MODUL AJAR

IPv6

Alamat internet generasi berikutnya

Modul ajar interaktif: dari struktur 128 bit, subnetting, hingga konfigurasi dan pengujian jaringan dual-stack.



`2001:0db8:acad:0001:0000:0000:0000:0010`

Fase F · Kelas XI · Jaringan Dasar · Kurikulum Merdeka

Disusun oleh

Aliyudin, S.T., Gr

Guru Mata Pelajaran Produktif TKJ · SMKS Ciledug Al-Musaddadiyah, Garut

PANDUAN

Daftar Isi

Peta perjalanan modul

Informasi Umum 4

A.1 Identitas Modul 4

A.2 Kompetensi Awal 4

A.3 Dimensi Profil Lulusan yang Dikuatkan 4

A.4 Sarana, Prasarana, dan Media 5

A.5 Profil dan Karakteristik Peserta Didik 5

A.6 Model, Pendekatan, dan Metode 6

A.7 Kesiapan Guru 6

Komponen Inti 7

B.1 Capaian dan Tujuan Pembelajaran 7

B.2 Pemahaman Bermakna 8

B.3 Pertanyaan Pemantik 8

B.4 Kerangka Pembelajaran Mendalam pada Modul 8

B.5 Rencana Kegiatan Pembelajaran 9

B.6 Asesmen 13

B.7 Remedial dan Pengayaan 14

B.8 Pembelajaran Berdiferensiasi dan Kondisi Sarana 14

B.9 Refleksi Guru dan Peserta Didik 15

Bahan Ajar Ringkas 16

1. Mengapa IPv6? 16

2. Anatomi dan penyingkatan alamat 16

3. Jenis alamat 17

4. Neighbor Discovery (NDP) dan SLAAC 17

5. Konfigurasi dan pengujian 18

6. Transisi dan keamanan dasar 18

Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) 19

LKPD 1: Anatomi dan Penyingkatan Alamat IPv6 (Pertemuan 1) 19

LKPD 2: NDP, SLAAC, Subnet /64, dan EUI-64 (Pertemuan 2) . . . 21
LKPD 3: Konfigurasi dan Troubleshooting (Pertemuan 3) . . . 22
LKPD 4: Proyek Rancangan Pengalamatan IPv6 Sekolah (Pertemuan 4) . . . 23

Instrumen Kuis (8 Butir) dan Kunci . . . 24

Kunci LKPD dan Latihan Remedial . . . 26

Kunci LKPD 1 . . . 26
Kunci LKPD 2 . . . 26
Kunci LKPD 3 (acuan) . . . 27
Latihan cepat remedial dan kuncinya . . . 27

Lembar Observasi dan Penilaian Sejawat . . . 28

Lembar observasi singkat . . . 28
Lembar penilaian sejawat proyek . . . 28

Lembar Refleksi Peserta Didik . . . 29

Glosarium . . . 30

Daftar Pustaka . . . 30

BAGIAN A

Informasi Umum

Identitas, kompetensi awal, dan kerangka modul

A.1 Identitas Modul

Aspek	Uraian
Nama penyusun	Aliyudin, S.T., Gr (Guru Mata Pelajaran Produktif TKJ)
Institusi	SMKS Ciledug Al-Musaddadiyah, Garut
Mata pelajaran	Jaringan Dasar
Fase / kelas	Fase F / Kelas XI Teknik Jaringan Komputer dan Telekomunikasi (TJKT)
Topik	IPv6: struktur dan penyingkatan alamat, jenis alamat, NDP dan SLAAC, subnetting /64, konfigurasi dan troubleshooting dasar, transisi dan keamanan dasar
Alokasi waktu	16 JP (4 pertemuan x 4 JP x 45 menit = 180 menit per pertemuan)
Moda pembelajaran	Tatap muka di kelas dan laboratorium; media dapat dipakai luring
Media utama	Media Pembelajaran Interaktif IPv6 (satu berkas HTML, 13 halaman) sesuai naskah inovasi
Rujukan teknis	RFC 8200, 4291, 5952, 4861, 4862, 4193, 4890, 4941, 7217, 8106, 6164, 3849

A.2 Kompetensi Awal

Sebelum mengikuti modul ini, peserta didik diharapkan telah memiliki bekal berikut. Guru dapat mengeceknya melalui asesmen diagnostik singkat pada pembuka Pertemuan 1.

- Memahami konsep alamat IPv4 (32 bit, notasi desimal bertitik) dan subnetting IPv4 dasar.
- Mampu mengonversi bilangan biner, desimal, dan mengenal bilangan heksadesimal (0 sampai f).
- Mengenal fungsi router, switch, dan perangkat pengguna akhir, serta model TCP/IP.
- Mampu mengoperasikan antarmuka baris perintah (CLI) dasar dan perintah ping.

> **Jembatan untuk peserta didik yang belum siap**
>
> Bila bekal heksadesimal masih lemah, sisipkan latihan 10 menit: ubah 0 sampai f menjadi empat bit (contoh: a = 1010, f = 1111, 8 = 1000). Bekal ini dipakai ulang pada pembahasan EUI-64.

A.3 Dimensi Profil Lulusan yang Dikuatkan

Delapan Dimensi Profil Lulusan dikuatkan secara terpadu melalui aktivitas belajar, bukan sebagai materi tersendiri. Penilaian dimensi bersifat deskriptif dan formatif (naskah inovasi, Bab IV.C).

Dimensi	Wujud penguatan pada modul ini	Pertemuan
Keimanan dan ketakwaan	Amanah dan jujur mencatat konfigurasi apa adanya; menjaga data dan akses jaringan; bersyukur atas teknologi sebagai sarana kemaslahatan	3, 4

Dimensi	Wujud penguatan pada modul ini	Pertemuan
Kewargaan	Etika dan keamanan jaringan; gotong royong dalam kelompok; kepedulian pada kebutuhan jaringan sekolah	3, 4
Penalaran kritis	Menganalisis struktur alamat; membandingkan IPv4 dan IPv6; menelusuri penyebab gangguan secara runtut	1, 2, 3
Kreativitas	Merancang rencana pengalamatan yang efisien, berspasi cadangan, dan dapat berkembang	3, 4
Kolaborasi	Peran bergilir (penulis perintah, pengamat hasil, pencatat dokumentasi); penilaian sejawat	2, 3, 4
Kemandirian	Belajar dengan kecepatan sendiri; memilih jalur remedial atau pengayaan; menyusun portofolio bukti praktik	1, 3, 4
Kesehatan	Jeda belajar, tema tampilan terang/gelap yang nyaman, postur saat praktik	Semua
Komunikasi	Menjelaskan alasan pemilihan prefix; presentasi rancangan; menulis dokumentasi konfigurasi dan refleksi	2, 4

A.4 Sarana, Prasarana, dan Media

Kebutuhan	Rincian	Alternatif bila terbatas
Media interaktif	Berkas HTML media IPv6 pada laptop/ponsel peserta didik (luring)	Satu laptop diproyeksikan; belajar berpasangan
Perangkat praktik (opsional)	Router, switch, PC; atau Cisco Packet Tracer / GNS3	Simulasi terminal pada media (halaman 9)
Pendukung kelas	Proyektor, papan tulis, kertas plano atau kertas HVS	Papan tulis dan lembar cetak LKPD
Distribusi berkas	Flashdisk, Bluetooth, atau jaringan lokal	Salin dari laptop guru ke laptop kelompok
Dokumen guru	Modul ini, rubrik, lembar observasi (Lampiran 5)	Cetak seperlunya

A.5 Profil dan Karakteristik Peserta Didik

Kelas XI TJKT umumnya heterogen dalam kesiapan dan kecepatan belajar. Sebagian cepat menangkap logika alamat, sebagian membutuhkan waktu untuk terbiasa dengan heksadesimal dan CLI. Modul mengantisipasinya dengan: (1) umpan balik langsung pada media, (2) jalur remedial dan pengayaan berbasis topik, (3) kerja kelompok bertingkat dengan peran bergilir, dan (4) pilihan tingkat tantangan pada skenario troubleshooting.

A.6 Model, Pendekatan, dan Metode

Unsur	Pilihan
Pendekatan	Pembelajaran Mendalam pada kerangka Kurikulum Merdeka (berkesadaran, bermakna, menggembirakan)
Pengalaman belajar	Memahami, mengaplikasi, merefleksi
Model	*Project-based learning* (proyek rancangan alamat sekolah) dipadukan *problem-based learning* pada skenario troubleshooting
Metode	Pertanyaan pemantik, diskusi berpasangan, demonstrasi, praktik simulasi, kerja kelompok, presentasi, refleksi
Asesmen	Diagnostik, formatif (kuis berumpan balik, misi simulasi, observasi), sumatif (proyek berbasis rubrik)

A.7 Kesiapan Guru

Guru menyiapkan hal-hal berikut sebelum Pertemuan 1 (selaras dengan Daftar Periksa Guru pada Lampiran C naskah): berkas media sudah dapat dibuka di perangkat peserta didik; kebijakan gawai disepakati; Tujuan Pembelajaran dan alokasi waktu disesuaikan dengan dokumen satuan pendidikan; pengelompokan beserta peran bergilir telah dirancang; lembar observasi dan rubrik tercetak; serta perangkat atau simulator profesional dicek bila tersedia.

BAGIAN B

Komponen Inti

Tujuan, kegiatan, asesmen, dan tindak lanjut

B.1 Capaian dan Tujuan Pembelajaran

Capaian Pembelajaran (rujukan)

Pada akhir fase, peserta didik mampu menerapkan pengalamatan IP (termasuk IPv6), melakukan konfigurasi dasar perangkat jaringan, serta memverifikasi dan memecahkan masalah konektivitas sesuai prosedur kerja. *Rumusan di atas bersifat ringkasan rujukan; guru wajib mencocokkannya dengan teks Capaian Pembelajaran dan Alur Tujuan Pembelajaran yang ditetapkan satuan pendidikan.*

Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti rangkaian pembelajaran, peserta didik mampu:

Kode	Tujuan Pembelajaran	Pert.	Pengalaman
TP-1	Menjelaskan alasan kebutuhan IPv6 dengan membandingkan ruang alamat IPv4 (32 bit) dan IPv6 (128 bit) serta minimal enam aspek perbedaan keduanya.	1	Memahami
TP-2	Menuliskan bentuk singkat dan bentuk lengkap alamat IPv6 sesuai aturan RFC 5952 dan mengenali bagian prefix, ID subnet, dan ID antarmuka.	1	Memahami
TP-3	Mengidentifikasi jenis alamat IPv6 (loopback, unspecified, global unicast, link-local, ULA, multicast, dokumentasi) dan menjelaskan mengapa IPv6 tidak mengenal broadcast.	1	Memahami
TP-4	Menjelaskan urutan Neighbor Discovery dan SLAAC serta menghitung Interface ID EUI-64, alamat link-local, dan solicited-node multicast dari sebuah alamat MAC.	2	Memahami, mengaplikasi
TP-5	Menghitung jaringan, rentang alamat, dan subnet /64 berikutnya dari sebuah prefix; menentukan jumlah subnet /64 dalam prefix /48.	2	Mengaplikasi
TP-6	Mengonfigurasi alamat IPv6 pada antarmuka router, memverifikasi, dan menguji konektivitas pada topologi R1-SW1-PC1.	3	Mengaplikasi
TP-7	Menelusuri dan memperbaiki gangguan konektivitas serta kegagalan SLAAC secara runtut.	3	Mengaplikasi
TP-8	Menjelaskan mekanisme transisi (dual-stack, tunneling, NAT64+DNS64) dan aspek keamanan dasar IPv6 (firewall stateful, ICMPv6, RA Guard).	3	Memahami, mengaplikasi
TP-9	Merancang, mendokumentasikan, mempresentasikan, dan merefleksikan rencana pengalamatan IPv6 jaringan sekolah dari prefix /48 beserta alasan pemilihannya.	4	Merefleksi

Kriteria ketercapaian: skor kuis minimal 80% (setelah satu putaran remedial bila perlu); Skenario 1 dan 2 pada simulasi selesai; proyek rancangan berada pada level Cakap atau Mahir (Tabel rubrik, Bagian B.6). Angka-angka ini merupakan usulan awal sesuai naskah dan dapat disesuaikan dengan kebijakan penilaian satuan pendidikan.

B.2 Pemahaman Bermakna

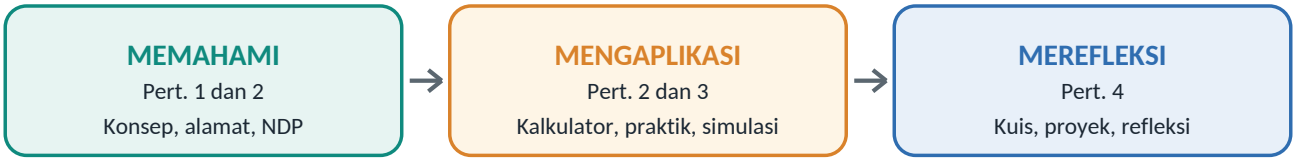
- IPv6 bukan sekadar "IPv4 yang lebih panjang": ruang alamatnya memungkinkan setiap perangkat mendapat alamat global dan menggeser cara kita merancang jaringan (tanpa broadcast, tanpa kewajiban NAT).
- Struktur alamat 128 bit yang teratur (prefix, ID subnet, ID antarmuka) membuat pengalamatan dapat dirancang dan dihitung secara sistematis, bukan dihafal.
- SLAAC dan NDP memungkinkan perangkat mengonfigurasi dirinya secara mandiri, sehingga seorang administrator perlu memahami prosesnya agar mampu melacak gangguan.
- Tanpa NAT tidak berarti aman: keamanan tetap bergantung pada firewall stateful, penyaringan ICMPv6 yang tepat, dan perlindungan seperti RA Guard.
- IPv4 dan IPv6 akan hidup berdampingan selama bertahun-tahun, sehingga lulusan jaringan harus siap bekerja pada lingkungan dual-stack.

B.3 Pertanyaan Pemantik

Pert.	Pertanyaan pemantik
1	Cukupkah sekitar 4,3 miliar alamat untuk semua ponsel, kamera, dan sensor di sekolah kita? Apa yang terjadi jika alamat habis?
2	Jika tidak ada broadcast, bagaimana sebuah perangkat menemukan alamat MAC tetangganya dan mendapatkan alamat tanpa diberi tahu siapa pun?
3	Mengapa ping pertama kadang hilang padahal konfigurasi sudah benar? Apa yang harus dicek lebih dulu bila PC tidak bisa dijangkau?
4	Jika Anda menjadi administrator jaringan sekolah, bagaimana membagi satu prefix /48 agar efisien, aman, dan siap berkembang?

B.4 Kerangka Pembelajaran Mendalam pada Modul

Alur modul mengikuti tiga pengalaman belajar yang dikawal tiga prinsip Pembelajaran Mendalam, diperkuat umpan balik, remedial, dan pengayaan (Gambar 7 pada naskah).



Gambar 1. Tiga pengalaman belajar dalam alur modul.

Prinsip	Perwujudan dalam kegiatan modul
Berkesadaran	Tujuan dibacakan di awal; pertanyaan pemantik; peserta didik menuliskan pertanyaan yang masih membingungkan; bilah kemajuan dan daftar misi pada media
Bermakna	Rencana alamat sekolah (VLAN guru, lab TJKT, Wi-Fi siswa, server); perangkat IoT dan kamera sebagai alasan IPv6
Menggembirakan	Contoh alamat acak, terminal bergaya perangkat nyata, umpan balik langsung, kuis berurutan acak, presentasi kelompok

Keempat unsur penopang pembelajaran mendalam juga hadir: **praktik pedagogis** (pertanyaan pemantik, asesmen formatif, diferensiasi), **pemanfaatan digital** (media interaktif), **lingkungan pembelajaran** (kerja kelompok yang aman untuk mencoba), dan **kemitraan** (MGMP serta praktisi jaringan atau ISP setempat sebagai penanggap rancangan).

B.5 Rencana Kegiatan Pembelajaran

Rancangan berikut mengikuti usulan alur empat pertemuan pada naskah inovasi (Tabel 8). Pembagian waktu bersifat fleksibel; guru dapat memadatkan atau memperluasnya sesuai kalender akademik. Istilah **media** berarti Media Pembelajaran Interaktif IPv6.

Pert.	Fokus	Hal. media	Pengalaman dan prinsip	Dimensi yang diamati
1	Mengapa IPv6 dan anatomi alamat	2, 3, 4, 5	Memahami; berkesadaran	Penalaran kritis, kemandirian
2	Header, NDP, SLAAC, kalkulator	6, 7	Memahami ke mengaplikasi; bermakna	Penalaran kritis, kolaborasi
3	Praktik, simulasi, transisi, keamanan	8, 9, 10	Mengaplikasi; bermakna dan menggembirakan	Kreativitas, kolaborasi, kemandirian
4	Kuis, remedial/pengayaan, proyek, refleksi	11, 12, 13	Merefleksi; menggembirakan	Komunikasi, kewargaan, keimanan

Pertemuan 1: Memahami Alamat Generasi Berikutnya

Pertemuan 1	Mengapa IPv6 dan anatomi alamat
Tujuan Pembelajaran	TP-1, TP-2, TP-3
Halaman media	2 (Tujuan), 3 (Konsep), 4 (Alamat), 5 (Jenis)
Fokus pengalaman	Memahami; berkesadaran
Alokasi	4 JP (180 menit)

Tahap	Kegiatan pembelajaran	Menit	Prinsip / bukti
Pendahuluan	Salam, doa, presensi. Guru mengajak peserta didik **menghitung perangkat di sekolah yang membutuhkan alamat IP** (ponsel, kamera, printer, sensor). Guru menyampaikan tujuan dan melaksanakan asesmen diagnostik 3 soal singkat (biner-heksadesimal, IPv4).	20	Berkesadaran; diagnostik
Inti 1 Konsep	Pertanyaan pemantik: *cukupkah 4,3 miliar alamat?* Peserta didik menelaah tabel perbandingan IPv4-IPv6 (halaman 3) secara berpasangan, lalu menghitung 2^{32} dibanding 2^{128}. Guru menggali melalui tanya jawab, bukan ceramah panjang.	25	Penalaran kritis
Inti 2 Anatomi alamat	Guru memperagakan aturan penyingkatan RFC 5952 dan pewarnaan prefix, ID subnet, ID antarmuka (halaman 4). Peserta didik mencoba alat **Singkat**, **Perluas**, dan **Contoh acak**, lalu mengerjakan **LKPD 1 bagian A**.	35	Memahami; LKPD 1A
Inti 3 Jenis alamat	Permainan **tebak jenis**: kelompok mengenali alamat acak (::1, fe80::…, fd12::…, ff02::1, 2001:db8::…) dari halaman 5. Diskusi: *mengapa IPv6 tidak mengenal broadcast?*	35	Menggembirakan; kolaborasi
Inti 4 Latihan mandiri	Peserta didik mengerjakan **LKPD 1 bagian B** dengan kecepatan sendiri; guru berkeliling mendampingi peserta didik yang membutuhkan bantuan.	30	Kemandirian; LKPD 1B
Inti 5 Klarifikasi	Diskusi kelas membahas kesalahan umum (misalnya memakai :: dua kali, atau mengompres satu grup nol saja).	15	Penalaran kritis

Tahap	Kegiatan pembelajaran	Menit	Prinsip / bukti
Penutup	Penyimpulan bersama. Setiap peserta didik menuliskan **satu pertanyaan yang masih membingungkan** (tiket keluar); guru mencatatnya sebagai bahan diagnostik Pertemuan 2. Doa penutup.	20	Berkesadaran; tiket keluar

Produk/bukti belajar: LKPD 1 terisi; tiket keluar. **Catatan guru:** aturan RFC 5952 yang ditekankan: buang nol di depan setiap grup, :: hanya sekali pada deretan grup nol terpanjang (minimal dua grup), bila panjangnya sama pilih yang paling kiri, dan tulis heksadesimal dengan huruf kecil.

Pertemuan 2: Menemukan Cara Kerja NDP dan SLAAC

Pertemuan 2	Header, NDP, SLAAC, dan kalkulator
Tujuan Pembelajaran	TP-4, TP-5
Halaman media	6 (NDP), 7 (Kalkulator)
Fokus pengalaman	Memahami ke mengaplikasi; bermakna
Alokasi	4 JP (180 menit)

Tahap	Kegiatan pembelajaran	Menit	Prinsip / bukti
Pendahuluan	Mengulas pertanyaan dari tiket keluar Pertemuan 1. Guru mengaitkan "mengapa tidak ada broadcast?" dengan **multicast** (ff02::1 semua node, ff02::2 semua router).	20	Berkesadaran
Inti 1 NDP dan header	Telaah halaman 6: header tetap 40 byte; pesan ICMPv6 tipe 133 (RS), 134 (RA), 135 (NS), 136 (NA), 137 (Redirect). Fungsi NDP: pengganti ARP, penemuan router, deteksi alamat ganda (DAD).	25	Memahami
Inti 2 Urutan SLAAC	**Berpasangan**, peserta didik menyusun kartu urutan SLAAC (RS, RA, DAD, pembentukan alamat), lalu memeriksanya pada media. Guru dapat menambahkan langkah awal pembentukan alamat link-local. Bahas flag A, M, O pada RA.	30	Kolaborasi; LKPD 2 (urutan)
Inti 3 Kalkulator prefix	Peserta didik memakai kalkulator prefix (halaman 7) untuk 2001:db8:acad:10::5/64: alamat jaringan, rentang, subnet /64 berikutnya, dan jumlah subnet /64 pada /48. Kerjakan **LKPD 2 bagian A**.	30	Mengaplikasi; LKPD 2A
Inti 4 EUI-64	Menghitung Interface ID EUI-64, link-local, alamat global SLAAC, dan solicited-node multicast dari MAC 00:1A:2B:3C:4D:5E secara manual, lalu memverifikasi dengan alat EUI-64. Kerjakan **LKPD 2 bagian B**.	35	Penalaran kritis; LKPD 2B
Inti 5 Privasi	Diskusi: mengapa EUI-64 dapat melacak perangkat (MAC tertanam dalam alamat) dan bagaimana sistem modern menghindarinya (Interface ID stabil-acak RFC 7217 dan alamat sementara RFC 4941).	20	Kewargaan; berpikir kritis
Penutup	Kuis kilat 3 soal lisan atau tertulis tentang NDP dan SLAAC; penyimpulan; pengantar praktik Pertemuan 3.	20	Formatif

Pertemuan 3: Mengonfigurasi dan Menguji

Pertemuan 3	Praktik konfigurasi, simulasi, transisi, dan keamanan
Tujuan Pembelajaran	TP-6, TP-7, TP-8
Halaman media	8 (Praktik), 9 (Simulasi), 10 (Transisi)
Fokus pengalaman	Mengaplikasi; bermakna dan menggembirakan
Alokasi	4 JP (180 menit)

Tahap	Kegiatan pembelajaran	Menit	Prinsip / bukti
Pendahuluan	Peragaan singkat topologi **R1-SW1-PC1** dan rencana alamat 2001:db8:acad:1::/64. Pembentukan kelompok (3 orang) dengan **peran bergilir**: penulis perintah, pengamat hasil, pencatat dokumentasi.	20	Kolaborasi
Inti 1 Briefing praktik	Guru menjelaskan langkah kerja dan contoh perintah (halaman 8), serta cara membaca keluaran `show ipv6 interface brief` dan tips troubleshooting.	15	Berkesadaran
Inti 2 Skenario 1	Konfigurasi dari nol pada simulasi (halaman 9): aktifkan *ipv6 unicast-routing*, beri alamat 2001:db8:acad:1::1/64 pada G0/0, *no shutdown*, verifikasi, ping PC1, simpan konfigurasi. Selesaikan 8 misi. Isi **LKPD 3 bagian A**.	35	Mengaplikasi; LKPD 3A
Inti 3 Skenario 2 dan 3	Tantangan **troubleshooting** secara berkelompok: (2) PC1 tidak terjangkau; (3) PC1 tidak mendapat alamat SLAAC. Catat gejala, dugaan penyebab, langkah perbaikan, dan bukti verifikasi pada **LKPD 3 bagian B**. Petunjuk dipakai seperlunya.	40	Penalaran kritis; kemandirian
Inti 4 Uji ulang	Bila tersedia: ujikan konfigurasi yang sama pada Packet Tracer, GNS3, atau perangkat nyata. Bila tidak tersedia: diskusikan *apa yang mungkin berbeda antara simulasi sederhana dan perangkat sungguhan*.	15	Berkesadaran
Inti 5 Transisi dan keamanan	Telaah halaman 10: dual-stack, tunneling, NAT64+DNS64; keamanan dasar (firewall stateful, ICMPv6 tidak boleh diblokir total, RA Guard). Studi kasus mini: *"Kami tidak memakai NAT, jadi aman, bukan?"*	25	Penalaran kritis; kewargaan
Inti 6 Pengantar proyek	Guru memperkenalkan proyek rancangan alamat sekolah dari prefix /48 (LKPD 4) dan rubriknya; kelompok membagi tugas.	10	Bermakna
Penutup	**Galeri temuan**: tiap kelompok menyampaikan gejala, dugaan penyebab, dan langkah perbaikan. Guru menyoroti aspek keamanan (ICMPv6 dan RA Guard) serta menegaskan kejujuran melaporkan hasil uji.	20	Komunikasi; keimanan

Perintah inti Skenario 1 (Cisco IOS)

Pastikan peserta didik memahami *alasan* setiap perintah, bukan sekadar mengetiknya: *ipv6 unicast-routing* mengaktifkan fungsi routing IPv6 sekaligus memungkinkan router mengirim Router Advertisement; tanpanya PC tidak akan memperoleh prefix SLAAC.

```
R1> enable
R1# configure terminal
R1(config)# ipv6 unicast-routing
R1(config)# interface g0/0
R1(config-if)# ipv6 address 2001:db8:acad:1::1/64
R1(config-if)# no shutdown
R1(config-if)# end
R1# show ipv6 interface brief
R1# ping 2001:db8:acad:1::10
R1# write memory
```

Pertemuan 4: Merefleksi dan Berkarya

Pertemuan 4	Kuis, remedial/pengayaan, proyek, dan refleksi
Tujuan Pembelajaran	TP-9 (sekaligus penguatan TP-1 sampai TP-8)
Halaman media	11 (Kuis), 12 (Remedial), 13 (Proyek)
Fokus pengalaman	Merefleksi; menggembirakan
Alokasi	4 JP (180 menit)

Tahap	Kegiatan pembelajaran	Menit	Prinsip / bukti
Pendahuluan	Apersepsi singkat. Peserta didik mengerjakan **kuis 8 soal** pada media (urutan pilihan acak, umpan balik langsung). Skor menentukan jalur: **di bawah 80% ke remedial**, **80% atau lebih ke pengayaan**.	25	Formatif; berkesadaran
Inti 1 Jalur belajar	**Remedial:** mempelajari ringkasan topik yang keliru, mengerjakan latihan cepat, mengulang simulasi dan kuis. **Pengayaan:** Skenario 2 tanpa petunjuk dan penyempurnaan rancangan proyek. Guru mendampingi kelompok remedial.	25	Kemandirian
Inti 2 Proyek	Kelompok merancang **rencana pengalamatan IPv6 sekolah** (ULA untuk internal, /64 per ruang atau fungsi) dari prefix /48 disertai alasan pemilihan, tabel alamat, contoh konfigurasi, dan catatan keamanan (**LKPD 4**).	45	Kreativitas; kolaborasi
Inti 3 Presentasi	Presentasi singkat (5 menit per kelompok) dan tanggapan. Penilaian sejawat dengan rubrik; guru menilai dengan rubrik yang sama dan mencatat pada lembar observasi.	50	Komunikasi; sumatif
Inti 4 Konsolidasi	Guru merangkum konsep kunci dan kesalahan umum yang muncul pada kuis dan presentasi.	15	Penalaran kritis
Penutup	**Refleksi:** peserta didik mengisi lembar refleksi (perubahan cara pandang tentang pengalamatan dan bagian yang masih membingungkan). Penyampaian tindak lanjut dan doa penutup.	20	Berkesadaran; keimanan

B.6 Asesmen

Asesmen dirancang berlapis (naskah inovasi, Bab IV.D): diagnostik, formatif, dan sumatif. Penilaian dimensi profil lulusan bersifat deskriptif dan formatif.

Jenis	Waktu	Teknik dan instrumen	Tindak lanjut
Diagnostik	Pert. 1 (pembuka dan penutup)	3 soal prasyarat; tiket keluar (pertanyaan yang membingungkan)	Menyesuaikan penekanan pembahasan dan jembatan bekal
Formatif	Pert. 1 sampai 3	LKPD 1 sampai 3; kuis kilat; kemajuan misi simulasi; observasi kerja kelompok (Lampiran 5)	Umpan balik segera; pendampingan; pengelompokan ulang
Formatif	Pert. 4 (pembuka)	Kuis 8 soal pada media (Lampiran 3)	Skor < 80% remedial; skor ≥ 80% pengayaan
Sumatif	Pert. 4	Proyek rancangan pengalamatan dan presentasi, dinilai dengan rubrik	Umpan balik tertulis dan rencana perbaikan
Sikap/dimensi	Sepanjang pertemuan	Lembar observasi singkat (deskriptif)	Catatan tindak lanjut per peserta didik

Rubrik Penilaian Proyek

Tiga kriteria pertama bersumber dari rubrik pada naskah (Tabel 10); dua kriteria terakhir adalah tambahan yang dapat dihapus atau diubah bobotnya oleh guru.

Kriteria	Perlu bimbingan (1)	Cakap (2)	Mahir (3)
Rencana pengalamatan	Prefix tidak konsisten	Konsisten dan lengkap	Efisien, dapat diskalakan, terdokumentasi
Konfigurasi	Sebagian berfungsi	Konektivitas berhasil	Berhasil plus verifikasi dan firewall dasar
Kolaborasi dan komunikasi	Peran belum jelas	Peran jelas	Saling menguatkan, presentasi runtut
Keamanan dasar (tambahan)	Belum menyebut aspek keamanan	Menyebut firewall dan ICMPv6	Menyertakan kebijakan ICMPv6, firewall stateful, dan RA Guard beserta alasannya
Alasan dan dokumentasi (tambahan)	Alasan tidak dijelaskan	Alasan pemilihan prefix jelas	Alasan logis, ada ruang cadangan, dokumentasi dapat dipahami orang lain

Pengolahan skor (usulan): jumlahkan skor lima kriteria (maksimum 15). Nilai proyek = (jumlah skor : 15) x 100. Predikat deskriptif: 13 sampai 15 = Mahir; 9 sampai 12 = Cakap; 5 sampai 8 = Perlu bimbingan.

Komponen nilai akhir (usulan)	Bobot	Sumber
Pemahaman konsep	30%	Kuis 8 soal (setelah remedial bila ada) dan LKPD 1-2
Keterampilan praktik	30%	Misi simulasi, LKPD 3, ceklis praktik
Karya dan presentasi	40%	Proyek rancangan pengalamatan (rubrik)

Bobot di atas hanya usulan; sesuaikan dengan kebijakan penilaian satuan pendidikan.

B.7 Remedial dan Pengayaan

Media mengarahkan peserta didik dengan skor kuis di bawah 80% untuk mempelajari ringkasan topik yang keliru, mengerjakan latihan cepat, lalu mengulang simulasi dan kuis. Peserta didik yang tuntas ditantang menyelesaikan Skenario 2 tanpa petunjuk dan mengerjakan proyek rancangan. Ambang 80% adalah pengaturan awal pada media dan dapat disesuaikan.



Gambar 2. Alur remedial dan pengayaan setelah kuis.

Topik remedial	Butir kuis terkait	Strategi remedial di kelas
Struktur dan penyingkatan alamat	No. 1, 2	Latihan menyingkat 5 alamat; kartu aturan RFC 5952; tutor sebaya
Jenis alamat	No. 3, 8	Kartu jenis alamat (prefix dan contoh); permainan tebak jenis ulang
Subnet dan SLAAC /64	No. 5	Hitung jumlah subnet /64 dalam /48; gambar pembagian 16 bit ID subnet
NDP dan multicast	No. 4, 6, 7	Peragaan peran (perangkat A, B, router) untuk RS, RA, NS, NA

Pengayaan yang disarankan, berurutan dari ringan ke menantang:

1. Skenario 2 tanpa petunjuk, disertai laporan langkah penelusuran.
2. Memperluas proyek: tambahkan segmen CCTV/IoT dan jaringan tamu beserta kebijakan firewall sederhana.
3. Menjelaskan kepada teman sebaya (tutor sebaya) satu topik yang baru dikuasai.
4. Membandingkan hasil simulasi dengan Packet Tracer/GNS3 bila tersedia, dan mencatat perbedaannya.

B.8 Pembelajaran Berdiferensiasi dan Kondisi Sarana

Situasi	Penyesuaian
Perangkat terbatas	Belajar berpasangan atau kelompok kecil; satu laptop diproyeksikan untuk diskusi bersama, ponsel dipakai latihan mandiri sesuai kebijakan gawai sekolah
Tanpa internet	Berkas dibagikan di awal lewat flashdisk, Bluetooth, atau jaringan lokal; seluruh fitur tetap berjalan
Kebutuhan belajar berbeda	Tema gelap/terang dan ukuran huruf perangkat; waktu lebih panjang; kecepatan belajar sendiri; kartu aturan sebagai penopang (*scaffolding*)
Kesiapan beragam	Kelompok heterogen dengan peran bergilir sehingga semua terlibat; tantangan bertingkat (dengan/tanpa petunjuk)
Kemitraan	Berbagi praktik melalui MGMP; undang praktisi jaringan atau penyedia layanan internet setempat untuk menanggapi rancangan proyek

Aspek diferensiasi	Peserta didik butuh penguatan	Peserta didik tuntas / melampaui
Konten	Kartu aturan dan contoh bertahap	Kasus lebih kompleks (banyak VLAN, keamanan)
Proses	Pendampingan guru, tutor sebaya, petunjuk simulasi	Skenario 2 tanpa petunjuk, mentor bagi kelompok lain

Aspek diferensiasi	Peserta didik butuh penguatan	Peserta didik tuntas / melampaui
Produk	Rencana alamat 3 segmen, template disediakan	Rencana alamat lengkap, dokumentasi dan kebijakan firewall

B.9 Refleksi Guru dan Peserta Didik

Refleksi guru

1. Bagian mana dari alur pembelajaran yang membuat peserta didik paling terlibat, dan bagian mana yang terasa terlalu cepat?
2. Apakah peserta didik mengira perangkat nyata selalu berperilaku seperti simulasi? Bagaimana saya membahas perbedaannya?
3. Apakah pencatatan hasil (lembar observasi, tangkapan layar) berjalan tanpa menambah beban administrasi berlebihan?
4. Perbaikan apa yang akan saya lakukan pada siklus berikutnya? Catat kendala perangkat dan waktu.

Refleksi peserta didik

Gunakan Lembar Refleksi Peserta Didik pada Lampiran 6 (bersumber dari Lampiran B naskah).

LAMPIRAN 1

Bahan Ajar Ringkas

Ringkasan materi untuk guru dan peserta didik

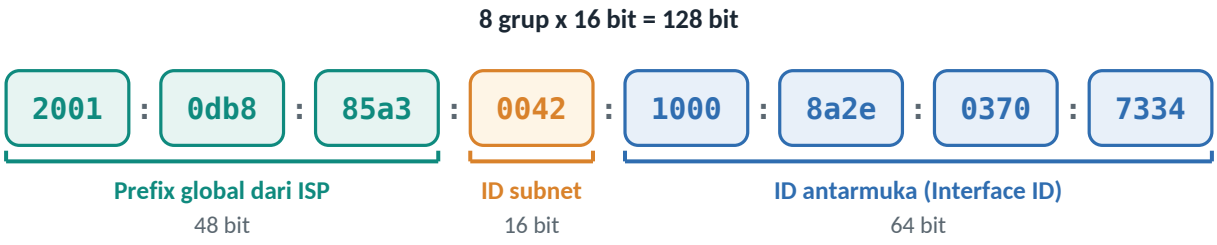
Ringkasan materi untuk guru dan peserta didik. Isi mengacu pada standar IETF yang dirujuk naskah inovasi. Seluruh contoh alamat memakai ruang dokumentasi 2001:db8::/32 (RFC 3849) sehingga aman dipakai sebagai contoh.

1. Mengapa IPv6?

IPv4 memakai alamat 32 bit sehingga tersedia 2^{32} = 4.294.967.296 alamat. Ruang alamat yang telah lama dialokasikan itu habis, sementara jumlah perangkat (ponsel, kamera pengawas, sensor, peralatan rumah tangga) terus meningkat. IPv6 memakai alamat 128 bit, yaitu 2^{128}, kira-kira 3,4 x 10^{38} alamat. Dalam praktik, IPv4 dan IPv6 akan hidup berdampingan (*dual-stack*) selama bertahun-tahun.

Aspek	IPv4	IPv6
Panjang alamat	32 bit	128 bit
Notasi	Desimal bertitik (192.0.2.1)	Heksadesimal bertitik dua (2001:db8::1)
Broadcast	Ada	Tidak ada (diganti multicast)
Pemetaan alamat ke MAC	ARP	NDP (ICMPv6: NS dan NA)
Konfigurasi otomatis	DHCP	SLAAC (dan/atau DHCPv6)
Header	Panjang bervariasi (20 byte atau lebih)	Tetap 40 byte (RFC 8200)
Segmen LAN umum	Bervariasi (misal /24)	/64
Peran NAT	Umum dipakai	Tidak diwajibkan; keamanan tetap memerlukan firewall

2. Anatomi dan penyingkatan alamat



Gambar 3. Struktur alamat IPv6: delapan grup 16 bit dengan prefix global, ID subnet, dan ID antarmuka (diadaptasi dari Gambar 1 naskah).

Dari prefix /48 yang diberikan ISP, 16 bit ID subnet menyediakan 2^{16} = 65.536 subnet /64. Setiap /64 menyediakan 64 bit untuk ID antarmuka, itulah sebabnya segmen LAN umumnya memakai /64.

Aturan penyingkatan (RFC 5952):

1. Hilangkan nol di depan pada setiap grup (0db8 menjadi db8; 0000 menjadi 0).

2. Gantikan deretan grup nol **berurutan terpanjang** dengan :: dan gunakan :: **hanya sekali**.
3. :: tidak dipakai untuk satu grup nol saja; bila ada dua deretan sama panjang, yang paling kiri yang diringkas.
4. Tulis huruf heksadesimal dengan huruf kecil.

Bentuk lengkap	Bentuk singkat
2001:0db8:0000:0000:0000:0000:0000:0001	2001:db8::1
2001:0db8:0000:0000:0000:ff00:0042:8329	2001:db8::ff00:42:8329
2001:0db8:0000:0001:0000:0000:0000:0001	2001:db8:0:1::1
fe80:0000:0000:0000:0202:b3ff:fe1e:8329	fe80::202:b3ff:fe1e:8329

3. Jenis alamat

Jenis	Prefix / alamat	Keterangan
Loopback	::1/128	Menguji tumpukan protokol lokal (setara 127.0.0.1)
Unspecified	::/128	Belum memiliki alamat (misalnya saat DAD)
Global unicast	2000::/3	Dapat dirutekan di internet
Link-local	fe80::/10	Hanya berlaku pada satu link; dibentuk otomatis
Unique Local (ULA)	fc00::/7 (praktiknya fd00::/8)	Alamat internal, tidak dirutekan ke internet (RFC 4193)
Multicast	ff00::/8	ff02::1 semua node; ff02::2 semua router (link-local)
Dokumentasi	2001:db8::/32	Khusus contoh dan dokumentasi (RFC 3849)

IPv6 tidak mengenal *broadcast*. Fungsinya digantikan multicast, termasuk *solicited-node multicast* ff02::1:ffXX:XXXX yang dibentuk dari 24 bit terakhir alamat unicast.

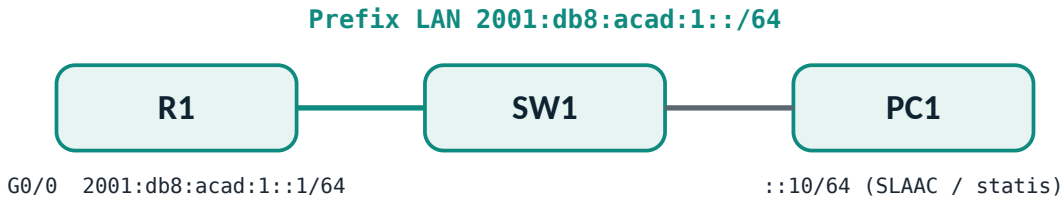
4. Neighbor Discovery (NDP) dan SLAAC

Tipe ICMPv6	Pesan	Fungsi
133	Router Solicitation (RS)	Host meminta router mengirim RA
134	Router Advertisement (RA)	Router mengumumkan prefix, flag, dan opsi (misal DNS)
135	Neighbor Solicitation (NS)	Menanyakan MAC tetangga; juga DAD
136	Neighbor Advertisement (NA)	Jawaban atas NS
137	Redirect	Router menyarankan next-hop yang lebih baik

Urutan SLAAC (RFC 4861/4862): (1) antarmuka membentuk alamat link-local; (2) *Duplicate Address Detection* (DAD) dengan NS; (3) host mengirim RS; (4) router membalas RA berisi prefix /64; (5) host membentuk alamat global dari prefix + Interface ID; (6) DAD untuk alamat tersebut. Pada RA, flag **A** (autonomous) = 1 menandakan prefix boleh dipakai untuk SLAAC; flag **M** dan **O** menunjukkan penggunaan DHCPv6 untuk alamat atau informasi lainnya.

EUI-64: dari MAC 00:1A:2B:3C:4D:5E: sisipkan ff:fe di tengah (00:1A:2B:**FF:FE**:3C:4D:5E), balik bit U/L pada byte pertama (00 menjadi 02), sehingga Interface ID = 021a:2bff:fe3c:4d5e, ditulis 21a:2bff:fe3c:4d5e. Link-local: fe80::21a:2bff:fe3c:4d5e. Global (prefix 2001:db8:acad:1::/64): 2001:db8:acad:1:21a:2bff:fe3c:4d5e. Solicited-node: ff02::1:ff3c:4d5e. Karena MAC tertanam dalam alamat, perangkat dapat dilacak; sistem modern memakai Interface ID stabil-acak (RFC 7217) dan alamat sementara (RFC 4941).

5. Konfigurasi dan pengujian



Gambar 4. Topologi praktik R1-SW1-PC1 pada prefix 2001:db8:acad:1::/64 (diadaptasi dari Gambar 5 naskah).

Platform	Contoh perintah
Cisco IOS	ipv6 unicast-routing; interface g0/0; ipv6 address 2001:db8:acad:1::1/64; no shutdown; show ipv6 interface brief; show ipv6 neighbors; ping 2001:db8:acad:1::10
Windows	ipconfig; ping -6 2001:db8:acad:1::1; netsh interface ipv6 show neighbors
Linux	ip -6 addr; ip -6 route; ip -6 neigh; ping -6 2001:db8:acad:1::1

Tips troubleshooting berurutan: (1) status antarmuka up/up? (2) alamat dan panjang prefix benar dan sama pada kedua sisi? (3) *ipv6 unicast-routing* aktif pada router (bila memakai SLAAC)? (4) prefix LAN /64? (5) tabel neighbor terisi? (6) ada filter atau firewall yang memblokir ICMPv6? Ingat bahwa ping pertama dapat hilang karena proses NDP sedang berlangsung.

6. Transisi dan keamanan dasar

- **Dual-stack:** perangkat menjalankan IPv4 dan IPv6 bersamaan; pendekatan paling umum.
- **Tunneling:** paket IPv6 dibungkus dalam IPv4 untuk melintasi jaringan yang belum mendukung IPv6.
- **NAT64 + DNS64:** memungkinkan klien yang hanya IPv6 menjangkau layanan yang hanya IPv4.
- **Tanpa NAT bukan berarti aman:** gunakan firewall stateful dengan kebijakan yang jelas.
- **ICMPv6 tidak boleh diblokir total** karena diperlukan NDP dan fungsi penting lain (RFC 4890).
- **RA Guard** pada switch membantu mencegah Router Advertisement palsu dari perangkat yang tidak sah.

LAMPIRAN 2

Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD)

Empat lembar kerja untuk empat pertemuan

Setiap LKPD disertai identitas dan petunjuk. Kunci jawaban terdapat pada Lampiran 4.

LKPD 1: Anatomi dan Penyingkatan Alamat IPv6 (Pertemuan 1)

Nama / kelompok: Kelas / tanggal:

Tujuan: TP-1, TP-2, TP-3. **Alat:** media halaman 3 sampai 5.

Bagian A. Memahami

1. Hitung 2^{32} dan jelaskan dengan kalimat sendiri mengapa angka itu tidak lagi cukup.
2. Sebutkan enam perbedaan IPv4 dan IPv6 dari tabel pada halaman 3.
3. Pada alamat 2001:0db8:85a3:0042:1000:8a2e:0370:7334, tandai bagian prefix global (48 bit), ID subnet (16 bit), dan ID antarmuka (64 bit).

Bagian B. Menyingkat dan memperluas

No	Soal	Jawaban
1	Singkatkan: 2001:0db8:0000:0000:0000:0000:0000:0001	
2	Singkatkan: 2001:0db8:0000:0001:0000:0000:0000:0001	
3	Singkatkan: 2001:0db8:0000:0000:0001:0000:0000:0001	
4	Singkatkan: fe80:0000:0000:0000:0202:b3ff:fe1e:8329	
5	Perluas: 2001:db8:acad::10	
6	Perluas: fe80::1	
7	Jenis alamat apakah: ::1, fe80::1, fd12:3456::1, ff02::1, 2001:db8::1?	

Refleksi singkat: kesalahan apa yang paling sering saya lakukan saat menyingkat alamat, dan bagaimana saya menghindarinya?

LKPD 2: NDP, SLAAC, Subnet /64, dan EUI-64 (Pertemuan 2)

Nama / kelompok:	Kelas / tanggal:

Tujuan: TP-4, TP-5. **Alat:** media halaman 6 dan 7.

Urutan SLAAC

Susun urutan yang benar dengan menuliskan angka 1 sampai 6 pada kotak:

Urutan	Langkah
....	Host mengirim Router Solicitation (RS)
....	Host membentuk alamat link-local
....	Host membentuk alamat global dari prefix pada RA dan Interface ID
....	Host melakukan DAD (mengirim NS) untuk alamat link-local
....	Router membalas dengan Router Advertisement (RA) berisi prefix /64
....	Host melakukan DAD untuk alamat global

Bagian A. Kalkulator prefix

Untuk alamat `2001:db8:acad:10::5/64`, tentukan:

Yang dicari	Jawaban
Alamat jaringan	
Alamat pertama dan terakhir dalam rentang	
Subnet /64 berikutnya	
Jumlah subnet /64 dalam sebuah /48	

Bagian B. EUI-64

Hitung secara manual, lalu verifikasi dengan alat EUI-64 (halaman 7). Prefix: 2001:db8:acad:1::/64.

MAC	Interface ID	Link-local	Global SLAAC	Solicited-node
00:1A:2B:3C:4D:5E				
3C:52:82:AB:CD:EF				

Diskusi privasi: mengapa alamat EUI-64 dapat dipakai melacak perangkat? Apa solusinya?

LKPD 3: Konfigurasi dan Troubleshooting (Pertemuan 3)

Nama / kelompok: Kelas / tanggal:

Tujuan: TP-6, TP-7, TP-8. **Alat:** media halaman 8 sampai 10 (atau Packet Tracer/GNS3). **Peran bergilir:** penulis perintah, pengamat hasil, pencatat dokumentasi.

Bagian A. Skenario 1: konfigurasi dari nol

Misi	Perintah yang saya pakai	Hasil / bukti	Selesai
Aktifkan routing IPv6			
Beri alamat 2001:db8:acad:1::1/64 pada G0/0			
Aktifkan antarmuka			
Verifikasi: show ipv6 interface brief			
Ping PC1 (2001:db8:acad:1::10) dari R1			
Ping gateway dari PC1			
Simpan konfigurasi			

Bagian B. Skenario 2 dan 3: troubleshooting

Skenario	Gejala	Dugaan penyebab	Langkah perbaikan	Bukti verifikasi
2. PC1 tidak terjangkau				
3. PC1 tidak mendapat alamat SLAAC				

Pertanyaan keamanan: (1) Mengapa ICMPv6 tidak boleh diblokir total? (2) Apa fungsi RA Guard? (3) Apakah jaringan IPv6 tanpa NAT otomatis aman? Jelaskan.

Catatan kejujuran: tuliskan hasil uji apa adanya, termasuk langkah yang gagal sebelum berhasil.

LKPD 4: Proyek Rancangan Pengalamatan IPv6 Sekolah (Pertemuan 4)

Nama / kelompok: Kelas / tanggal:

Tujuan: TP-9. **Skenario:** sekolah menerima prefix `2001:db8:acad::/48` dari ISP (contoh dokumentasi). Rancanglah pembagian /64 untuk kebutuhan sekolah, sertakan alasan, contoh konfigurasi, dan catatan keamanan.

Contoh kerangka (boleh diubah dan dikembangkan kelompok):

Segmen / fungsi	Prefix /64	Alasan pemilihan	Catatan keamanan
VLAN 10 Guru dan TU	2001:db8:acad:10::/64		
VLAN 20 Lab TJKT	2001:db8:acad:20::/64		
VLAN 30 Wi-Fi siswa	2001:db8:acad:30::/64		
VLAN 40 Server	2001:db8:acad:40::/64		
.....	.....		
Cadangan (jangan dipakai dulu)	2001:db8:acad:f0::/60		

Yang harus ada pada produk:

1. Tabel rencana alamat yang konsisten dan memiliki ruang cadangan untuk pertumbuhan.
2. Contoh konfigurasi satu antarmuka gateway (alamat dan verifikasi).
3. Penjelasan kebijakan: pemanfaatan ULA untuk layanan internal, kebijakan ICMPv6, firewall stateful, RA Guard.
4. Pembagian peran anggota dan bahan presentasi 5 menit.

> **Catatan guru tentang ULA dan dokumentasi**
>
> Prefix 2001:db8::/32 hanya untuk contoh dan tidak dirutekan di internet. Pada rancangan yang sesungguhnya, ISP akan memberikan prefix global asli, sedangkan ULA (fd00::/8) dapat dipakai untuk layanan internal. Dorong peserta didik menyebutkan alasan pilihan mereka.

LAMPIRAN 3

Instrumen Kuis (8 Butir) dan Kunci

Kuis berumpan balik dan pemetaan topik remedial

Butir mengikuti Peta Butir Kuis pada naskah (Tabel 13). Kuis pada media menyajikan urutan pilihan acak, sehingga huruf pilihan di bawah hanya berlaku untuk versi cetak ini.

No	Soal dan pilihan
1	**Berapa panjang alamat IPv6?** A. 32 bit B. 64 bit C. 128 bit D. 256 bit
2	**Bentuk singkat yang benar dari 2001:0db8:0000:0000:0000:0000:0000:0001 adalah …** A. 2001:db8::1 B. 2001:db8:0:0:0:0:0:1 C. 2001::db8::1 D. 2001:db8:1
3	**Prefix alamat link-local IPv6 adalah …** A. 2001::/16 B. fe80::/10 C. ff02::/16 D. fc00::/7
4	**IPv6 tidak memakai broadcast dan ARP. Penggantinya adalah …** A. DHCP dan NAT B. Multicast dan NDP (NS/NA) C. Unicast dan RIP D. Anycast dan DNS
5	**Agar SLAAC berfungsi pada satu segmen LAN, prefix yang dipakai umumnya …** A. /48 B. /56 C. /64 D. /128
6	**Pesan NDP untuk menanyakan alamat MAC suatu tetangga adalah …** A. Router Solicitation B. Router Advertisement C. Neighbor Solicitation D. Redirect
7	**Pada Router Advertisement, flag A = 1 berarti …** A. Prefix itu boleh dipakai host untuk membentuk alamat SLAAC B. Host wajib memakai DHCPv6 C. Router menolak semua host D. Alamat bersifat multicast

No	Soal dan pilihan
8	**Prefix untuk alamat internal (ULA) yang tidak dirutekan ke internet adalah ...** A. fe80::/10 B. fc00::/7 C. 2000::/3 D. ff00::/8

Kunci jawaban dan pemetaan topik remedial

No	Kunci	Topik remedial
1	C	Struktur dan penyingkatan alamat
2	A	Struktur dan penyingkatan alamat
3	B	Jenis alamat
4	B	NDP dan multicast
5	C	Subnet dan SLAAC /64
6	C	NDP dan multicast
7	A	NDP dan multicast
8	B	Jenis alamat

Skor = (jumlah benar : 8) x 100. Ambang 80% setara minimal 7 dari 8 butir benar (6,4 dibulatkan ke atas menjadi 7). Ambang dapat disesuaikan dengan kebijakan penilaian satuan pendidikan.

LAMPIRAN 4

Kunci LKPD dan Latihan Remedial

Acuan penilaian untuk guru

Kunci LKPD 1

1. 2^{32} = 4.294.967.296 (sekitar 4,3 miliar); jumlah itu tidak cukup bagi miliaran perangkat modern.
2. Perbedaan (contoh jawaban): panjang alamat; notasi; broadcast ada/tidak; ARP/NDP; DHCP/SLAAC; header; peran NAT; segmen LAN /64.
3. 2001:0db8:85a3 = prefix global; 0042 = ID subnet; 1000:8a2e:0370:7334 = ID antarmuka.

No	Jawaban
1	2001:db8::1
2	2001:db8:0:1::1 (deretan nol terpanjang adalah tiga grup)
3	2001:db8::1:0:0:1 (dua deretan sama panjang; yang paling kiri diringkas)
4	fe80::202:b3ff:fe1e:8329
5	2001:0db8:acad:0000:0000:0000:0000:0010
6	fe80:0000:0000:0000:0000:0000:0000:0001
7	::1 loopback; fe80::1 link-local; fd12:3456::1 ULA; ff02::1 multicast (semua node link-local); 2001:db8::1 dokumentasi

Kunci LKPD 2

Urutan SLAAC: 1) membentuk link-local; 2) DAD link-local; 3) RS; 4) RA; 5) membentuk alamat global; 6) DAD alamat global. Pada media, urutan ringkas yang ditampilkan adalah RS, RA, DAD, pembentukan alamat; guru dapat membahas perbedaan tingkat rincian tersebut.

Yang dicari	Jawaban
Alamat jaringan	2001:db8:acad:10::/64
Rentang alamat	2001:db8:acad:10:: sampai 2001:db8:acad:10:ffff:ffff:ffff:ffff
Subnet /64 berikutnya	2001:db8:acad:11::/64
Subnet /64 dalam /48	2^{16} = 65.536

MAC 00:1A:2B:3C:4D:5E	Hasil
Interface ID	21a:2bff:fe3c:4d5e
Link-local	fe80::21a:2bff:fe3c:4d5e
Global SLAAC	2001:db8:acad:1:21a:2bff:fe3c:4d5e
Solicited-node multicast	ff02::1:ff3c:4d5e

MAC 3C:52:82:AB:CD:EF	Hasil
Interface ID	3e52:82ff:feab:cdef
Link-local	fe80::3e52:82ff:feab:cdef
Global SLAAC	2001:db8:acad:1:3e52:82ff:feab:cdef
Solicited-node multicast	ff02::1:ffab:cdef

Catatan MAC kedua: byte pertama 3C = 0011 1100; membalik bit U/L (bit ketujuh, nilai 02) menghasilkan 0011 1110 = 3E. Privasi: MAC tertanam dalam alamat sehingga perangkat dapat dilacak antarjaringan; solusinya Interface ID stabil-acak (RFC 7217) dan alamat sementara (RFC 4941).

Kunci LKPD 3 (acuan)

1. Skenario 1: ipv6 unicast-routing; interface g0/0; ipv6 address 2001:db8:acad:1::1/64; no shutdown; show ipv6 interface brief; ping; write memory.
2. Skenario 2 dan 3: penyebab bervariasi sesuai kasus pada simulasi. Nilai kelengkapan alur penelusuran (status antarmuka, alamat dan prefix, routing IPv6, filter) dan bukti verifikasi, bukan satu jawaban tunggal.
3. ICMPv6 diperlukan NDP dan fungsi lain; RA Guard menyaring RA palsu pada switch; tanpa NAT tidak berarti aman karena firewall stateful tetap diperlukan.

Latihan cepat remedial dan kuncinya

Topik	Latihan cepat	Kunci
Struktur dan penyingkatan	Singkatkan 2001:0db8:0000:0000:0000:ff00:0042:8329	2001:db8::ff00:42:8329
Jenis alamat	Kenali jenis fd12:3456::1	ULA (fc00::/7), internal tidak dirutekan ke internet
Subnet dan SLAAC /64	Jumlah subnet /64 dalam satu /48	2^{16} = 65.536
NDP dan multicast	Alamat multicast semua router di satu link	ff02::2

LAMPIRAN 5

Lembar Observasi dan Penilaian Sejawat

Bukti pengamatan Dimensi Profil Lulusan

Lembar observasi singkat

Isilah dengan catatan deskriptif singkat atau tingkat **Perlu bimbingan, Cakap, Mahir** sesuai kebutuhan. Gunakan indikator pada tabel di bawah.

Dimensi	Indikator yang diamati
Penalaran kritis	Menjelaskan alasan pemilihan prefix; menelusuri penyebab ping gagal secara runtut
Kolaborasi	Pembagian peran jelas; anggota saling membantu pada simulasi
Komunikasi	Presentasi runtut; dokumentasi konfigurasi dapat dipahami orang lain
Kemandirian	Menggunakan petunjuk seperlunya; menuntaskan remedial atau pengayaan tanpa diminta berulang
Kreativitas	Rencana alamat memiliki cadangan subnet dan alasan yang orisinal
Kewargaan dan keimanan	Jujur melaporkan hasil uji; menjaga etika penggunaan jaringan dan perangkat bersama
Kesehatan	Mengatur jeda belajar; memilih tema tampilan yang nyaman; menjaga postur saat praktik

Nama / kelompok	Penalaran kritis	Kolaborasi	Komunikasi	Kemandirian	Catatan tindak lanjut

Lembar penilaian sejawat proyek

Kelompok yang dinilai	Rencana (1-3)	Konfigurasi (1-3)	Kolaborasi dan komunikasi (1-3)	Keamanan (1-3)	Alasan dan dokumentasi (1-3)	Saran perbaikan

LAMPIRAN 6

Lembar Refleksi Peserta Didik

Menumbuhkan kesadaran belajar

Bersumber dari Lampiran B naskah inovasi. Jawablah dengan jujur dan dengan kata-kata sendiri.

Nama / kelompok: Kelas / tanggal:

1. Apa yang paling mengubah cara saya memandang pengalamatan jaringan?

2. Bagian mana yang sudah saya kuasai, dan bukti apa yang bisa saya tunjukkan?

3. Bagian mana yang masih membingungkan, dan apa langkah saya berikutnya?

4. Bagaimana kerja sama dengan kelompok membantu saya belajar?

5. Bagaimana pengetahuan ini dapat dipakai untuk membantu jaringan di sekolah atau lingkungan saya?

LAMPIRAN 7

Glosarium

Istilah penting dan rujukan

Istilah	Arti singkat
Dual-stack	Perangkat atau jaringan menjalankan IPv4 dan IPv6 secara bersamaan
DAD	*Duplicate Address Detection*: pemeriksaan agar tidak ada alamat ganda pada satu link
EUI-64	Cara membentuk Interface ID 64 bit dari alamat MAC (sisip ff:fe dan balik bit U/L)
Global unicast	Alamat IPv6 yang dapat dirutekan di internet (2000::/3)
ICMPv6	Protokol kontrol IPv6 yang memuat pesan NDP dan pesan kesalahan
Interface ID	64 bit terakhir alamat IPv6 yang mengidentifikasi antarmuka
Link-local	Alamat fe80::/10 yang hanya berlaku pada satu link
Multicast	Pengiriman ke sekelompok penerima; menggantikan broadcast di IPv6
NDP	*Neighbor Discovery Protocol*: penemuan tetangga dan router, pengganti ARP
NAT64 + DNS64	Mekanisme agar klien yang hanya IPv6 dapat mengakses layanan yang hanya IPv4
Prefix	Bagian awal alamat yang menunjukkan jaringan atau subnet
RA Guard	Fitur switch untuk menolak Router Advertisement dari sumber tidak sah
SLAAC	*Stateless Address Autoconfiguration*: host membentuk alamat sendiri dari prefix pada RA
Solicited-node multicast	Alamat ff02::1:ffXX:XXXX dari 24 bit terakhir unicast, dipakai oleh NS
ULA	*Unique Local Address* fc00::/7 (praktiknya fd00::/8), alamat internal

Daftar Pustaka

Aliyudin. *Naskah Inovasi Pembelajaran: Media Pembelajaran Interaktif IPv6 (Jaringan Dasar, Kelas XI TJKT, Fase F)*. SMKS Ciledug Al-Musaddadiyah, Garut.

Fullan, M., Quinn, J., & McEachen, J. (2018). *Deep Learning: Engage the World, Change the World*. Thousand Oaks, CA: Corwin.

Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah. (2025). *Naskah Akademik Pembelajaran Mendalam: Menuju Pendidikan Bermutu untuk Semua*. Jakarta: BSKAP.

Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah. (2025). *Permendikdasmen Nomor 13 Tahun 2025* (siaran pers). Jakarta: Biro Komunikasi dan Hubungan Masyarakat.

Internet Engineering Task Force. RFC 3849, 4193, 4291, 4861, 4862, 4890, 4941, 5952, 6164, 7217, 8106, dan 8200 (rujukan teknis IPv6 sebagaimana tercantum pada naskah inovasi).

Catatan kehati-hatian

Kebijakan kurikulum dapat disempurnakan sewaktu-waktu. Pembaca dianjurkan merujuk dokumen resmi terbaru Kemendikdasmen dan ketentuan satuan pendidikan masing-masing sebelum menerapkan modul ini.