MODUL AJAR

Kurikulum Merdeka dengan Pendekatan Pembelajaran Mendalam

Membangun Sentral Telepon IP dengan Asterisk dan FreePBX

Laboratorium Virtual VoIP dengan Model SAMBUNG

Rancangan Pembelajaran Mendalam bagi Murid SMK

MATA PELAJARAN	**Layanan Jaringan (mata pelajaran konsentrasi TJKT)**
PROGRAM KEAHLIAN	**Teknik Jaringan Komputer dan Telekomunikasi**
FASE / KELAS	**Fase F / Kelas XI**
ALOKASI WAKTU	**3 pertemuan × 4 JP (12 JP)**
PENYUSUN	**Aliyudin**
SATUAN PENDIDIKAN	**SMK Ciledug Al Musaddadiyah, Garut**

Berbasis aplikasi VoIP Lab: Asterisk dan FreePBX, Modul Praktik versi 2.6 (2026), karya Aliyudin, SMK Ciledug Al Musaddadiyah, Garut.

Daftar Isi

Petunjuk Penggunaan Modul . . . 3

A. Informasi Umum . . . 4

1. Identitas Modul . . . 4
2. Landasan Kebijakan . . . 4
3. Kompetensi Awal . . . 4
4. Dimensi Profil Lulusan . . . 5
5. Sarana dan Prasarana . . . 5
6. Target Peserta Didik . . . 5
7. Model Pembelajaran SAMBUNG . . . 6
8. Prinsip Pembelajaran . . . 6

B. Komponen Inti . . . 7

1. Capaian Pembelajaran . . . 7
2. Tujuan Pembelajaran dan Kriteria Ketercapaian . . . 7
3. Pemahaman Bermakna . . . 8
4. Pertanyaan Pemantik . . . 8
5. Kerangka Pembelajaran Mendalam . . . 8
6. Persiapan Guru . . . 8
7. Langkah-Langkah Kegiatan Pembelajaran . . . 9
8. Pembelajaran Berdiferensiasi . . . 11
9. Rancangan Asesmen . . . 11
10. Pengayaan dan Remedial . . . 13
11. Integrasi Kokurikuler dan Lintas Bidang . . . 13
12. Strategi Implementasi dan Mitigasi Hambatan . . . 14
13. Refleksi Guru dan Murid . . . 14

Lampiran 1. Bahan Bacaan Murid . . . 15

Lampiran 2. Paspor Misi dan Jurnal Refleksi . . . 18

Lampiran 3. Lembar Kerja Peta Log dan Klinik Diagnosis . . . 19

Lampiran 4. Instrumen Observasi dan Rekap Nilai . . . 21

Lampiran 5. Soal Latihan dan Kunci Jawaban . . . 22

Lampiran 6. Glosarium . . . 24

Daftar Pustaka . . . 25

Petunjuk Penggunaan Modul

Modul ajar ini disusun dari *Dokumen Inovasi Pembelajaran: Laboratorium Virtual VoIP dengan Asterisk dan FreePBX* dan dirancang agar dapat langsung dipakai guru mata pelajaran konsentrasi Teknik Jaringan Komputer dan Telekomunikasi (TJKT) pada Fase F. Rancangannya mengikuti pendekatan Pembelajaran Mendalam dalam Kurikulum Merdeka, yakni pembelajaran yang memuliakan pemahaman, penerapan, dan refleksi, bukan sekadar penyelesaian materi.

Modul terdiri atas tiga bagian. **Bagian A (Informasi Umum)** memuat identitas, kompetensi awal, dimensi profil lulusan, serta sarana dan prasarana. **Bagian B (Komponen Inti)** memuat tujuan pembelajaran, langkah kegiatan untuk tiga pertemuan, diferensiasi, dan asesmen. **Lampiran** memuat bahan bacaan murid, lembar kerja, instrumen penilaian, soal latihan beserta kunci, dan glosarium.

Sebelum mengajar, Bapak dan Ibu guru dimohon memperhatikan hal berikut.

- Redaksi Capaian Pembelajaran (CP) pada modul ini bersifat rujukan. Cocokkan dengan naskah resmi yang dipakai satuan pendidikan, kemudian sesuaikan dengan Kurikulum Satuan Pendidikan (KSP).
- Alokasi waktu, ambang ketuntasan 75, dan bobot rubrik merupakan usulan. Sesuaikan dengan Kriteria Ketercapaian Tujuan Pembelajaran (KKTP) yang ditetapkan sekolah.
- Rujukan regulasi dihimpun per 28 November 2026 dari publikasi resmi dan pemberitaan. Naskah lengkap perlu diverifikasi pada laman resmi Kemendikdasmen dan JDIH sebelum modul ditetapkan.
- Aplikasi VoIP Lab tidak menyimpan kemajuan misi dan skor kuis setelah halaman dimuat ulang. Karena itu, Paspor Misi (Lampiran 2) wajib dipakai sebagai bukti belajar.
- Aplikasi tidak menilai secara otomatis. Penilaian tetap menjadi kewenangan dan tanggung jawab guru.

A. Informasi Umum

1. Identitas Modul

Tabel 1. Identitas modul ajar

Komponen	Keterangan
Satuan pendidikan	SMK Ciledug Al Musaddadiyah, Garut
Penyusun	Aliyudin, Guru Mata Pelajaran Produktif TKJ
Mata pelajaran	Mata pelajaran konsentrasi yang memuat elemen layanan jaringan (misalnya Teknologi Layanan Jaringan), sesuai struktur Kurikulum Satuan Pendidikan
Program keahlian	Teknik Jaringan Komputer dan Telekomunikasi (di banyak satuan pendidikan dikenal juga sebagai TKJ)
Fase dan kelas	Fase F, Kelas XI
Semester	……
Topik	Membangun sentral telepon IP dengan Asterisk dan FreePBX
Alokasi waktu	3 pertemuan, masing-masing 4 JP (4 × 45 menit); total 12 JP atau 540 menit
Model pembelajaran	SAMBUNG (berbasis masalah dan proyek, inkuiri, serta berdiferensiasi)
Media utama	VoIP Lab: Asterisk dan FreePBX, Modul Praktik versi 2.6 (2026), karya Aliyudin, SMK Ciledug Al Musaddadiyah, Garut

2. Landasan Kebijakan

- Permendikdasmen Nomor 13 Tahun 2025 tentang perubahan atas Permendikbudristek Nomor 12 Tahun 2024 tentang Kurikulum. Pembelajaran Mendalam ditegaskan sebagai pendekatan untuk menjalankan Kurikulum Merdeka, bukan kurikulum baru.
- Permendikdasmen Nomor 1 Tahun 2026 tentang Standar Proses, berlaku sejak 5 Januari 2026, yang mengatur perencanaan, pelaksanaan, dan penilaian proses pembelajaran.
- Permendikdasmen Nomor 10 Tahun 2025 tentang Standar Kompetensi Lulusan dan Nomor 12 Tahun 2025 tentang Standar Isi, yang memuat Delapan Dimensi Profil Lulusan dan Capaian Pembelajaran per fase.
- Capaian Pembelajaran mata pelajaran konsentrasi keahlian TJKT Fase F, khususnya elemen perencanaan dan konfigurasi layanan jaringan, termasuk layanan *Voice over IP*.

3. Kompetensi Awal

Murid diharapkan telah memahami konsep dasar jaringan komputer (alamat IP, subnet, port, serta perbedaan TCP dan UDP), mampu menjalankan perintah dasar terminal Linux, dan mengenal konsep layanan jaringan. Murid yang belum memenuhi prasyarat ini tidak dikecualikan; mereka dipetakan ke jalur santai melalui asesmen diagnostik pada pertemuan 1 dan didampingi teman tutor.

4. Dimensi Profil Lulusan

Seluruh delapan dimensi dikembangkan secara terpadu. Dimensi yang menjadi **fokus utama** modul ini ialah penalaran kritis, kolaborasi, kemandirian, dan komunikasi; keempat dimensi lainnya diperkuat melalui kegiatan dan budaya kelas.

Tabel 2. *Pemetaan Delapan Dimensi Profil Lulusan*

Dimensi	Wujud dalam pembelajaran	Contoh indikator
Keimanan dan ketakwaan kepada Tuhan YME	Amanah memegang hak akses; jujur melaporkan galat dan hasil kerja	Tidak menyalin pekerjaan teman; menyampaikan kesalahan sendiri apa adanya
Kewargaan	Etika dan hukum layanan komunikasi; kesadaran bahwa sambungan ke jaringan telepon publik melalui penyelenggara berizin; pemanfaatan keahlian untuk masyarakat	Menjelaskan risiko penyalahgunaan PBX dan batas kewenangan administrator
Penalaran kritis	Diagnosis berlapis dari layanan, *firewall*, registrasi, hingga *dialplan*; menimbang bukti pada *log*	Menyusun hipotesis penyebab dan membuktikannya dengan perintah CLI
Kreativitas	Merancang penomoran, *ring group*, atau menu suara sesuai kebutuhan organisasi	Mengusulkan fitur relevan dan menjelaskan manfaatnya
Kolaborasi	Kerja berpasangan pengemudi dan navigator; saling meninjau konfigurasi	Memberi umpan balik sejawat yang spesifik dan santun
Kemandirian	Memilih jalur belajar; beralih dari Mode pemula ke mode mandiri; menyelesaikan tantangan tanpa petunjuk	Mengurangi ketergantungan pada tombol “Jalankan langkah ini” dari misi ke misi
Kesehatan	Suasana belajar aman untuk salah; ergonomi dan jeda layar; keselamatan kelistrikan pada perangkat nyata (misalnya PoE)	Mengatur jeda; menerapkan K3 saat menangani perangkat
Komunikasi	Menjelaskan konsep teknis secara runtut; menulis dokumentasi dan mempresentasikan karya	Panduan tertulis yang dapat diikuti orang lain tanpa bertanya

5. Sarana dan Prasarana

- Komputer atau laptop dengan peramban (Chrome, Edge, Firefox, atau Safari) dan berkas HTML aplikasi VoIP Lab yang dibagikan melalui *flashdisk* atau jaringan lokal; tidak memerlukan internet maupun instalasi.
- Proyektor dan papan tulis untuk diskusi serta demonstrasi.
- Opsional: mesin virtual (misalnya Ubuntu *Server* dengan Asterisk) untuk Jalur A pada pertemuan 3, serta telepon pintar dengan aplikasi *softphone*.
- Bahan cetak: Paspor Misi, lembar kerja, rubrik, dan lembar observasi (tersedia pada Lampiran).

6. Target Peserta Didik

Modul ini ditujukan bagi murid reguler/tipikal Kelas XI TJKT dengan kesiapan yang beragam. Murid yang memerlukan dukungan tambahan dilayani melalui jalur santai, teman tutor, dan penyesuaian layanan; murid dengan kemampuan di atas rata-rata dilayani melalui jalur mandiri dan kilat serta tantangan lanjutan. Bagi murid berkebutuhan khusus, guru menyesuaikan ukuran huruf peramban, kontras layar, dan waktu pengerjaan, serta memastikan perannya dalam kerja berpasangan tetap bermakna.

7. Model Pembelajaran SAMBUNG

Nama SAMBUNG dipilih karena menggambarkan hakikat telepon, yaitu menyambungkan orang, sekaligus hakikat pembelajaran, yaitu menyambungkan konsep, praktik, dan kehidupan nyata. Tujuh langkahnya sejalan dengan tujuh misi pada Lab *server* dan dikelompokkan ke dalam tiga pengalaman belajar. Prinsip yang dijaga: **simulasi adalah pijakan, bukan tujuan akhir**.

Tabel 3. *Tujuh langkah Model SAMBUNG*

Langkah	Makna	Kegiatan inti dan peran aplikasi	Pengalaman belajar
S	Soal kontekstual	Murid menghadapi masalah nyata: sekolah ingin sambungan telepon antarruang tanpa pulsa. Guru mengajukan pertanyaan pemantik.	Memahami
A	Amati dan pelajari konsep	Membaca Materi (bagian 1, 2, 3, 6, dan 7 sebagai bacaan wajib), memakai Glosarium, berdiskusi tentang jalur sinyal dan jalur suara.	Memahami
M	Mulai praktik di simulasi	Menyelesaikan tujuh misi pada Lab *server*: pasang, konfigurasi, atur *firewall*, dan muat ulang. Mode pemula dinonaktifkan bertahap.	Mengaplikasi
B	Bangun dan uji	Mendaftarkan dua *softphone*, melakukan panggilan, dan membaca *log* SIP untuk mencocokkan teori dengan fakta.	Mengaplikasi
U	Uji transfer	Memecahkan skenario diagnosis dan tantangan mandiri pada mesin virtual, atau merancang solusi tertulis bila sarana terbatas.	Mengaplikasi
N	Nalar dan refleksi	Mengerjakan kuis, menelaah remediasi, dan menulis jurnal: apa yang dipahami, apa yang keliru, apa langkah berikutnya.	Merefleksi
G	Gelar karya	Mempresentasikan dokumentasi, panduan, atau rancangan sentral telepon kepada teman, guru, dan mitra.	Merefleksi

8. Prinsip Pembelajaran

Tabel 4. *Pemetaan fitur aplikasi terhadap prinsip pembelajaran*

Prinsip	Wujud pada aplikasi	Penguatan oleh guru
Berkesadaran (Ks)	Pesan galat menjelaskan penyebab; setiap langkah terminal disertai penjelasan; murid menekan Simpan agar sempat membaca isi konfigurasi	Jeda refleksi singkat; murid menyebutkan alasan setiap langkah, bukan hanya menjalankannya
Bermakna (Bm)	Analogi kantor dan operator telepon; *log* SIP menyerupai keluaran *server* sungguhan; tantangan mandiri	Kasus kontekstual: intercom sekolah, kantor desa, koperasi, atau pesantren
Menggembirakan (Mg)	Mode pemula dengan tombol “Jalankan langkah ini”, tiga jalur belajar, jalur kilat lima menit, kebebasan salah tanpa risiko	Tantangan bertingkat, kerja berpasangan, dan perayaan capaian kecil

B. Komponen Inti

1. Capaian Pembelajaran

Pada akhir Fase F, murid mampu merencanakan, mengonfigurasi, dan mengelola layanan jaringan, termasuk layanan *Voice over IP*, serta mengevaluasi keamanan dan kinerjanya secara bertanggung jawab. Guru mencocokkan redaksi ini dengan naskah resmi yang dipakai satuan pendidikan.

2. Tujuan Pembelajaran dan Kriteria Ketercapaian

Tabel 5. *Tujuan pembelajaran (TP), level kognitif, dan bukti belajar*

TP	Tujuan pembelajaran	Level kognitif	Bukti belajar
TP 1	Menjelaskan peran PBX, *extension*, SIP, dan RTP serta menguraikan alur satu panggilan dari INVITE hingga BYE menggunakan diagram.	Memahami	Diagram alur dan penjelasan lisan
TP 2	Menyusun konfigurasi *endpoint* PJSIP (*endpoint*, auth, aor) dan *dialplan* dasar sehingga dua telepon dapat saling memanggil.	Menerapkan	Konfigurasi lolos pemeriksaan Lab; panggilan berhasil
TP 3	Mengatur aturan *firewall* minimum untuk SIP (5060/udp) dan RTP (10000:20000/udp) serta menjelaskan akibat jika salah satunya tertutup.	Menerapkan	Hasil `ufw status` dan penjelasan
TP 4	Menganalisis *log* untuk mendiagnosis galat 403, 404, 480, timeout, dan panggilan tanpa suara, kemudian menyusun urutan pemeriksaan yang runtut.	Menganalisis	Laporan diagnosis empat skenario
TP 5	Mengevaluasi risiko keamanan sentral telepon dan merekomendasikan langkah pengamanan dasar disertai alasan.	Mengevaluasi	Rekomendasi tertulis
TP 6	Merancang dan mendokumentasikan sentral telepon sederhana untuk kebutuhan komunikasi sebuah organisasi.	Mencipta	Produk gelar karya

Tabel 6. *Kriteria Ketercapaian Tujuan Pembelajaran (usulan)*

TP	Murid dinyatakan mencapai tujuan apabila ...	Instrumen
TP 1	menjelaskan peran PBX, *extension*, SIP, dan RTP dengan benar; menggambar alur INVITE, 180 Ringing, 200 OK, ACK, dan BYE; serta membedakan jalur sinyal dan jalur suara.	Diagram, tiket keluar, penjelasan lisan
TP 2	menyelesaikan konfigurasi hingga lolos pemeriksaan Lab, dua *softphone* terdaftar, panggilan dua arah berhasil, dan murid dapat menjelaskan fungsi setiap bagian konfigurasi.	Unjuk kerja Lab, Paspor Misi
TP 3	membuka tepat dua kebutuhan port (SIP dan RTP) dan menjelaskan akibat bila salah satunya tertutup.	Hasil ufw status, penjelasan
TP 4	menulis gejala, dugaan, pembuktian, dan perbaikan pada empat skenario dengan bukti *log* serta urutan pemeriksaan yang runtut.	Laporan diagnosis
TP 5	mengidentifikasi sekurang-kurangnya tiga risiko (misalnya kata sandi lemah, port terbuka tanpa pembatasan, dan penyalahgunaan sentral untuk panggilan berbayar tanpa izin) beserta langkah dan alasan pengamanannya.	Rekomendasi tertulis
TP 6	menghasilkan rancangan penomoran, keamanan, dan kapasitas yang sesuai kasus, serta panduan yang dapat diikuti orang lain tanpa bertanya.	Produk gelar karya, rubrik

3. Pemahaman Bermakna

- Telepon IP bekerja melalui dua jalur, yaitu sinyal (SIP) dan suara (RTP). Keduanya harus berfungsi agar percakapan terjadi.
- Konfigurasi bukan kumpulan perintah hafalan, melainkan keputusan yang dapat dipertanggungjawabkan alasannya.
- *Log* adalah bukti. Diagnosis yang baik dimulai dari lapisan terbawah dan bergerak naik secara runtut.
- Simulasi adalah ruang aman untuk berlatih; kemahiran terbukti ketika dialihkan ke kasus yang belum pernah dilihat.
- Administrator sentral telepon memikul amanah: keamanan, privasi percakapan, dan batas kewenangan.

4. Pertanyaan Pemantik

1. Mengapa suara dan sinyal panggilan memakai jalur yang berbeda?
2. Apa risikonya jika port 5060 dibuka ke internet tanpa pengamanan?
3. Bagaimana sebuah sekolah dapat memiliki sambungan telepon antarruang tanpa biaya pulsa?
4. Jika telepon tersambung tetapi sunyi, bagian mana yang pertama kali Anda periksa, dan mengapa?
5. Apa yang membedakan orang yang sekadar menyalin perintah dengan administrator yang memahami keputusannya?

5. Kerangka Pembelajaran Mendalam

Tabel 7. *Penerapan empat komponen kerangka pembelajaran*

Komponen	Rancangan
Praktik pedagogis	Pembelajaran berbasis masalah dan proyek; inkuiri pada tahap diagnosis; kerja berpasangan; diferensiasi melalui tiga jalur belajar; umpan balik formatif berkelanjutan.
Lingkungan pembelajaran	Laboratorium komputer sebagai ruang praktik; ruang kelas untuk diskusi dan gelar karya; rumah atau asrama untuk belajar mandiri karena aplikasi dapat dibawa melalui *flashdisk* dan dibuka tanpa internet; suasana kelas yang menerima kesalahan sebagai bahan belajar.
Kemitraan pembelajaran	Teknisi atau penyedia layanan internet lokal sebagai narasumber tamu; alumni di bidang jaringan; MGMP sebagai wadah berbagi praktik baik; pengelola kantor atau koperasi sebagai pemberi kasus nyata; orang tua dan pengurus sekolah sebagai penerima manfaat gelar karya.
Pemanfaatan teknologi digital	Aplikasi VoIP Lab *offline*; mesin virtual untuk tahap transfer; *softphone* pada ponsel; dokumentasi digital (tangkapan layar dan video singkat). Bila asisten kecerdasan artifisial dipakai, fungsinya terbatas sebagai teman berdiskusi dan pemeriksa penjelasan, bukan pembuat jawaban; murid wajib membuktikan setiap jawaban melalui *log*.

6. Persiapan Guru

- Salin berkas HTML aplikasi ke seluruh komputer atau ke *flashdisk* sebelum pertemuan 1; uji pada peramban yang tersedia.
- Cetak Paspor Misi, lembar kerja, dan lembar observasi sesuai jumlah murid atau pasangan.
- Siapkan tiga pertanyaan diagnostik dan kasus kontekstual yang sesuai lingkungan sekolah.
- Hubungi calon narasumber tamu (teknisi, alumni, atau penyedia layanan setempat) untuk pertemuan 3.
- Siapkan mesin virtual sebagai demonstrasi pada satu komputer apabila Jalur A tidak memungkinkan bagi semua murid.

7. Langkah-Langkah Kegiatan Pembelajaran

Lambang prinsip: **Ks** berkesadaran, **Bm** bermakna, **Mg** menggembirakan. Durasi bersifat usulan dan dapat digeser sesuai kondisi kelas.

Pertemuan 1: Dari Masalah Nyata ke Server yang Hidup (4 JP, 180 menit)

Fokus TP: TP 1, TP 2, dan TP 3 (awal). **Pengalaman belajar:** memahami dan mengaplikasi.

Tabel 8. Langkah kegiatan Pertemuan 1

Tahap	Kegiatan pembelajaran	Prinsip	Menit
Pembuka	Salam, doa, dan satu menit menarik napas untuk menenangkan diri. Guru menyampaikan tujuan, alur tiga pertemuan, dan arah penilaian, kemudian bersama murid menyepakati kontrak belajar etika: praktik hanya pada simulasi dan jaringan milik sendiri. Murid mengisi tiga pertanyaan diagnostik (misalnya: apa beda SIP dan RTP menurut Anda?) dan menyatakan pengalamannya dengan terminal Linux.	Ks	15
S: Soal kontekstual	Guru menyajikan kasus: sekolah, koperasi, atau kantor desa ingin sambungan telepon internal tanpa biaya pulsa dan tanpa membeli sentral mahal. Murid menuliskan pertanyaan yang perlu dijawab. Guru mengajukan pertanyaan pemantik 1 dan 2, lalu memetakan murid ke jalur santai, mandiri, atau kilat berdasarkan hasil diagnostik.	Bm	20
A: Amati dan pelajari	Berpasangan, murid membaca Materi bagian 1, 2, 3, 6, dan 7 pada aplikasi (rangkuman pada Lampiran 1), memakai Glosarium, lalu menggambar ulang alur INVITE hingga BYE dengan kata sendiri. Guru berkeliling mengajukan pertanyaan penajam, misalnya: “Mengapa suara tidak ikut lewat jalur yang sama dengan sinyal?”	Ks, Bm	30
M: Mulai praktik	Murid mengerjakan tujuh misi pada Lab *server*. Pasangan bergantian peran pengemudi dan navigator setiap dua misi. Murid yang cepat menonaktifkan Mode pemula; murid yang memerlukan bantuan memakai tombol petunjuk. Setiap misi yang selesai dicatat pada Paspor Misi (Lampiran 2) dan diparaf rekan pasangan.	Bm, Mg	90
Penutup	Tiket keluar: satu hal yang sudah dipahami, satu hal yang masih membingungkan, dan satu pertanyaan untuk pertemuan berikutnya. Guru menyimpulkan secara singkat dan menugaskan murid membaca ulang bagian Materi tentang *log* dan diagnosis.	Ks	25

Catatan guru

Ingatkan murid agar tidak menutup atau memuat ulang tab sebelum misi dicatat, karena kemajuan tidak tersimpan. Aplikasi memberi umpan balik atas kesalahan; dorong murid membaca pesan galat dan menjelaskannya dengan kata sendiri sebelum meminta bantuan.

Pertemuan 2: Menguji, Membaca Bukti, dan Memperbaiki (4 JP, 180 menit)

Fokus TP: TP 1 (pemantapan), TP 2, dan TP 4. **Pengalaman belajar:** mengaplikasi dan merefleksi.

Tabel 9. Langkah kegiatan Pertemuan 2

Tahap	Kegiatan pembelajaran	Prinsip	Menit
Pembuka	Meninjau tiket keluar pertemuan 1. Guru memilih dua pertanyaan murid untuk dijawab bersama sebagai penghubung ke kegiatan hari ini.	Ks	10
B: Bangun dan uji	Murid mendaftarkan dua *softphone*, melakukan panggilan, lalu membuka *log*. Tugas: menandai pada *log* kapan REGISTER, INVITE, 180 Ringing, 200 OK, ACK, dan BYE terjadi, kemudian mencocokkannya dengan diagram buatan sendiri (Lampiran 3, Bagian A).	Bm, Mg	70
U: Klinik diagnosis	Murid mengerjakan empat skenario diagnosis gangguan pada bagian Remediasi. Untuk setiap skenario, murid menulis gejala, dugaan, perintah pembuktian, dan perbaikan (Lampiran 3, Bagian B). Guru dapat menyisipkan gangguan buatan pada konfigurasi pasangan lain (tukar-bug).	Bm, Mg	40
N: Nalar	Murid mengerjakan Kuis sepuluh soal secara individu, memeriksa jawaban, dan membaca topik Remediasi yang muncul.	Ks	20
Remediasi dan pengayaan	Murid dengan skor di bawah ambang mengulang topik dengan bimbingan teman tutor. Murid yang telah tuntas mengerjakan tantangan mandiri atau membantu membaca *log* temannya.	Ks, Mg	25
Penutup	Jurnal refleksi singkat (Lampiran 2) dan penjelasan tugas gelar karya untuk pertemuan 3.	Ks	15

Catatan guru

Pada tukar-bug, gangguan buatan hanya disisipkan di lingkungan simulasi atau mesin virtual milik sendiri, misalnya mengubah kata sandi pada bagian auth atau menutup rentang port RTP. Tujuannya melatih penalaran, bukan menjatuhkan teman; pasangan yang memperbaiki wajib menyebutkan buktinya dari *log*.

Pertemuan 3: Uji Transfer dan Gelar Karya (4 JP, 180 menit)

Fokus TP: TP 4 (transfer), TP 5, dan TP 6. **Pengalaman belajar:** mengaplikasi dan merefleksi.

Tabel 10. Langkah kegiatan Pertemuan 3

Tahap	Kegiatan pembelajaran	Prinsip	Menit
Pembuka	Narasumber tamu (teknisi, alumni, atau penyedia layanan setempat) menceritakan satu kasus gangguan telepon IP di lapangan selama sekitar sepuluh menit; murid mengajukan pertanyaan.	Bm	15
U: Uji transfer	**Jalur A (sarana memadai):** membangun Asterisk pada mesin virtual, menambahkan *extension* 1003 dan *ring group* 2000, serta mendaftarkan *softphone* ponsel. **Jalur B (sarana terbatas):** merancang secara tertulis rencana penomoran, aturan keamanan, perhitungan bandwidth, dan *dialplan* untuk kasus organisasi yang dipilih. Kedua jalur menghasilkan rekomendasi keamanan tertulis (TP 5).	Bm, Mg	70
N: Nalar dan konseptual	Murid menyusun kesimpulan tentang prinsip yang berlaku lintas kasus (urutan pemeriksaan dari lapisan terbawah, pentingnya port RTP, peran context) dan mengaitkannya dengan Delapan Dimensi Profil Lulusan.	Ks	20
G: Gelar karya	Setiap pasangan mempresentasikan produk (panduan satu halaman, video singkat, atau poster rancangan) selama lima menit, diikuti umpan balik teman sejawat dan guru memakai rubrik.	Bm, Mg	60
Penutup	Murid mengisi refleksi akhir dan melengkapi Paspor Misi. Guru menegaskan tindak lanjut: remediasi, pengayaan, atau pengembangan kokurikuler.	Ks	15

Catatan guru: perhitungan kapasitas
Satu panggilan dengan *codec* G.711 memerlukan sekitar 87 kbps per arah (termasuk *overhead* jaringan). Untuk 10 panggilan serentak: 10 × 87 kbps = 870 kbps, atau sekitar 0,9 Mbps per arah. Murid pada Jalur B memakai rumus ini untuk menentukan kebutuhan bandwidth organisasi pilihannya.

8. Pembelajaran Berdiferensiasi

Guru memetakan murid ke tiga jalur belajar berdasarkan asesmen diagnostik, lalu membuka kemungkinan berpindah jalur ketika kesiapan murid berubah. Pengelompokan bersifat cair, bukan label tetap.

Tabel 11. *Diferensiasi konten, proses, dan produk*

Profil kesiapan	Konten	Proses	Produk
Berkembang Belum terbiasa dengan terminal Linux	Jalur santai; Mode pemula aktif; Glosarium dan petunjuk dipakai bebas	Berpasangan dengan teman tutor; tujuh misi dikerjakan dengan tombol “Jalankan langkah ini” lalu dijelaskan ulang	Diagram alur panggilan beranotasi dan jurnal refleksi
Cakap Memahami dasar, perlu penguatan	Jalur santai beralih ke mandiri; Mode pemula dinonaktifkan mulai misi 4	Mengetik perintah sendiri; membaca *log* sebelum meminta bantuan	Laporan diagnosis empat skenario
Mahir Terbiasa dengan Linux	Jalur mandiri dan kilat; langsung ke tantangan mandiri dan bagian lanjutan (*dialplan* lanjutan, *trunk*, NAT)	Menjadi navigator bagi teman; menyisipkan gangguan buatan untuk dipecahkan teman	Konfigurasi mesin virtual dan panduan teknis untuk teman sekelas

Pintasan papan ketik pada aplikasi (Tab untuk melengkapi perintah, tanda panah untuk riwayat) membantu murid yang lambat mengetik. Untuk murid berkebutuhan khusus, guru juga menyediakan waktu pengerjaan lebih longgar dan peran yang tetap bermakna.

9. Rancangan Asesmen

Standar Proses menghendaki penilaian yang tidak berhenti pada tes tertulis. Asesmen dirancang berlapis: diagnostik untuk mengenali titik awal, formatif untuk memandu proses, dan sumatif untuk menetapkan ketercapaian TP.

Tabel 12. *Rancangan asesmen*

Jenis	Waktu	Instrumen	Tujuan
Diagnostik	Awal pertemuan 1	Tiga pertanyaan singkat; pengalaman terminal Linux	Memetakan kesiapan dan menentukan jalur belajar
Formatif	Sepanjang pertemuan	Paspor Misi; tiket keluar; observasi guru; penjelasan lisan; jurnal refleksi; pemeriksaan otomatis Lab	Memberi umpan balik dan menyesuaikan pembelajaran
Sumatif	Pertemuan 2 dan 3	Kuis aplikasi; unjuk kerja Lab; laporan diagnosis; produk gelar karya; refleksi akhir	Menentukan ketercapaian TP 1 sampai TP 6

a. Rubrik Penilaian Kinerja

Bobot mengacu pada usulan rubrik aplikasi (30, 20, 30, dan 20), dijabarkan ke dalam empat tingkat deskriptor agar penilaian transparan bagi murid.

Tabel 13. Rubrik penilaian kinerja

Aspek (bobot)	Sangat Baik (4)	Baik (3)	Cukup (2)	Perlu Bimbingan (1)
Konfigurasi *server* (30)	pjsip.conf dan *dialplan* benar tanpa peringatan; murid menjelaskan setiap baris	Konfigurasi benar dengan satu atau dua perbaikan; penjelasan hampir lengkap	Konfigurasi berjalan setelah dibantu; penjelasan sebagian	Konfigurasi belum berjalan; belum dapat menjelaskan
Keamanan jaringan (20)	Hanya SIP dan RTP dibuka; murid mengusulkan pembatasan akses dan alasan keamanan tambahan	Hanya SIP dan RTP dibuka; alasan keamanan dasar benar	Port terbuka benar tetapi alasan keliru atau tidak lengkap	Port keliru atau *firewall* tidak diatur
Pengujian dan analisis *log* (30)	Panggilan dua arah berhasil; penyebab semua galat dijelaskan dengan bukti *log* dan urutan pemeriksaan runtut	Panggilan berhasil; penyebab sebagian besar galat dijelaskan	Panggilan berhasil setelah dibantu; analisis *log* dangkal	Panggilan belum berhasil; *log* belum dibaca
Kuis dan remediasi (20)	Skor tinggi atau peningkatan jelas setelah remediasi, disertai refleksi bermakna	Skor memenuhi ambang; remediasi dikerjakan	Skor di bawah ambang; remediasi sebagian	Skor rendah; remediasi belum dikerjakan

b. Rubrik Gelar Karya

Tabel 14. Rubrik gelar karya dan dimensi profil lulusan

Kriteria	Sangat Baik	Baik	Perlu Dikembangkan
Ketepatan teknis	Rancangan atau panduan benar dan dapat direplikasi	Benar dengan kekeliruan kecil	Terdapat kekeliruan konsep
Kontekstualitas	Solusi sesuai kebutuhan dan kendala organisasi yang dipilih	Cukup sesuai	Kurang terkait kasus
Komunikasi	Penyajian runtut, jelas, dan dapat dipahami orang awam	Cukup jelas	Sulit diikuti
Kolaborasi dan tanggung jawab	Pembagian peran adil; kejujuran dan amanah tampak	Pembagian peran cukup baik	Peran tidak seimbang
Refleksi	Menyebut pembelajaran, kesalahan, dan tindak lanjut yang spesifik	Refleksi umum	Refleksi sebatas deskripsi

c. Penentuan Nilai dan Tindak Lanjut

Skor tiap aspek (1 sampai 4) dikonversi ke nilai dengan rumus **Nilai = Σ (skor ÷ 4 × bobot)**. Sebagai contoh, murid memperoleh skor 4 pada konfigurasi (30), 3 pada keamanan (20), 3 pada pengujian dan analisis *log* (30), dan 4 pada kuis dan remediasi (20): 30 + 15 + 22,5 + 20 = **87,5** (kategori Baik). Ambang tuntas 75 merupakan usulan aplikasi dan disesuaikan dengan KKTP satuan pendidikan.

Tabel 15. Kriteria ketercapaian dan tindak lanjut

Rentang nilai	Kategori	Tindak lanjut
90 sampai 100	Sangat Baik	Pengayaan: tantangan mandiri lanjutan, menjadi *tutor sebaya*, atau pengembangan produk kokurikuler
75 sampai 89	Baik	Penguatan ringan dan penugasan transfer pada kasus yang berbeda
60 sampai 74	Cukup	Remediasi terarah pada topik yang meleset (dari Remediasi aplikasi) dan asesmen ulang unjuk kerja
Di bawah 60	Perlu Bimbingan	Bimbingan intensif: pasangan tutor, jalur santai, dan pengulangan Lab dengan Mode pemula

d. Prinsip Umpan Balik

Remediasi dipahami sebagai ruang memperbaiki pemahaman, bukan hukuman. Guru memberi umpan balik yang spesifik (apa yang sudah benar, apa yang perlu diperbaiki, dan apa langkah berikutnya) serta memberi kesempatan kepada murid untuk membuktikan perbaikannya melalui unjuk kerja ulang. Perkembangan dimensi profil lulusan dicatat dengan Lembar Observasi (Lampiran 4) dan dilaporkan secara deskriptif.

10. Pengayaan dan Remedial

- **Pengayaan:** tantangan mandiri pada mesin virtual; bagian lanjutan Materi (*dialplan* lanjutan, *trunk*, dan NAT); menyisipkan gangguan buatan bagi teman; menyusun panduan teknis untuk kelas; menjadi *tutor sebaya*.
- **Remedial:** pengulangan topik pada Remediasi aplikasi dengan bimbingan teman tutor; pengerjaan ulang misi dengan Mode pemula; asesmen ulang unjuk kerja setelah murid siap, dengan umpan balik spesifik.

11. Integrasi Kokurikuler dan Lintas Bidang

Projek kokurikuler: Layanan Komunikasi Internal bagi Sekolah dan Masyarakat. Murid bekerja dalam kelompok untuk memetakan kebutuhan komunikasi sebuah mitra (misalnya ruang guru dan tata usaha, koperasi sekolah, kantor desa, atau pengurus pesantren), merancang penomoran dan keamanannya, lalu mendokumentasikan rancangan dalam panduan yang mudah dipahami pengelola.

> **Penting**
> Pada tahap pembelajaran, sentral yang dibangun murid tidak dibuka ke internet publik. Kelompok bekerja pada jaringan lokal atau mesin virtual. Keputusan memasang sentral nyata pada instansi mitra dilakukan bersama guru dan pihak berwenang di sekolah, dengan memperhatikan aspek keamanan.

Keterkaitan dengan pembelajaran lain:

- **Koding dan Kecerdasan Artifisial** (bila diselenggarakan): dekomposisi masalah diagnosis, pengenalan pola *dialplan* (misalnya `_100X`), dan otomasi pemeriksaan melalui skrip sederhana.
- **Bahasa Indonesia dan Bahasa Inggris:** penulisan panduan teknis, jurnal refleksi, serta pemahaman istilah dan dokumentasi berbahasa Inggris.
- **Matematika:** perhitungan bandwidth dan kapasitas panggilan.
- **Pendidikan Pancasila dan Agama:** etika privasi, amanah administrator, dan tanggung jawab terhadap data percakapan.
- **Praktik Kerja Lapangan dan *teaching factory*:** rancangan murid menjadi bekal saat magang pada penyedia layanan jaringan atau unit TI.

12. Strategi Implementasi dan Mitigasi Hambatan

Tabel 16. Hambatan lazim dan langkah mitigasinya

Hambatan	Mitigasi
Komputer terbatas dan tidak sebanding dengan jumlah murid	Kerja berpasangan dengan peran bergantian; rotasi stasiun; Materi, Glosarium, dan Kuis dapat dibuka juga di ponsel.
Internet tidak stabil atau tidak tersedia	Aplikasi berupa satu berkas HTML yang berjalan *offline*; guru menyalin berkas melalui *flashdisk* atau jaringan lokal; tidak ada instalasi.
Kemajuan tidak tersimpan setelah halaman dimuat ulang	Paspor Misi pada kertas, tangkapan layar tiap misi, dan pengingat agar tidak menutup tab sebelum dicatat.
Mesin virtual atau spesifikasi komputer terbatas	Tahap transfer memakai Jalur B (rancangan tertulis dan analisis kasus); mesin virtual diperagakan guru pada satu komputer sebagai demonstrasi.
Kesenjangan kemampuan antarmurid	Tiga jalur belajar, teman tutor, tombol petunjuk, dan pengayaan.
Beban administrasi guru	Modul ini dapat langsung diadaptasi; rubrik, jurnal, dan paspor siap pakai pada lampiran.
Anggapan bahwa simulasi sudah cukup	Tahap transfer dan gelar karya diwajibkan; asesmen menuntut unjuk kerja dan penjelasan, bukan sekadar hasil kuis.
Penyalahgunaan pengetahuan keamanan jaringan	Kontrak belajar etika: praktik hanya pada simulasi dan jaringan milik sendiri; diskusi risiko ditekankan sejak awal.

13. Refleksi Guru dan Murid

Refleksi guru dituntun tiga pertanyaan, lalu dicatat setelah setiap pertemuan sebagai bahan perbaikan dan, bila berkenan, penelitian tindakan kelas atau berbagi praktik baik di MGMP:

1. Apa yang berjalan baik, dan mengapa?
2. Apa yang tidak berjalan sesuai rencana, dan mengapa?
3. Apa yang akan saya ubah pada pertemuan berikutnya?

Refleksi murid dilakukan melalui tiket keluar dan Jurnal Refleksi (Lampiran 2). Keberhasilan inovasi dipantau dengan indikator usulan berikut.

Tabel 17. Indikator keberhasilan inovasi (usulan)

Indikator	Target	Sumber data
Murid mencapai KKTP	Sedikitnya 80 persen murid	Rekap nilai dan rubrik
Murid menjelaskan alur panggilan SIP tanpa melihat catatan	Sedikitnya 80 persen murid	Penjelasan lisan dan diagram
Murid mendiagnosis gangguan baru dengan urutan pemeriksaan runtut	Sedikitnya 70 persen murid	Laporan diagnosis
Keterlibatan dan kenyamanan belajar	Mayoritas murid berani mencoba dan tidak takut salah	Angket singkat dan jurnal
Peningkatan setelah remediasi	Skor naik pada murid yang mengikuti remediasi	Kuis awal dan akhir

Mengetahui,
Kepala SMK Ciledug Al Musaddadiyah

……
NIP. ……

Garut, …… 2026
Guru Mata Pelajaran

Aliyudin
NIP. ……

Lampiran 1. Bahan Bacaan Murid

Rangkuman ini mendampingi Materi pada aplikasi. Bacalah dengan pasangan Anda, lalu ubah menjadi penjelasan dengan kata sendiri.

A. Apa yang Dilakukan Sentral Telepon IP?

PBX (*Private Branch Exchange*) adalah sentral telepon yang menghubungkan nomor-nomor internal, yang disebut *extension*. Pada telepon IP, PBX berupa perangkat lunak (misalnya Asterisk) di sebuah *server*. Bayangkan sebuah kantor: operator menerima permintaan menyambungkan Anda ke ruang tertentu, lalu setelah tersambung, kedua pihak berbicara langsung. Pembagian tugas itulah yang menjelaskan dua jalur pada telepon IP.

- **SIP (*Session Initiation Protocol*)** bertugas sebagai sinyal: mendaftarkan telepon, memulai, dan mengakhiri panggilan. Port umum: 5060/udp.
- **RTP (*Real-time Transport Protocol*)** bertugas membawa suara. Pada modul ini rentang port RTP adalah 10000:20000/udp.

B. Alur Satu Panggilan



Gambar 1. *Alur satu panggilan dari INVITE hingga BYE (disederhanakan; Asterisk bertindak sebagai perantara).*

Perhatikan bahwa RTP (suara) baru mengalir setelah sinyal berhasil disepakati. Karena itu telepon dapat berstatus tersambung tetapi tidak ada suara: SIP berhasil, sedangkan RTP terhambat.

C. Contoh Konfigurasi PJSIP dan Dialplan

Contoh berikut bersifat ilustrasi untuk dua *extension* (1001 dan 1002). Gantilah kata sandi dengan kata sandi yang kuat dan tidak dibagikan.

/etc/asterisk/pjsip.conf

```
[transport-udp]
type=transport
protocol=udp
bind=0.0.0.0:5060

[1001]
type=endpoint
context=internal
disallow=all
allow=ulaw
auth=1001
aors=1001

[1001]
type=auth
auth_type=userpass
username=1001
password=GANTI-DENGAN-KATA-SANDI-KUAT

[1001]
type=aor
max_contacts=1
```

Ulangi tiga bagian terakhir untuk *extension* 1002 dengan nama dan kata sandi yang sesuai. Setiap *extension* memerlukan tiga bagian: *endpoint* (profil telepon), *auth* (identitas dan kata sandi), dan *aor* (tempat kontak registrasi disimpan).

/etc/asterisk/extensions.conf

```
[internal]
exten => _100X,1,Dial(PJSIP/${EXTEN},20)
 same => n,Hangup()

; ring group 2000 (tantangan pertemuan 3, Jalur A)
exten => 2000,1,Dial(PJSIP/1001&PJSIP/1002&PJSIP/1003,20)
 same => n,Hangup()
```

Pola `_100X` cocok dengan nomor 1000 sampai 1009. Nilai `context=internal` pada *endpoint* harus sama dengan nama context pada *dialplan*; jika berbeda, panggilan tidak menemukan tujuan.

D. Perintah Penting dan Aturan Firewall

Tabel 18. *Perintah yang dipakai pada tujuh misi dan diagnosis*

Kegunaan	Perintah
Memperbarui daftar paket	`apt update`
Memasang Asterisk	`apt install -y asterisk`
Menjalankan dan memeriksa layanan	`systemctl start asterisk` `systemctl status asterisk`
Membuka port SIP dan RTP	`ufw allow 5060/udp` `ufw allow 10000:20000/udp`
Memeriksa *firewall*	`ufw status`
Memuat ulang konfigurasi	`asterisk -rx "core reload"`
Melihat telepon terdaftar	`pjsip show endpoints`
Melihat *dialplan*	`dialplan show internal`

E. Membaca Kode Respons SIP

Tabel 19. *Kode respons dan dugaan awal penyebabnya*

Gejala	Arti singkat	Dugaan awal
403 Forbidden	Permintaan ditolak	Autentikasi gagal: nama pengguna atau kata sandi pada auth tidak cocok
404 Not Found	Tujuan tidak ditemukan	Nomor tidak ada pada *dialplan*, atau *endpoint* tujuan belum dibuat
480 Temporarily Unavailable	Tujuan sementara tidak dapat dihubungi	Telepon tujuan belum terdaftar atau sedang *offline*
Timeout (tidak ada respons)	Permintaan tidak dibalas	Layanan mati, *firewall* menutup 5060/udp, atau jaringan terputus
Tersambung tetapi tanpa suara	SIP berhasil, RTP bermasalah	Port RTP tertutup, masalah NAT, atau pengaturan direct_media

F. Keamanan Dasar

- Gunakan kata sandi yang kuat dan berbeda pada setiap *extension*; jangan memakai kata sandi yang sama dengan nomor *extension*.
- Buka hanya port yang diperlukan (SIP dan RTP) dan batasi akses bila memungkinkan.
- Jangan membuka sentral latihan ke internet publik; bekerjalah pada simulasi, jaringan lokal, atau mesin virtual milik sendiri.
- Pahami risiko penyalahgunaan sentral untuk panggilan berbayar tanpa izin, serta jaga privasi percakapan sebagai amanah administrator.

Lampiran 2. Paspor Misi dan Jurnal Refleksi

Paspor Misi menjadi bukti kemajuan karena aplikasi tidak menyimpan status misi setelah halaman dimuat ulang. Isilah setiap kali Anda menyelesaikan misi; rekan pasangan memaraf sebagai saksi.

Nama: …… Kelas: XI …… Pasangan: ……

Tabel 20. *Paspor Misi*

No.	Misi pada Lab *server*	Perintah atau berkas	Alasan (kata sendiri)	Paraf rekan
1	Memperbarui daftar paket	`apt update`		
2	Memasang Asterisk	`apt install -y asterisk`		
3	Menjalankan layanan	`systemctl start asterisk`		
4	Menulis *endpoint* PJSIP	`/etc/asterisk/pjsip.conf`		
5	Menulis *dialplan*	`/etc/asterisk/extensions.conf`		
6	Membuka port SIP dan RTP	`ufw allow 5060/udp` `ufw allow 10000:20000/udp`		
7	Memuat ulang konfigurasi dan memeriksa	`asterisk -rx "core reload"`		

Jurnal Refleksi

1. Apa satu konsep yang sekarang saya pahami lebih baik, dan bagaimana saya tahu bahwa saya memahaminya?

2. Kesalahan apa yang paling banyak mengajarkan saya, dan apa yang saya lakukan untuk memperbaikinya?

3. Jika sentral ini dipakai oleh orang lain, risiko apa yang harus saya cegah dan bagaimana caranya?

4. Pada bagian mana saya masih perlu bantuan, dan kepada siapa atau apa saya akan bertanya?

5. Bagaimana kerja sama dengan pasangan saya membantu atau menghambat pekerjaan saya?

Lampiran 3. Lembar Kerja Peta Log dan Klinik Diagnosis

A. Peta Log SIP (Pertemuan 2)

Buka *log* pada bagian *Softphone* dan CLI setelah satu panggilan berhasil. Tandai kapan setiap pesan terjadi, lalu cocokkan dengan diagram buatan Anda.

Tabel 21. *Lembar pemetaan log SIP*

Peristiwa	Tercatat pada *log* (ya/tidak)	Dikirim oleh → kepada	Arti bagi panggilan
REGISTER			
INVITE			
180 Ringing			
200 OK			
ACK			
BYE			

B. Laporan Klinik Diagnosis

Gunakan format berikut untuk setiap skenario gangguan dan sertakan bukti dari *log* atau keluaran perintah. Tuliskan dengan kalimat sendiri.

Tabel 22. *Contoh isian laporan diagnosis (gejala: telepon tersambung tetapi tanpa suara)*

Komponen	Contoh isian
Gejala	Panggilan 1001 ke 1002 berstatus tersambung, tetapi kedua pihak tidak mendengar suara.
Dugaan	SIP berfungsi karena panggilan tersambung; kemungkinan RTP terblokir *firewall* atau terdapat masalah NAT.
Pembuktian	Memeriksa `ufw status` untuk rentang 10000:20000/udp; memeriksa *log* apakah muncul peringatan RTP timeout.
Perbaikan	Membuka rentang port RTP pada *firewall*; menguji ulang panggilan.
Pelajaran	Sinyal dan suara memakai jalur berbeda; sambungan berhasil tidak menjamin suara mengalir.

Urutan pemeriksaan yang dianjurkan:

1. Layanan berjalan? Periksa dengan `systemctl status asterisk`.
2. *Firewall* terbuka? Periksa dengan `ufw status`.
3. Telepon sudah terdaftar? Periksa dengan `pjsip show endpoints`.
4. *Dialplan* cocok dan context sama dengan *endpoint*? Periksa dengan `dialplan show internal`.
5. Suara mengalir? Bila tersambung tetapi sunyi, periksa port RTP, NAT, dan direct_media.

C. Panduan Guru: Empat Skenario Klinik Diagnosis

Aplikasi menyediakan empat skenario pada bagian Remediasi. Skenario di bawah ini dapat dipakai sebagai acuan pembahasan; sesuaikan dengan skenario yang tampil pada versi aplikasi yang digunakan.

Tabel 23. *Acuan pembahasan skenario diagnosis*

Skenario	Gejala pada *log*	Pembuktian	Perbaikan
1. Telepon gagal mendaftar	403 Forbidden pada REGISTER	Bandingkan username dan password pada bagian auth dengan yang diisi di *softphone*	Samakan kredensial, muat ulang konfigurasi, daftar ulang
2. Nomor tujuan tidak dikenal	404 Not Found saat memanggil	Periksa *dialplan* show internal; periksa apakah *endpoint* tujuan ada	Tambahkan pola *dialplan* atau *endpoint* yang kurang
3. Tujuan tidak dapat dihubungi atau tidak merespons	480, atau timeout tanpa balasan	Periksa pjsip show endpoints dan ufw status untuk 5060/udp	Daftarkan telepon tujuan atau buka port SIP
4. Tersambung tanpa suara	Panggilan berhasil, tidak ada audio	Periksa ufw status untuk 10000:20000/udp; periksa NAT dan direct_media	Buka rentang RTP; sesuaikan pengaturan media

Lampiran 4. Instrumen Observasi dan Rekap Nilai

A. Lembar Observasi Dimensi Profil Lulusan

Beri tanda centang pada kolom yang sesuai: **B** (belum tampak), **M** (mulai tampak), **K** (konsisten). Nama murid atau kelompok: ……

Tabel 24. Lembar observasi dimensi profil lulusan

Dimensi	Indikator yang diamati	B	M	K
Keimanan dan ketakwaan	Jujur melaporkan hasil dan galat; amanah menjaga hak akses			
Kewargaan	Menaati kesepakatan etika praktik; menyadari batas kewenangan administrator			
Penalaran kritis	Menyusun dugaan dan membuktikannya dengan *log* atau perintah			
Kreativitas	Mengusulkan solusi atau fitur yang sesuai dengan kasus			
Kolaborasi	Bergantian peran, mendengarkan, dan memberi umpan balik yang santun			
Kemandirian	Beralih dari mode dibantu ke mode mandiri; menyelesaikan tugas tepat waktu			
Kesehatan	Mengatur jeda layar; menjaga postur; menerapkan K3 pada perangkat			
Komunikasi	Menjelaskan konsep dengan runtut; dokumentasi mudah diikuti			

B. Rekap Nilai Kinerja

Isi skor 1 sampai 4 pada tiap aspek, lalu hitung nilai dengan rumus pada Bagian B.9.c.

Tabel 25. Format rekap nilai kinerja

Nama murid	Konfigurasi (30)	Keamanan (20)	Pengujian dan *log* (30)	Kuis dan remediasi (20)	Nilai	Kategori

Lampiran 5. Soal Latihan dan Kunci Jawaban

Soal berikut melengkapi kuis pada aplikasi untuk menguji pengetahuan konseptual. Pilihlah satu jawaban yang paling tepat.

1. Fungsi RTP dalam panggilan telepon IP adalah ...

A. Mendaftarkan telepon ke *server*
B. Membawa data suara antarpihak
C. Menentukan nomor tujuan pada *dialplan*
D. Memberi kata sandi pada *extension*

2. Urutan pesan yang benar pada panggilan yang berhasil hingga berakhir adalah ...

A. INVITE, ACK, 200 OK, 180 Ringing, BYE
B. 180 Ringing, INVITE, ACK, 200 OK, BYE
C. INVITE, 180 Ringing, 200 OK, ACK, BYE
D. ACK, INVITE, 180 Ringing, BYE, 200 OK

3. Aturan *firewall* minimum agar SIP dan RTP berfungsi pada modul ini adalah ...

A. 5060/udp dan 10000:20000/udp
B. 80/tcp dan 443/tcp
C. 22/tcp dan 3306/tcp
D. 53/udp dan 123/udp

4. Panggilan tersambung, tetapi kedua pihak tidak mendengar suara. Dugaan yang paling tepat adalah ...

A. kata sandi *extension* salah
B. nomor tujuan belum ada pada *dialplan*
C. layanan Asterisk belum dijalankan
D. port RTP terblokir *firewall* atau terdapat masalah NAT

5. Telepon menerima 403 Forbidden saat mendaftar. Penyebab yang paling mungkin adalah ...

A. port RTP tertutup
B. nama pengguna atau kata sandi pada auth tidak cocok
C. kabel jaringan terlalu panjang
D. *codec* tidak tersedia

6. Pola *dialplan* `_100X` cocok dengan nomor ...

A. hanya 1000
B. 1001 sampai 1010
C. 1000 sampai 1009
D. semua nomor yang diawali angka 1

7. Urutan pemeriksaan gangguan yang runtut, dari lapisan terbawah, adalah ...

A. layanan, *firewall*, registrasi, *dialplan*, suara
B. *dialplan*, suara, layanan, *firewall*, registrasi
C. suara, *dialplan*, registrasi, *firewall*, layanan
D. registrasi, suara, layanan, *dialplan*, *firewall*

8. Perintah CLI untuk melihat telepon yang sudah terdaftar adalah …

A. `ufw status`
B. `systemctl status asterisk`
C. `dialplan show internal`
D. `pjsip show endpoints`

9. Satu panggilan G.711 memerlukan sekitar 87 kbps per arah. Kebutuhan 10 panggilan serentak adalah sekitar …

A. 0,09 Mbps per arah
B. 0,9 Mbps per arah
C. 9 Mbps per arah
D. 87 Mbps per arah

10. Langkah pengamanan dasar yang paling tepat adalah …

A. memakai kata sandi sama dengan nomor *extension* agar mudah diingat
B. membuka seluruh port agar tidak ada galat
C. memakai kata sandi kuat dan hanya membuka port yang diperlukan
D. membuka sentral ke internet publik selama praktik

Kunci Jawaban

Tabel 26. Kunci jawaban soal latihan

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kunci	B	C	A	D	B	C	A	D	B	C

Pembahasan singkat: nomor 4 dan 5 menguji pembedaan jalur suara dan jalur sinyal; nomor 9 memakai perhitungan 10 × 87 kbps = 870 kbps, atau sekitar 0,9 Mbps. Skor = jumlah jawaban benar × 10.

Lampiran 6. Glosarium

Tabel 27. Daftar istilah

Istilah	Pengertian
AOR (*Address of Record*)	Tempat Asterisk menyimpan alamat kontak telepon yang sedang terdaftar.
Auth	Bagian konfigurasi PJSIP yang memuat identitas dan kata sandi sebuah telepon.
Codec	Cara mengubah suara menjadi data digital dan sebaliknya; contoh G.711 (ulaw).
Context	Kelompok aturan *dialplan*; *endpoint* hanya dapat memakai aturan pada context yang sama dengannya.
Dialplan	Aturan yang menentukan apa yang dilakukan sentral ketika sebuah nomor dipanggil.
direct_media	Pengaturan yang memungkinkan suara mengalir langsung antartelepon tanpa melalui Asterisk; sering menjadi sumber masalah suara bila ada NAT.
Endpoint	Profil sebuah telepon pada Asterisk, memuat context, *codec*, dan rujukan ke auth serta aor.
Extension	Nomor internal yang dimiliki sebuah telepon, misalnya 1001.
Firewall	Penyaring lalu lintas jaringan yang mengizinkan atau menolak port tertentu.
INVITE	Pesan SIP yang meminta dimulainya sebuah panggilan.
NAT	Penerjemahan alamat jaringan yang dapat menyulitkan jalur suara bila tidak ditangani.
PBX	Sentral telepon pribadi yang menghubungkan nomor internal dan, bila dikonfigurasi, jaringan luar.
PJSIP	Modul SIP pada Asterisk yang dipakai untuk mendefinisikan *endpoint*, auth, dan aor.
Registrasi	Proses telepon melaporkan keberadaannya kepada sentral agar dapat dihubungi.
RTP	Protokol pembawa data suara selama panggilan berlangsung.
SIP	Protokol sinyal untuk mendaftarkan, memulai, dan mengakhiri panggilan.
Softphone	Aplikasi telepon pada komputer atau ponsel yang berfungsi seperti pesawat telepon.
Trunk	Sambungan antara sentral dan sentral lain atau penyedia layanan telepon.

Daftar Pustaka

Aliyudin. (2026). *VoIP Lab: Asterisk dan FreePBX, Modul Praktik versi 2.6* [Aplikasi web]. SMK Ciledug Al Musaddadiyah, Garut.

Asterisk Project. (t.t.). *Asterisk documentation*. https://docs.asterisk.org

Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan. (t.t.). *Capaian pembelajaran mata pelajaran SMK/MAK*. https://kurikulum.kemdikbud.go.id

Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah Republik Indonesia. (2025). *Peraturan Menteri Pendidikan Dasar dan Menengah Nomor 10 Tahun 2025 tentang Standar Kompetensi Lulusan*.

Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah Republik Indonesia. (2025). *Peraturan Menteri Pendidikan Dasar dan Menengah Nomor 12 Tahun 2025 tentang Standar Isi*.

Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah Republik Indonesia. (2025). *Peraturan Menteri Pendidikan Dasar dan Menengah Nomor 13 Tahun 2025 tentang Perubahan atas Peraturan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Nomor 12 Tahun 2024 tentang Kurikulum*.

Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah Republik Indonesia. (2026). *Peraturan Menteri Pendidikan Dasar dan Menengah Nomor 1 Tahun 2026 tentang Standar Proses*.

Rosenberg, J., Schulzrinne, H., Camarillo, G., dkk. (2002). *SIP: Session Initiation Protocol* (RFC 3261). Internet Engineering Task Force.

Schulzrinne, H., Casner, S., Frederick, R., & Jacobson, V. (2003). *RTP: A transport protocol for real-time applications* (RFC 3550). Internet Engineering Task Force.

InfoPublik. (2025). *Tidak ada kurikulum baru, Kemendikdasmen tegaskan K13 dan Merdeka masih berlaku*. https://www.infopublik.id

Catatan: rujukan regulasi dihimpun per 28 November 2026 dari publikasi resmi dan pemberitaan; naskah lengkap sebaiknya diverifikasi pada laman resmi Kemendikdasmen dan JDIH.