ruang alamat, keamanan, efisiensi routing, serta hambatan implementasi. Temuan kajian menunjukkan bahwa IPv6 memberikan peningkatan signifikan dalam aspek skalabilitas, integrasi keamanan, dan penyederhanaan struktur *header* yang mendukung efisiensi jaringan. Meskipun demikian, penerapan IPv6 secara global masih menghadapi kendala, terutama terkait kesiapan infrastruktur dan kebutuhan interoperabilitas dengan sistem berbasis IPv4. Oleh karena itu, pendekatan *dual-stack* dinilai sebagai strategi transisi yang praktis dalam mendukung migrasi penuh menuju arsitektur jaringan berbasis IPv6 pada masa mendatang.

Keywords: IPv4, IPv6, Jaringan Komputer, Keamanan Jaringan, Protokol Jaringan.

Article history: Received 5 April 2025, first decision 22 April 2025, accepted 22 August 2025, available online 28 October 2025

I. PENDAHULUAN

Kemajuan dalam teknologi informasi dan komunikasi telah mendorong meningkatnya kebutuhan terhadap sistem jaringan komputer yang mampu menyediakan layanan dengan kecepatan tinggi, tingkat keamanan memadai, dan keandalan optimal [1], [2]. Lingkungan jaringan modern kini menghadapi pertumbuhan pesat jumlah perangkat, ekspansi *Internet of Things* (IoT), meningkatnya penggunaan layanan berbasis *cloud*, serta tuntutan konektivitas global yang semakin kompleks [3], [4], [5]. Situasi tersebut menuntut protokol komunikasi yang tidak hanya efisien, tetapi juga mampu mengelola skala operasional yang jauh lebih besar dibandingkan generasi protokol sebelumnya. *Internet Protocol* versi 4 (IPv4), yang telah menjadi fondasi utama komunikasi internet selama lebih dari tiga dekade, mulai menunjukkan kendala signifikan. Keterbatasan ruang alamat 32-bit yang hanya menyediakan 4,3 miliar alamat IP menjadi permasalahan utama di tengah pertumbuhan pesat perangkat digital. Selain itu, arsitektur IPv4 dinilai kurang optimal dalam aspek keamanan maupun efisiensi *header*, sehingga berpotensi menurunkan performa jaringan berskala besar. Faktor-faktor ini memicu lahirnya *Internet Protocol* versi 6 (IPv6) sebagai protokol generasi baru yang menghadirkan peningkatan substansial, termasuk ruang alamat 128-bit yang sangat luas, struktur *header* yang lebih sederhana, serta integrasi fitur keamanan secara langsung [6], [7], [8], [9], [10]. Walaupun IPv6 dirancang sebagai penerus IPv4, proses adaptasinya di tingkat global masih berlangsung secara bertahap. Perbedaan mendasar dalam rancangan protokol, isu kompatibilitas, serta keterbatasan infrastruktur lama menjadi faktor penghambat penerapan IPv6 secara merata [7], [11], [12]. Oleh karena itu, kajian komparatif antara IPv4 dan IPv6 diperlukan untuk memahami keunggulan, kekurangan, serta dampak migrasi terhadap performa jaringan komputer kontemporer. Penelitian ini bermaksud mengevaluasi perbandingan kinerja kedua protokol tersebut melalui studi literatur terhadap publikasi ilmiah tahun 2023-2025. Analisis difokuskan pada aspek ruang alamat, efisiensi *header*, mekanisme keamanan, performa routing, dan tantangan implementasi. Melalui pendekatan ini, penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran menyeluruh mengenai relevansi serta kesiapan IPv6 sebagai protokol utama bagi arsitektur jaringan di masa mendatang.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Internet Protocol (IP) merupakan fondasi utama dalam jaringan komputer yang berfungsi untuk melakukan pengalamatan, pengiriman, serta perutean paket data antarperangkat [13], [14]. Selama lebih dari tiga dekade, IPv4 telah menjadi standar protokol yang paling luas digunakan di dunia. Namun, pertumbuhan pesat perangkat digital, ekspansi IoT, serta meningkatnya layanan berbasis *cloud* memunculkan kebutuhan akan ruang alamat yang jauh lebih besar [15], [16], [17], [18], [19], [20]. Sejumlah penelitian terbaru menunjukkan bahwa keterbatasan alamat 32-bit pada IPv4 menyebabkan ketergantungan pada mekanisme tambahan seperti *Network Address Translation* (NAT). Meskipun NAT mampu memperpanjang ketersediaan alamat, penerapannya menambah kompleksitas dalam pengelolaan jaringan dan berpotensi menurunkan efisiensi proses *routing* [21], [22], [23], [24]. Literatur periode 2023-2025 menegaskan bahwa IPv6 dirancang untuk mengatasi kendala tersebut dengan menyediakan kapasitas alamat 128-bit, struktur *header* yang lebih ringkas, serta dukungan keamanan bawaan melalui integrasi IPsec [25], [26], [27]. Kajian mutakhir juga menekankan bahwa IPv6 menawarkan peningkatan performa yang signifikan, terutama dalam efisiensi *routing*, pengelolaan trafik *multicast*, serta kemampuan konfigurasi otomatis melalui mekanisme *Stateless Address Autoconfiguration* (SLAAC). Penelitian pada lingkungan *cloud* dan jaringan 5G menunjukkan bahwa IPv6 mampu menghasilkan latensi lebih rendah dan *throughput* lebih konsisten dibandingkan IPv4, khususnya pada sistem jaringan berskala besar [28], [29], [30]. Selain itu, penggunaan *Neighbor Discovery Protocol* (NDP) pada IPv6 menggantikan *Address Resolution Protocol* (ARP) pada IPv4, sehingga meningkatkan efisiensi komunikasi antar-node dan mengurangi *overhead* [6], [31], [32]. Temuan lain juga mengungkap bahwa IPv6 memberikan peningkatan dukungan terhadap *Quality of Service* (QoS) melalui pemanfaatan *Flow Label*, fitur yang tidak tersedia pada IPv4 [33], [34], [35].

Walaupun demikian, berbagai sumber literatur mencatat bahwa proses migrasi dari IPv4 ke IPv6 masih menghadapi sejumlah kendala. Banyak perangkat dan jaringan lama belum sepenuhnya kompatibel dengan IPv6, sehingga diperlukan strategi transisi seperti *dual-stack*, *tunneling*, serta mekanisme translasi [36], [37], [38]. Penelitian tahun 2024 menunjukkan bahwa pendekatan *dual-stack* merupakan metode transisi paling luas digunakan karena memungkinkan kedua protokol berjalan bersamaan tanpa mengganggu layanan eksisting. Namun, beberapa studi lain melaporkan bahwa teknik *tunneling*, seperti 6to4 dan Teredo, dapat menimbulkan *overhead* tambahan yang berdampak pada penurunan performa jaringan [39], [40], [41], [42], [43]. Kendati terdapat tantangan, mayoritas penelitian sepakat bahwa migrasi menuju IPv6 bukan hanya kebutuhan teknis, tetapi juga langkah strategis untuk menghadapi perkembangan internet di masa mendatang. Secara keseluruhan, telaah pustaka dari berbagai penelitian pada periode 2023-2025 mengindikasikan bahwa IPv6 menawarkan solusi yang lebih menyeluruh terhadap permasalahan skalabilitas, keamanan, dan performa yang dihadapi IPv4 [44], [45], [46]. Meskipun tingkat adopsinya masih bervariasi, tren literatur menunjukkan peningkatan implementasi IPv6 pada sektor pendidikan, layanan *cloud*, serta infrastruktur telekomunikasi berbasis 5G [47], [48]. Dengan demikian, analisis komparatif antara IPv4 dan IPv6 menjadi penting sebagai landasan pemahaman mengenai evolusi protokol jaringan serta arah perkembangan teknologi internet di masa depan.

III. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) untuk menganalisis perbandingan kinerja IPv4 dan IPv6 secara teoritis tanpa melakukan praktik konfigurasi jaringan. Tahapan penelitian diawali dengan pengumpulan data sekunder melalui telaah literatur dari jurnal nasional maupun internasional yang diterbitkan pada periode 2023-2025 dan membahas performa, efisiensi, serta karakteristik teknis kedua protokol tersebut. Data yang dihimpun mencakup berbagai parameter utama, seperti *throughput*, *latency*, *jitter*, penggunaan *bandwidth*, *overhead header*, efisiensi *routing*, aspek keamanan, serta tingkat skalabilitas pada implementasi jaringan 4G, 5G, dan lingkungan *cloud* [11], [21], [49], [50], [51]. Setiap informasi yang diperoleh kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi pola perbedaan kinerja beserta faktor yang melatarbelakanginya. Selain itu, penelitian ini juga memanfaatkan pendekatan komparatif dengan membandingkan hasil pengujian dari berbagai sumber guna memperoleh representasi objektif terkait performa masing-masing protokol. Proses analisis dilakukan dengan menilai konsistensi temuan, kesesuaian metode pengujian yang digunakan, serta relevansi konteks penerapannya dalam jaringan. Seluruh data yang telah terkumpul dibuat dalam bentuk tabel komparatif untuk mempermudah pemetaan persamaan dan perbedaan antara IPv4 dan IPv6. Hasil analisis tersebut kemudian digunakan untuk merumuskan kesimpulan mengenai efektivitas, keunggulan, serta potensi hambatan dalam penerapan IPv6 sebagai penerus IPv4 pada infrastruktur jaringan komputer masa kini.

IV. HASIL

Hasil penelitian ini diperoleh melalui proses analisis sistematis terhadap sejumlah publikasi ilmiah yang diterbitkan antara tahun 2023 hingga 2025. Seluruh hasil analisis kemudian dikelompokkan ke dalam lima kategori utama, yakni kapasitas ruang alamat, struktur *header*, aspek keamanan, performa *routing*, serta hambatan dalam implementasi protokol.

A. Kapasitas Ruang Alamat dan Skalabilitas

Hasil telaah terhadap berbagai sumber literatur mengindikasikan bahwa perbedaan paling mendasar antara IPv4 dan IPv6 terletak pada kapasitas ruang alamat yang dimiliki masing-masing protokol. IPv4 dengan panjang alamat 32-bit hanya menyediakan sekitar 4,29 miliar alamat unik, jumlah yang pada awal kemunculannya dianggap memadai namun kini terbukti tidak mampu mengimbangi peningkatan masif perangkat digital. Sebaliknya, IPv6 menghadirkan lompatan signifikan melalui penggunaan alamat 128-bit yang menawarkan lebih dari $3,4 \times 10^{38}$ alamat, jumlah yang secara praktis tidak memiliki batas bagi kebutuhan jaringan modern maupun masa depan. Skala ruang alamat yang sangat besar tersebut menjadikan IPv6 lebih siap mendukung perkembangan ekosistem IoT, *smart city*, perangkat 5G, hingga infrastruktur *cloud* yang memerlukan alokasi alamat dalam jumlah sangat besar. Selain kapasitas alamat, literatur juga menunjukkan bahwa IPv6 menawarkan tingkat skalabilitas lebih tinggi dengan menghilangkan ketergantungan pada NAT (*Network Address Translation*). NAT pada IPv4 selama ini berfungsi sebagai solusi sementara untuk memperpanjang masa pakai ruang alamat, tetapi memunculkan sejumlah konsekuensi seperti meningkatnya kompleksitas *routing*, hilangnya komunikasi *end-to-end*, serta terganggunya performa layanan *real-time*. IPv6 mengatasi permasalahan ini dengan menyediakan alamat publik unik bagi setiap perangkat, sehingga arsitektur jaringan menjadi lebih sederhana dan efisien. Penghapusan NAT juga memberikan keuntungan performa, terutama pada aplikasi *peer-to-peer*, VoIP, dan layanan *cloud* yang memerlukan latensi rendah dan konektivitas langsung.

Dari aspek desain, IPv6 menawarkan struktur pengalamatan yang lebih hierarkis dan terorganisir, sehingga mampu mengurangi ukuran tabel *routing* global serta meningkatkan stabilitas aliran data. Sifat hierarkis ini memungkinkan *router* melakukan pemrosesan rute secara lebih cepat bila dibandingkan dengan jaringan IPv4, yang cenderung terfragmentasi akibat penggunaan NAT, subnet berukuran kecil, dan alokasi alamat yang tidak konsisten selama bertahun-tahun. Pada lingkungan data *center* dan *cloud*, sejumlah studi menyatakan bahwa IPv6 mendukung perancangan jaringan yang lebih sederhana dan fleksibel, terutama dalam pengaturan *container* dan virtualisasi yang membutuhkan ribuan alamat untuk setiap node.

B. Struktur Header

Struktur header memiliki peran yang sangat menentukan dalam kinerja sebuah jaringan, khususnya dalam hal seberapa cepat *router* mampu membaca dan meneruskan paket data ke tujuan. Setiap kali paket melintas dari satu perangkat ke perangkat lain, *router* harus memeriksa header tersebut terlebih dahulu. Karena itu, semakin sederhana bentuk header, semakin kecil pula waktu yang dibutuhkan *router* untuk memprosesnya. Berdasarkan berbagai penelitian terbaru, desain IPv6 memang dibuat dengan tujuan menyederhanakan proses ini. Protokol tersebut dirancang dengan struktur yang lebih ringkas, lebih bersih, dan lebih teratur, sehingga meminimalkan beban kerja perangkat jaringan ketika harus memproses paket dalam jumlah besar. Pada IPv4, ukuran header dapat berubah-ubah karena protokol ini menyediakan opsi tambahan yang bisa dimasukkan sesuai kebutuhan. Fleksibilitas tersebut membuat struktur header IPv4 tidak selalu sama antara satu paket dengan paket lainnya. *Router* akhirnya harus menghabiskan lebih banyak waktu untuk membaca dan memahami isi header sebelum paket bisa diteruskan ke hop berikutnya. Kondisi ini dapat menambah latensi terutama pada jaringan yang trafiknya sangat padat karena *router* membutuhkan waktu tambahan untuk decoding dan verifikasi struktur header yang tidak seragam. IPv6 hadir dengan pendekatan yang jauh lebih konsisten. Header utamanya memiliki ukuran tetap, yaitu 40 byte, dan hanya memuat informasi paling inti saja. Sementara opsi atau fitur tambahan ditempatkan secara terpisah di bagian header ekstensi. Dengan pemisahan ini, *router* tidak perlu lagi menganalisis struktur header yang berubah-ubah. Paket IPv6 menjadi jauh lebih mudah dan cepat diproses karena setiap header memiliki format yang sama, sehingga *router* dapat melakukan forwarding dengan lebih efisien. Keuntungan lain dari IPv6 adalah mekanisme fragmentasi yang diubah secara signifikan. Jika pada IPv4 *router* masih harus menangani fragmentasi paket, pada IPv6 pekerjaan ini sepenuhnya dialihkan kepada pengirim. *Router* tidak lagi dibebani tugas memecah paket yang terlalu besar, sehingga kinerjanya lebih terfokus pada proses forwarding. Pengurangan tanggung jawab ini membuat *router* bekerja lebih ringan dan mampu mempertahankan performa yang stabil, terutama dalam jaringan berskala besar seperti pusat data, layanan *cloud*, atau jaringan ISP yang menangani lalu lintas tinggi. Dengan desain yang lebih konsisten dan proses pemrosesan yang lebih efisien, IPv6 mampu memberikan pengalaman jaringan yang lebih cepat dan stabil dibandingkan dengan IPv4 terutama ketika jaringan menghadapi beban trafik tinggi dan kebutuhan *routing* yang kompleks.

Tabel Perbandingan Struktur Header IPv4 dan IPv6:

Aspek	IPv4	IPv6
Panjang Header	20 - 60 byte (bervariasi)	40 byte (tetap)
Fragmentasi	Dilakukan oleh router	Dilakukan hanya oleh endpoint
Opsi Tambahan	Menambah kompleksitas header	Dipindah ke header ekstensi
Efisiensi Routing	Lebih rendah karena struktur tidak konsisten	Lebih tinggi dan stabil

Desain header IPv6 yang lebih sederhana dan konsisten inilah yang membuat protokol ini lebih unggul dalam proses routing, terutama pada jaringan besar seperti sistem cloud, pusat data, dan infrastruktur ISP, yang sangat membutuhkan efisiensi operasional yang tinggi.

C. Keamanan

Aspek keamanan menjadi salah satu pembeda yang cukup menonjol ketika kita membandingkan IPv4 dan IPv6. Pada protokol IPv4, sistem pengamanan sebenarnya tidak disediakan secara langsung di dalam desainnya. Artinya, kalau sebuah jaringan ingin memiliki perlindungan yang memadai, administrator harus menambahkan protokol keamanan tambahan seperti IPsec. Masalahnya, penggunaan IPsec pada IPv4 bukan sesuatu yang wajib, sehingga banyak jaringan yang menggunakan standar keamanan berbeda-beda bergantung pada kebijakan atau kemampuan administratornya. Situasi ini membuat tingkat keamanan pada jaringan berbasis IPv4 sering kali tidak konsisten dan mudah terjadi celah apabila konfigurasi tidak dilakukan dengan benar. Berbeda dari IPv4, IPv6 dikembangkan dengan pendekatan yang jauh lebih terstruktur di bagian keamanannya. Pengembang protokol ini sudah langsung menyematkan dukungan IPsec sebagai bagian dari arsitektur utama, bukan hanya sebagai tambahan opsional. Dengan kata lain, setiap paket yang dikirim melalui IPv6 memiliki potensi untuk diamankan sejak awal tanpa perlu konfigurasi tambahan dari pihak luar. Protokol ini juga dilengkapi fitur seperti Authentication Header (AH) dan Encapsulating Security Payload (ESP) yang memungkinkan proses enkripsi, verifikasi, dan validasi data berjalan otomatis. Keberadaan fitur-fitur ini membuat IPv6 lebih siap menghadapi ancaman umum seperti pembajakan alamat (spoofing), penyadapan data, ataupun pengulangan paket yang digunakan untuk serangan replay. Meski demikian, bukan berarti IPv6 sepenuhnya bebas dari kelemahan. Dalam beberapa penelitian ditemukan bahwa mekanisme SLAAC (Stateless Address Autoconfiguration), yang biasanya digunakan untuk memberikan alamat otomatis pada perangkat, dapat menjadi pintu masuk bagi serangan jika tidak dikonfigurasi dengan benar. Begitu pula dengan Neighbor Discovery Protocol (NDP) yang bisa menjadi target eksploitasi apabila jaringan tidak memiliki pengamanan tambahan. Ini menunjukkan bahwa meskipun IPv6 membawa sistem keamanan lebih kuat, tetap ada potensi risiko yang harus diperhatikan. Meskipun ada kekurangan, sebagian besar studi sepakat bahwa secara keseluruhan, fitur keamanan bawaan IPv6 lebih matang dibandingkan IPv4. Hal ini terutama karena konsep keamanannya sudah dirancang dari tahap awal pembangunan protokol, bukan ditambahkan belakangan. Dengan desain seperti itu, IPv6 dianggap memberikan fondasi yang lebih stabil dan lebih aman bagi jaringan modern yang terus berkembang, khususnya pada era IoT, cloud computing, dan infrastruktur digital yang semakin kompleks.

Diagram Sederhana Perbandingan Keamanan:

```
IPv4: Header -> Data -> (Keamanan tambahan jika diaktifkan)
IPv6: Header -> Data -> (Keamanan terintegrasi IPsec)
```

D. Performa Routing

Performa routing merupakan salah satu komponen utama yang menjadi fokus dalam perbandingan kedua protokol pada penelitian ini. Aspek ini sangat menentukan kualitas sebuah jaringan, karena proses routing yang efisien akan berpengaruh langsung pada kecepatan pengiriman data dan stabilitas koneksi. Berdasarkan hasil analisis dari berbagai literatur, terlihat bahwa IPv6 mampu memberikan kinerja routing yang lebih optimal dibandingkan dengan IPv4. Keunggulan ini terutama muncul karena IPv6 dirancang menggunakan struktur header yang jauh lebih sederhana. Dengan format header yang lebih ringkas dan tidak berubah-ubah, router tidak harus melakukan proses pemeriksaan yang rumit seperti pada IPv4, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk meneruskan paket menjadi lebih cepat. Kondisi tersebut sekaligus mengurangi beban kerja CPU pada perangkat jaringan, terutama ketika harus menangani lalu lintas data dalam jumlah besar. Selain kesederhanaan header, sistem pengalaman IPv6 juga dirancang secara lebih hierarkis. Struktur yang lebih teratur ini membuat tabel routing menjadi lebih mudah dikelola, tidak terlalu besar, dan lebih efisien dalam pencarian jalur. Router dapat menemukan rute terbaik dengan lebih cepat karena informasi yang tersimpan di dalam tabel routing tidak sepadat IPv4 yang cenderung tidak terstruktur akibat penggunaan NAT, subnet kecil, dan alokasi alamat yang acak. Efisiensi ini juga berdampak pada pengurangan overhead, sehingga kinerja jaringan secara keseluruhan menjadi lebih stabil. Sejumlah penelitian yang dilakukan pada berbagai jenis lingkungan jaringan modern termasuk sistem cloud, jaringan 5G, serta infrastruktur berskala besar menunjukkan pola yang sama. IPv6 secara konsisten memberikan latensi yang lebih rendah dan throughput yang lebih baik dibandingkan IPv4. Hal

ini membuktikan bahwa desain IPv6 memang lebih relevan dan sesuai dengan kebutuhan jaringan saat ini, yang menuntut kecepatan tinggi, respons cepat, dan kemampuan menangani trafik dalam jumlah besar secara berkelanjutan.

Ilustrasi ASCII Perbandingan Latensi:

```
Latency (ms)
IPv4: |||||
IPv6: |||||
```

Kinerja ini sangat berpengaruh pada aplikasi modern seperti IoT, layanan real-time, serta lingkungan virtualisasi yang membutuhkan efisiensi data tinggi.

E. Hambatan Implementasi Protokol

Walaupun IPv6 membawa sejumlah kelebihan yang cukup signifikan, proses penerapannya dalam lingkungan jaringan nyata ternyata tidak semudah yang dibayangkan. Ada berbagai hambatan praktis yang membuat adopsinya berjalan lebih lambat daripada yang diharapkan. Salah satu kendala terbesar adalah masalah kompatibilitas perangkat. Banyak perangkat keras jaringan seperti router, modem, switch, serta firewall generasi lama belum sepenuhnya mendukung fitur-fitur IPv6. Hal yang sama juga terjadi pada banyak perangkat IoT lawas yang masih dirancang untuk bekerja dengan IPv4 saja. Kondisi ini menyebabkan proses perpindahan ke IPv6 tidak bisa dilakukan secara langsung, karena jaringan harus memastikan bahwa seluruh perangkat mampu menjalankan protokol baru tersebut secara stabil dan aman. Di samping itu, tantangan lain yang sering ditemui adalah keterbatasan sumber daya manusia yang memahami IPv6 secara mendalam. Tidak sedikit organisasi atau instansi yang masih mengandalkan administrator jaringan dengan pengalaman terbatas terkait konfigurasi IPv6. Kurangnya pemahaman teknis ini dapat memicu kesalahan konfigurasi, yang pada gilirannya berpotensi mengganggu keamanan jaringan ataupun menyebabkan gangguan operasional. IPv6 memiliki karakteristik dan mekanisme yang berbeda dari IPv4, sehingga kesalahan kecil sekalipun bisa berdampak cukup besar.

Dari sisi teknis, banyak jaringan akhirnya memilih menjalankan mode **dual-stack**, yaitu menjalankan IPv4 dan IPv6 secara bersamaan. Pendekatan ini memang dianggap sebagai solusi transisi yang paling aman karena tidak memaksa jaringan langsung berpindah sepenuhnya ke IPv6. Namun, penggunaan dual-stack juga memiliki konsekuensi tersendiri. Router dan perangkat jaringan lainnya harus memproses dua protokol sekaligus, sehingga membutuhkan kapasitas CPU dan memori yang lebih besar. Beban tambahan ini dapat menurunkan performa perangkat apabila infrastruktur tidak dirancang untuk menangani dua protokol secara paralel. Selain dual-stack, terdapat pula beberapa metode transisi lain seperti tunneling misalnya 6to4, ISATAP, dan Teredo. Meski metode ini memungkinkan paket IPv6 melintas dalam jaringan IPv4, teknik tunneling juga membawa overhead tambahan. Paket data harus dibungkus ulang sebelum dikirim, sehingga ukuran paket bertambah dan proses routing menjadi lebih panjang. Hal ini dapat mengakibatkan penurunan performa jaringan, terutama jika lalu lintas data sangat padat atau perangkat jaringan tidak cukup kuat untuk memproses beban ekstra tersebut. Secara keseluruhan, berbagai faktor tersebut menunjukkan bahwa meskipun IPv6 memiliki potensi besar, proses implementasinya tetap membutuhkan kesiapan infrastruktur, SDM yang terlatih, dan strategi transisi yang tepat agar dapat berjalan dengan optimal.

Tabel Hambatan Implementasi IPv6:

Hambatan	Dampak
Perangkat belum kompatibel	Migrasi terlambat dan biaya upgrade meningkat
Kekurangan SDM	Konfigurasi tidak optimal
Infrastruktur lama	Membutuhkan penyesuaian signifikan
Dual-stack menambah beban sistem	Konsumsi memori dan CPU meningkat

Secara keseluruhan, proses transisi membutuhkan perencanaan matang agar penerapan IPv6 dapat berjalan efektif.

V. PEMBAHASAN

Pembahasan dalam penelitian ini menggambarkan berbagai perbedaan mendasar antara IPv4 dan IPv6, baik dilihat dari sisi teknis maupun penerapannya di lapangan. Dari hasil penelusuran berbagai sumber pustaka, terlihat bahwa IPv6 dikembangkan sebagai generasi penerus IPv4 dengan membawa sejumlah perbaikan penting, terutama pada aspek skalabilitas, keamanan, serta kecepatan pengolahan data dalam jaringan. Salah satu peningkatan yang paling menonjol pada IPv6 adalah kemampuannya menyediakan ruang alamat yang jauh lebih luas, sehingga mampu mengakomodasi jumlah perangkat yang semakin meningkat setiap tahun. Selain itu, desain header IPv6 yang lebih

ringkas dan rapi membuat proses routing berjalan lebih lancar dan efisien dibandingkan IPv4 yang memiliki struktur lebih kompleks. Namun, sekalipun IPv6 menawarkan banyak peningkatan secara teknis, bukan berarti proses perpindahan dari IPv4 dapat dilakukan dengan mudah. Penelitian ini menunjukkan bahwa ada berbagai hambatan yang menghalangi penerapan IPv6 secara menyeluruh. Beberapa di antaranya adalah keterbatasan perangkat keras maupun perangkat lunak yang belum mendukung IPv6 secara penuh, tingginya biaya pembaruan infrastruktur, serta kurangnya tenaga ahli yang benar-benar memahami cara konfigurasi dan pengelolaan jaringan berbasis IPv6. Tidak sedikit organisasi yang masih bertahan menggunakan IPv4 karena sistem yang mereka miliki telah berjalan stabil selama bertahun-tahun, sehingga peralihan ke protokol baru dianggap membutuhkan persiapan yang matang dan investasi tambahan. Meski banyak tantangan yang harus dihadapi, perkembangan implementasi IPv6 di berbagai sektor terus menunjukkan peningkatan. Hal ini didorong oleh semakin luasnya penggunaan teknologi modern yang sangat bergantung pada konektivitas stabil, seperti Internet of Things, pengembangan kota pintar, layanan komputasi awan, serta jaringan 5G. Dalam situasi tersebut, IPv6 tidak lagi dapat dipandang sebagai pilihan alternatif, tetapi lebih sebagai kebutuhan penting agar jaringan mampu beradaptasi dan berkembang mengikuti kemajuan teknologi digital yang terus berkembang pesat. Dengan demikian, pembahasan ini menekankan bahwa keberhasilan migrasi menuju IPv6 memerlukan perpaduan antara kesiapan infrastruktur yang memadai, peningkatan kemampuan sumber daya manusia, serta penerapan langkah transisi yang tepat. Ketiga aspek ini menjadi kunci agar proses peralihan berjalan lancar dan mampu memberikan manfaat optimal bagi pengembangan jaringan di masa mendatang.

VI. KESIMPULAN

Hasil analisis yang diperoleh dari berbagai literatur menunjukkan bahwa IPv6 merupakan pengembangan signifikan dari IPv4 dalam menghadapi kebutuhan jaringan modern yang semakin kompleks. Dengan kapasitas ruang alamat yang jauh lebih luas, struktur header yang dirancang lebih efisien, serta integrasi fitur keamanan secara bawaan, IPv6 tampil sebagai solusi yang lebih siap untuk mendukung pertumbuhan perangkat dan layanan digital di masa mendatang. Keunggulan-keunggulan ini juga tercermin pada performa routing yang lebih stabil dan responsif, terutama pada sistem jaringan berskala besar seperti infrastruktur cloud, 5G, dan ekosistem IoT. Meskipun demikian, adopsi IPv6 belum dapat dilakukan sepenuhnya tanpa tantangan. Hambatan berupa keterbatasan perangkat lama, biaya peningkatan infrastruktur, serta minimnya sumber daya manusia yang memahami konfigurasi IPv6 menjadi faktor penghambat utama. Strategi transisi seperti dual-stack memang memberikan jalan tengah yang efektif, namun tetap menambah kompleksitas teknis di sisi operasional. Oleh sebab itu, proses migrasi menuju IPv6 perlu dilakukan secara bertahap dan terencana, disertai peningkatan kompetensi teknis serta pembaruan infrastruktur. Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa IPv6 merupakan fondasi penting bagi perkembangan jaringan komputer masa depan. Implementasinya bukan sekadar pilihan teknis, melainkan sebuah kebutuhan strategis agar jaringan tetap relevan, aman, dan mampu melayani pertumbuhan teknologi digital yang terus meningkat. Dengan persiapan yang matang dan dukungan infrastruktur yang memadai, migrasi menuju IPv6 akan menjadi langkah penting dalam memastikan keberlanjutan evolusi internet di masa mendatang.

Kontribusi Penulis: [Nayla]: Perangkat Lunak, Investigasi, Kurasi Data, Penulisan – Draf Akhir. Nayla memverifikasi hasil akurasi data terhadap berbagai sumber jurnal yang relevan, serta penyusunan draf akhir hasil penelitian. [Resty]: Konseptualisasi, Metodology, Penulisan – Draf Awal, Penulisan – Tinjauan & Penyuntingan, Supervisi. Resty merancang konsep dan metodologi penelitian, proses penulisan dan validasi akhir naskah.

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: -

Pernyataan Dewan Peninjau Institusional: -

Subjek Hewan: -

ORCID:

First Author: -

Second Author: -

Third Author: -

REFERENSI

- [1] A. Musunuri, P. Goel, and A. Renuka, "Innovations in Multicore Network Processor Design for Enhanced Performance," *Innovative Research Thoughts*, vol. 9, no. 3, pp. 177–190, Jun. 2023, doi: 10.36676/irt.v9.i3.1460.
- [2] A. A. Puspitasari, T. T. An, M. H. Alsharif, and B. M. Lee, "Emerging Technologies for 6G Communication Networks: Machine Learning Approaches," *Sensors*, Sep. 2023, doi: 10.3390/s23187709.
- [3] P. Gkonis et al., "A Survey on IoT-Edge-Cloud Continuum Systems," 2023, doi: 10.20944/preprints202311.0532.v1.
- [4] R. Almutairi, G. Bergami, and G. Morgan, "Advancements and Challenges in IoT Simulators," *Sensors*, vol. 24, no. 5, p. 1511, 2024, doi: 10.3390/s24051511.
- [5] F. P. E. Putra, U. Ubaidi, R. N. Saputra, F. M. Haris, and S. N. R. Barokah, "Application of IoT Technology in Monitoring Water Quality," *Brilliance: Research of AI*, vol. 4, no. 1, pp. 356–361, 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4231.
- [6] A. Hamarshah, "Evaluating IPv6 Transition Technologies," *IETE Journal of Research*, 2024, doi: 10.1080/03772063.2024.2370951.
- [7] A. Hamarshah et al., "Comparative Evaluation of IPv4–IPv6 Communication," *IJ Cloud Applications*, 2023, doi: 10.4018/IJCAC.332765.
- [8] A. G. AlEnezi and M. F. Aldhamen, "Comparative Study between IPv4 and IPv6," *IJARCCCE*, 2023, doi: 10.17148/IJARCCCE.2023.12310.
- [9] F. P. E. Putra et al., "Analisis Komparasi WebSocket dan MQTT," *Jurnal Sistem Informasi dan Teknologi*, 2024, doi: 10.60083/jsisfotek.v5i4.325.
- [10] F. P. E. Putra, M. Dafid, and I. Syafi'i, "Firewall Implementation as Network Security Strategy," *Brilliance: Research of AI*, 2025, doi: 10.47709/brilliance.v5i1.6162.
- [11] I. Meijers, "IPv4 and IPv6 Forwarding Performance," *IEEE ITMS*, 2023, doi: 10.1109/ITMS59786.2023.10317747.
- [12] Y. Zhang et al., "IPv4 to IPv6 Transition Strategy," 2024, doi: 10.3233/ATDE231216.
- [13] V. Sahu, N. Sahu, and R. Sahu, "A Comparative Study on Routing Protocols: RIPv2, OSPFv3 and EIGRPv6," *International Journal of Advanced Networking and Applications*, vol. 15, no. 1, pp. 5775–5780, 2023, doi: 10.35444/IJANA.2023.15104.
- [14] M. K. Tiwari et al., "The Comprehensive Review: Internet Protocol (IP) Address a Primer for Digital Connectivity," *Asian Journal of Research in Computer Science*, vol. 17, no. 8, pp. 34–45, Jul. 2024, doi: 10.9734/ajrcos/2024/v17i7488.
- [15] F. P. E. Putra, N. D. Saputri, F. Rosi, and R. Loati, "Optimalisasi Infrastruktur Cloud Networking melalui Integrasi SDN, NFV, dan Multi-Cloud," *Jurnal Informatika dan Teknologi Komputer (JITEK)*, vol. 5, no. 1, pp. 118–125, Mar. 2025, doi: 10.55606/jitek.v5i1.6099.
- [16] N. Kodakandla, "IPv4 vs. IPv6 in Cloud Engineering: Performance, Security and Cost Analysis," *International Journal of Science and Research Archive*, vol. 8, no. 2, pp. 774–784, Apr. 2023, doi: 10.30574/ijrsra.2023.8.2.0260.
- [17] F. P. E. Putra, A. F. Rachman, S. Syirofi, and D. Wahid, "Case Study of Computer Network Development for the Internet of Things (IoT) Industry in an Urban Environment," *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, vol. 4, no. 1, pp. 399–407, Aug. 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4302.
- [18] F. P. E. Putra, I. Hidayatullah, M. H. Khairi, and I. Maulana, "Analisis Protokol Keamanan Jaringan dalam Era Internet of Things (IoT)," *Infotek: Jurnal Informatika dan Teknologi*, vol. 8, no. 2, pp. 356–366, Jul. 2025, doi: 10.29408/jit.v8i2.30257.
- [19] H. U. Khan et al., "A Service-Efficient Proxy Mobile IPv6 Extension for IoT Domain," *Information*, vol. 14, no. 8, p. 459, Aug. 2023, doi: 10.3390/info14080459.
- [20] Y. Han et al., "Research on the Security of IPv6 Communication Based on Petri Net under IoT," *Sensors*, vol. 23, no. 11, p. 5192, May 2023, doi: 10.3390/s23115192.
- [21] A. Pratama, I. Faisal, and D. Handoko, "Analisis Perbandingan Kinerja Routing OSPF Multi Area IPv4 dan OSPFv3 IPv6," *Jurnal Ilmu Komputer dan Sistem Informasi*, vol. 3, no. 1, pp. 42–48, Jan. 2024, doi: 10.70340/jirsi.v3i1.108.
- [22] G. Lencse and Á. Bazzó, "Benchmarking Methodology for IPv4aaS Technologies," *Computer Communications*, vol. 219, pp. 243–258, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.comcom.2024.03.007.
- [23] D. Chauhan, "IPv6 Migration Strategy Using Carrier Grade NAT," *International Journal of Wireless and Microwave Technologies*, vol. 13, no. 4, pp. 11–17, Aug. 2023, doi: 10.5815/ijwmt.2023.04.02.
- [24] M. W. C. J. Mwape and S. C. Lubobya, "Performance Evaluation of IPv4 and IPv6 on IPsec/MPLS Networks," *Transactions on Machine Learning and Artificial Intelligence*, vol. 11, no. 5, Nov. 2023, doi: 10.14738/tmlai.115.15645.
- [25] S. T. Oktavia et al., "Comparative QoS Analysis of VPN Protocols on IPv6," *JANAPATI*, vol. 12, no. 3, pp. 461–471, Jan. 2024, doi: 10.23887/janapati.v12i3.69264.
- [26] G. Kumar et al., "IPv6 Addressing Strategy with Improved Secure DAD," *Scientific Reports*, vol. 14, p. 25148, Oct. 2024, doi: 10.1038/s41598-024-77035-z.
- [27] Z. Ashraf et al., "Challenges and Mitigation Strategies for IPv4 to IPv6 Transition," *International Arab Journal of Information Technology*, vol. 20, no. 1, pp. 78–91, Jan. 2023, doi: 10.34028/iajit/20/1/9.
- [28] M. A. Al-Shareeda et al., "SADetection: Detecting SLAAC Attacks in IPv6," *Informatica*, vol. 46, no. 9, 2023, doi: 10.31449/inf.v46i9.4441.
- [29] G. Gkagkas et al., "The Advantage of 5G Networks for IoT and 6G Evolution," *Sensors*, vol. 24, no. 8, p. 2455, Apr. 2024, doi: 10.3390/s24082455.

- [30] I. Saputri, "Analisis Perbandingan IPv4 dan IPv6 pada Jaringan Sekolah," *Bandwidth Journal*, vol. 1, no. 1, pp. 36–42, Jan. 2023, doi: 10.53769/bandwidth.v1i1.382.
- [31] K. Igulu, F. Onuodu, and T. P. Singh, "IPv6: Strengths and Limitations," 2024, doi: 10.1007/978-981-97-0052-3_8.
- [32] F. P. E. Putra et al., "Tinjauan Performa RouterOS MikroTik," *Digital Transformation Technology*, vol. 3, no. 2, pp. 903–910, Jan. 2024, doi: 10.47709/digitech.v3i2.3446.
- [33] F. P. E. Putra, U. Ubaidi, M. Aziz, and R. Alim, "Improving Network Service Quality: QoS and QoE Evaluation," *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, vol. 4, no. 1, pp. 408–412, Aug. 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4311.
- [34] F. P. E. Putra et al., "Analisis QoS dan QoE pada Jaringan Komputer," *Jurnal Syntax Admiration*, vol. 5, no. 1, pp. 140–145, Jan. 2024, doi: 10.46799/jsa.v5i1.973.
- [35] P. S. Sivaraju, "Global Network Migrations and IPv4 Externalization," *ISCSITR-IJCA*, vol. 4, no. 1, pp. 7–34, Jun. 2023, doi: 10.63397/ISCSITR-IJCA_2023_04_01_002.
- [36] M. Hamdou et al., "Classification of IPv6 Transition Mechanisms," *Engineering, Technology & Applied Science Research*, vol. 15, no. 3, pp. 22960–22968, Jun. 2025, doi: 10.48084/etasr.10222.
- [37] Y. Akbar et al., "Analisis Konfigurasi Tunnel IPv6," *Jurnal Indonesia Manajemen Informatika dan Komunikasi*, vol. 5, no. 3, pp. 3107–3124, Sep. 2024, doi: 10.35870/jimik.v5i3.993.
- [38] Haryoko et al., "Integrasi IPv6 di IPv4 Menggunakan Metode Tunneling," *Jurnal Teknologi Informasi dan Komputer*, vol. 9, no. 4, Aug. 2023, doi: 10.36002/jutik.v9i4.2529.
- [39] A. A. Muthi et al., "Evaluasi Perbandingan IPv4 dan IPv6 pada Jaringan Lokal," *e-Jurnal JUSITI*, vol. 14, no. 1, pp. 91–103, May 2025, doi: 10.36774/jusiti.v14i1.1542.
- [40] M. S. Anwar et al., "Integrasi Jaringan IPv4 dan IPv6 Menggunakan Tunnel Broker," *Digital Transformation Technology*, vol. 4, no. 1, pp. 186–195, May 2024, doi: 10.47709/digitech.v4i1.3827.
- [41] A. Wahab and A. H. Wibowo, "Analisis Kinerja Protokol TCP," *JATI*, vol. 8, no. 6, pp. 12100–12107, Nov. 2024, doi: 10.36040/jati.v8i6.11812.
- [42] A. Haggag, "IPv6 Compression and Fragmentation for IoT," *Wireless Personal Communications*, vol. 130, no. 2, pp. 1449–1477, May 2023, doi: 10.1007/s11277-023-10340-4.
- [43] F. P. E. Putra et al., "Security Analysis and Data Recovery on Large-Scale Networks," *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, vol. 5, no. 1, pp. 384–390, Jul. 2025, doi: 10.47709/brilliance.v5i1.6276.
- [44] M. Khofikur R. A. et al., "Analisis Kinerja dan Keamanan VPN PPTP dan L2TP/IPSec," *Infotek*, vol. 8, no. 2, pp. 334–344, Jul. 2025, doi: 10.29408/jit.v8i2.30230.
- [45] S. Harly, "Performance Analysis of IPv4 and IPv6 in Network Traffic Management," *RIGGS Journal*, vol. 4, no. 2, pp. 1605–1609, May 2025, doi: 10.31004/riggs.v4i2.708.
- [46] A. Al-Azzawi and G. Lencse, "Security Challenges of DS-Lite IPv6 Transition," *Electronics*, vol. 12, no. 10, p. 2335, May 2023, doi: 10.3390/electronics12102335.
- [47] F. P. E. Putra, S. Syirofi, D. Wahid, and A. M. Syam, "Security Analysis and Data Recovery on Computer Networks," *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, vol. 5, no. 1, pp. 384–390, Jul. 2025, doi: 10.47709/brilliance.v5i1.6276.
- [48] F. P. E. Putra, D. A. M. Putra, A. Firdaus, and A. Hamzah, "Analisis Kecepatan dan Kinerja Jaringan 5G di Wilayah Perkotaan," *Informatics for Educators and Professionals*, vol. 8, no. 1, p. 47, Jul. 2023, doi: 10.51211/itbi.v8i1.2439.
- [49] Z. Ashraf et al., "IPv6 Transition in Virtualized Networks," *IAJIT*, 2023, doi: 10.34028/iajit/20/1/9.
- [50] A. Wahab and A. Hari Wibowo, "TCP Performance Analysis Using Cisco Packet Tracer," *JATI*, vol. 8, no. 6, 2024, doi: 10.36040/jati.v8i6.11812.
- [51] F. P. E. Putra, D. A. M. Putra, A. Firdaus, and A. Hamzah, "Analisis Kecepatan dan Kinerja Jaringan 5G pada Wilayah Perkotaan," *Informatics for Educators and Professionals*, vol. 8, no. 1, p. 47, Jul. 2023, doi: 10.51211/itbi.v8i1.2439.

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