MODUL AJAR · KURIKULUM MERDEKA



K O K O H

NetLab

Putus kabel, jaringan tetap hidup.

Redundansi Jaringan yang Kokoh

Pembelajaran Mendalam STP/RSTP, VLAN, DHCP, ACL, LACP, dan VRRP dengan Laboratorium Virtual KOKOH NetLab

Produktif Teknik Komputer dan Jaringan | Fase F, Kelas XII | 4 Pertemuan | 16 JP

802.1D · 802.1w · 802.3ad · VRRP | 100% OFFLINE | PEMBELAJARAN MENDALAM

DISUSUN OLEH

Aliyudin

Guru Mata Pelajaran Produktif TKJ

SMKS Ciledug Al Musaddadiyah, Garut

KEAHLIAN

TKJ

Daftar Isi

Daftar Isi . . . 2
Pengantar . . . 3
Cara menggunakan modul ini . . . 3
Bagian A. Informasi Umum . . . 4
A.1 Identitas modul . . . 4
A.2 Kompetensi awal . . . 4
A.3 Dimensi Profil Lulusan yang dikuatkan . . . 4
A.4 Sarana dan prasarana . . . 5
A.5 Sasaran peserta didik . . . 5
A.6 Model dan pendekatan pembelajaran . . . 5
Bagian B. Komponen Inti . . . 6
B.1 Tujuan pembelajaran . . . 6
B.2 Pemahaman bermakna . . . 6
B.3 Pertanyaan pemantik . . . 6
B.4 Persiapan guru . . . 7
B.5 Peta tantangan simulator . . . 7
Langkah Kegiatan Pembelajaran . . . 8
P1 Pertemuan 1: Jaringan yang tidak boleh berputar (STP, RSTP, PVST) . . . 8
P2 Pertemuan 2: VLAN, trunk, DHCP, dan ACL . . . 8
P3 Pertemuan 3: Menambah kapasitas dan menjaga gateway (LACP dan VRRP) . . . 9
P4 Pertemuan 4: Tantangan terpadu, presentasi, dan refleksi . . . 10
Bagian C. Asesmen, Tindak Lanjut, dan Refleksi . . . 11
C.1 Asesmen . . . 11
C.2 Pengayaan . . . 11
C.3 Remedial . . . 11
C.4 Refleksi guru . . . 11
C.5 Keterbatasan simulator yang perlu disampaikan kepada peserta didik . . . 12
C.6 Mitigasi kondisi lapangan . . . 12
Lampiran A. Bahan Bacaan Ringkas . . . 13
A1. STP, RSTP, dan PVST . . . 13
A2. VLAN, trunk, DHCP, dan ACL . . . 13
A3. LACP dan VRRP . . . 13
Lampiran B. Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) . . . 15
LKPD 1: Jaringan yang tidak boleh berputar . . . 15
LKPD 2: VLAN, trunk, DHCP, dan ACL . . . 16
LKPD 3: LACP dan VRRP . . . 17
LKPD 4: Merancang skenario gangguan . . . 18
Lampiran C. Contoh Pertanyaan Pemantik dan Diskusi Kelas . . . 19
Lampiran D. Tes Prediksi (Diagnostik dan Akhir) . . . 19
Lampiran E. Rubrik Penilaian . . . 20
Konversi tingkat ke nilai (usulan) . . . 20
Lampiran F. Lembar Observasi Guru . . . 21
Lampiran G. Lembar Refleksi Peserta Didik . . . 22
Lampiran H. Glosarium . . . 22
Daftar Rujukan . . . 23

Pengantar

Bapak/Ibu guru yang kami hormati, modul ajar ini kami susun sebagai usulan rancangan, bukan sebagai resep yang harus diikuti persis. Kami memahami bahwa setiap kelas memiliki wajah yang berbeda: ada sekolah dengan laboratorium lengkap, ada pula yang hanya memiliki beberapa laptop dan telepon genggam milik peserta didik; ada kelas yang cepat menangkap konsep, ada yang membutuhkan waktu dan pendampingan lebih panjang.

Karena itu, modul ini sengaja dibuat lentur. Alokasi waktu, urutan kegiatan, dan tantangan dapat Bapak/Ibu sesuaikan dengan kondisi sekolah masing-masing. Modul ini bertumpu pada Kurikulum Merdeka yang diperkuat pendekatan Pembelajaran Mendalam, dan memanfaatkan KOKOH NetLab, laboratorium jaringan virtual dalam satu berkas HTML yang dapat dijalankan tanpa internet.

Kami menyadari masih banyak kekurangan. Setiap koreksi, saran, dan pengalaman dari Bapak/Ibu akan sangat berharga bagi penyempurnaan modul ini. Semoga bermanfaat bagi guru dan peserta didik kita.

Garut
Aliyudin

Cara menggunakan modul ini

Bagian	Isi dan kegunaan
Bagian A	Informasi umum: identitas modul, kompetensi awal, Dimensi Profil Lulusan, sarana, dan model pembelajaran.
Bagian B	Komponen inti: tujuan pembelajaran, pemahaman bermakna, pertanyaan pemantik, persiapan, dan langkah kegiatan empat pertemuan.
Bagian C	Asesmen, pengayaan, remedial, dan refleksi.
Lampiran	Bahan bacaan ringkas, LKPD, tes prediksi, rubrik, lembar observasi, dan glosarium yang siap dicetak atau disesuaikan.

Bagian A. Informasi Umum

A.1 Identitas modul

Komponen	Uraian
Penyusun	Aliyudin, SMKS Ciledug Al Musaddadiyah, Garut
Mata pelajaran	Produktif Teknik Komputer dan Jaringan (disesuaikan dengan struktur kurikulum satuan pendidikan)
Fase / kelas	Fase F / XII
Topik	Redundansi jaringan: STP/RSTP dan PVST, VLAN dan layanan jaringan, LACP, serta VRRP
Alokasi waktu	4 pertemuan x 4 JP (1 JP = 45 menit; sesuaikan dengan ketentuan sekolah)
Moda	Tatap muka di laboratorium atau kelas, dengan simulator luring

A.2 Kompetensi awal

Sebelum mengikuti modul ini, peserta didik sebaiknya telah mengenal hal-hal berikut. Bila belum, guru dapat memberi penguatan singkat pada pertemuan pertama:

- Konsep dasar jaringan: alamat IP, subnet, gateway, dan fungsi switch serta router.
- Pengertian VLAN secara umum dan perbedaan switch layer 2 dengan layer 3.
- Membaca keluaran perintah sederhana pada antarmuka baris perintah (CLI).

A.3 Dimensi Profil Lulusan yang dikuatkan

Tidak semua dimensi perlu dikuatkan pada setiap pertemuan. Berikut dimensi yang kami usulkan sebagai fokus, dan guru bebas memilih dua atau tiga saja sesuai kebutuhan kelasnya.

Dimensi	Wujud dalam modul
Penalaran kritis	Menganalisis log dan tabel port, menelusuri akar masalah, serta memperbaiki konfigurasi yang sengaja dirusak.
Kolaborasi	Bekerja berpasangan dengan peran bergantian: operator, pencatat, dan penganalisis.
Komunikasi	Menjelaskan temuan dan keputusan teknis secara lisan maupun tertulis.
Kemandirian	Mengatur laju belajar melalui petunjuk bertahap dan peta penguasaan.
Kreativitas	Merancang skenario gangguan dan solusi alternatif untuk diuji pasangan lain.
Kewargaan dan keimanan	Bersikap jujur, teliti, dan bertanggung jawab dalam mengelola infrastruktur yang dipercayakan, serta bersyukur atas ilmu yang dipelajari.
Kesehatan	Bekerja dengan sabar, tidak tergesa, dan mengelola waktu layar secara wajar.

A.4 Sarana dan prasarana

Kebutuhan	Keterangan
Berkas simulator	KOKOH NetLab (satu berkas HTML, sekitar 90 KB). Dibagikan lewat flash disk, pesan singkat, atau jaringan lokal. Diuji terlebih dahulu pada beberapa perangkat dan peramban.
Perangkat	Laptop atau komputer; telepon genggam sebagai pendamping. Satu perangkat dapat dipakai berdua.
Alat tulis	Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) dan lembar refleksi, dicetak atau dicatat di buku.
Proyektor atau papan tulis	Untuk demonstrasi singkat dan pembahasan bersama.
Cadangan	Tangkapan layar atau cetakan kondisi awal topologi bila perangkat bermasalah atau listrik padam.

A.5 Sasaran peserta didik

Modul ini dirancang untuk peserta didik reguler/tipikal yang memiliki kemampuan awal beragam. Untuk peserta didik yang memerlukan pendampingan lebih, tersedia petunjuk bertahap dan remedial; untuk yang sudah cepat, tersedia tantangan pengayaan. Bagi peserta didik dengan kebutuhan khusus (misalnya kesulitan membaca layar kecil atau keterbatasan motorik), guru dapat memberi tugas yang lebih singkat, peran pencatat, atau waktu tambahan.

A.6 Model dan pendekatan pembelajaran

- **Pendekatan:** Pembelajaran Mendalam dengan tiga prinsip (berkesadaran, bermakna, menggembirakan) dan tiga pengalaman belajar (memahami, mengaplikasi, merefleksi).
- **Model:** pembelajaran berbasis masalah (*troubleshooting*) dan inkuiri terbimbing (prediksi, uji, simpulkan).
- **Metode:** demonstrasi singkat, kerja berpasangan, diskusi kelompok, presentasi, dan refleksi tertulis.
- **Kemitraan:** guru sejawat, alumni, atau praktisi jaringan sebagai tamu atau pengulas skenario.

Bagian B. Komponen Inti

B.1 Tujuan pembelajaran

Rumusan berikut hanyalah contoh dan sebaiknya disesuaikan dengan Capaian Pembelajaran serta alur tujuan pembelajaran yang digunakan sekolah. Pada akhir rangkaian pembelajaran, peserta didik diharapkan mampu:

Pertemuan	Tujuan pembelajaran
1	Menganalisis peran *root bridge*, *root port*, *designated port*, dan *alternate port* pada STP/RSTP serta PVST, lalu mengonfigurasi dan menguji ketahanan topologi terhadap putusnya kabel.
2	Menganalisis dan memperbaiki gangguan VLAN dan *trunk*, mengonfigurasi routing antar-VLAN, menguji DHCP dengan dan tanpa server *rogue*, serta menyusun urutan aturan ACL yang tepat.
3	Menjelaskan dan menguji LACP untuk menambah kapasitas dan ketahanan, serta VRRP untuk menjaga *gateway*, termasuk peran *tracking* pada *failover*.
4	Menyelesaikan tantangan terpadu, merancang skenario gangguan bagi pasangan lain, dan merefleksikan proses belajar secara jujur.

B.2 Pemahaman bermakna

- Jaringan yang baik tidak hanya berfungsi saat normal, tetapi tetap hidup ketika sebagian jalurnya gagal.
- Redundansi tanpa pengendalian justru berbahaya (misalnya loop), sehingga protokol seperti STP dan RSTP diperlukan.
- Kesalahan konfigurasi adalah bahan belajar yang berharga bila dianalisis dengan bukti, bukan dengan tebakan.
- Simulasi membantu kita memahami cara kerja jaringan, tetapi tetap perlu dihubungkan dengan perangkat nyata.

B.3 Pertanyaan pemantik

- Mengapa satu kabel tambahan yang dipasang tanpa sengaja dapat memperlambat seluruh jaringan sekolah?
- Apa yang terjadi pada ujian daring bila gateway sekolah tiba-tiba mati, dan bagaimana mencegahnya?
- Mengapa dua komputer di ruang yang sama bisa tidak saling berhubungan?
- Bagaimana kita bisa tahu penyebab masalah jaringan tanpa menebak-nebak?

B.4 Persiapan guru

1. Unduh dan uji berkas KOKOH NetLab pada beberapa perangkat dan peramban yang akan dipakai.
2. Siapkan salinan berkas untuk dibagikan (flash disk atau pesan singkat) dan rencana cadangan bila perangkat bermasalah.
3. Cetak atau siapkan LKPD, tes prediksi, dan lembar refleksi (Lampiran).
4. Bagi peserta didik menjadi pasangan, dengan mempertimbangkan keberagaman kemampuan.
5. Sepakati bersama aturan kelas: kesalahan di simulator boleh, saling membantu dianjurkan, jawaban tidak diberikan langsung.
6. Tentukan dua atau tiga DPL yang akan difokuskan pada setiap pertemuan.

B.5 Peta tantangan simulator

KOKOH NetLab memuat enam belas tantangan bergaya LKS. Berikut usulan pembagiannya ke dalam pertemuan; guru dapat mengubah urutannya sesuai kesiapan kelas.

Pertemuan	Tantangan
1	Jadikan SW3 *root bridge*; Putus dua kabel, jaringan tetap tersambung; Beralih ke RSTP dengan SW2 sebagai *root*; PVST: *load balancing* per VLAN; PVST tahan putus kabel
2	*Troubleshooting trunk*; *Pruning* VLAN pada link diagonal; Port ke VLAN: pindahkan host ke VLAN 20; Routing antar-VLAN lewat SVI; DHCP aman dari server *rogue*; ACL: izinkan HTTP dan ping, blokir SSH; *Hardening* DTP: *trunk* statis
3	Port-channel 4 link tanpa trafik terbuang; Tahan satu link putus; *Failover* otomatis saat uplink R1 putus; Pulihkan R1 dan kembalikan peran Master
4	Tantangan yang tersisa berdasarkan peta remediasi, serta skenario gangguan rancangan peserta didik

Catatan: judul tantangan mengikuti yang tampil pada berkas simulator saat modul ini disusun. Bila Bapak/Ibu menggunakan versi yang berbeda, mohon disesuaikan.

Langkah Kegiatan Pembelajaran

Setiap pertemuan berdurasi 4 JP (sekitar 180 menit) dan mengikuti pola yang sama: pendahuluan yang bermakna, pengalaman memahami, mengaplikasi, dan merefleksi, lalu penutup. Pembagian menit bersifat usulan.

P1 Pertemuan 1: Jaringan yang tidak boleh berputar (STP, RSTP, PVST)

DPL yang diusulkan: penalaran kritis, kolaborasi, dan kemandirian.

Tahap dan waktu	Kegiatan
Pendahuluan 20 menit (bermakna, menggembirakan)	Salam, doa, dan presensi. Guru menyajikan kasus singkat: satu kabel tambahan dipasang tanpa sengaja hingga seluruh jaringan melambat. Peserta didik menebak penyebabnya. Guru menyampaikan tujuan dan kesepakatan kelas, serta membagikan tes prediksi (Lampiran D).
Memahami 40 menit (berkesadaran)	Dengan bahan bacaan (Lampiran A), guru menjelaskan singkat peran *root bridge* dan status port. Berpasangan, peserta didik membuka simulator, mengamati kondisi awal, mengidentifikasi *root bridge*, *root port*, *designated port*, dan *alternate port*, lalu menuliskan prediksi pada LKPD 1 sebelum mencoba apa pun.
Mengaplikasi 70 menit	Peserta didik mematikan STP dan mengirim *broadcast* ARP untuk melihat badai *broadcast*, lonjakan CPU, dan *MAC flapping*; menyalakannya kembali; membandingkan STP dengan RSTP; memutus kabel dan mengamati konvergensi; lalu mengerjakan tantangan *root bridge* dan PVST. Guru berkeliling mengajukan pertanyaan pancingan, bukan memberi jawaban.
Merefleksi 30 menit	Peserta didik membandingkan prediksi dengan hasil, lalu menuliskan satu konsep yang semula keliru dipahami (LKPD 1 bagian akhir). Beberapa pasangan berbagi temuan secara lisan.
Penutup 20 menit	Guru menyimpulkan bersama, menghubungkan simulasi dengan perangkat nyata, menegaskan batasan simulator, dan menyampaikan gambaran pertemuan berikutnya. Doa penutup.

> **Catatan bagi guru**
>
> Beri waktu menunggu konvergensi STP; momen menunggu itulah yang membuat peserta didik memahami mengapa RSTP dibutuhkan. Bila perangkat terbatas, satu pasangan dapat mendemonstrasikan di proyektor sementara yang lain mencatat.

P2 Pertemuan 2: VLAN, trunk, DHCP, dan ACL

DPL yang diusulkan: penalaran kritis, komunikasi, dan kreativitas.

Tahap dan waktu	Kegiatan
Pendahuluan 20 menit	Guru menanyakan mengapa dua komputer di ruang yang sama bisa tidak saling berhubungan. Peserta didik mengulas singkat hasil refleksi pertemuan 1 dan menyampaikan prediksi awal.

Tahap dan waktu	Kegiatan
Memahami **40 menit**	Peserta didik menelaah port akses, *trunk* 802.1Q, *native VLAN*, VLAN yang diizinkan, dan DTP melalui tabel port dan konsol CLI. Guru memandu cara membaca keluaran *show* sebagai bukti. LKPD 2 bagian prediksi diisi.
Mengaplikasi **70 menit**	Peserta didik memperbaiki gangguan *trunk* yang disuntikkan, memindahkan host ke VLAN 20, mengaktifkan routing antar-VLAN lewat SVI, menguji DHCP dengan dan tanpa server *rogue* (dan memahami DHCP *snooping*), serta memperbaiki urutan aturan ACL.
Merefleksi **30 menit**	Peserta didik menulis catatan akar masalah: apa gejalanya, bukti di log atau tabel, dan perbaikannya. Pasangan bertukar catatan dan saling memberi satu masukan.
Penutup **20 menit**	Kesimpulan bersama dan pengaitan dengan jaringan kantor atau sekolah. Guru menampilkan satu contoh catatan akar masalah yang baik (dengan izin pembuatnya).

Catatan bagi guru

Ingatkan bahwa ACL diperiksa dari aturan paling atas dan aturan pertama yang cocok yang dipakai. Peserta didik sering terjebak pada urutan, sehingga biarkan mereka menemukan sendiri melalui penghitung *hit*.

P3 Pertemuan 3: Menambah kapasitas dan menjaga gateway (LACP dan VRRP)

DPL yang diusulkan: penalaran kritis, kemandirian, dan komunikasi.

Tahap dan waktu	Kegiatan
Pendahuluan **20 menit**	Diskusi singkat: apa yang terjadi bila gateway sekolah mati saat ujian daring? Guru mengaitkan dengan kebutuhan redundansi pada lapisan 3.
Memahami **40 menit**	Peserta didik mengubah mode LACP (active, passive, on), kebijakan *hash*, dan laju LACPDU, serta mengamati status *port-channel* dan trafik terbuang. Prediksi dicatat pada LKPD 3 sebelum setiap perubahan.
Mengaplikasi **70 menit**	Peserta didik menjalankan *failover* VRRP dengan dan tanpa *tracking* uplink, mengamati pemilihan Master dan Master Down Timer, lalu membandingkan jumlah ping yang hilang. Mereka memulihkan R1 dan menguji peran Master dengan *preempt*.
Merefleksi **30 menit**	Peserta didik menjelaskan, dengan bahasa sendiri, mengapa *tracking* menentukan keberhasilan *failover*, dan apa dampak *hash* yang tidak seimbang pada *port-channel*.
Penutup **20 menit**	Guru menyimpulkan dan menyiapkan peserta didik untuk pertemuan terpadu: setiap pasangan diminta memikirkan satu skenario gangguan.

Catatan bagi guru

Pada VRRP, hasil perbandingan ping saat failover biasanya sangat membekas bagi peserta didik. Beri ruang bagi mereka untuk menjelaskan dengan kata-kata sendiri sebelum guru merangkum.

P4 Pertemuan 4: Tantangan terpadu, presentasi, dan refleksi

DPL yang diusulkan: kolaborasi, kreativitas, komunikasi, dan kemandirian.

Tahap dan waktu	Kegiatan
Pendahuluan **20 menit**	Peserta didik melihat peta penguasaan masing-masing dan menyusun strategi berpasangan untuk menuntaskan tantangan yang tersisa.
Memahami dan mengaplikasi **80 menit**	Peserta didik menuntaskan tantangan berdasarkan peta remediasi (Kuasai, Perlu penguatan, Remedial). Kemudian setiap pasangan merancang satu skenario gangguan sederhana untuk diuji pasangan lain dan menuliskan kunci penyelesaiannya (LKPD 4).
Presentasi dan pengujian **40 menit**	Pasangan bertukar skenario, mencoba menyelesaikannya, lalu mempresentasikan temuan dan pelajaran secara singkat (2 sampai 3 menit per pasangan).
Merefleksi **25 menit**	Peserta didik mengisi lembar refleksi (Lampiran G) dan tes prediksi akhir.
Penutup **15 menit**	Guru menyampaikan apresiasi, kesimpulan, dan tindak lanjut: praktik pada perangkat nyata atau emulator, serta latihan LKS. Doa penutup.

> **Catatan bagi guru**
>
> Sebaiknya pertemuan ini ditutup dengan menghubungkan pembelajaran ke perangkat nyata, misalnya mencocokkan keluaran CLI simulator dengan keluaran perangkat yang tersedia di sekolah.

Bagian C. Asesmen, Tindak Lanjut, dan Refleksi

C.1 Asesmen

Asesmen dirancang untuk memperbaiki proses belajar, bukan sekadar memberi nilai. Skor otomatis simulator sebaiknya dipandang sebagai satu data pendukung; keputusan akhir tetap berada pada pertimbangan profesional guru.

Jenis	Bentuk dan waktu	Instrumen
Diagnostik	Tes prediksi di awal pertemuan 1 untuk mengetahui pemahaman awal.	Lampiran D
Formatif	Log, tabel port, dan catatan LKPD sebagai bukti proses; peta penguasaan per topik; umpan balik guru selama kegiatan.	LKPD 1 sampai 4, Lampiran F
Sumatif	(1) Skor tantangan simulator sebagai salah satu komponen; (2) tugas praktik pada perangkat nyata atau emulator yang tersedia; (3) catatan refleksi dan presentasi.	Lampiran E, G

C.2 Pengayaan

- Tantangan lanjutan: PVST tahan putus kabel, *pruning* VLAN, dan ACL dengan beberapa aturan.
- Merancang topologi tangguh versi sendiri dan menguji dengan memutus beberapa kabel secara bergantian.
- Menjadi tutor sebaya dengan arahan: boleh bertanya balik, tidak boleh memberi jawaban langsung.

C.3 Remedial

- Menggunakan petunjuk bertahap pada simulator dan peta remediasi untuk topik berstatus Remedial.
- Pendampingan kelompok kecil oleh guru pada satu konsep saja, misalnya penentuan *root bridge*.
- Mengulang tantangan dengan topologi awal yang sama sampai peserta didik dapat menjelaskan alasannya dengan bahasa sendiri.
- Tugas pengganti yang lebih ringan, misalnya melengkapi tabel status port dari kondisi yang diberikan.

C.4 Refleksi guru

Sesudah pembelajaran, guru dianjurkan menjawab pertanyaan berikut sebagai bahan perbaikan:

1. Bagian mana yang paling membuat peserta didik berpikir mendalam, dan mengapa?
2. Bagian mana yang membuat mereka kesulitan atau jenuh, dan apa penyebabnya?
3. Apakah simulator membantu atau malah menjadi hambatan di kelas ini?

4. Peserta didik mana yang memerlukan pendampingan lanjutan?
5. Apa yang akan saya ubah pada pertemuan berikutnya?

C.5 Keterbatasan simulator yang perlu disampaikan kepada peserta didik

Mohon disampaikan dengan jujur

KOKOH NetLab adalah alat bantu belajar, bukan pengganti praktik pada perangkat nyata. Beberapa hal disederhanakan: biaya jalur dibuat seragam; penanganan *topology change* dan sinkronisasi RSTP tidak dimodelkan penuh; basis data VLAN dimodelkan lokal tanpa VTP; serta DHCP dan ACL dimodelkan secara terbatas (tanpa *lease time*, *relay*, atau ACL arah keluar).

C.6 Mitigasi kondisi lapangan

Kondisi	Saran
Perangkat terbatas	Kerja berpasangan; telepon genggam sebagai pendamping; demonstrasi di proyektor.
Listrik padam atau internet tidak ada	Simulator luring; siapkan tangkapan layar dan kegiatan tanpa perangkat (diskusi, tabel status port).
Kemampuan beragam	Petunjuk bertahap, tutor sebaya, dan kesempatan mengulang.
Waktu terbatas	Pilih tantangan inti saja; sisanya menjadi tugas mandiri atau pengayaan.
Peserta didik hanya memiliki telepon genggam	Gunakan layar yang lebih besar secara bergantian dalam pasangan; fokuskan peserta didik tersebut pada peran penganalisis.

Lampiran A. Bahan Bacaan Ringkas

Bahan ini dimaksudkan sebagai pegangan singkat. Mohon tetap dirujuk dengan buku teks atau dokumentasi resmi perangkat yang digunakan sekolah.

A1. STP, RSTP, dan PVST

- **Masalah:** jalur ganda pada jaringan layer 2 dapat menyebabkan loop sehingga terjadi badai *broadcast*, beban CPU tinggi, dan *MAC flapping*.
- **Gagasan STP:** secara logika, memblokir sebagian port agar jaringan menjadi pohon tanpa loop, tetapi tetap menyimpan jalur cadangan.
- **Root bridge:** switch dengan *bridge ID* terendah (*priority* lalu alamat MAC). Peserta didik dapat memilihkan dengan menurunkan *priority*.
- **Status port:** *root port* (jalur terbaik menuju *root*), *designated port* (jalur terbaik untuk suatu segmen), dan *alternate*/*blocking* (jalur cadangan).
- **STP klasik:** tahap Listening dan Learning pada umumnya masing-masing 15 detik dan *max-age* 20 detik, sehingga konvergensi dapat memakan waktu puluhan detik.
- **RSTP:** konvergensi jauh lebih cepat dengan mekanisme peran port dan proposal/persetujuan antar-switch.
- **PVST:** satu instance STP per VLAN sehingga dapat dilakukan *load balancing* dengan *root* yang berbeda untuk tiap VLAN.

A2. VLAN, trunk, DHCP, dan ACL

- **Port akses** membawa satu VLAN; ***trunk* 802.1Q** membawa banyak VLAN dengan penandaan (*tag*); *native VLAN* dikirim tanpa tag.
- **VLAN diizinkan:** membatasi VLAN yang boleh lewat pada *trunk* (dasar *pruning*). **DTP:** negosiasi *trunk* otomatis yang sebaiknya dinonaktifkan pada jaringan produksi (*hardening*).
- **Routing antar-VLAN lewat SVI:** switch layer 3 memiliki antarmuka virtual untuk tiap VLAN yang berperan sebagai *gateway*.
- **DHCP (DORA):** Discover, Offer, Request, Acknowledge. **Server *rogue*** adalah server DHCP tidak sah; **DHCP *snooping*** hanya mengizinkan jawaban dari port tepercaya.
- **ACL:** diperiksa berurutan dari atas; aturan pertama yang cocok dipakai; di akhir terdapat penolakan implisit (*implicit deny*). Urutan menentukan hasil.

A3. LACP dan VRRP

- **LACP (802.3ad):** menggabungkan beberapa link fisik menjadi satu *port-channel* untuk kapasitas dan ketahanan. Mode *active* dan *passive* melakukan negosiasi; mode *on* statis tanpa negosiasi.
- Dua sisi *passive* tidak akan membentuk *port-channel*, karena tidak ada yang memulai negosiasi.

- **Kebijakan hash:** menentukan link mana yang dipakai suatu aliran. Hash yang tidak sesuai dengan pola trafik dapat memusatkan trafik pada satu link (polarisasi).
- **VRRP:** beberapa router berbagi alamat IP virtual sebagai *gateway*. Router berprioritas tertinggi menjadi Master; yang lain menjadi Backup.
- ***Preempt*:** router berprioritas lebih tinggi merebut kembali peran Master. ***Tracking*:** menurunkan prioritas bila uplink putus sehingga Master berpindah ke router yang masih sehat.
- **Master Down Timer:** waktu tunggu Backup sebelum menyatakan Master tidak aktif dan mengambil alih; inilah penyebab sejumlah ping hilang saat *failover*.

Lampiran B. Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD)

LKPD dapat dicetak atau disalin ke buku tulis. Isian bersifat catatan proses; tidak ada jawaban tunggal yang dianggap paling benar selama didukung bukti.

LKPD 1: Jaringan yang tidak boleh berputar

Nama / Kelas: _____ Pasangan: _____

Peran saya (operator / pencatat / penganalisis): _____

Bagian	Pertanyaan atau tugas
Prediksi	Sebelum mencoba, tuliskan: (a) switch mana yang menurut saya menjadi *root bridge*; (b) apa yang terjadi bila STP dimatikan; (c) apa yang terjadi bila satu kabel diputus.

Tabel pengamatan: isi status port pada kondisi awal.

Switch	Port	Peran (root / designated / alternate)	Bukti dari tabel atau log

Percobaan: STP dimatikan lalu *broadcast* ARP dikirim. Apa yang saya amati (beban CPU, MAC flapping, log)?

Percobaan: kabel diputus pada STP dan pada RSTP. Berapa lama jaringan pulih pada masing-masing? Mengapa berbeda?

Refleksi: satu konsep yang semula keliru saya pahami adalah ... dan sekarang saya mengerti bahwa ...

LKPD 2: VLAN, trunk, DHCP, dan ACL

Nama / Kelas: _____ Pasangan: _____

Peran saya (operator / pencatat / penganalisis): _____

Prediksi: mengapa komputer di VLAN 10 bisa tidak terhubung dengan server meski kabel tersambung?

Gejala	Bukti di log / CLI	Dugaan penyebab	Perbaikan yang saya lakukan	Hasil

Routing antar-VLAN: apa yang harus aktif agar VLAN 10 dan VLAN 20 saling berhubungan?

DHCP: apa bedanya hasil dengan dan tanpa server *rogue*? Bagaimana DHCP *snooping* mencegahnya?

ACL: tuliskan urutan aturan yang saya gunakan dan alasannya. Apa yang terjadi bila urutannya dibalik?

Refleksi (catatan akar masalah): gejala ... bukti ... perbaikan ...

LKPD 3: LACP dan VRRP

Nama / Kelas: _____ Pasangan: _____

Peran saya (operator / pencatat / penganalisis): _____

Percobaan	Prediksi saya	Hasil pengamatan	Penjelasan
LACP active - active			
LACP passive - passive			
LACP on - active			
Hash berbeda			

VRRP: bandingkan *failover* dengan dan tanpa *tracking*.

Kondisi	Jumlah ping hilang	Siapa Master setelah uplink putus?
Tanpa *tracking*		
Dengan *tracking*		

Mengapa *tracking* menentukan keberhasilan *failover*? Jelaskan dengan bahasa saya sendiri.

Refleksi: hal yang paling mengejutkan saya dari percobaan hari ini adalah ...

LKPD 4: Merancang skenario gangguan

Nama / Kelas: _____ Pasangan: _____

Peran saya (operator / pencatat / penganalisis): _____

Komponen skenario	Isian
Judul skenario	
Gangguan yang disuntikkan	
Gejala yang terlihat	
Bukti yang harus dicari (log / tabel)	
Kunci perbaikan	
Tingkat kesulitan (mudah / sedang / sulit)	

Hasil pengujian oleh pasangan lain: apakah skenario dapat diselesaikan? Apa masukan mereka?

Rencana saya untuk menguatkan topik yang masih berstatus Perlu penguatan atau Remedial:

Lampiran C. Contoh Pertanyaan Pemantik dan Diskusi Kelas

- Bila Anda menjadi administrator jaringan sekolah dan menerima laporan "internet lambat sekali" setelah ada kabel baru, apa tiga hal pertama yang akan Anda periksa?
- Mengapa jalur cadangan yang tidak dikendalikan dapat lebih berbahaya daripada tidak punya jalur cadangan?
- Bila Anda hanya punya satu uplink, apa risikonya? Bagaimana redundansi mengubah risiko itu, dan apa biayanya?
- Apakah semakin banyak redundansi selalu semakin baik? Berikan contoh yang mendukung dan yang menentang.
- Bagaimana cara Anda meyakinkan kepala sekolah atau pimpinan perusahaan bahwa redundansi layak diinvestasikan?

Lampiran D. Tes Prediksi (Diagnostik dan Akhir)

Peserta didik menjawab sebelum dan sesudah rangkaian pembelajaran. Tujuannya melihat perubahan pemahaman, bukan untuk memberi nilai awal.

1. Pada jaringan dengan dua jalur antar-switch dan STP aktif, apa yang terjadi bila satu kabel aktif diputus?
2. Apa yang terjadi bila STP dinonaktifkan pada jaringan yang memiliki loop fisik, lalu satu *broadcast* dikirim?
3. Bagaimana sebuah switch ditetapkan menjadi *root bridge*?
4. Dua sisi *port-channel* sama-sama dikonfigurasi *passive*. Apa hasilnya? Mengapa?
5. Router Master VRRP kehilangan uplink tetapi masih menyala. Tanpa *tracking*, apa yang terjadi pada klien?
6. Dalam ACL, aturan *deny* ditulis di bawah aturan *permit any*. Apa dampaknya?
7. Mengapa server DHCP *rogue* berbahaya, dan bagaimana mencegahnya?

Lampiran E. Rubrik Penilaian

Rubrik menggunakan empat tingkat: **Mahir**, **Cakap**, **Berkembang**, dan **Perlu bimbingan**. Rubrik ini bersifat usulan dan dapat disesuaikan.

Aspek	Mahir	Cakap	Berkembang	Perlu bimbingan
Ketepatan teknis	Konfigurasi dan analisis tepat, dan peserta didik mampu menyesuaikan pada kasus baru.	Konfigurasi dan analisis tepat sesuai tujuan.	Sebagian benar; masih memerlukan beberapa petunjuk.	Belum sesuai tujuan; memerlukan pendampingan intensif.
Penalaran	Alasan runtut, didukung banyak bukti log dan tabel, serta mempertimbangkan alternatif.	Alasan jelas dan didukung bukti.	Alasan ada tetapi bukti terbatas.	Cenderung menebak tanpa bukti.
Kolaborasi dan komunikasi	Peran jelas, saling menguatkan, penjelasan runtut dan mudah dipahami.	Peran jelas, penjelasan cukup runtut.	Peran belum seimbang; penjelasan belum runtut.	Belum berpartisipasi aktif atau sulit menjelaskan.
Refleksi	Kesalahan diakui, penyebab dianalisis mendalam, rencana perbaikan konkret dan terukur.	Kesalahan diakui dan rencana perbaikan jelas.	Refleksi masih umum.	Belum merefleksikan atau tidak lengkap.

Konversi tingkat ke nilai (usulan)

Tingkat	Rentang nilai
Mahir	90 sampai 100
Cakap	75 sampai 89
Berkembang	60 sampai 74
Perlu bimbingan	di bawah 60

Rentang nilai hanya usulan dan perlu disesuaikan dengan kebijakan penilaian satuan pendidikan.

Lampiran F. Lembar Observasi Guru

No	Nama peserta didik	Aktif berpikir	Kolaborasi	Berani coba	Catatan
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Keterangan: tuliskan 1 (belum tampak), 2 (mulai tampak), 3 (konsisten), atau 4 (menjadi teladan).

Lampiran G. Lembar Refleksi Peserta Didik

Nama: _____ Kelas: _____ Tanggal: _____

1. Apa prediksi saya sebelum mencoba, dan apa yang sebenarnya terjadi?

2. Kesalahan apa yang paling banyak mengajarkan saya hari ini, dan mengapa?

3. Bukti apa dari log atau tabel yang meyakinkan saya tentang penyebab masalah?

4. Bagian mana yang masih membingungkan, dan bantuan apa yang saya perlukan?

5. Bagaimana konsep hari ini akan saya terapkan pada perangkat nyata atau dunia kerja?

6. Apa yang dapat saya lakukan agar teman satu tim juga paham?

Lampiran H. Glosarium

Istilah	Pengertian singkat
ACL	*Access Control List*, daftar aturan izin atau tolak yang diperiksa berurutan.
BPDU	Pesan yang dipertukarkan switch pada STP untuk memilih *root* dan menentukan status port.
DHCP snooping	Fitur pengaman yang hanya mengizinkan jawaban DHCP dari port tepercaya.
DORA	Discover, Offer, Request, Acknowledge: tahap pemberian alamat oleh DHCP.
Failover	Perpindahan peran otomatis ke perangkat cadangan saat perangkat utama gagal.

Istilah	Pengertian singkat
LACP	Protokol penggabungan beberapa link fisik menjadi satu *port-channel*.
MAC flapping	Alamat MAC yang terus berpindah port akibat loop.
Native VLAN	VLAN yang dikirim tanpa tag pada *trunk* 802.1Q.
PVST	Satu instance STP per VLAN.
Root bridge	Switch acuan pada STP yang dipilih berdasarkan *bridge ID* terendah.
SVI	Antarmuka virtual VLAN pada switch layer 3 yang berfungsi sebagai *gateway*.
Tracking	Penurunan prioritas VRRP saat uplink putus agar Master berpindah.
VRRP	Protokol yang membuat beberapa router berbagi alamat *gateway* virtual.

Daftar Rujukan

1. Kemendikdasmen. (2025). *Pembelajaran Mendalam* (panduan dan materi pendampingan implementasi). Jakarta: Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah.

2. Koesumawardani, N. W. (2025, 18 Juli). Kemendikdasmen: Tak ada kurikulum baru, K13 dan Kurikulum Merdeka masih berlaku. *detikEdu*. https://www.detik.com/edu/sekolah/d-8018159/kemendikdasmen-tak-ada-kurikulum-baru-k13-dan-kurikulum-merdeka-masih-berlaku

3. Kinarina Kaban, H. D. (2026, 9 Juli). Kemendikdasmen perkuat implementasi deep learning dengan koding AI. *ANTARA*. https://m.antaranews.com/amp/berita/5642883/kemendikdasmen-perkuat-implementasi-deep-learning-dengan-koding-ai

4. Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan. *Capaian Pembelajaran SMK/MAK Fase F*. https://kurikulum.kemdikbud.go.id

5. Aliyudin. (2026). *KOKOH NetLab: Laboratorium Jaringan Virtual Offline untuk Pembelajaran Mendalam Redundansi Jaringan* (naskah inovasi pembelajaran). SMKS Ciledug Al Musaddadiyah, Garut.

Catatan: mohon verifikasi rujukan, Capaian Pembelajaran, dan nomor regulasi terbaru pada laman resmi Kemendikdasmen sebelum modul ini digunakan atau dipublikasikan. Uraian teknis pada bahan bacaan bersifat ringkas dan perlu dilengkapi dengan buku teks atau dokumentasi resmi perangkat.