MODUL AJAR · PEMBELAJARAN MENDALAM · KURIKULUM MERDEKA

Modul Ajar

Pembelajaran Mendalam

Merancang, Membangun, dan Mengoperasikan Layanan Jaringan Nirkabel melalui Simulasi Proyek NetBiz Studio

Aliyudin
Guru Mata Pelajaran Produktif TKJ
SMKS Ciledug Al Musaddadiyah, Garut

Tahun Ajaran 2026/2027 · Fase F · 4 pertemuan × 4 JP

Daftar Isi

Petunjuk Penggunaan Modul 4

A. Identitas Modul 4

B. Identifikasi 4

1. Karakteristik peserta didik . . . 4
2. Materi pembelajaran . . . 5
3. Dimensi Profil Lulusan yang dikuatkan . . . 5

C. Desain Pembelajaran 5

1. Capaian Pembelajaran . . . 5
2. Topik . . . 5
3. Tujuan pembelajaran dan indikator . . . 5
4. Pemahaman bermakna . . . 5
5. Pertanyaan pemantik . . . 6
6. Praktik pedagogis . . . 6
7. Kemitraan pembelajaran . . . 6
8. Lingkungan pembelajaran . . . 6
9. Pemanfaatan digital . . . 6
10. Sarana dan prasarana . . . 6
11. Keselamatan, legalitas, dan etika (wajib dibacakan pada pertemuan 1) . . . 6

D. Peta Alur Pembelajaran 7

E. Pengalaman Belajar 8

Pertemuan 1 – Dari Brief Klien ke Link Budget (4 JP, 180 menit) . . . 8
Pertemuan 2 – RAB dan Penawaran yang Sehat (4 JP, 180 menit) . . . 10
Pertemuan 3 – Konfigurasi, Keamanan, dan K3 (4 JP, 180 menit) . . . 11
Pertemuan 4 – Evaluasi, Tiket Gangguan, dan Presentasi Portofolio (4 JP, 180 menit) . . . 13

F. Rancangan Asesmen 14

1. Asesmen pada tiga tahap . . . 14
2. Komposisi nilai (dapat disesuaikan sekolah) . . . 14
3. Prinsip keadilan asesmen . . . 14

G. Diferensiasi dan Pembelajaran Inklusif 14

H. Pengayaan dan Remedial 15

I. Refleksi Guru dan Tindak Lanjut 15

Lampiran A. Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) 16

LKPD 1 – Prediksi dan Perhitungan Link Budget . . . 16
LKPD 2 – RAB dan Penawaran . . . 17
LKPD 3 – Konfigurasi, Keamanan, dan K3 . . . 17
LKPD 4 – RCA, Jurnal Refleksi, dan Proposal . . . 18

Lampiran B. Ringkasan Rumus dan Glosarium 19

Lampiran C. Asesmen Diagnostik dan Pasca-tes (10 butir) 20

Lampiran D. Rubrik Penilaian 21

Rubrik 1 – Perancangan link dan RAB 21

Rubrik 2 – Diagnosis dan RCA 21

Rubrik 3 – Komunikasi dan presentasi 21

Rubrik 4 – Sikap kerja, K3, etika, dan kolaborasi 21

Lampiran E. Lembar Observasi Singkat (per pasangan, per pertemuan) 22

Lampiran F. Antisipasi Kendala Teknis di Kelas 22

Daftar Rujukan 22

Petunjuk Penggunaan Modul

> *Modul ini merupakan kelanjutan operasional dari Naskah Inovasi Pembelajaran NetBiz Studio.*

Modul ini disusun dengan komponen yang lazim dipakai pada perangkat ajar Pembelajaran Mendalam: identifikasi, desain pembelajaran, pengalaman belajar (memahami, mengaplikasi, merefleksi), dan asesmen pada awal, proses, serta akhir pembelajaran. Pembelajaran Mendalam adalah pendekatan yang memperkuat Kurikulum Merdeka, bukan kurikulum baru.

Tiga hal perlu Anda lakukan sebelum memakainya:

1. Ganti bagian bertanda **[...]** dengan data sekolah dan kelas Anda.
2. Salin Capaian Pembelajaran (CP) mata pelajaran dari dokumen resmi terbaru, lalu petakan ke tujuan pembelajaran di bawah. Modul ini sengaja tidak mengutip bunyi CP agar tidak keliru.
3. Uji simulator NetBiz Studio v8 pada perangkat siswa secara offline sebelum pertemuan pertama.

Angka pada contoh perhitungan mengikuti model yang disederhanakan untuk belajar. Validasikan dengan alat nyata sebelum dipakai untuk klien sungguhan.

A. Identitas Modul

Unsur	Keterangan
Penyusun	Aliyudin
Satuan pendidikan	SMKS Ciledug Al Musaddadiyah, Garut
Mata pelajaran	Produktif TKJ/TJKT **[sesuaikan nama mata pelajaran]**
Fase	Fase F
Alokasi waktu	4 pertemuan × 4 JP (1 JP = 45 menit; 180 menit per pertemuan)
Model pembelajaran	Pembelajaran berbasis proyek dan masalah dengan simulasi, dilengkapi Prediksi-Amati-Jelaskan
Media utama	NetBiz Studio v8 (HTML offline), lembar kerja (LKPD), perangkat jaringan nyata atau RouterOS CHR bila tersedia
Jumlah siswa	36 siswa per kelas (rombel standar), bekerja berpasangan sehingga terbentuk 18 pasangan

B. Identifikasi

1. Karakteristik peserta didik

Siswa Fase F umumnya sudah mengenal dasar jaringan: alamat IP, topologi, dan fungsi perangkat. Tingkat kesiapan mereka bervariasi pada tiga hal: kenyamanan dengan angka dan logaritma sederhana, kemahiran membaca antarmuka baris perintah, dan kepercayaan diri berbicara di depan kelas. Lakukan asesmen diagnostik pada awal pertemuan 1 (Lampiran C) untuk memetakan kesiapan, lalu bentuk pasangan yang saling melengkapi.

Catatan tindak lanjut untuk kebutuhan khusus: sediakan petunjuk bertahap bagi siswa yang membutuhkan, waktu tambahan bagi siswa yang bekerja lebih lambat, dan tantangan tambahan bagi siswa yang cepat. Hasil asesmen diagnostik menjadi dasar pembagian ini, bukan label tetap.

2. Materi pembelajaran

Jenis pengetahuan	Isi
Konseptual	Gelombang radio, frekuensi 2,4 dan 5 GHz, dBm dan dBi, redaman ruang bebas, fade margin, zona Fresnel, dan komponen HPP
Prosedural	Menghitung link budget, menyusun RAB, mengonfigurasi IP, DHCP, NAT, dan queue pada RouterOS, serta menelusuri gangguan secara bottom-up
Metakognitif	Memprediksi, memeriksa prediksi dengan data, dan menjelaskan selisihnya; menulis refleksi dan RCA

3. Dimensi Profil Lulusan yang dikuatkan

Utama: **penalaran kritis, kolaborasi, kemandirian, komunikasi, dan kesehatan** (keselamatan kerja). Pendukung: kewargaan (kepatuhan aturan dan izin), keimanan dan ketakwaan (kejujuran dan amanah), serta kreativitas (solusi hemat yang aman).

C. Desain Pembelajaran

1. Capaian Pembelajaran

[Tuliskan CP dari dokumen resmi terbaru untuk mata pelajaran ini. Tandai elemen yang berkaitan dengan jaringan nirkabel, perancangan dan estimasi biaya, administrasi router, keamanan, dan troubleshooting.]

2. Topik

Perancangan, simulasi, dan operasi layanan Wi-Fi/RT-RW Net untuk klien usaha kecil.

3. Tujuan pembelajaran dan indikator

Kode	Tujuan pembelajaran	Indikator ketercapaian
TP1	Menghitung dan mengevaluasi link budget serta menyimpulkan kelayakan pilihan radio	Menghitung FSPL, RSSI, dan fade margin dengan benar; memutuskan layak, marginal, atau tidak layak disertai alasan
TP2	Menyusun RAB dan menetapkan harga penawaran yang sehat	Memisahkan biaya material, tenaga, dan risiko; menghitung harga dari margin yang diinginkan
TP3	Mengonfigurasi layanan jaringan dasar pada router	Enam perintah RouterOS terselesaikan dan dapat dijelaskan fungsinya
TP4	Menerapkan K3, aspek legalitas, dan etika data dalam pemasangan	Memilih tindakan K3 yang tepat pada skenario dan memberi alasan
TP5	Mendiagnosis gangguan jaringan secara sistematis dan mendokumentasikannya	Menetapkan akar masalah dari bukti diagnostik dan menulis RCA yang lengkap

4. Pemahaman bermakna

Keputusan teknis tidak berdiri sendiri. Pilihan radio, tinggi tiang, dan konfigurasi memengaruhi biaya, keselamatan, dan kepercayaan pelanggan, sehingga teknisi yang baik memutuskan berdasarkan bukti dan mempertanggungjawabkannya.

5. Pertanyaan pemantik

- Apakah radio termahal pasti pilihan terbaik? Kapan ia justru berlebihan?
- Sinyal Anda kuat, tetapi internet klien tetap lambat. Apa saja kemungkinan penyebabnya?
- Kapan seorang teknisi profesional berhak, bahkan wajib, menolak sebuah proyek?
- Mengapa dokumentasi sama pentingnya dengan konfigurasi?

6. Praktik pedagogis

Proyek simulasi berjenjang (enam tahap NetBiz Studio), Prediksi-Amati-Jelaskan pada pertemuan 1, kerja berpasangan dengan peran bergilir (network engineer dan estimator), diskusi terbimbing, dan umpan balik formatif pada tiap pertemuan.

7. Kemitraan pembelajaran

Narasumber praktisi jaringan lokal atau pengelola RT/RW Net (hadir langsung, daring, atau rekaman) pada pertemuan 2 dan 4; guru produktif sejawat sebagai pengamat; Teaching Factory sekolah sebagai ruang praktik lanjutan. **[Tuliskan mitra yang benar-benar tersedia.]**

8. Lingkungan pembelajaran

- **Ruang fisik:** laboratorium komputer atau kelas dengan meja yang memudahkan kerja berpasangan dan papan tulis untuk merekam prediksi.
- **Ruang virtual:** simulator offline; berkas hasil dikumpulkan lewat Kode hasil.
- **Budaya belajar:** aman untuk salah, menuntut alasan, dan menghargai pertanyaan.

Pengelolaan kelas 36 siswa: bentuk 18 pasangan dalam 3 zona (6 pasangan per zona) dengan satu peer tutor per zona, sehingga guru dapat memantau secara bergilir dan tetap sempat mengajukan pertanyaan penuntun pada tiap pasangan. Sediakan 18 perangkat dan tetapkan peran awal engineer dan estimator sebelum pertemuan dimulai.

9. Pemanfaatan digital

NetBiz Studio v8 (offline); kalkulator ilmiah atau lembar hitung; RouterOS CHR atau emulator bila tersedia; aplikasi Wi-Fi analyzer pada ponsel untuk demonstrasi kondisi nyata; rekap kelas CSV dari panduan guru simulator.

10. Sarana dan prasarana

Laptop atau ponsel siswa (cukup satu per pasangan, yaitu 18 perangkat untuk 36 siswa), proyektor, kabel UTP dan satu router untuk demonstrasi bila ada, LKPD cetak atau digital, lembar observasi (Lampiran E).

11. Keselamatan, legalitas, dan etika (wajib dibacakan pada pertemuan 1)

- Simulasi tidak menggantikan pelatihan K3. Pekerjaan di ketinggian atau pada instalasi listrik nyata hanya dilakukan di bawah supervisi dan prosedur sekolah atau mitra.
- Praktik konfigurasi dilakukan pada perangkat lab yang terisolasi. Jangan mengubah router produksi sekolah dan jangan memindai atau menguji jaringan milik orang lain tanpa izin tertulis.
- Data pelanggan, termasuk dalam simulasi, diperlakukan sebagai data yang harus dijaga.
- Aturan frekuensi, daya, dan perizinan dapat berubah. Periksa ketentuan resmi terbaru sebelum merekomendasikan apa pun pada klien nyata.

D. Peta Alur Pembelajaran

Pertemuan	Fokus	Tahap NetBiz Studio	TP	Produk
1	Brief klien dan link budget	1–2	TP1	Lembar prediksi dan perhitungan link budget
2	RAB dan penawaran	3	TP2	RAB, harga penawaran, dan hasil negosiasi
3	Konfigurasi, keamanan, dan K3	4	TP3, TP4	Konfigurasi terdokumentasi dan keputusan K3
4	Evaluasi, tiket gangguan, dan presentasi	5–6	TP5 (dan konsolidasi TP1–4)	RCA, jurnal refleksi, dan proposal satu halaman

E. Pengalaman Belajar

Pertemuan 1 – Dari Brief Klien ke Link Budget (4 JP, 180 menit)

Tujuan: TP1. **Prinsip dominan:** berkesadaran dan bermakna.

Persiapan guru: pasang NetBiz Studio pada perangkat siswa; siapkan Lampiran C (asesmen diagnostik) dan LKPD 1; tulis dua pertanyaan pemantik di papan; siapkan satu cerita klien singkat (misalnya pemilik warung yang Wi-Fi-nya tidak menjangkau saung di belakang).

Waktu	Tahap	Kegiatan guru	Kegiatan siswa	Prinsip
15 menit	Awal	Salam, doa, dan penyiapan belajar. Membacakan catatan keselamatan dan etika. Menyajikan cerita klien dan pertanyaan pemantik. Membagikan asesmen diagnostik	Menjawab diagnostik singkat. Menuliskan **prediksi**: radio mana yang akan dipilih dan berapa kira-kira margin sinyalnya, beserta alasannya	Berkesadaran
40 menit	Memahami	Mini-ceramah interaktif: dBm dan dBi, FSPL, RSSI, fade margin, zona Fresnel. Mendemonstrasikan satu contoh hitung di papan (lihat Contoh Soal di bawah). Mengajak siswa membaca brief dan data survei di simulator	Mencatat rumus, mencoba contoh dengan kalkulator, mendiskusikan hipotesis dengan pasangan	Bermakna
80 menit	Mengaplikasi	Berkeliling sebagai mentor; mengajukan pertanyaan, bukan memberi jawaban. Menantang pasangan yang cepat dengan membandingkan 2,4 GHz dan 5 GHz	Menjalankan tahap 1–2 di simulator, mencoba setidaknya dua radio, mencatat RSSI, margin cuaca buruk, dan kapasitas pada LKPD 1. Mencari pilihan yang aman dan paling hemat	Bermakna, menggembirakan
30 menit	Merefleksi	Memfasilitasi diskusi kelas: memilih dua pasangan dengan hasil berbeda untuk memaparkan alasan. Menutup dengan pertanyaan: kapan boleh menolak proyek?	Membandingkan prediksi dengan hasil, menulis tiga kalimat refleksi: apa yang berbeda, mengapa, dan apa yang akan diubah	Berkesadaran
15 menit	Penutup	Menyimpulkan bersama, memberi umpan balik cepat, dan menayangkan pratinjau pertemuan 2	Merangkum satu hal terpenting yang dipelajari; menyimpan Kode hasil	Menggembirakan

Contoh soal berkunci (untuk demonstrasi):

AP 2,4 GHz (2437 MHz), daya pancar 20 dBm, gain AP 3 dBi, gain perangkat klien 2 dBi, jarak 180 m, redaman halangan 17 dB, rugi konektor 0,5 dB, sensitivitas penerima −80 dBm.

- FSPL = 20 log(0,18) + 20 log(2437) + 32,44 ≈ −14,9 + 67,7 + 32,4 ≈ **85,3 dB**
- RSSI = 20 + 3 + 2 − 85,3 − 17 − 0,5 ≈ **−77,8 dBm**
- Fade margin = −77,8 − (−80) ≈ **2,2 dB**

Kesimpulan: secara nominal tersambung, tetapi marginnya sangat tipis. Praktik umum menginginkan cadangan sekitar 10–15 dB atau lebih (kebijakan ditetapkan sendiri oleh perusahaan), sehingga rancangan ini **tidak layak tanpa perbaikan**, misalnya AP dengan gain lebih besar, posisi yang lebih baik, atau memperpendek jalur halangan.

Contoh soal kedua (link PtP): 5800 MHz, jarak 1,2 km, daya 24 dBm, gain masing-masing antena 23 dBi, rugi 1,5 dB.

- FSPL = 20 log(1,2) + 20 log(5800) + 32,44 ≈ 1,6 + 75,3 + 32,4 ≈ **109,3 dB**
- RSSI = 24 + 23 + 23 − 109,3 − 1,5 ≈ **−40,8 dBm**; fade margin terhadap −80 dBm ≈ 39 dB
- Fresnel zona 1 di titik tengah: r = 8,657 × √(d km / f GHz) = 8,657 × √(1,2 / 5,8) ≈ **3,9 m**; ruang bebas minimal 60% ≈ **2,4 m**
- Tonjolan bumi (k = 4/3) ≈ d^2 / 68 meter = 1,44 / 68 ≈ **0,02 m**, yaitu dapat diabaikan pada 1,2 km. Pada 20 km nilainya sekitar 5,9 m, sehingga barulah penting.

Poin diskusi: link ini kuat secara daya, tetapi kelayakannya tetap bergantung pada **tinggi tiang** agar jalur bebas dari pohon dan bangunan. Daya yang besar tidak menggantikan jalur yang bersih.

Miskonsepsi yang perlu diantisipasi: sinyal kuat berarti internet cepat (abaikan SNR dan noise); 5 GHz selalu lebih baik (jangkauan dalam ruangan lebih pendek, dinding dan pohon meredam lebih kuat; redaman hujan pada 5 GHz kecil); nilai dBm yang lebih negatif berarti lebih kuat (sebaliknya).

Asesmen pertemuan 1: prediksi (awal), observasi kerja pasangan dan LKPD 1 (proses), refleksi tiga kalimat (akhir).

Pertemuan 2 – RAB dan Penawaran yang Sehat (4 JP, 180 menit)

Tujuan: TP2. **Prinsip dominan:** bermakna dan menggembirakan.

Persiapan guru: LKPD 2; contoh RAB sederhana; peran klien yang dimainkan guru, siswa lain, atau mitra untuk simulasi negosiasi.

Waktu	Tahap	Kegiatan guru	Kegiatan siswa	Prinsip
15 menit	Awal	Mengulas hasil pertemuan 1. Pertanyaan pemantik: jika harga terlalu murah atau terlalu mahal, siapa yang rugi?	Menjawab dan mengaitkan dengan proyek yang sudah mereka pilih	Bermakna
40 menit	Memahami	Menjelaskan komponen HPP (material, tenaga, transportasi, risiko), perbedaan **markup** dan **margin**, dan cadangan kontinjensi. Membahas contoh hitung	Menghitung contoh: HPP Rp4.000.000 dan margin 25% dari harga jual. Harga = 4.000.000 / 0,75 ≈ **Rp5.333.333**; bukan 4.000.000 × 1,25 = Rp5.000.000	Berkesadaran
80 menit	Mengaplikasi	Memberi data pasar lokal sebagai bahan; memantau; menjadi klien dalam negosiasi	Menyusun RAB di tahap 3 simulator, memilih tim dan jadwal, menetapkan harga, menawarkan kontrak perawatan. Memerankan negosiasi (klien meminta diskon 20%) dan mencatat dampaknya pada laba	Bermakna, menggembirakan
30 menit	Merefleksi	Menampilkan dua RAB berbeda untuk dibandingkan	Menilai komponen mana yang dapat dihemat tanpa mengorbankan keselamatan dan margin sinyal; menulis keputusan dan alasannya	Berkesadaran
15 menit	Penutup	Menyimpulkan prinsip harga yang sehat dan mengumumkan pertemuan 3	Menyimpan Kode hasil; menyelesaikan jurnal singkat	Menggembirakan

Poin diskusi etika: menurunkan kualitas material atau melewatkan grounding demi menjaga margin adalah keputusan yang berisiko bagi klien dan reputasi. Bahas bersama mengapa diskon yang terlalu besar bisa berujung pada pekerjaan yang tidak aman.

Asesmen pertemuan 2: kelengkapan dan ketepatan RAB, alasan penetapan harga, dan keterlibatan dalam negosiasi (rubrik Lampiran D).

Pertemuan 3 – Konfigurasi, Keamanan, dan K3 (4 JP, 180 menit)

Tujuan: TP3 dan TP4. **Prinsip dominan:** bermakna dan berkesadaran.

Persiapan guru: LKPD 3; satu router lab atau RouterOS CHR untuk demonstrasi dan praktik lanjutan bila tersedia; daftar perintah verifikasi; skenario K3 singkat.

Waktu	Tahap	Kegiatan guru	Kegiatan siswa	Prinsip
15 menit	Awal	Pertanyaan pemantik: router baru keluar dari kardus dan langsung dipasang di tempat klien. Apa risikonya? Mengingatkan kembali catatan keselamatan dan etika	Menyebutkan risiko yang terpikir (kata sandi bawaan, layanan terbuka, tanpa cadangan konfigurasi)	Berkesadaran
40 menit	Memahami	Menjelaskan alur logis: WAN (ether1) ke ISP, LAN (ether2) ke klien, alamat gateway, DHCP (pool, network, server), NAT, dan pembatasan bandwidth. Mendemonstrasikan satu perintah beserta arti parameternya. Menjelaskan dasar keamanan dan K3	Menggambar diagram alur singkat pada LKPD 3; mencatat fungsi tiap perintah dengan kata-kata sendiri	Bermakna
80 menit	Mengaplikasi	Memantau lab terminal, memberi petunjuk bertahap hanya bila diminta. Memfasilitasi keputusan K3, legalitas, dan keamanan pada tahap 4	Menyelesaikan enam perintah di lab terminal simulator. Mengambil keputusan K3, legalitas, dan keamanan pada tahap 4, lalu menulis alasan. Bila ada perangkat lab atau CHR, mengulang perintah yang sama dan memverifikasinya	Bermakna, menggembirakan
30 menit	Merefleksi	Memilih dua keputusan yang paling sering keliru untuk dibahas bersama; menanyakan akibat nyatanya bagi klien	Menjelaskan satu keputusan yang akan mereka ubah dan mengapa. Menghubungkan perintah konfigurasi dengan gejala gangguan yang mungkin muncul (pratinjau tiket)	Berkesadaran
15 menit	Penutup	Menyimpulkan: konfigurasi yang benar adalah konfigurasi yang terdokumentasi dan aman	Menyimpan Kode hasil dan mencatat satu pertanyaan yang masih mengganjal	Menggembirakan

Enam perintah RouterOS pada lab terminal (kunci untuk guru):

No	Fungsi	Perintah
1	Alamat gateway LAN	`/ip address add address=192.168.10.1/24 interface=ether2`
2	Pool alamat klien	`/ip pool add name=pool1 ranges=192.168.10.10-192.168.10.200`
3	Parameter DHCP untuk klien	`/ip dhcp-server network add address=192.168.10.0/24 gateway=192.168.10.1 dns-server=8.8.8.8`
4	Mengaktifkan layanan DHCP	`/ip dhcp-server add name=dhcp1 interface=ether2 address-pool=pool1 disabled=no`
5	NAT agar klien keluar lewat WAN	`/ip firewall nat add chain=srcnat out-interface=ether1 action=masquerade`
6	Pembatasan bandwidth	`/queue simple add name=limit target=192.168.10.0/24 max-limit=5M/5M`

Perintah verifikasi pada perangkat lab: `/ip address print`, `/ip dhcp-server print`, `/ip firewall nat print`, `/queue simple print`, dan `/ping 8.8.8.8` bila WAN tersambung.

Dasar keamanan yang dibahas (pengayaan): mengganti kredensial bawaan dengan kata sandi kuat; menonaktifkan layanan manajemen yang tidak dipakai; membatasi akses manajemen hanya dari jaringan LAN; memperbarui firmware pada jadwal yang terkendali; mengamankan Wi-Fi dengan WPA2 atau WPA3; serta menyimpan cadangan konfigurasi setelah serah terima, misalnya dengan `/system backup save name=serah-terima` dan `/export file=serah-terima`.

Dasar K3 yang dibahas: menunda pekerjaan di ketinggian saat petir, hujan deras, atau angin kencang; memakai APD (helm, sabuk pengaman, sepatu kerja); bekerja minimal berdua; menjauhi kabel listrik; memasang grounding dan pelindung lonjakan pada perangkat luar ruang; serta menutup konektor kabel luar ruang dengan boot dan sealing yang tepat, termasuk membuat drip loop. Ingatkan sekali lagi bahwa ini pembelajaran konsep. Praktik di ketinggian memerlukan pelatihan dan supervisi resmi.

Asesmen pertemuan 3: hasil lab terminal (proses), ketepatan alasan pada keputusan K3 dan keamanan (proses), dan lembar observasi sikap kerja (Lampiran E).

Pertemuan 4 – Evaluasi, Tiket Gangguan, dan Presentasi Portofolio (4 JP, 180 menit)

Tujuan: TP5 dan konsolidasi TP1–4. **Prinsip dominan:** berkesadaran dan menggembirakan.

Persiapan guru: LKPD 4; templat RCA; rubrik presentasi; jadwal tampil singkat; mitra atau tamu penilai bila ada.

Waktu	Tahap	Kegiatan guru	Kegiatan siswa	Prinsip
15 menit	Awal	Pertanyaan pemantik: sinyal kuat, tetapi klien mengeluh internet lambat. Apa yang akan Anda periksa lebih dulu?	Mengajukan dugaan, tanpa dinilai benar atau salah	Berkesadaran
30 menit	Memahami	Mengenalkan metode diagnosis bottom-up (fisik, tautan data, IP, layanan, aplikasi) dan format RCA. Mendiskusikan satu contoh tiket sebagai model	Mencatat langkah diagnosis; membedakan gejala, penyebab langsung, dan akar masalah	Bermakna
85 menit	Mengaplikasi	Memantau, menahan diri dari memberi jawaban langsung, mengajukan pertanyaan penuntun	Membaca berita acara uji dan laba rugi (tahap 5). Menyelesaikan tiket di tahap 6, menulis catatan RCA, menulis jurnal refleksi, dan menyusun proposal satu halaman untuk klien	Bermakna, menggembirakan
35 menit	Merefleksi	Memilih 5 pasangan (bergilir antarsiklus) untuk presentasi 3 menit; 13 pasangan lainnya melakukan galeri karya dan memberi umpan balik pada kartu. Mitra memberi masukan	Mempresentasikan keputusan terpenting, bukti angka, dan hal yang akan diubah. Memberi umpan balik teman	Berkesadaran
15 menit	Penutup	Menyimpulkan keseluruhan proyek dan mengumumkan tindak lanjut	Mengisi angket singkat; mengirim Kode hasil	Menggembirakan

Templat RCA satu halaman: (1) gejala yang dilaporkan klien; (2) bukti diagnostik yang dikumpulkan; (3) lapisan yang diperiksa dan urutannya; (4) akar masalah; (5) tindakan perbaikan; (6) tindakan pencegahan; (7) pembelajaran.

Bank tiket gangguan (bahan diskusi dan penilaian):

Keluhan klien	Bukti diagnostik utama	Akar masalah	Pelajaran
Wi-Fi lambat tiap sore	Ping ke gateway normal; torch menunjukkan satu IP memakai sekitar 80% trafik; sinyal baik	Satu klien memonopoli bandwidth karena tidak ada queue per pengguna	Pembatasan bandwidth per pengguna, bukan mengganti perangkat
Internet mati sejak hujan	ether1 link-down; konektor luar ruang tanpa boot dan ada embun	Air masuk ke konektor atau kabel luar ruang	Mulai dari lapisan fisik; sealing dan drip loop
HP tersambung Wi-Fi tetapi tanpa internet	Klien mendapat IP 169.254.x.x; server DHCP berflag nonaktif	Layanan DHCP tidak aktif	Alamat 169.254.x.x menandakan gagal mendapat DHCP
Putus-putus saat malam	Banyak AP tetangga di kanal 1 dan 6; noise tinggi; kanal kita berada di antara keduanya	Interferensi kanal dan SNR buruk	Pindah ke kanal yang paling sepi (misalnya 11) atau gunakan 5 GHz

Asesmen pertemuan 4: ketepatan diagnosis tiket, mutu RCA, jurnal refleksi, proposal satu halaman, dan presentasi (rubrik Lampiran D).

F. Rancangan Asesmen

1. Asesmen pada tiga tahap

Tahap	Tujuan	Bentuk dan instrumen
Awal	Memetakan pengetahuan awal, miskonsepsi, dan kesiapan	Asesmen diagnostik 10 butir (Lampiran C); lembar prediksi pertemuan 1
Proses	Memberi umpan balik formatif sepanjang pembelajaran	Observasi kerja pasangan; LKPD 1–4; hasil lab terminal; pembahasan keputusan; lembar observasi sikap (Lampiran E)
Akhir	Menilai capaian dan refleksi	Pasca-tes 10 butir yang sama atau diparalelkan (Lampiran C); portofolio; RCA; jurnal refleksi; proposal satu halaman; presentasi

2. Komposisi nilai (dapat disesuaikan sekolah)

Komponen	Bobot	Sumber bukti
Perancangan link dan estimasi biaya	25%	LKPD 1–2, rubrik Lampiran D
Konfigurasi, keamanan, dan K3	20%	Lab terminal, keputusan tahap 4, observasi
Diagnosis dan RCA	20%	Tiket tahap 6, rubrik RCA
Jurnal refleksi dan presentasi	15%	Jurnal, rubrik komunikasi
Skor simulator	10%	Kode hasil / rekap CSV
Sikap dan kolaborasi	10%	Lembar observasi

Skor simulator sengaja hanya bagian kecil dari nilai. Bukti yang paling bernilai adalah alasan di balik keputusan siswa.

3. Prinsip keadilan asesmen

- Siswa boleh mengulang proyek. Yang dinilai adalah perkembangan dan kualitas alasan, bukan percobaan pertama saja.
- Kegagalan simulasi dibahas bersama sebagai bahan belajar dan tidak dipakai untuk mempermalukan.
- Setiap komponen memakai rubrik yang dibagikan sebelum pekerjaan dimulai.

G. Diferensiasi dan Pembelajaran Inklusif

Aspek	Kebutuhan lebih dukungan	Kebutuhan tantangan
Konten	Mulai dari brief Warung; kartu rumus dan contoh hitung bertahap; kamus istilah	Brief RT/RW Net dengan tinggi tiang dan zona Fresnel; membandingkan dua kandidat radio
Proses	Berpasangan dengan peer tutor; petunjuk bertahap pada terminal; waktu tambahan	Menjelaskan alternatif dan untung-rugi; memvalidasi hasil dengan alat nyata atau CHR
Produk	Refleksi dengan kalimat pemandu; presentasi dengan lembar bantu	Memilih format refleksi (tertulis, lisan, atau video singkat); menulis RCA dengan rencana pencegahan terukur

Perhatikan juga kebutuhan aksesibilitas (ukuran huruf layar, kontras, dan waktu) dan pastikan semua siswa memiliki akses ke perangkat, walaupun hanya satu per pasangan.

H. Pengayaan dan Remedial

- **Pengayaan:** menyusun proposal yang membandingkan dua rancangan dengan analisis untung-rugi; mengonfigurasi keamanan dasar pada CHR; membuat diagram jaringan sebagai dokumentasi serah terima.
- **Remedial:** pengulangan proyek Warung dengan kartu rumus; sesi tutor sebaya untuk perhitungan dBm; latihan membaca bukti diagnostik pada tiket yang lebih sederhana.

I. Refleksi Guru dan Tindak Lanjut

1. Bagian mana dari rancangan yang paling memicu penalaran siswa, dan apa buktinya?
2. Apakah siswa mengejar skor atau memahami alasan? Apa tanda-tandanya?
3. Pasangan mana yang butuh strategi berbeda pada siklus berikutnya?
4. Keputusan apa pada pertemuan yang perlu saya sederhanakan atau perdalam?
5. Bukti apa (foto, pekerjaan siswa, kutipan jurnal) yang perlu saya arsipkan untuk naskah inovasi?

Catat jawaban setelah tiap pertemuan. Catatan ini menjadi bahan bab Hasil dan Pembahasan pada naskah inovasi.

Lampiran A. Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD)

LKPD 1 – Prediksi dan Perhitungan Link Budget

Nama pasangan: **[...]** Kelas: **[...]** Peran (engineer / estimator): **[...]**

Bagian 1. Prediksi (isi sebelum membuka simulator)

Pertanyaan	Jawaban
Radio yang akan saya pilih dan alasannya	
Perkiraan margin sinyal (aman / tipis / tidak layak)	
Faktor yang paling saya khawatirkan	

Bagian 2. Data dan perhitungan

Besaran	Nilai
Frekuensi (MHz) dan jarak (km)	
Daya pancar (dBm), gain pemancar dan penerima (dBi)	
Redaman halangan dan rugi konektor (dB)	
FSPL = 20 log(d km) + 20 log(f MHz) + 32,44	
RSSI = Tx + Gtx + Grx − FSPL − redaman − rugi	
Fade margin = RSSI − sensitivitas penerima	
Radius Fresnel zona 1 di tengah = 8,657 × √(d km / f GHz) dan 60% darinya	

Bagian 3. Hasil simulator dan refleksi

Pertanyaan	Jawaban
Hasil simulator (RSSI, margin cuaca buruk, kapasitas)	
Selisih dengan prediksi dan penjelasannya	
Keputusan: layak, marginal, atau tidak layak, disertai alasan	
Satu hal yang akan saya ubah	

LKPD 2 – RAB dan Penawaran

Item	Jumlah	Harga satuan (Rp)	Subtotal (Rp)
Perangkat radio dan antena			
Kabel, konektor, dan perlengkapan luar ruang			
Tiang, bracket, dan grounding			
Tenaga kerja dan transportasi			
Cadangan risiko (kontinjensi)			
HPP total			

Perhitungan	Hasil
Margin yang diinginkan dari harga jual (%)	
Harga jual = HPP / (1 – margin)	
Laba bersih dan margin riil	
Hasil negosiasi (diskon yang diminta, laba setelah diskon)	
Keputusan dan alasan (apakah tetap menerima?)	

LKPD 3 – Konfigurasi, Keamanan, dan K3

Bagian 1. Gambarlah diagram alur singkat: ISP, WAN (ether1), router, LAN (ether2), dan klien. Tandai di mana DHCP, NAT, dan queue bekerja.

No	Perintah	Fungsi (dengan kata sendiri)	Hasil verifikasi
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Bagian 2. Keputusan K3, legalitas, dan keamanan

Skenario	Keputusan saya	Alasan dan risiko jika keliru

Bagian 3. Daftar periksa serah terima: kredensial bawaan diganti; layanan tak terpakai dinonaktifkan; cadangan konfigurasi disimpan; kata sandi Wi-Fi diserahkan kepada klien secara aman; dokumentasi (diagram dan konfigurasi) diserahkan. Beri tanda untuk yang sudah dilakukan.

LKPD 4 – RCA, Jurnal Refleksi, dan Proposal

Bagian RCA	Isi
Gejala yang dilaporkan	
Bukti diagnostik	
Lapisan yang diperiksa (urutan)	
Akar masalah	
Perbaikan	
Pencegahan	
Pembelajaran	

Jurnal refleksi (3–4 kalimat): keputusan teknis mana yang paling berpengaruh pada laba dan kualitas, apa bukti angkanya, dan apa yang akan Anda ubah.

Proposal satu halaman untuk klien: (1) kebutuhan klien; (2) solusi yang diusulkan dan alasannya; (3) perkiraan kinerja (margin sinyal); (4) biaya dan skema perawatan; (5) risiko dan cara mengatasinya; (6) jadwal.

Lampiran B. Ringkasan Rumus dan Glosarium

Rumus

- FSPL (dB) = 20 $\log_{10}$(d dalam km) + 20 $\log_{10}$(f dalam MHz) + 32,44
- RSSI (dBm) = daya pancar + gain pemancar + gain penerima − FSPL − redaman halangan − rugi kabel dan konektor
- Fade margin (dB) = RSSI − sensitivitas penerima
- Radius Fresnel zona 1 (m) = 8,657 × √(d km / f GHz); ruang bebas yang dijaga minimal 60%
- Tonjolan bumi di titik tengah (m) ≈ d^2 / 68 untuk d dalam km dan faktor k = 4/3
- Harga jual = HPP / (1 − margin dari harga jual); markup = (harga jual − HPP) / HPP

Istilah	Arti
dBm	Satuan daya dalam desibel terhadap 1 mW; makin tinggi (kurang negatif), makin kuat
dBi	Gain antena relatif terhadap antena isotropik
EIRP	Daya terpancar efektif: daya pancar ditambah gain antena dikurangi rugi
RSSI	Kekuatan sinyal yang diterima
SNR	Perbandingan sinyal terhadap noise; menentukan kualitas koneksi
Fade margin	Cadangan sinyal di atas batas sensitivitas penerima
Zona Fresnel	Daerah elips di sekitar jalur gelombang yang sebaiknya bebas halangan
HPP	Harga pokok penjualan: seluruh biaya langsung untuk menyelesaikan proyek
RAB	Rencana anggaran biaya
RCA	Root cause analysis, analisis akar masalah
DHCP	Layanan pemberian alamat IP otomatis
NAT	Penerjemahan alamat jaringan
APIPA	Alamat 169.254.x.x yang dipakai klien ketika gagal mendapat DHCP

Lampiran C. Asesmen Diagnostik dan Pasca-tes (10 butir)

Gunakan butir yang sama pada awal dan akhir, atau paralelkan angkanya agar siswa tidak sekadar mengingat jawaban.

1. Manakah sinyal yang paling kuat? (a) −75 dBm (b) −55 dBm (c) −90 dBm (d) semuanya sama
2. Menambah gain antena sebesar 3 dB kira-kira setara dengan: (a) mengurangi daya setengahnya (b) menggandakan daya efektif (c) menambah daya tiga kali (d) tidak berpengaruh
3. Fade margin adalah: (a) selisih RSSI dan sensitivitas penerima (b) jarak maksimum link (c) kecepatan data (d) jumlah klien
4. Ruang bebas zona Fresnel pertama yang umumnya dijaga minimal: (a) 10% (b) 30% (c) 60% (d) 100% dari radius mana pun
5. Awan gelap menggelap dan petir terdengar saat Anda akan naik tiang. Tindakan yang tepat: (a) menyelesaikan cepat-cepat (b) menunda pekerjaan di ketinggian (c) naik tanpa APD agar cepat (d) bekerja sendirian agar tidak mengganggu
6. HPP sebuah proyek Rp4.000.000 dan Anda menginginkan margin 25% dari harga jual. Harga jual yang tepat: (a) Rp5.000.000 (b) Rp5.333.333 (c) Rp5.250.000 (d) Rp6.000.000
7. Klien mendapat alamat IP 169.254.x.x. Penyebab paling mungkin: (a) DHCP gagal memberi alamat (b) DNS rusak (c) sinyal terlalu kuat (d) NAT salah
8. Antarmuka ether1 berstatus link-down setelah hujan deras. Langkah pertama: (a) memeriksa kabel, konektor, dan PoE (b) reset pabrik (c) ganti ISP (d) ubah kanal Wi-Fi
9. Pada 2,4 GHz dengan lebar kanal 20 MHz, kombinasi kanal yang umum dipakai agar tidak saling tumpang tindih: (a) 1, 6, 11 (b) 1, 2, 3 (c) 3, 4, 5 (d) 2, 3, 4
10. Fungsi NAT masquerade pada router: (a) menerjemahkan alamat privat klien menjadi alamat WAN saat keluar (b) membatasi kecepatan (c) memberi IP otomatis (d) mengenkripsi Wi-Fi

Kunci: 1 b; 2 b; 3 a; 4 c; 5 b; 6 b; 7 a; 8 a; 9 a; 10 a.

Pembahasan singkat: (1) nilai yang kurang negatif berarti lebih kuat. (2) 3 dB berarti sekitar dua kali lipat daya. (4) 60% adalah praktik umum; lebih bersih lebih baik bila memungkinkan. (6) margin dihitung dari harga jual sehingga harga = HPP/0,75, bukan HPP × 1,25. (7) APIPA muncul ketika klien tidak mendapat balasan dari DHCP server. (8) lapisan fisik diperiksa lebih dulu karena paling murah dan paling mendasar. (9) tiga kanal tersebut tidak saling menimpa pada lebar 20 MHz.

Lampiran D. Rubrik Penilaian

Skor tiap kriteria 1–4. Nilai = (jumlah skor ÷ skor maksimum) × 100. Bagikan rubrik kepada siswa sebelum mereka mengerjakan.

Rubrik 1 – Perancangan link dan RAB

Kriteria	1 Perlu bimbingan	2 Berkembang	3 Cakap	4 Mahir
Ketepatan perhitungan	Banyak kesalahan rumus dan satuan	Rumus benar, ada kesalahan hitung	Perhitungan benar dan lengkap	Benar, dilengkapi pemeriksaan kewajaran hasil
Kesimpulan kelayakan	Tanpa kesimpulan	Kesimpulan tanpa alasan	Kesimpulan didukung margin sinyal	Mempertimbangkan margin, risiko, dan alternatif
Kewajaran RAB dan harga	Komponen tidak lengkap	Lengkap, harga tidak sehat	Lengkap, margin sehat	Lengkap, margin sehat, dan memuat cadangan risiko

Rubrik 2 – Diagnosis dan RCA

Kriteria	1 Perlu bimbingan	2 Berkembang	3 Cakap	4 Mahir
Penggunaan bukti	Tidak merujuk bukti	Merujuk bukti tanpa alasan	Merujuk bukti dengan alasan teknis	Menghubungkan bukti dari beberapa lapisan
Metode	Menebak	Sebagian runtut	Bottom-up dengan urutan jelas	Bottom-up dan menyingkirkan hipotesis lain
Perbaikan dan pencegahan	Tidak ada	Umum	Spesifik	Spesifik, terukur, dan terdokumentasi

Rubrik 3 – Komunikasi dan presentasi

Kriteria	1 Perlu bimbingan	2 Berkembang	3 Cakap	4 Mahir
Struktur dan alasan	Tidak terstruktur	Struktur ada, alasan lemah	Terstruktur dan beralasan	Meyakinkan dengan data dan menjawab pertanyaan dengan baik
Penggunaan bahasa dan istilah	Banyak istilah keliru	Cukup tepat	Tepat dan jelas	Tepat, jelas, dan sesuai audiens klien
Refleksi	Tidak ada	Menyebut kejadian	Menjelaskan sebab dan perubahan	Menunjukkan pembelajaran yang dapat diterapkan

Rubrik 4 – Sikap kerja, K3, etika, dan kolaborasi

Kriteria	1 Perlu bimbingan	2 Berkembang	3 Cakap	4 Mahir
K3 dan kepatuhan	Mengabaikan prosedur	Patuh bila diingatkan	Patuh secara mandiri	Patuh dan mengingatkan rekan
Etika dan kejujuran	Menyembunyikan kesalahan	Mengakui bila ditanya	Jujur melaporkan hasil	Jujur dan memperbaiki dengan terbuka
Kolaborasi	Mendominasi atau pasif	Berbagi tugas	Berbagi dan bertukar peran	Mendukung pasangan dan menyelesaikan perbedaan

Lampiran E. Lembar Observasi Singkat (per pasangan, per pertemuan)

Indikator	1	2	3	4	Catatan
Mengajukan pertanyaan atau hipotesis yang bernalar					
Membagi peran dan bertukar peran					
Menggunakan bukti (angka, keluaran perintah) untuk memutuskan					
Mematuhi prosedur K3 dan etika					
Menangani kesalahan secara konstruktif					

Lampiran F. Antisipasi Kendala Teknis di Kelas

Kendala	Penanganan
Berkas simulator tidak terbuka	Buka dengan peramban modern (Chrome, Edge, Firefox) lewat menu Open File; hindari pratinjau dalam aplikasi pesan
Kemajuan tidak tersimpan	Sebagian peramban membatasi penyimpanan pada berkas lokal; simulator tetap berjalan, gunakan Kode hasil untuk mencatat hasil
Perintah terminal tidak diterima	Periksa ejaan, spasi, dan huruf; setiap parameter berbentuk kunci=nilai tanpa spasi di sekitar tanda sama dengan; gunakan petunjuk bila perlu
Perangkat tidak cukup	Satu perangkat per pasangan; atau bergantian per tahap
Siswa selesai lebih cepat	Berikan tantangan pengayaan (Bagian H)
Waktu kurang	Pertemuan 4 dapat dipecah: tiket dan RCA pada sesi pertama, presentasi pada sesi berikutnya

Daftar Rujukan

- Kemendikdasmen, Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan. (2025). *Pembelajaran mendalam menuju pendidikan bermutu untuk semua*. Jakarta.
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning*. Prentice Hall.
- Biggs, J. (1996). Enhancing teaching through constructive alignment. *Higher Education*, *32*(3), 347–364.
- White, R., dan Gunstone, R. (1992). *Probing understanding*. Falmer Press.
- Kapur, M. (2008). Productive failure. *Cognition and Instruction*, *26*(3), 379–424.
- Rappaport, T. S. (2002). *Wireless communications: Principles and practice* (2nd ed.). Prentice Hall. (rujukan redaman ruang bebas dan link budget)
- ITU-R. Rekomendasi P.838 (redaman spesifik akibat hujan). Tersedia pada laman ITU.
- MikroTik. *RouterOS documentation*. Tersedia pada help.mikrotik.com.

Rujukan kebijakan dan regulasi dapat diperbarui; periksa dokumen resmi terbaru sebelum memakai modul ini.