

Implementasi IPv6 untuk Remote Laboratorium Jaringan Komputer

Gani Indriyanta¹, Nugroho Agus Haryono*², Mardonius Riel Luhulima³

^{1,2,3} Program Studi Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Kristen Duta Wacana
e-mail:¹ganind@staff.ukdw.ac.id, ²nugroho@staff.ukdw.ac.id, ³mardonius.riel@ti.ukdw.ac.id
Correspondence author email: ^{*}nugroho@staff.ukdw.ac.id

Abstrak

Laboratorium jaringan komputer menjadi aspek krusial dalam pembelajaran dan praktikum, meskipun keterbatasan perangkat jaringan menjadi tantangan utama. Pembelajaran jaringan menggunakan simulator atau pun emulator dapat menghemat biaya, namun mempunyai keterbatasan tidak seperti menggunakan piranti asli. Pembelajaran menggunakan remote laboratorium menjadi alternatif solusi untuk permasalahan tersebut. Implementasi remote laboratorium dengan protokol IPv6 menggunakan pendekatan metode deskriptif telah berhasil dilakukan. Implementasi ini memberikan manfaat signifikan bagi mahasiswa dalam mengerjakan praktikum secara remote. Wawancara terbimbing dilakukan untuk mengevaluasi kenyamanan penggunaan remote lab. Hasil wawancara untuk evaluasi penggunaan remote lab yang dilakukan menunjukkan bahwa mayoritas responden (81,3%) merasa terbantu dengan adanya piranti jaringan yang dapat di-remote dengan alamat IPv6. Sementara itu, sebagian kecil (10,4%) responden lebih memilih menggunakan GNS3 atau Packet Tracer. Terkait permasalahan koneksi ke router remote, mayoritas responden (52,1%) merasa bahwa koneksi internet di tempat tinggal mereka sangat lancar untuk mengakses piranti remote di Laboratorium Jaringan Komputer. Sebaliknya, 39,6% responden mengalami kendala dengan koneksi yang kurang lancar. 8,3% responden merasa koneksi mereka tidak lancar, kadang-kadang terputus saat konfigurasi, berpotensi menyebabkan kegagalan konfigurasi.

Kata kunci— remote lab, IPv6, metode deskriptif, jaringan komputer

1. PENDAHULUAN

Pembelajaran *online* selama masa covid-19 menggunakan *platform e-learning* banyak dilakukan oleh kampus-kampus di Indonesia. Salah satu survei mengenai kepuasan mahasiswa terhadap pelaksanaan pembelajaran *online* pada masa covid-19 pada kriteria komunikasi, membangun suasana belajar, penilaian terhadap mahasiswa, dan penyampaian terhadap materi selama mengikuti perkuliahan memberikan hasil puas [1]. Pendidikan memiliki peranan penting dalam kehidupan, tidak hanya sebagai penopang untuk memajukan hidup seseorang, tetapi juga sebagai sarana untuk meningkatkan martabat individu. Transformasi dalam dunia pendidikan terjadi dengan adanya dukungan teknologi informasi melalui pembelajaran 4.0 yang dikenal dengan metode pembelajaran *iLearning* atau secara *online* [2], [3], dan bisa juga dengan mengembangkan pembelajaran jarak jauh berbasis *IoT (Internet of Things)* [4], [5].

Laboratorium jaringan komputer merupakan sarana penting untuk pembelajaran dan praktikum jaringan komputer. Laboratorium ini menyediakan sarana dan prasarana yang memungkinkan mahasiswa untuk mempelajari dan mempraktikkan berbagai konsep dan teknik jaringan komputer. Salah satu tantangan dalam penyelenggaraan laboratorium jaringan komputer adalah keterbatasan ketersediaan perangkat jaringan yang memadai. Keterbatasan ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti biaya, ruang, dan sumber daya manusia. Untuk mengatasi keterbatasan ketersediaan perangkat jaringan, sering kali digunakan simulator atau pun emulator jaringan. Simulator adalah perangkat lunak yang mensimulasikan perangkat jaringan secara virtual. Salah satu contoh simulator yang sering dipakai dalam pembelajaran perangkat jaringan adalah Cisco Packet Tracer. Packet tracer mempunyai fitur yang dapat memberikan gambaran seperti piranti aslinya [6]. Mahasiswa dapat belajar jaringan komputer lebih semangat dan kreatif dengan menggunakan Packet Tracer [7], [8]. Cisco Packet tracer dapat digunakan untuk pembelajaran desain jaringan dan simulasi untuk jaringan *smart home* [9], dan *campus network* [10]. Emulator adalah perangkat keras yang mensimulasikan perangkat jaringan secara fisik. Salah satu emulator yang digunakan untuk mengajarkan konsep dan ketrampilan jaringan adalah

GNS3 *emulator* [11], [12], [13], [14]. Penggunaan simulator atau emulator jaringan memiliki beberapa kelebihan, seperti:

- Lebih terjangkau dibandingkan dengan perangkat jaringan nyata
- Lebih mudah digunakan dan dikonfigurasi
- Dapat digunakan untuk berbagai jenis perangkat jaringan

Pembelajaran menggunakan simulator tentunya tidak bisa menggantikan pembelajaran menggunakan alat langsung, karena simulator atau pun emulator memiliki keterbatasan, seperti:

- Tidak dapat mensimulasikan semua fitur dan perilaku perangkat jaringan nyata
- Tidak dapat digunakan untuk praktikum yang melibatkan perangkat jaringan nyata, seperti praktikum instalasi dan konfigurasi perangkat jaringan

Salah satu alternatif untuk pembelajaran jaringan selain menggunakan simulator atau pun emulator adalah menggunakan piranti asli namun dapat diakses dari luar laboratorium jaringan, yaitu dengan menggunakan model *remote laboratorium*. Penggunaan laboratorium jaringan komputer secara *remote* juga sudah dilakukan di kampus UKDW. *Remote laboratorium* dibuat menggunakan pengalamatan IPv4 dengan memanfaatkan *OpenVPN*. Remote Laboratorium berhasil digunakan untuk pelaksanaan praktikum selama masa pandemic covid-19 [15]. Penggunaan IPv4 pada laboratorium ini masih ada kekurangan, yaitu jika piranti digunakan untuk praktikum materi *routing ipv4* karena menimbulkan duplikasi antara default route akses OpenVPN dengan konfigurasi *routing* yang dibuat oleh mahasiswa sehingga arah paket yang diamati terkadang bisa menuju ke jalur yang keliru. Salah satu solusi untuk mengatasi keterbatasan simulator atau emulator jaringan serta keterbatasan IPv4 dalam implementasi Remote Laboratorium adalah dengan menggunakan IPv6. IPv6 merupakan alternatif solusi permasalahan pengalamatan jaringan dan terbatasnya jumlah host dalam IPv4 [16], [17]. Dalam IPv6, setiap piranti jaringan dapat memiliki *Global Unicast Address (GUA)* secara unik. GUA adalah alamat IPv6 yang dapat diakses dari mana saja melalui Internet. Hal ini memungkinkan perangkat jaringan untuk diakses dari mana saja, termasuk dari laboratorium jaringan komputer yang berada di lokasi yang berbeda [18].

Oleh karena itu, penggunaan IPv6 dapat menjadi solusi yang tepat untuk implementasi remote laboratorium jaringan komputer. Dengan menggunakan IPv6, mahasiswa dapat mengakses perangkat jaringan dari mana saja, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas pembelajaran dan praktikum jaringan komputer.

2. METODE PENELITIAN

Implementasi IPv6 untuk *remote laboratorium* Jaringan Komputer dilakukan dengan pendekatan metode deskriptif. Langkah pertama adalah mendeskripsikan tujuan pembuatan *remote laboratorium*, yaitu agar mahasiswa dapat menggunakan piranti jaringan di laboratorium dari mana saja. Pemanfaatan piranti *remote* dapat disesuaikan dengan topologi permasalahan yang sedang dikerjakan oleh mahasiswa. *Remote laboratorium* dapat menghubungkan maksimal 12 router Cisco dan 12 router Mikrotik sebagai piranti yang dapat digunakan sebagai peralatan praktikum. Topologi pengkabelan dapat dibuat fleksibel sesuai kebutuhan.

2.1. Analisis Permasalahan

Remote laboratorium IPv4 memiliki persoalan arah paket data yang tidak sesuai dengan skenario praktikum. Hal ini disebabkan karena topologi *remote laboratorium* sudah terkoneksi secara *full mesh*, sehingga setiap router di laboratorium sudah terhubung tanpa perlu dikonfigurasi oleh mahasiswa. Akibatnya, arah paket data dapat berubah karena router yang tidak seharusnya diakses dari luar laboratorium juga dapat diakses.

Persoalan lain implementasi IPv6 untuk *remote laboratorium* adalah tidak semua *Internet Service Provider (ISP)* di Indonesia mengaktifkan protokol IPv6. Demikian juga di tempat penulis, IPv6 tidak diaktifkan, yang ada hanya IP publik untuk IPv4. Bagi institusi yang

berlangganan Internet di mana IPv6 sudah diaktifkan oleh ISP, hal tersebut tidak menjadi persoalan, namun, apabila ISP belum atau tidak mengaktifkan IPv6, maka ada cara lain untuk mengatasi persoalan tersebut, yaitu memanfaatkan tunnel broker yang menyediakan IPv6 melalui mekanisme VPN berlangganan atau yang gratis seperti Hurricane Electric IPv6 Tunnel Broker.

2.2. Analisis Kebutuhan

Analisis kebutuhan sistem dilakukan untuk mengidentifikasi kebutuhan-kebutuhan yang harus dipenuhi oleh sistem yang dibangun. Kebutuhan-kebutuhan tersebut dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu kebutuhan fungsional dan kebutuhan non fungsional. Kebutuhan fungsional sistem *remote laboratorium* adalah memastikan tersedianya IPv4 publik statis yang berada di sisi router. IPv4 publik statis tersebut digunakan untuk koneksi *tunneling 6to4* ke *tunnel broker*. Dengan demikian, sistem *remote laboratorium* dapat memperoleh IPv6 dari *tunneling* tersebut. Kebutuhan non fungsional sistem *remote laboratorium* meliputi perangkat keras dan perangkat lunak yang dibutuhkan.

Perangkat keras yang dibutuhkan adalah:

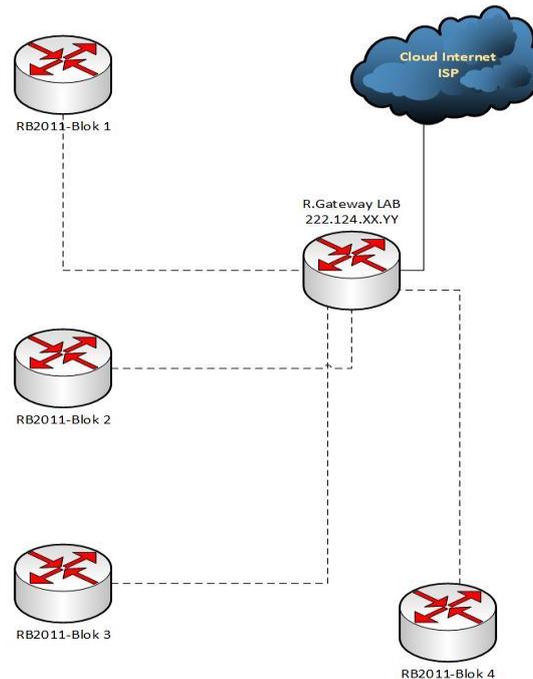
- 24 buah router Mikrotik RB951
- 12 buah router Cisco 1841
- 4 buah router RB 2011
- 12 buah switch Cisco Catalyst 2960
- 1 buah router RB 750 G
- 30 buah PC
- 1 buah smartphone Android atau iOS
- 1 buah access point

Perangkat lunak yang dibutuhkan adalah:

- Aplikasi Winbox untuk mengonfigurasi router Mikrotik
- Aplikasi SSH/Telnet/Console untuk mengonfigurasi router Cisco maupun Mikrotik

2.3. Arsitektur Remote Laboratorium dan Konfigurasi

Arsitektur utama untuk menjangkau piranti router yang akan diakses secara *remote* diperlihatkan pada Gambar 1. Arsitektur dibangun dengan model blok piranti menuju jalur distribusi utama. Untuk mengimplementasikan *remote laboratorium IPv6*, langkah pertama yang perlu dilakukan adalah memastikan bahwa router gateway di laboratorium dapat diakses dari luar laboratorium melalui alamat IPv4 publik 222.124.XX.YY. Hal ini dilakukan dengan melakukan uji coba ping ke alamat IP public tersebut dari eksternal. Setelah uji coba ping berhasil, langkah berikutnya adalah mendaftarkan alamat IPv4 pada router gateway ke *tunnel broker*. Dengan mendaftarkan alamat IPv4, maka router gateway akan mendapatkan prefix /64 (PtP) dari *tunnel broker*, seperti terlihat pada Gambar 2. Berdasarkan data IPv6 dari *tunnel broker*, penulis melakukan konfigurasi pada router gateway. Konfigurasi tersebut meliputi pemasangan IPv6 yang diberikan oleh tunnel broker dengan prefix /64. Adapun konfigurasi pada Router Gateway 222.124.XX.YY melalui terminal router seperti terlihat pada Gambar 3. :



Gambar 1. Arsitektur Router Distribusi

Tunnel Details

IPv6 Tunnel
Example Configurations
Advanced

Tunnel ID: 876970

Creation Date: Aug 27, 2023

Description: Lab D

IPv6 Tunnel Endpoints

Server IPv4 Address: 216.66.80.26

Server IPv6 Address: 2001:470:1f08:bfc::1/64

Client IPv4 Address: 202.152.138.191

Client IPv6 Address: 2001:470:1f08:bfc::2/64

Routed IPv6 Prefixes

Routed /64: 2001:470:1f09:bfc::/64

Routed /48: [Assign /48](#)

DNS Resolvers

Anycast IPv6 Caching Nameserver: 2001:470:20::2

Anycast IPv4 Caching Nameserver: 74.82.42.42

DNS over HTTPS / DNS over TLS: ordns.he.net

[Delete Tunnel](#)

Gambar 2. IPv6 dari Tunnel Broker

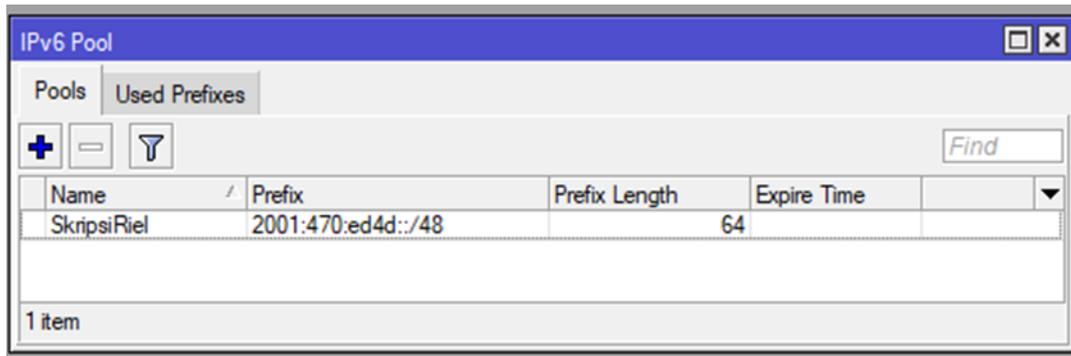
```

/interface 6to4 add comment="Hurricane Electric IPv6 Tunnel Broker"
disabled=no local-address=0.0.0.0 mtu=1280 name=sit1 Remote-
address=216.66.80.26
/ipv6 route add comment="" disabled=no distance=1 dst-
address=2000::/3 gateway=2001:470:1f08:bfc::1 scope=30 target-
scope=10

```

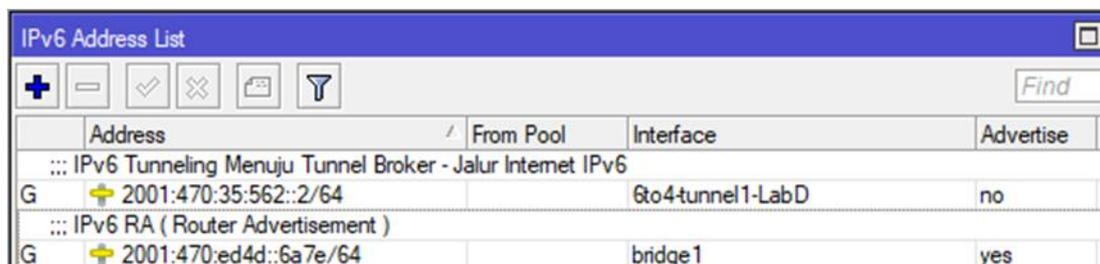
Gambar 3. Script Konfigurasi Pada Router Gateway

Skrup Gambar 3 memperlihatkan dua buah perintah konfigurasi, yaitu konfigurasi untuk mengatur *tunneling* dari Router Gateway ke server *tunnel broker* IPv6 melalui jaringan IPv4, dan untuk membuat default route untuk semua paket data IPv6 menuju gateway IPv6 yang diberikan oleh *tunnel broker*. Gambar 4 adalah pemasangan prefix /48 pada IPv6 pool pada sisi Mikrotik Gateway, penulis menggunakan Prefix Length 64 agar dapat mudah ditata untuk pengalamatan IPv6 di perangkat yang terhubung di bawah router gateway. Pada pool tersebut alamat IPv6 yang nantinya akan dipakai adalah 2001:470:ed4d::/64 .



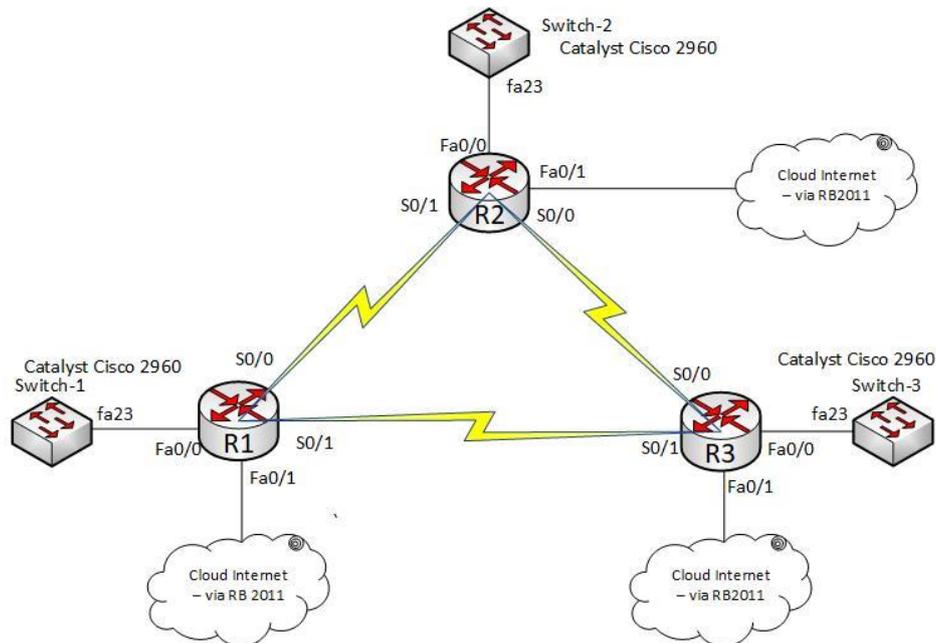
Gambar 4. Alokasi IPv6 pada Router Gateway untuk DHCP IPv6

Berdasarkan pengalamatan IPv6 yang sudah diberikan oleh tunnel broker pada Gambar 2, selanjutnya diberikan alamat ipv6 untuk interface yang menuju ke tunnel broker dan alamat IPv6 sebagai acuan untuk mekanisme pemberian alamat IPv6 secara *Statefull* pada interface bridge seperti terlihat pada Gambar 5. Interface bridge1 melakukan *advertise* karena difungsikan sebagai router RA (*Router Advertisement*).

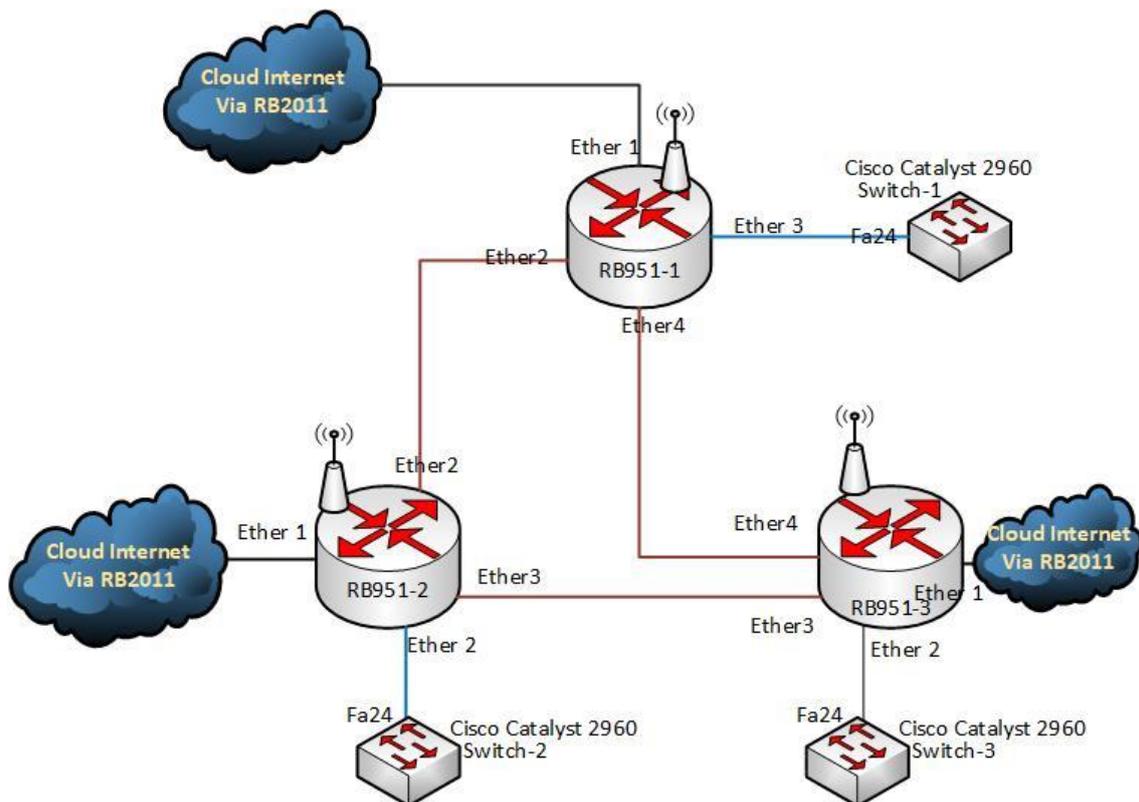


Gambar 5. Pengalamatan Interface IPv6

Topologi jaringan yang terhubung ke setiap router RB2011 seperti terlihat pada Gambar 1 akan disambungkan ke sekumpulan router Cisco dan mikrotik seperti terlihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Arsitektur Router Cisco Untuk Praktikum



Gambar 7. Arsitektur Piranti Lab Remote Untuk Setiap Blok Router Mikrotik

Pada Gambar 6 memperlihatkan koneksi Router R1, R2 dan R3 saling dihubungkan melalui kabel serial. Untuk topologi setiap blok router dibuat sama. Pada topologi tersebut status interface serial router dibuat shutdown. Topologi Gambar 6 dalam praktikum dapat dibuat sangat fleksibel, di mana mahasiswa bisa praktikum dengan satu router, dua router maupun tiga router tergantung

studi kasus yang dikerjakan. Topologi yang sama juga diperlihatkan pada Gambar 7 di mana topologinya menggunakan router mikrotik. Kedua contoh topologi blok yang mewakili router cisco dan router mikrotik semuanya terhubung ke switch cisco catalyst 2960. Dengan terhubung ke switch tersebut juga dimungkinkan topologi praktikum dapat melibatkan 6 buah router sekaligus di dalam 1 blok piranti remote. Untuk status interface Ether 2, ether 3 dan ether 4 pada gambar 7, semua dalam kondisi *disable*. Proses enable dilakukan mengikuti bentuk topologi yang akan digunakan di saat praktikum.

Setiap Router baik router cisco maupun router mikrotik dapat diremote dari luar laboratorium menggunakan IPv6. Adapun pengalamatan IP Address di setiap router dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengalamatan IPv6 Perangkat Laboratorium

Perangkat	Alokasi alamat IPv6
RB 951 Gateway Lab D	2001:470:ed4d::6a7e/64
Blok 1	
RB 2011 Blok 1	2001:470:ed4d:1::b10c/112
RB 941 Blok 1.1	2001:470:ed4d:1::1:0/127
RB 941 Blok 1.2	2001:470:ed4d:1::2:0/127
RB 941 Blok 1.3	2001:470:ed4d:1::3:0/127
Cisco R1	2001:470:ed4d:1::4:0/127
Cisco R2	2001:470:ed4d:1::5:0/127
Cisco R3	2001:470:ed4d:1::6:0/127
Blok 2	
RB 2011 Blok 2	2001:470:ed4d:2::b20c/112
RB 941 Blok 2.1	2001:470:ed4d:2::1:0/127
RB 941 Blok 2.2	2001:470:ed4d:2::2:0/127
RB 941 Blok 2.3	2001:470:ed4d:2::3:0/127
Cisco R1	2001:470:ed4d:2::4:0/127
Cisco R2	2001:470:ed4d:2::5:0/127
Cisco R3	2001:470:ed4d:2::6:0/127
Blok 3	
RB 2011 Blok 3	2001:470:ed4d:3::b30c/112
RB 941 Blok 3.1	2001:470:ed4d:3::1:0/127
RB 941 Blok 3.2	2001:470:ed4d:3::2:0/127
RB 941 Blok 3.3	2001:470:ed4d:3::3:0/127
Cisco R1	2001:470:ed4d:3::4:0/127
Cisco R2	2001:470:ed4d:3::5:0/127
Cisco R3	2001:470:ed4d:3::6:0/127
Blok 4	
RB 2011 Blok 4	2001:470:ed4d:4::b40c/112
RB 941 Blok 4.1	2001:470:ed4d:4::1:0/127
RB 941 Blok 4.2	2001:470:ed4d:4::2:0/127
RB 941 Blok 4.3	2001:470:ed4d:4::3:0/127
Cisco R1	2001:470:ed4d:4::4:0/127
Cisco R2	2001:470:ed4d:4::5:0/127
Cisco R3	2001:470:ed4d:4::6:0/127

Konfigurasi pada router cisco dapat dilihat pada Gambar 8, 9 dan 10. Gambar 8 memperlihatkan contoh konfigurasi di Router Cisco R1 pada blok 1 untuk mengaktifkan *routing unicast packet* pada router cisco. Gambar 9 memperlihatkan konfigurasi ipv6 pada interface Fa0/1, sedangkan Gambar 10 memperlihatkan pemberian konfigurasi untuk default router IPv6 di setiap router cisco.

```
User Access Verification

Password:
R1-Blok1>ena
Password:
R1-Blok1#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R1-Blok1(config)#ipv
R1-Blok1(config)#ipv6 uni
R1-Blok1(config)#ipv6 unicast-routing
```

Gambar 8. Mengaktifkan Unicast Routing Router Cisco

```
R1-Blok1(config)#int fa0/1
R1-Blok1(config-if)#ipv
R1-Blok1(config-if)#ipv6 ad
R1-Blok1(config-if)#ipv6 address 2001:470:ed4d:1::4:0/127
```

Gambar 9. Mendaftarkan Alamat IPv6

```
R1-Blok1(config)#ipv
R1-Blok1(config)#ipv6 rou
R1-Blok1(config)#ipv6 route ::/0 fa0/1 fe80::4e5e:cff:fe46:fe3c
```

Gambar 10. Routing statik IPv6

2.4. Pengujian

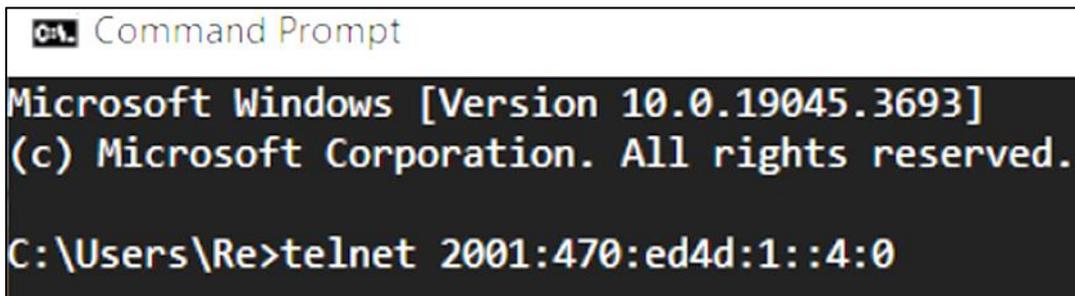
Pengujian implementasi *remote laboratorium* IPv6 dilakukan dari luar jaringan laboratorium. Pengujian ini bertujuan untuk membuktikan apakah *remote* perangkat jaringan IPv6 dapat berjalan secara global. Penulis melakukan *remote* perangkat jaringan IPv6 yang berada di laboratorium jaringan menggunakan jaringan GSM provider Telkomsel. Alamat IPv6 laptop yang sudah terkoneksi *peer to peer* dengan gawai data dari jaringan Telkomsel dapat dilihat pada Gambar 11. Laptop penulis mendapatkan IPv6 dengan awalan 2404:c0:9a22:741b:8670:730c:c0c1:792 yang berbeda dengan alamat IPv6 di laboratorium jaringan.

```
Wireless LAN adapter Wi-Fi:

Connection-specific DNS Suffix . :
IPv6 Address. . . . . : 2404:c0:9a22:741b:8670:730c:c0e1:792
Temporary IPv6 Address. . . . . : 2404:c0:9a22:741b:8557:ce08:cf7f:f4ad
Link-local IPv6 Address . . . . . : fe80::9b4a:4359:b677:c2c7%4
IPv4 Address. . . . . : 192.168.237.41
Subnet Mask . . . . . : 255.255.255.0
Default Gateway . . . . . : fe80::806c:c6ff:fe55:b802%4
                            192.168.237.218
```

Gambar 11. Alamat IPv6 Laptop untuk akses remote

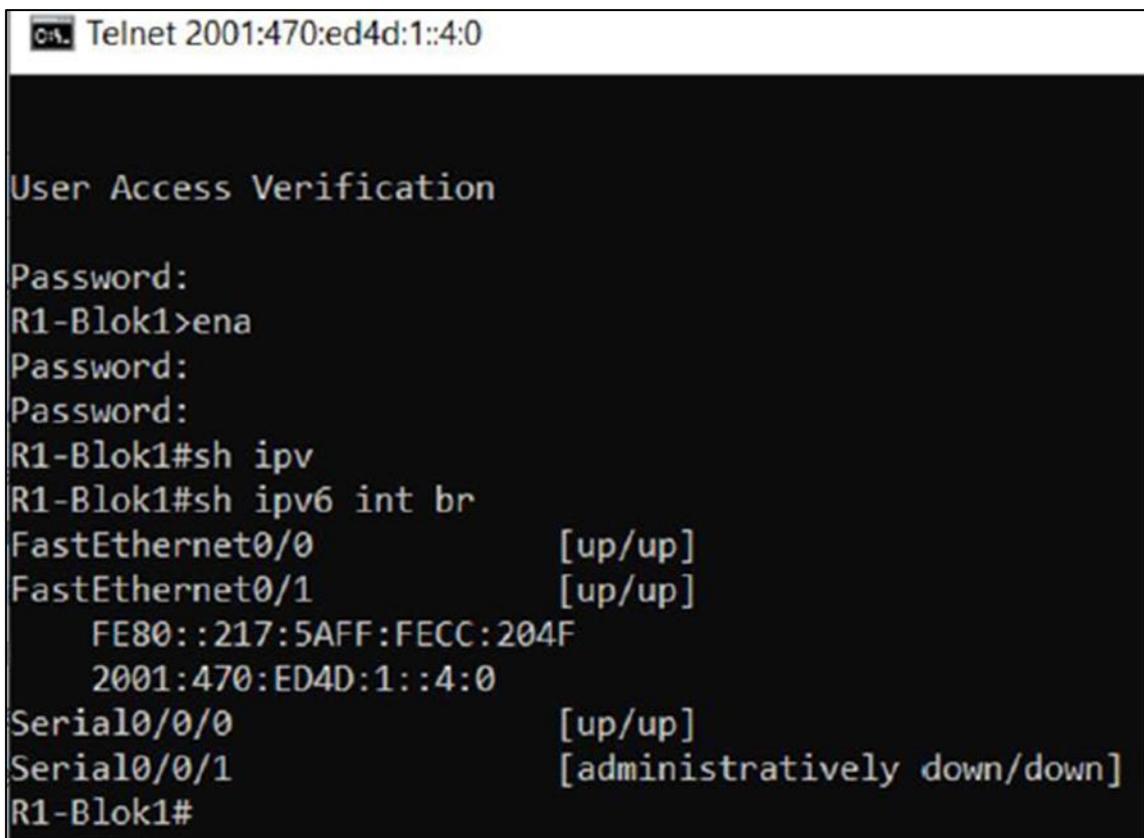
Pengujian dilakukan dengan melakukan koneksi *telnet* ke semua router Cisco. Gambar 12 menunjukkan contoh *telnet* ke Router-1 pada Blok 1 yang memiliki alamat IPv6 2001:470:ed4d:1::4:0.



```
C:\> Command Prompt
Microsoft Windows [Version 10.0.19045.3693]
(c) Microsoft Corporation. All rights reserved.
C:\Users\Re>telnet 2001:470:ed4d:1::4:0
```

Gambar 12. Telnet ke Router-1 Blok 1

Telnet ke suatu alamat IP address pada suatu alat merupakan cara melakukan *remote* alat untuk konfigurasi. Syarat telnet berhasil adalah kedua *device* terhubung dalam jaringan, baik lokal maupun global. Hasil koneksi telnet untuk remote piranti dapat dilihat pada Gambar 13.



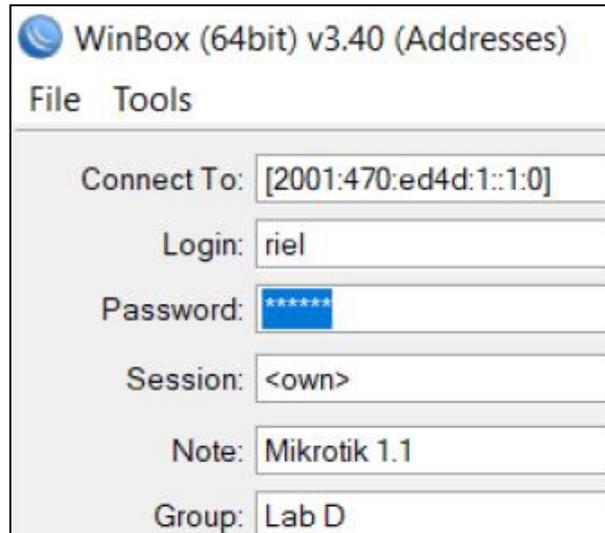
```
C:\> Telnet 2001:470:ed4d:1::4:0

User Access Verification

Password:
R1-Blok1>ena
Password:
Password:
R1-Blok1#sh ipv
R1-Blok1#sh ipv6 int br
FastEthernet0/0          [up/up]
FastEthernet0/1          [up/up]
    FE80::217:5AFF:FECC:204F
    2001:470:ED4D:1::4:0
Serial0/0/0              [up/up]
Serial0/0/1              [administratively down/down]
R1-Blok1#
```

Gambar 13. Hasil Telnet Router Cisco-1 Blok 1

Dengan cara yang sama, juga dapat dilakukan untuk menguji remote router Mikrotik dari laptop di luar jaringan laboratorium menggunakan aplikasi Winbox seperti terlihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Remote menggunakan Winbox ke Router 1 Mikrotik Blok 1

Pengujian *remote* Router Mikrotik 1 pada posisi Blok 1 berhasil dilakukan. Hal ini terlihat pada Gambar 16, di mana aplikasi Winbox telah terhubung secara *remote* dengan router Mikrotik. Dengan demikian, konfigurasi perangkat dapat dilakukan sesuai dengan kebutuhan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi *remote laboratorium* menggunakan protokol IPv6 telah berhasil dilakukan. Untuk mengetahui seberapa jauh implementasi ini dapat membantu mahasiswa dalam mengerjakan praktikum secara *remote*, dilakukan wawancara terbimbing dengan pertanyaan dan pilihan jawaban yang bersifat deskriptif. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan pendekatan metode deskriptif untuk melihat gambaran apakah *remote lab* dapat digunakan secara nyaman atau tidak, serta kendala yang ada selama berlangsungnya penggunaan piranti secara *remote*.

Penulis mengajukan dua pertanyaan, masing-masing dengan pilihan jawaban kualitatif untuk menggambarkan keadaan yang bersifat subyektif. Pertanyaan pertama adalah: "Apakah Anda merasa terbantu dengan adanya piranti jaringan yang dapat di-*remote* dengan alamat IPv6 dan Anda gunakan sebagai sarana latihan konfigurasi ketika kita tidak bisa datang langsung ke Lab-D?" Pilihan jawaban pertanyaan pertama adalah: (1) Cukup membantu, dan saya bisa memanfaatkannya untuk berbagai topologi; (2) Tidak membantu, saya lebih suka menggunakan GNS3 atau Packet Tracer; (3) Saya belum begitu paham, jadi tidak bisa menjawab apakah membantu atau tidak.

Berdasarkan polling yang dilakukan kepada 48 mahasiswa dengan melakukan serangkaian tugas praktikum secara *remote* untuk tiga topik bahasan praktikum yang berbeda, diperoleh hasil seperti terlihat pada Gambar 15. Hasil survei terhadap 48 orang responden tentang persepsi mereka terhadap piranti jaringan yang bisa di-*remote* dan digunakan sebagai sarana latihan konfigurasi. Mayoritas responden (81,3%) merasa cukup terbantu dengan adanya piranti tersebut. Mereka dapat memanfaatkannya untuk berbagai topologi, baik sederhana maupun kompleks. Sementara itu, 10,4% responden merasa bahwa piranti tersebut tidak membantu mereka. Mereka lebih suka menggunakan GNS3 atau Packet Tracer yang dinilai lebih mudah digunakan. Ada pula 8,3% responden yang belum begitu paham tentang piranti tersebut sehingga tidak bisa menjawab apakah membantu atau tidak.



Gambar 15. Grafik Proporsi Kualitatif Penggunaan Remote Laboratorium

Ada 8,3% responden yang merasa belum paham, dan 10,4% responden yang merasa *remote* lab kurang membantu dan lebih memilih menggunakan emulator atau simulator. Hasil ini dikonfirmasi kembali kepada responden, dan didapatkan bahwa hasil tersebut disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu gagalnya akses *remote* lab oleh mahasiswa, serta kesulitan mahasiswa dalam membayangkan topologi yang dijadikan studi kasus karena tidak melihat peralatan secara langsung. Konfirmasi ini juga terlihat pada jawaban responden untuk pertanyaan kedua, yaitu "Sejauh mana koneksi di tempat tinggal Anda ketika mengakses piranti *remote* yang ada di Lab D UKDW dan kendala yang dihadapi?" dengan pilihan jawaban kualitatif sebagai berikut: (1) Sangat lancar, waktu tunda ketika konfigurasi masih dalam batas wajar. (2) Kurang lancar, waktu tunda ketika konfigurasi terasa lambat. (3) Tidak lancar, terkadang putus dan sambung sendiri ketika konfigurasi. Hasil dari pertanyaan kedua dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Grafik proporsi kelancaran akses secara remote

Berdasarkan Gambar 16, mayoritas responden (52,1%) merasa bahwa koneksi internet di tempat tinggal mereka sangat lancar untuk mengakses piranti *remote* yang ada di Laboratorium Jaringan Komputer. Waktu tunda yang mereka alami ketika konfigurasi masih dalam batas wajar, sehingga tidak mengganggu proses konfigurasi. Sementara itu, 39,6% responden merasa bahwa koneksi internet di tempat tinggal mereka kurang lancar untuk mengakses piranti *remote* yang ada di Laboratorium Jaringan Komputer. Waktu tunda yang mereka alami ketika konfigurasi terasa lambat, sehingga dapat mengganggu proses konfigurasi. Ada pula 8,3% responden yang merasa bahwa koneksi internet di tempat tinggal mereka tidak lancar untuk mengakses piranti *remote* yang ada di Laboratorium Jaringan Komputer. Koneksi internet mereka terkadang putus dan sambung sendiri ketika konfigurasi, sehingga dapat menyebabkan kegagalan konfigurasi. Pada bagian ini, mahasiswa yang tidak bisa mengakses menggunakan IPv6 karena piranti tidak

mendukung IPv6 atau ISP yang digunakan tidak mendukung IPv6 memilih jawaban tidak lancar. Selain itu, mahasiswa yang sinyal penerima datanya sangat lemah sehingga bandwidth tidak mencukupi juga memilih pilihan jawaban ini.

Penulis juga melakukan konfirmasi kepada mahasiswa yang tidak bisa mengakses IPv6. Hasil konfirmasi menunjukkan bahwa mahasiswa yang bisa *remote* menggunakan IPv6 semuanya menggunakan data dari GSM Telkomsel. Sebaliknya, yang menggunakan data selain Telkomsel, seperti IM3, XL, dan Tri, semua tidak mendapatkan IPv6 di perangkat gawainya. Selain itu, ISP yang sudah dikonfirmasi dari mahasiswa yang bisa mendapatkan IPv6 adalah Biznet. Untuk ISP Indihome, ada yang bisa mendapatkan IPv6 dan ada yang tidak. Permasalahan lain yang ditemukan adalah mahasiswa menonaktifkan *interface* yang seharusnya tidak boleh dimatikan. Menonaktifkan *interface* yang menuju jalur *remote* mengakibatkan koneksi *remote* terputus. Akibatnya, laboran lab perlu memulihkan konfigurasi dasar pada router yang bermasalah agar dapat digunakan kembali. Selain itu, mahasiswa terbiasa menyimpan konfigurasi praktikum pada nvram untuk router Cisco. Hal ini menyebabkan konfigurasi praktikum masih ada pada peralatan pada praktikum berikutnya. Demikian pula dengan router Mikrotik.

Ketentuan penggunaan *remote* lab sudah diberikan, yaitu untuk router Mikrotik setelah selesai praktikum, mahasiswa diwajibkan untuk memulihkan file konfigurasi dasar, sedangkan untuk router Cisco tidak diizinkan menyimpan konfigurasi di nvram, namun, ada juga mahasiswa yang melanggar ketentuan tersebut sehingga perlu dilakukan perbaikan pada router yang mengalami masalah.

4. KESIMPULAN

Implementasi protokol IPv6 berhasil diterapkan untuk *remote laboratorium* dari mana saja mahasiswa berada. Mayoritas mahasiswa merasa terbantu dengan adanya *remote laboratorium* yang dapat digunakan untuk berlatih konfigurasi jaringan secara nyata tanpa melalui emulator atau simulator. Berdasarkan hasil jawaban responden secara kualitatif, dapat disimpulkan bahwa koneksi internet di tempat tinggal responden merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi persepsi mereka terhadap piranti *remote* yang ada di LAB-D UKDW. Responden yang memiliki koneksi internet yang lancar akan lebih puas dengan piranti tersebut, sedangkan responden yang memiliki koneksi internet yang kurang lancar atau tidak lancar akan kurang puas dengan piranti tersebut. Kekurangan dari *remote* IPv6 ini adalah tidak semua ISP mengaktifkan pengalamatan IPv6 dan tidak semua perangkat lama mendukung IPv6. Oleh karena itu, layanan IPv6 tidak dapat diperoleh jika gawai tidak mendukung atau tidak memiliki IPv6.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Yanti and D. Kriestanto, "Analisis Kepuasan Mahasiswa Terhadap Sistem Pembelajaran Online Pada Masa Pandemic Covid 19 Di Stmik Akakom Dengan Metode Naive Bayes," *Jurnal Informatika Komputer, Bisnis dan Manajemen*, vol. 20, no. 1, pp. 23-31, 2022, doi: <https://doi.org/10.61805/fahma.v20i1.41>.
- [2] U. Rahardja, N. Lutfiani, L. Wijayanti and E. P. Harahap, "iLearning: Metode Pembelajaran Inovatif di Era Education 4.0," *Technomedia Journal (TMJ)*, vol. 4, no. 2, pp. 261-276, 2020, doi: <https://doi.org/10.33050/tmj.v4i2.1010>.
- [3] D. Ardiansyah, "Transformasi Digital Perguruan Tinggi Menggunakan Prinsip SMART Education," *FAHMA*, vol. 20, no. 1, pp. 42-55, 2022, doi: <https://doi.org/10.61805/fahma.v20i1.43>.
- [4] D. D. Ramlowat and B. K. Pattanayak, "Exploring the internet of things (IoT) in education: a review," in *Information Systems Design and Intelligent Applications: Proceedings of Fifth International Conference*, INDIA, 2018, doi: https://doi.org/10.1007/978-981-13-3338-5_23.

- [5] G. Ilieva and T. Yankova, "IoT in distance learning during the COVID-19 pandemic," *TEM Journal*, vol. 9, no. 4, pp. 1669-1674, 2020, doi: <https://doi.org/10.18421/TEM94-45>.
- [6] V. Muniasamy, I. M. Eljailani and M. Anandhavalli, "Student's performance assessment and learning skill towards wireless network simulation tool–Cisco Packet Tracer," *International Journal of Emerging Technologies in Learning (Online)*, vol. 14, no. 7, pp. 196-208, 2019, doi: <https://doi.org/10.3991/ijet.v14i07.10351>.
- [7] L. M. I. Sari, P. Hatta, E. S. Wihidayat and F. Xiao, "A comparison between the use of cisco packet tracer and graphical network simulator 3 as learning media on students' achievement," *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, vol. 24, no. 1, pp. 132-136, 2018, doi: <https://doi.org/10.21831/jptk.v24i1.16042>.
- [8] N. Leki, A. C. Djamen and M. M. Mintjelungan, "Penerapan Cisco Packet Tracer Sebagai media Pembelajaran Jaringan untuk Meningkatkan Hasil Belajar Siswa SMK," *Eduetik: Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi dan Komunikasi*, vol. 2, no. 1, pp. 14-26, 2022, doi: <https://doi.org/10.53682/edutik.v2i1.3319>.
- [9] G. e. a. Alfarsi, "Using Cisco Packet Tracer to simulate smart home," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 8, no. 12, pp. 670-674, 2019, doi: <https://doi.org/10.17577/IJERTV8IS120211>.
- [10] A. H. Ahmed and M. N. Al-Hamadani, "Designing a secure campus network and simulating it using Cisco packet tracer," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 23, no. 1, pp. 479-489, 2021, doi: <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v23.i1.pp479-489>.
- [11] T. Wangchuck, "Study on the usability of GNS3 for teaching and learning system and network administration," *International Journal of Science Technology & Engineering*, vol. 4, no. 10, pp. 34-37, 2018, url: <https://ijste.org/Article.php?manuscript=IJSTEV4I10018>.
- [12] A. Surahmat and Ma'sum, "Perbandingan Hasil Belajar Menggunakan Software Simulation Jaringan GNS3 Dan Packet Tracer Dalam Mengatasi Keterbatasan Alat Pada Kompetensi Wide Area Network (Wan) Di Jurusan Tkj Smks Informatika Sukma Mandir," *Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 3, no. 1, pp. 78-92, 2019, url: <https://ejournal.lppm-unbaja.ac.id/index.php/saintek/article/view/430>.
- [13] A. Idrus, L. Sugiyanta, M. Nugraheni, F. Fahrurrozi, O. Afrillazhary and Z. P. Rahmayani, "Pelatihan Pembuatan Simulasi Jaringan Komputer Dengan Gns3 Dan Cisco Packet Tracer Kepada Para Guru SMKS Yapinuh Muara Gembong Kabupaten Bekasi Jawa Barat," *Jurnal TUNAS*, vol. 4, no. 1, pp. 69-73, 2022, doi: <http://dx.doi.org/10.30645/jtunas.v4i1.76>.
- [14] Yurmanalis, Khairuddin, H. A. Musril and S. Derta, "Efektivitas Laboratorium Virtual Menggunakan GNS3 di SMK N 04 Payakumbuh," *Jurnal Pendidikan dan Konseling*, vol. 4, no. 4, pp. 4288-4293, 2022, doi: <https://doi.org/10.31004/jpdk.v4i4.6150>.
- [15] G. Indriyanta, N. A. Haryono and P. B. Waluyo, "Implementasi Remote Laboratorium Praktikum Infrastruktur LAN Pada Masa Work From Home," *TMJ: Technomedia Journal*, vol. 8, no. 1, p. 109–124, 2023, doi: <https://doi.org/10.33050/tmj.v8i1.1984>.
- [16] M. Syafrizal, S. Qamar and D. B. Aji, "Implementasi Migrasi Ipv4 Ke Ipv6," *Data Manajemen dan Teknologi Informasi (DASI)*, vol. 14, no. 1, pp. 44-50, 2013, url: <https://ojs.amikom.ac.id/index.php/dasi/article/view/154>.
- [17] Mulyadi, "Penerapan IP Versi 6 dalam Membangun Jaringan LAN," *FAHMA*, vol. 19, no. 3, pp. 16-26, 2021, doi: <https://doi.org/10.61805/fahma.v19i3.49>.
- [18] Cisco Networking Academy, *CCNAv7: Switching, Routing, and Wireless Essentials Companion Guide*, USA: Cisco Press, 2020.