

Analisis Penerapan IPv6 dalam Jaringan Internet di Jurusan Teknik Elektro Polnep

Muhammad Diponegoro¹, Eko Mardianto², Dwi Harjono³

Politeknik Negeri Pontianak: Jl. Jend. Ahmad Yani, Bansir Laut, Pontianak

³Jurusan Elektro, Politeknik Negeri Pontianak, Pontianak

e-mail: muhammaddiponegoro@gmail.ac.id, emardianto74@gmail.com,

dwi_hrjn@yahoo.co.id

Abstrak

Di tengah pesatnya era digitalisasi, konektivitas Internet telah menjadi elemen krusial dalam infrastruktur teknologi informasi dan komunikasi (TIK). Protokol Internet Protocol (IP) memiliki peranan yang sangat penting dalam proses transmisi data melalui jaringan komputer. Sejak diperkenalkan pada tahun 1983, IPv4 telah menjadi standar utama untuk pengiriman data melalui Internet. Namun, dengan semakin meningkatnya penggunaan Internet, terutama dalam dekade terakhir, jumlah alamat IP yang tersedia untuk IPv4 mulai menimbulkan masalah yang signifikan. Hal ini menjadi sangat relevan mengingat pertumbuhan pesat perangkat yang terhubung ke Internet, seperti ponsel pintar, komputer, dan perangkat Internet of Things (IoT).

IPv6 hadir sebagai solusi dengan berbagai fitur keamanan yang terintegrasi, seperti otentikasi dan enkripsi yang dirancang untuk melindungi data yang dikirim melalui jaringan. Fitur-fitur ini bertujuan untuk meningkatkan privasi pengguna Internet serta keamanan data. Selain itu, IPv6 memungkinkan jaringan untuk memprioritaskan jenis data tertentu, seperti video dan audio, demi memastikan pengalaman pengguna yang lebih optimal.

Tanggap terhadap kebutuhan ini, penting bagi kita untuk mengevaluasi penerapan IPv6 dalam lingkungan jaringan lokal. Ini termasuk menilai kebutuhan serta potensi manfaat dari transisi ke IPv6 dan mencari cara terbaik untuk mengintegrasikannya ke dalam infrastruktur yang sudah ada. Dengan mengimplementasikan IPv6, Politeknik Negeri Pontianak berkomitmen untuk menjadi peneraju dalam menghadapi tantangan serta memanfaatkan peluang pada era digital yang terus berkembang, sekaligus meningkatkan kapasitas dan keamanan jaringan.

Kata kunci : Jaringan Komputer, IPv4, IPv6

Abstract

In the midst of the rapid digitalization era, Internet connectivity has become a crucial element in the infrastructure of information and communication technology (ICT). The Internet Protocol (IP) plays a vital role in the process of data transmission over computer networks. Since its introduction in 1983, IPv4 has been the primary standard for data transmission over the Internet. However, with the increasing use of the Internet, particularly in the past decade, the limited availability of IPv4 addresses has become a significant issue. This is especially relevant given the rapid growth of Internet-connected devices, such as smartphones, computers, and Internet of Things (IoT) devices.

IPv6 emerges as a solution with various integrated security features, such as authentication and encryption, designed to protect data transmitted over the network. These features aim to enhance user privacy and data security. Additionally, IPv6 enables networks to prioritize certain types of data, such as video and audio, to ensure a more optimal user experience.

In response to this need, it is essential to evaluate the implementation of IPv6 in local network environments. This includes assessing the requirements and potential benefits of transitioning to IPv6 and identifying the best ways to integrate it into existing infrastructure. By

implementing IPv6, Politeknik Negeri Pontianak is committed to becoming a leader in addressing challenges and leveraging opportunities in the ever-evolving digital era, while simultaneously enhancing network capacity and security.

Keywords: Computer Networks, IPv4, IPv6.

1. PENDAHULUAN

Di era digitalisasi yang semakin pesat, konektivitas internet telah menjadi salah satu elemen krusial dalam infrastruktur teknologi informasi dan komunikasi (TIK). Protokol Internet Protocol (IP) berperan penting dalam mentransmisikan data melalui jaringan komputer. Hingga kini, dua versi utama dari protokol IP yang umum digunakan adalah IPv4 (Internet Protocol version 4) dan IPv6 (Internet Protocol version 6). Sejak diperkenalkan pada tahun 1983, IPv4 telah menjadi standar utama dalam pengiriman data di internet. Namun, dengan meningkatnya penggunaan internet dan terbatasnya jumlah alamat IP pada IPv4, kebutuhan untuk beralih ke IPv6 menjadi semakin mendesak.

IPv6 menawarkan jumlah alamat IP yang jauh lebih banyak, meningkatkan keamanan, serta mendukung fitur-fitur baru yang tidak tersedia dalam IPv4, seperti otentikasi dan enkripsi untuk melindungi data yang dikirimkan melalui jaringan. Ini sangat penting mengingat pesatnya pertumbuhan perangkat yang terhubung ke internet, seperti smartphone, komputer, dan perangkat Internet of Things (IoT).

Sebagai salah satu lembaga pendidikan tinggi yang berfokus pada teknologi dan informatika, Politeknik Negeri Pontianak, melalui Jurusan Elektro, berkomitmen untuk mengoptimalkan infrastruktur jaringan internetnya dengan menerapkan IPv6. Penelitian akan dilakukan untuk mengevaluasi berbagai aspek dalam transisi ini, termasuk keuntungan, tantangan, kendala, serta kesiapan sumber daya manusia dalam menerapkan IPv6. Dengan langkah ini, Politeknik Negeri Pontianak berupaya menjadi pionir dalam menghadapi tantangan dan meraih peluang di era digital yang terus berkembang, sekaligus meningkatkan kapasitas dan keamanan jaringannya.

2. METODE

Waktu dan lokasi penelitian merupakan faktor krusial yang akan memengaruhi keberhasilan serta relevansi hasil penelitian mengenai penerapan dan perbandingan penggunaan IPv6 dan IPv4 di Jurusan Elektro Politeknik Negeri Pontianak. Pengambilan sampel akan dilakukan selama jam perkuliahan di jurusan tersebut.

2.1 Alat dan Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini, sejumlah perangkat keras yang berperan krusial telah digunakan untuk mendukung pelaksanaan studi. Sebagian besar perangkat keras tersebut adalah milik peneliti yang menyelenggarakan penelitian ini. Berikut ini adalah daftar perangkat yang digunakan:

1. Dua unit Router Cisco 2811
2. Switch Allied Telesis
3. Dua unit Personal Computer
4. Kabel Console Ethernet ke RS-232
5. Kabel Console RS-232 ke RS-232
6. Konverter RS-232 ke USB
7. Kabel Ethernet dengan berbagai ukuran

2.2 Jalan Penelitian

Pengukuran dilakukan menggunakan perangkat lunak ApacheBench untuk jaringan IPv4 dan IPv6. Dalam penelitian ini, berbagai variasi parameter pengukuran diterapkan untuk mengumpulkan data. Data diambil sebanyak sepuluh kali untuk setiap variasi, dan kemudian dihitung rata-ratanya. Data yang diperoleh dinyatakan dalam satuan permintaan per detik dan laju pengiriman dari server.

Studi ini membandingkan penggunaan IPv4 dan IPv6 pada klien yang disimulasikan dalam jaringan yang terbatas. Objek penelitian ini adalah jaringan di Politeknik Elektronika. Pengujian dilakukan dalam dua fase, di mana kami menguji jaringan IPv4 dan kemudian melanjutkan dengan pengujian pada jaringan IPv6 menggunakan metode transisi tumpukan ganda. Pengujian ini dilaksanakan dengan bantuan perangkat lunak ApacheBench untuk memperoleh informasi mengenai berbagai parameter.

ApacheBench merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk menguji performa server HTTP Apache. Perangkat lunak ini memberikan gambaran umum tentang kinerja server Apache dengan merinci seberapa banyak permintaan yang dapat ditangani server setiap detiknya. Parameter yang diperhatikan menggunakan ApacheBench meliputi permintaan per detik dan laju transmisi. Permintaan per detik menunjukkan berapa banyak permintaan yang dapat diproses oleh server dalam waktu tertentu, sedangkan laju transmisi menunjukkan seberapa cepat server dapat mengirimkan data.

Pemilihan parameter ini didasarkan pada studi berjudul "Apache Web Server Versi Aplikasi Jaringan Lokal di Internet Protocol Versi 6 (IPv6)" dengan metode Teledo Tunneling (Irfan, 2008), yang menggunakan metode pengukuran serupa. Namun, dalam pengujian ini tidak diukur permintaan per detik dan laju transmisi pada koneksi dengan variabel waktu maksimum, karena berbeda dengan survei sebelumnya. Penelitian ini tidak memanipulasi jumlah data, tetapi fokus pada jumlah permintaan yang dilakukan secara bersamaan. Alasan untuk tidak menguji variasi waktu maksimum adalah karena variabel tersebut tidak berpengaruh terhadap permintaan per detik atau perubahan laju transmisi tanpa mengubah ukuran data yang diukur. Pengukuran dalam studi ini memiliki objek yang berbeda dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, sehingga tidak perlu dilakukan perubahan pada ukuran data yang tidak diakses.



Gambar 1. Diagram Jalan Penelitian

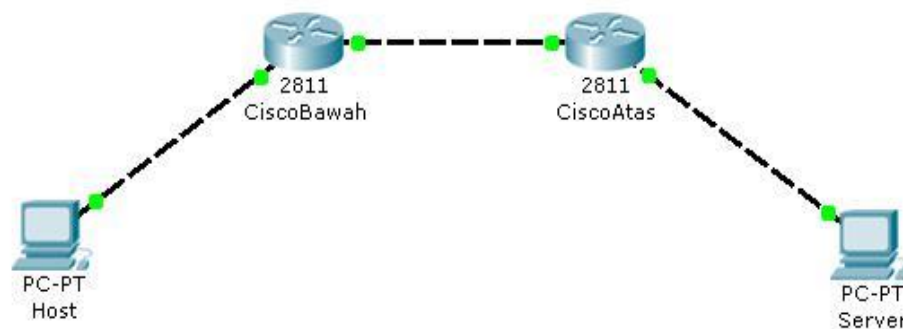
Pada gambar di atas, terlihat diagram yang menggambarkan langkah-langkah yang dilaksanakan dalam penelitian ini. Berikut adalah rincian dari langkah-langkah tersebut:

1. Persiapan Website

Langkah pertama adalah mempersiapkan sebuah komputer yang akan berfungsi sebagai server di jaringan skala lab. Beberapa perangkat lunak perlu diinstal agar komputer tersebut dapat beroperasi sebagai sebuah website. Komputer yang digunakan dalam penelitian ini adalah yang menggunakan sistem operasi Ubuntu.

2. Persiapan Jaringan

Untuk uji coba, jaringan yang digunakan terdiri dari dua buah komputer yang berfungsi sebagai host dan server, masing-masing terhubung dengan dua router. Gambar di bawah ini menunjukkan struktur jaringan yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 2 Struktur jaringan skala lab

Protokol routing yang diterapkan pada kedua router adalah static routing, yang memudahkan penerapan saat transisi menggunakan metode dual-stack.

Pengukuran kinerja website dilakukan dengan menggunakan ApacheBench. Pengambilan data dilakukan dengan mempertimbangkan jumlah permintaan yang bervariasi, yaitu 5 kali, dimulai dari 50, 100, 200, 400, hingga 800 permintaan. Nilai-nilai permintaan ini disesuaikan dengan penelitian sebelumnya. Selain itu, variasi jumlah permintaan yang diproses dalam satu waktu diujikan, yaitu 2, 4, dan 16. Data diambil sebanyak sepuluh kali untuk masing-masing variasi, dan hasilnya dirata-ratakan.

Konfigurasi jaringan dilakukan dengan menambahkan alamat IPv6 pada masing-masing node, serta menetapkan static route pada kedua router agar jaringan dapat beroperasi dengan IPv6. Metode dual-stack dipilih karena memungkinkan website diakses oleh host yang masih menggunakan jaringan IPv4 dan belum menerapkan IPv6.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari hasil survey sinyal ke pada beberapa ruangan pada Gedung Teori Jurusan Teknik Elektro didapatkan data yaitu sebagai berikut : Pengambilan data dilakukan menggunakan *ApacheBench* dengan variasi tertentu. Masing-masing variasi parameter diambil sebanyak sepuluh kali dan kemudian diambil nilai rata-ratanya. Hasil pengambilan data dapat dilihat pada Tabel 1 untuk pengukuran IPv4 dan Tabel 2 untuk pengukuran IPv6

Tabel 1 Pengukuran *request/second* pada jaringan IPv4

C/N	2	4	16
50	108,885	142,466	150,489
100	101,872	142,801	150,805
200	111,76	142,278	151,213
400	111,804	144,279	151,682
800	101,919	143,295	147,343
Rata-rata	107,248	143,024	150,3064

n = jumlah permintaan

c = banyaknya permintaan yang diproses dalam satu waktu

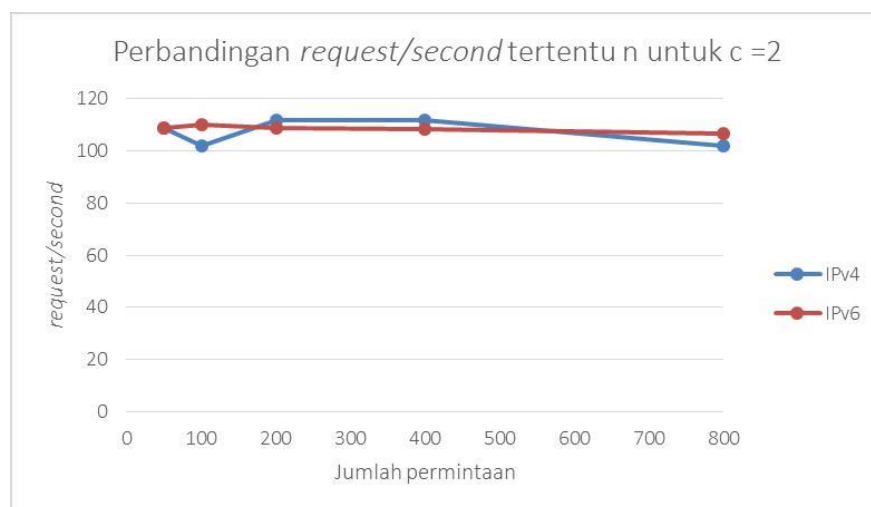
Tabel 2 Pengukuran *request/second* pada jaringan Ipv6

C/N	2	4	16
50	108,699	137,399	143,766
100	110,103	138,949	148,833
200	108,686	139,418	148,463
400	108,213	137,711	147,518
800	106,55	141,24	145,236
Rata-rata	108,4502	138,9434	146,7692

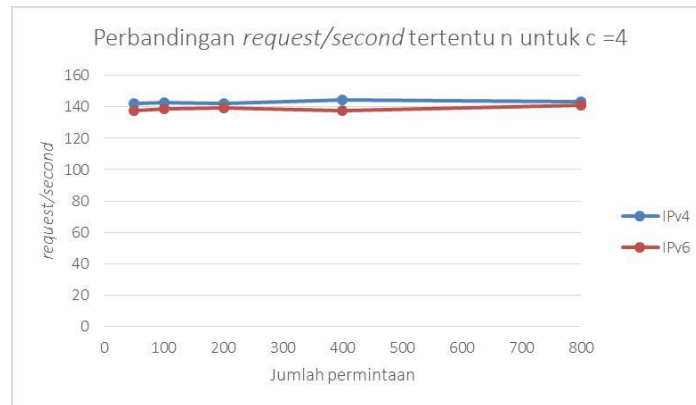
n = jumlah permintaan

c = banyaknya permintaan yang diproses dalam satu waktu

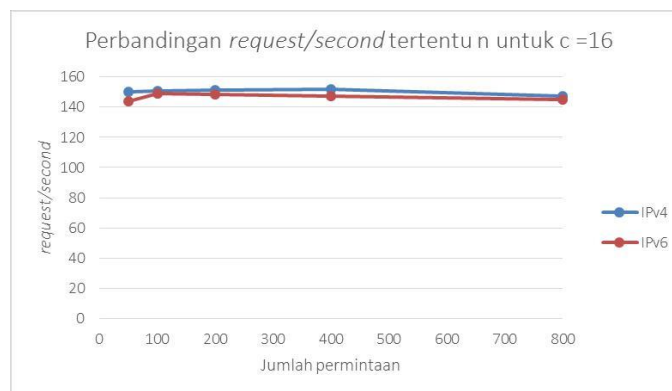
Perbedaan menjadi lebih jelas saat kita melakukan perhitungan dengan 4 dan 16 permintaan secara bersamaan. Dari hasil rata-rata, terlihat adanya peningkatan perbedaan pada nilai request per detik. Dengan 4 permintaan dalam satu waktu, request per detik untuk IPv4 lebih tinggi sebesar 2,92% dibandingkan dengan request per detik pada IPv6 yang bernilai 138,9434. Sementara itu, pada 16 permintaan dalam waktu yang sama, perbedaannya berkurang menjadi 2,41%. Perbandingan ini dapat dilihat dengan lebih jelas pada Gambar 3 dan Gambar 4.

**Gambar 2** Perbandingan *request/second* tertentu n untuk c=2

Perbedaan menjadi lebih jelas saat kita melakukan perhitungan dengan 4 dan 16 permintaan secara bersamaan. Dari hasil rata-rata, terlihat adanya peningkatan perbedaan pada nilai request per detik. Dengan 4 permintaan dalam satu waktu, request per detik untuk IPv4 lebih tinggi sebesar 2,92% dibandingkan dengan request per detik pada IPv6 yang bernilai 138,9434. Sementara itu, pada 16 permintaan dalam waktu yang sama, perbedaannya berkurang menjadi 2,41%. Perbandingan ini dapat dilihat dengan lebih jelas pada Gambar 3 dan Gambar 4.

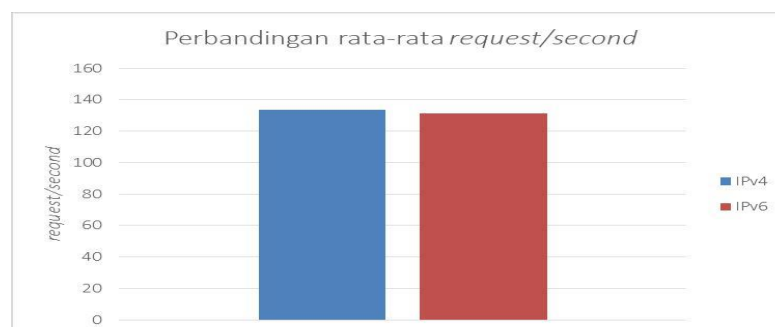


Gambar 3 Perbandingan *request/second* tertentu n untuk c=4



Gambar 4 Perbandingan *request/second* tertentu n untuk c=16

Gambar 5 memperlihatkan kinerja *website* saat menangani 4 permintaan pada jaringan IPv6 memiliki *transfer rate* 4426,831 *kbytes/second*, atau 3,27% lebih rendah dibandingkan dengan *transfer rate* pada jaringan IPv4. Sementara pada Gambar 5, *transfer rate website* saat menangani 16 permintaan pada jaringan IPv6 lebih rendah 2,39% dibandingkan pada jaringan IPv4. Rata-rata keseluruhan pengujian *request/second* dan *transfer rate* dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5 Perbandingan rata-rata *request/second*



Gambar 6 Perbandingan rata-rata *transfer rate*

Dari Gambar 5, terlihat bahwa jumlah permintaan per detik untuk kinerja situs pada jaringan IPv6 lebih rendah dibandingkan dengan jaringan IPv4. Dalam pengujian, jumlah permintaan per detik pada jaringan IPv6 hanya mencapai 131,39 permintaan/s, yang merupakan penurunan sebesar 1,6% dibandingkan dengan jaringan IPv4 yang memiliki nilai 133,51 permintaan/s. Hal ini menunjukkan bahwa situs POLNEP. AC. ID mengalami penurunan dalam jumlah permintaan yang dapat ditangani setiap detiknya sebanyak 1,6%.

Selain itu, dalam pengujian laju tukar (exchange rate), kinerja situs pada jaringan IPv6 juga menunjukkan angka yang lebih rendah dibandingkan jaringan IPv4, yaitu 4054,61 kbytes/s. Nilai ini lebih rendah sebesar 2,9% jika dibandingkan dengan jaringan IPv4 yang memiliki kinerja 4174,83 kbytes/s, yang berarti saat menggunakan IPv6, kecepatan pertukaran informasi dari situs POLNEP. AC. ID berkurang sebesar 2,9%.

Meskipun kinerja situs pada jaringan IPv6 cenderung lebih rendah dibandingkan pada jaringan IPv4, perbedaan antara keduanya tidak terlalu signifikan. Hal ini disebabkan oleh metode dual-stack yang tidak menambah proses ketika alamat IPv6 ditambahkan ke jaringan IPv4. Penerapan kursus tidak aktif (inactive course) juga berpengaruh pada kinerja switch, karena switch tidak perlu melakukan proses tambahan untuk mempelajari jaringan yang terhubung secara langsung.

Saya juga menemukan hal serupa dalam penelitian berjudul "Uji Coba Aplikasi Apache Web Server Pada Jaringan Lokal Web Convention form 6 (IPv6) Dengan Metode Tunneling Teredo" (Irfan, 2008). Dalam penelitian tersebut, rata-rata permintaan per detik pada jaringan IPv6 dengan variasi jumlah permintaan mencapai 585,847 permintaan/s, yang lebih rendah 3,56% dibandingkan dengan jaringan IPv4 yang bernilai 607,493 permintaan/s. Selain itu, laju tukar (exchange rate) untuk IPv6 pada penelitian tersebut juga tercatat 4,64% lebih rendah dibandingkan saat menggunakan IPv4.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan mengenai penerapan dan perbandingan penggunaan IPv6 dan IPv4 pada jaringan internet di Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Pontianak, beberapa kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Implementasi IPv6 pada jaringan memberikan hasil yang sedikit lebih rendah dibandingkan IPv4, baik dalam hal jumlah request per detik (request/second) maupun kecepatan transfer data (transfer rate). Perbedaan performa antara IPv6 dan IPv4

- mencapai sekitar 16% untuk request/second dan 29% untuk transfer rate, dengan IPv4 menunjukkan kinerja yang lebih baik.
2. Metode dual-stack yang digunakan dalam penelitian ini memungkinkan IPv6 dan IPv4 untuk berjalan secara bersamaan tanpa mengganggu kinerja jaringan. Penerapan dual-stack memungkinkan perangkat yang hanya mendukung IPv4 tetap dapat beroperasi dengan baik pada jaringan yang telah mendukung IPv6.
 3. Meskipun IPv6 dirancang untuk mengatasi keterbatasan IPv4, adopsi penuh IPv6 masih menghadapi tantangan, terutama dalam hal performa yang sedikit lebih rendah dan pengaturan infrastruktur jaringan. Namun, dengan optimasi lebih lanjut, IPv6 dapat menjadi solusi jangka panjang yang efisien dan scalable.
 4. IPv6 menawarkan fitur-fitur unggulan seperti jumlah alamat yang lebih banyak, efisiensi routing yang lebih baik, dan keamanan yang lebih tinggi. Fitur-fitur ini memberikan keuntungan bagi jaringan berskala besar dan masa depan penggunaan internet, terutama dengan pertumbuhan pesat perangkat yang terhubung ke internet.

Secara keseluruhan, meskipun IPv6 menunjukkan performa yang lebih rendah dalam beberapa aspek dibandingkan IPv4, transisi menuju IPv6 tetap penting untuk mengatasi keterbatasan alamat IPv4. Implementasi IPv6 di Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Pontianak dapat terus dioptimalkan untuk mencapai performa yang lebih baik di masa mendatang.

Berdasarkan hasil penelitian mengenai penerapan dan perbandingan penggunaan IPv6 dan IPv4 pada jaringan internet di Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Pontianak, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Diperlukan upaya lebih lanjut untuk mengoptimalkan performa jaringan IPv6, terutama dalam hal routing dan manajemen bandwidth. Penggunaan protokol routing yang lebih efisien dan pengaturan sumber daya jaringan yang tepat dapat membantu meningkatkan kecepatan transfer dan jumlah permintaan yang dapat ditangani oleh server.
2. Untuk mendukung transisi dari IPv4 ke IPv6, penting untuk menyediakan pelatihan bagi staf IT dan mahasiswa mengenai konfigurasi, manajemen, dan troubleshooting jaringan berbasis IPv6. Ini akan memastikan bahwa seluruh pihak yang terlibat dapat memahami dan mengatasi masalah yang mungkin muncul selama proses implementasi.
3. Mengingat IPv6 masih dalam tahap adopsi, disarankan untuk melakukan implementasi IPv6 secara bertahap di lingkungan akademik, dimulai dari laboratorium dan infrastruktur kampus yang terpilih. Hal ini memungkinkan identifikasi potensi masalah serta pengujian efektivitas solusi sebelum diterapkan lebih luas.
4. Metode dual-stack yang mengizinkan penggunaan IPv4 dan IPv6 secara bersamaan sebaiknya tetap dipertahankan selama masa transisi. Hal ini penting untuk memastikan bahwa perangkat yang hanya mendukung IPv4 tetap dapat berfungsi secara optimal selama implementasi penuh IPv6 belum tercapai.
5. Disarankan untuk melakukan penelitian lanjutan untuk mengevaluasi performa jaringan IPv6 dalam berbagai kondisi penggunaan dan infrastruktur yang berbeda. Penelitian lebih lanjut dapat mencakup studi tentang pengaruh konfigurasi jaringan yang lebih kompleks, serta penggunaan metode transisi lainnya seperti tunneling atau translation.
6. Setelah implementasi IPv6, penting untuk melakukan monitoring performa jaringan secara berkala dan melakukan pemeliharaan rutin. Ini akan membantu mendeteksi masalah lebih awal dan memastikan bahwa jaringan tetap berjalan dengan baik.
7. Dengan saran-saran ini, diharapkan transisi menuju IPv6 di Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Pontianak dapat berjalan lebih lancar dan efektif, serta mencapai performa jaringan yang lebih optimal di masa depan. Saran ini memberikan langkah-

langkah konkret untuk meningkatkan implementasi dan performa IPv6 serta mendukung transisi dari IPv4 ke IPv6.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Kami ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kontribusi dalam pelaksanaan penelitian ini:

1. Politeknik Negeri Pontianak, khususnya Jurusan Teknik Elektro, atas kesempatan, fasilitas, dan dukungan penuh yang diberikan selama proses penelitian ini berlangsung, dan pendanaan dan dukungan administratif yang sangat membantu kelancaran pelaksanaan penelitian ini.
2. Bapak/Ibu dosen dan staf di Jurusan Teknik Elektro, atas bimbingan, masukan, dan saran berharga yang diberikan selama proses penelitian dan penyusunan laporan ini.
3. Rekan-rekan peneliti dan mahasiswa yang telah terlibat langsung maupun tidak langsung dalam pelaksanaan penelitian, baik dalam bentuk kerja sama di lapangan maupun diskusi ilmiah yang sangat bermanfaat.
4. Keluarga dan sahabat, atas doa, motivasi, dan dukungan moral yang sangat berarti sepanjang perjalanan penelitian ini.
5. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi positif, baik bagi perkembangan ilmu pengetahuan di bidang teknologi jaringan, maupun bagi pengembangan infrastruktur jaringan di Politeknik Negeri Pontianak. Kami berharap penelitian ini dapat menjadi dasar untuk penelitian lebih lanjut di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Adhipta, *Studi Keamanan Jaringan Komunikasi Data Nirkabel di Jogjakarta: Kajian Platform Teknis Menuju Potensi Grid Parasitik.*, Laporan Penelitian Tidak Terpublikasi, Yogyakarta, 2022.
- [2] L. Barken, E. Ermel, J. Eder, M. Fanady, M. Mee, M. Palumbo, and A. Koebrick, *Wireless Hacking Projects for Wi-Fi Enthusiasts*. Rockland, MA: Syngress Publishing, Inc., 2004.
- [3] Y. C. Cheng, Y. Chawathe, A. LaMarca, and J. Krumm, "Accuracy Characterization for Metropolitan-scale Wi-Fi Localization," in *Proc. 3rd Int. Conf. on Mobile Systems, Applications, and Services*, Nov. 28, 2022.
- [4] V. Clinchy, A. Sitaram, D. Odaibio, and G. Sogarwal, "A Real-Time Study of 802.11b and 802.11g," *IEEE*, Jul. 3, 2006.
- [5] R. Flickenger, *Building Wireless Community Networks*. Sebastopol, CA: O'Reilly, 2024.
- [6] Garmin Ltd., "What is GPS?", Oct. 4, 2022. [Online]. Available: <http://www8.garmin.com/aboutGPS/>.
- [7] J. Geier, "SNR Cutoff Recommendations," Feb. 4, 2005. [Online]. Available: <http://wifiplanet.com/tutorials/article.php/3468771>.
- [8] A. Hills, J. Schlegel, and B. Jenkins, "Estimating Signal Strengths in the Design of an Indoor Wireless Network," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 3, no. 1, Jul. 4, 2004.
- [9] C. Hurley, M. Puchol, R. Rogers, and F. Thornton, *WarDriving: Drive, Detect, Defend: Guide to Wireless Security*. Rockland, MA: Syngress Publishing, 2004.
- [10] Hyperlinktech, "2.4 GHz 7 dBi Compact Magnetic Mount Omni Wireless LAN Antenna Data Sheet," Nov. 30, 2022. [Online]. Available: <http://www.hyperlinktech.com/web/hg2407mgu.php>.
- [11] A. LaMarca et al., "Place Lab: Device Positioning Using Radio Beacons in the Wild," in *Proc. Int. Conf. Pervasive Comput.*, Jun. 2005.

- [12] M. Milner, *NetStumbler Version 0.4.0 Help.*, 2004. [Online]. Available: <http://stumbler.net>.
- [13] O. W. Purbo, *Buku Pegangan Wireless Internet dan Hotspot*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo, 2002.
- [14] S. Sundar, "Introduction to NetStumbler and Kismet," Apr. 7, 2006. [Online]. Available: <http://csshyamsundar.wordpress.com/2006/04/07/introduction-toNetStumbler-and-kismet/>.
- [15] U.S. Geological Survey (USGS), "Geographic Information System," Feb. 22, 2007. [Online]. Available: http://erg.usgs.gov/isb/pubs/gis_poster/.
- [16] WideFly Limited, *Best Practices for Deploying WF28 Wireless Site Planning Implementation.*, 2007. [Online]. Available: <http://www.widefly.com>.