NASKAH KARYA INOVASI PEMBELAJARAN

NetTrace Lab

Simulator Analisis Paket Jaringan Offline Berbasis Penelusuran Bertahap untuk Pembelajaran Jaringan Dasar di SMK



Dari gambaran besar, ke bahasa sehari-hari, hingga ke byte, lalu ke praktik.

Disusun oleh

Aliyudin

Guru Mata Pelajaran Produktif Teknik Komputer dan Jaringan (TKJ)

SMKS Ciledug Al Musaddadiyah, Garut

Kata Pengantar

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan kemudahan-Nya, sehingga naskah sederhana ini dapat diselesaikan. Salawat dan salam semoga tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, teladan bagi setiap pendidik dalam menuntun manusia dari tidak tahu menjadi tahu.

Naskah ini berangkat dari satu kegelisahan yang barangkali juga akrab bagi banyak guru jaringan komputer: bahwa sesuatu yang begitu penting dalam kehidupan digital hari ini, yaitu perjalanan paket data, justru tidak pernah terlihat oleh mata. Kabel hanya tampak sebagai kabel, lampu indikator hanya berkedip. Padahal di balik satu halaman web yang terbuka, ada percakapan singkat dan tertib antara laptop, router, server nama, dan server web.

NetTrace Lab adalah ikhtiar kecil untuk membuat percakapan itu dapat disimak. Ia berupa satu berkas yang dibuka di peramban, berjalan tanpa internet, dan menemani siswa menelusuri paket demi paket, dari penjelasan dengan bahasa sehari-hari hingga ke byte yang menyusunnya. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa ini bukan jawaban tunggal bagi tantangan pembelajaran jaringan. Ia hanyalah satu alat bantu di antara banyak alat lain, dan nilainya baru terbukti jika dipakai, diuji, dan diperbaiki bersama.

Naskah ini disusun dengan bahasa yang diupayakan mudah diikuti oleh guru, calon guru, maupun siapa saja yang tertarik belajar jaringan. Penulis berterima kasih kepada seluruh rekan guru, para siswa, dan semua pihak yang, langsung maupun tidak langsung, memberi inspirasi dan dukungan. Segala kekurangan sepenuhnya merupakan tanggung jawab penulis. Kritik dan saran yang membangun akan diterima dengan lapang dada dan rasa terima kasih.

Garut

Aliyudin

Abstrak

Konsep dasar jaringan komputer seperti DHCP, ARP, DNS, dan TCP bersifat abstrak karena prosesnya tidak terlihat. Di sisi lain, kondisi pembelajaran di banyak sekolah vokasi ditandai keterbatasan perangkat laboratorium, konektivitas yang tidak selalu stabil, jam pelajaran yang padat, dan kesiapan awal siswa yang beragam. Naskah ini memaparkan NetTrace Lab, sebuah media pembelajaran berupa satu berkas HTML yang berjalan sepenuhnya offline di peramban tanpa instalasi. Media ini menyajikan lima skenario penelusuran paket secara bertahap, penangkap paket bergaya Wireshark dengan rincian lapisan dan byte heksadesimal, peta jaringan beranimasi, latihan dan kuis, terminal mini dengan misi praktik, enam kasus diagnosis gangguan jaringan, serta fasilitas pelaporan hasil untuk guru tanpa memerlukan server.

Rancangan dilandasi teori konstruktivisme sosial, scaffolding, beban kognitif, prinsip pembelajaran multimedia, pembelajaran berbasis pengalaman, dan asesmen formatif. Verifikasi teknis terhadap lima belas paket pada skenario alur lengkap menunjukkan bahwa panjang dan checksum IP, UDP, serta TCP konsisten dengan standar. Naskah ini juga menyajikan model penerapan empat pertemuan, rencana evaluasi, serta keterbatasan yang jujur. Hasil uji coba pembelajaran di kelas belum dilaporkan dan dirancang sebagai tahap berikutnya.

Kata kunci: simulasi jaringan, analisis paket, pembelajaran offline, SMK, TKJ, DHCP, ARP, DNS, TCP, asesmen formatif

Abstract

Core networking protocols such as DHCP, ARP, DNS and TCP are difficult to teach because packet exchange is invisible. Many vocational schools additionally face limited lab equipment, unreliable connectivity, tight schedules and mixed prior knowledge. This paper presents NetTrace Lab, a single-file HTML learning tool that runs fully offline in any browser. It offers five step-by-step packet scenarios, a Wireshark-style packet inspector down to hexadecimal bytes, an animated network map, practice items and quizzes, a mini terminal with missions, six troubleshooting cases, and a serverless reporting mechanism for teachers. The design draws on social constructivism, scaffolding, cognitive load theory, multimedia learning principles, experiential learning and formative assessment. Fifteen packets in the full-flow scenario were technically verified for length and checksum consistency. Classroom effectiveness has not yet been measured; an evaluation plan and an honest account of limitations are provided.

Keywords: *network simulation, packet analysis, offline learning, vocational education, formative assessment*

Daftar Isi

Kata Pengantar 2

Abstrak 3

Daftar Isi 4

Pendahuluan 6

A. Latar Belakang 6

B. Identifikasi Masalah 6

C. Rumusan Masalah 7

D. Tujuan 7

E. Manfaat 7

F. Ruang Lingkup dan Batasan 7

Kajian Teoretis 9

A. Karakter Materi Jaringan: Abstrak dan Berlapis 9

B. Konstruktivisme Sosial dan Scaffolding 9

C. Beban Kognitif dan Pembelajaran Multimedia 9

D. Belajar dari Pengalaman 9

E. Asesmen Formatif 10

F. Standar Protokol sebagai Rujukan Keakuratan 10

G. Kerangka Berpikir 10

Deskripsi Inovasi 11

A. Gagasan Utama 11

B. Prinsip Rancangan 11

C. Komponen Utama 12

D. Keakuratan Teknis 15

E. Kebaruan dan Kebermanfaatan 15

Implementasi di Kelas 16

A. Prasyarat dan Distribusi 16

B. Siklus Pembelajaran Lima Langkah 16

C. Usulan Rangkaian Empat Pertemuan 16
D. Pertanyaan Pemantik 17
E. Diferensiasi 17
F. Asesmen 17
G. Tantangan yang Mungkin Dihadapi dan Antisipasinya 18

Rencana Evaluasi dan Indikator Keberhasilan 19
A. Pertanyaan Evaluasi 19
B. Desain Sederhana 19
C. Indikator dan Instrumen 19
D. Etika dan Perlindungan Data 19

Keterbatasan dan Rencana Pengembangan 21
A. Keterbatasan 21
B. Rencana Pengembangan 21

Penutup 23
A. Simpulan 23
B. Saran 23
C. Kata Akhir 23

Daftar Pustaka 24

Lampiran A. Daftar Perintah dan Misi Terminal Mini 25

Lampiran B. Enam Kasus Troubleshooting (Ringkasan) 26

Lampiran C. Contoh Rubrik dan Angket 27

BAB I

Pendahuluan

A. Latar Belakang

Jaringan komputer adalah salah satu pengetahuan paling tidak kasat mata yang dipelajari siswa sekolah menengah kejuruan. Ketika sebuah halaman web terbuka, belasan paket berpindah di antara beberapa perangkat dalam hitungan milidetik, mulai dari permintaan alamat IP, pencarian alamat fisik perangkat tetangga, penerjemahan nama menjadi angka, hingga jabat tangan sebelum data sebenarnya dikirim. Semua itu terjadi tanpa suara, tanpa gambar, dan tanpa jeda yang dapat dirasakan. Kabel dan lampu indikator hanya memberi tahu bahwa ada sesuatu yang mengalir, bukan apa yang mengalir.

Sementara itu, realitas pendidikan kita sangat beragam. Setiap sekolah menghadapi kondisi yang berbeda: laboratorium yang jumlah unitnya tidak selalu sebanding dengan jumlah siswa, perangkat dengan spesifikasi yang bermacam-macam, bandwidth yang terbatas atau tidak stabil, jam pelajaran yang padat, serta guru yang pada saat yang sama menjadi pengajar, teknisi laboratorium, dan pengelola administrasi. Tidak sedikit siswa yang lebih sering mengakses materi dari telepon genggam daripada dari laptop. Penulis memandang kondisi-kondisi ini bukan sebagai alasan untuk berhenti, melainkan sebagai titik tolak merancang pembelajaran yang realistis.

Alat profesional seperti Wireshark, serta simulator jaringan yang tersedia luas, sangat berharga dan tetap menjadi tujuan akhir pembelajaran. Namun bagi siswa yang baru pertama kali berjumpa dengan istilah *packet*, *header*, dan *flag*, antarmuka yang padat dengan puluhan kolom dapat menjadi hambatan awal, bukan jembatan. Penggunaannya pun umumnya memerlukan instalasi, perangkat yang memadai, dan waktu pembiasaan yang tidak singkat.

Dari kegelisahan itulah gagasan NetTrace Lab muncul: sebuah simulator berkas tunggal yang dibuka di peramban tanpa internet dan tanpa instalasi, yang memandu siswa mengikuti satu perjalanan paket langkah demi langkah. Media ini tidak dimaksudkan menggantikan praktik di laboratorium, melainkan menjadi **jembatan**: dari gambaran besar, ke bahasa sehari-hari, ke byte, lalu ke praktik nyata.

> **Catatan penulis**
> *Naskah ini ditulis dengan kesadaran bahwa setiap kelas memiliki konteksnya sendiri. Yang ditawarkan adalah sebuah rancangan yang terbuka untuk disesuaikan, bukan resep tunggal yang harus diikuti apa adanya.*

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian di atas, permasalahan pembelajaran jaringan dasar yang hendak dijawab dapat dirumuskan sebagai berikut.

1. Konsep protokol bersifat abstrak dan prosesnya tidak terlihat, sehingga siswa cenderung menghafal nama istilah tanpa membayangkan alurnya.
2. Keterbatasan sarana dan konektivitas membuat praktik langsung tidak selalu dapat dilakukan oleh setiap siswa secara bergantian dan memadai.
3. Alat analisis profesional bersifat padat bagi pemula, sehingga beban kognitif awal terlalu tinggi.
4. Umpan balik belajar sering terlambat; pada kelas besar, guru sulit memantau pemahaman tiap siswa secara berkala.
5. Kemampuan mendiagnosis gangguan jaringan, yang merupakan keterampilan inti di dunia kerja, jarang dilatihkan secara sistematis sebelum siswa menghadapi kasus nyata.

C. Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang media pembelajaran jaringan dasar yang dapat berjalan offline pada perangkat sederhana, namun tetap akurat secara teknis?
2. Bagaimana media tersebut dapat diterapkan dalam rangkaian pembelajaran di kelas SMK?
3. Bagaimana efektivitas dan kebermanfaatannya dapat dinilai secara jujur dan terukur?

D. Tujuan

Penyusunan karya ini bertujuan untuk: (1) menghasilkan media pembelajaran jaringan dasar yang offline, ringan, dan akurat; (2) menyusun model penerapannya dalam pembelajaran di kelas, lengkap dengan asesmen dan diferensiasi; (3) menyiapkan rancangan evaluasi agar dampak pembelajarannya dapat diuji pada tahap berikutnya; dan (4) membagikan karya ini sebagai bahan bersama yang dapat dipakai dan diperbaiki oleh pendidik lain.

E. Manfaat

Pihak	Manfaat yang diharapkan
Siswa	Dapat melihat, mencoba, dan mengulang proses jaringan dengan tempo sendiri; memperoleh umpan balik langsung; membangun kepercayaan diri sebelum praktik di laboratorium.
Guru	Memperoleh media siap pakai, pertanyaan pemantik, kuis, dan rekap hasil tanpa perlu menyiapkan server atau akun.
Sekolah	Menambah pilihan media pembelajaran yang murah, mudah dibagikan, dan tidak bergantung pada internet maupun lisensi.
Pembelajar umum	Memperoleh pintu masuk yang ramah untuk memahami cara kerja jaringan dari nol.

F. Ruang Lingkup dan Batasan

Media mencakup alur jaringan IPv4 pada jaringan lokal dengan satu router: DHCP, ARP, DNS, TCP, HTTP, dan ICMP (pada terminal mini). Data paket dirangkai ulang untuk tujuan belajar dan bukan tangkapan jaringan sungguhan. Naskah ini belum membahas IPv6, enkripsi (TLS), maupun perutean lanjutan. Batasan-batasan ini dibahas lebih lengkap pada Bab VI.

BAB II

Kajian Teoretis

Rancangan NetTrace Lab tidak lahir dari intuisi semata. Bab ini merangkum landasan teori yang menjadi pegangan, sekaligus menunjukkan bagaimana tiap landasan diterjemahkan ke dalam keputusan rancangan.

A. Karakter Materi Jaringan: Abstrak dan Berlapis

Materi jaringan dasar memiliki dua tantangan khas. Pertama, objek belajarnya tidak terlihat: paket, protokol, dan tabel yang berubah di dalam memori perangkat. Kedua, ia berlapis: satu paket HTTP dibungkus oleh TCP, lalu IP, lalu Ethernet, sehingga siswa harus menahan beberapa lapisan makna sekaligus. Materi dengan karakter seperti ini membutuhkan *visualisasi* untuk membuat yang abstrak menjadi konkret, dan *pemilahan* untuk membuat yang berlapis menjadi bertahap.

B. Konstruktivisme Sosial dan Scaffolding

Vygotsky (1978) menekankan bahwa belajar paling efektif terjadi dalam *zona perkembangan proksimal*, yaitu jarak antara apa yang dapat dilakukan siswa sendiri dan apa yang dapat dilakukannya dengan bantuan yang tepat. Bantuan tersebut kemudian dikenal sebagai *scaffolding* (Wood, Bruner, & Ross, 1976): dukungan sementara yang dikurangi seiring bertambahnya kemampuan. Dalam NetTrace Lab, scaffolding diwujudkan melalui tiga lapis penjelasan pada setiap paket (bahasa sehari-hari, sisi teknis, dan byte mentah), petunjuk pada latihan, serta Mode Ahli yang baru dibuka ketika siswa siap.

C. Beban Kognitif dan Pembelajaran Multimedia

Teori beban kognitif (Sweller, 1988) mengingatkan bahwa memori kerja manusia terbatas; informasi yang menumpuk sekaligus mengurangi kapasitas untuk memahami. Mayer (2009) menurunkan sejumlah prinsip pembelajaran multimedia, di antaranya *segmenting* (menyajikan materi dalam segmen yang dapat dikendalikan pembelajar), *signaling* (memberi penanda pada hal penting), dan *coherence* (menyingkirkan hal yang tidak perlu). Rancangan NetTrace Lab mengikutinya: satu langkah per layar, tombol Maju dan Mundur yang dikendalikan siswa, penyorotan bidang yang sedang dibahas pada rincian paket dan byte, serta tampilan sederhana secara bawaan dengan tampilan lengkap ala Wireshark hanya pada Mode Ahli.

D. Belajar dari Pengalaman

Kolb (1984) menggambarkan belajar sebagai siklus pengalaman konkret, observasi reflektif, konseptualisasi abstrak, dan eksperimen aktif. Terminal mini dan kasus diagnosis memberi ruang bagi siswa untuk mencoba, mengamati akibatnya pada peta dan daftar paket, lalu menarik kesimpulan, tanpa risiko merusak jaringan sungguhan. Simulasi di sini berperan sebagai ruang latihan yang aman untuk gagal dan mengulang.

E. Asesmen Formatif

Black dan Wiliam (1998) menunjukkan bahwa asesmen yang dirancang untuk memberi umpan balik selama proses belajar memiliki potensi besar untuk meningkatkan capaian. Karena itu, hampir setiap interaksi dalam NetTrace Lab disertai umpan balik seketika: penjelasan setelah menjawab kuis, petunjuk bertahap pada latihan, penanda misi yang selesai, dan pembahasan setiap kasus diagnosis. Hasilnya dapat dikumpulkan guru sebagai bahan refleksi, bukan semata-mata untuk memberi angka.

F. Standar Protokol sebagai Rujukan Keakuratan

Agar apa yang dipelajari siswa tidak menyesatkan, susunan paket dalam media ini merujuk pada dokumen standar Internet Engineering Task Force (IETF), yaitu RFC 791 (IP), RFC 826 (ARP), RFC 768 (UDP), RFC 1035 (DNS), RFC 2131 (DHCP), RFC 792 (ICMP), RFC 9293 (TCP), serta RFC 9110 dan RFC 9112 (HTTP). Alamat dan nama yang dipakai adalah alamat contoh yang lazim dalam dokumentasi dan pembelajaran.

G. Kerangka Berpikir

Masalah	Landasan	Keputusan rancangan
Proses tidak terlihat	Visualisasi; prinsip multimedia	Peta jaringan beranimasi dan penangkap paket yang dapat diklik
Informasi berlapis dan padat	Beban kognitif; segmenting	Satu langkah per layar; tiga lapis penjelasan; Mode Ahli opsional
Keterbatasan sarana dan internet	Realitas konteks sekolah	Satu berkas HTML, offline penuh, berjalan di laptop maupun HP
Umpan balik terlambat	Asesmen formatif	Kuis dan latihan dengan umpan balik seketika; rekap hasil untuk guru
Keterampilan diagnosis jarang dilatih	Belajar dari pengalaman	Terminal mini, misi, dan enam kasus troubleshooting

BAB III

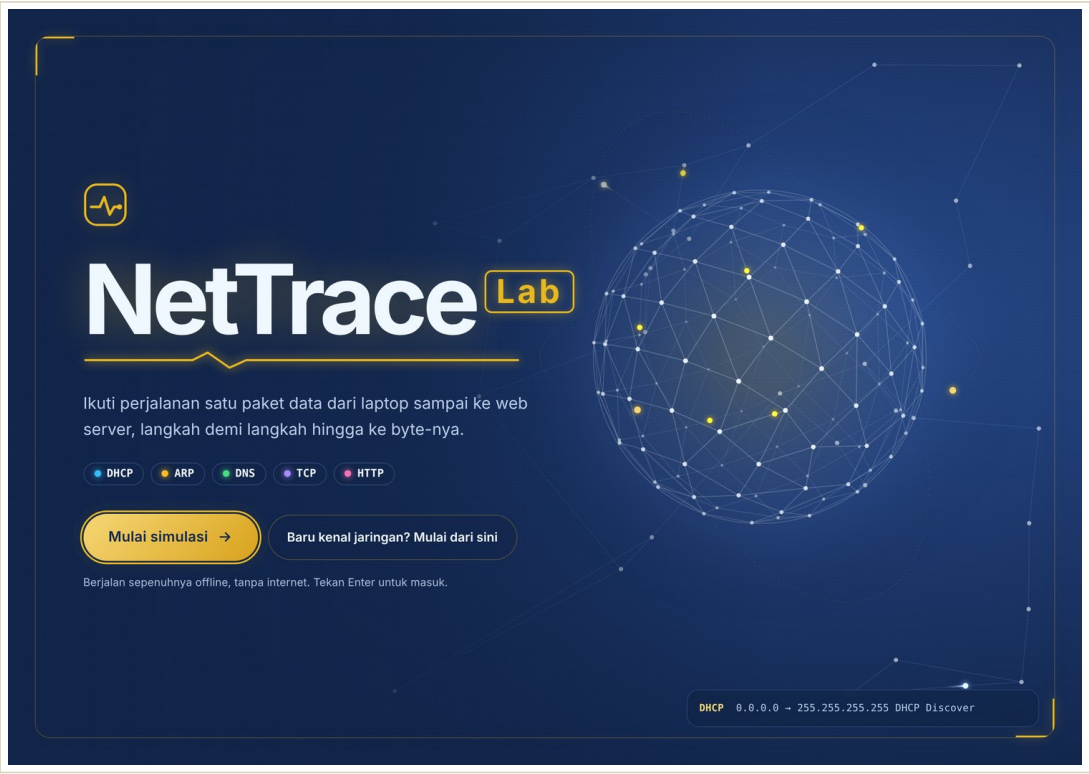
Deskripsi Inovasi

A. Gagasan Utama

Gagasan NetTrace Lab dapat diringkas dalam satu kalimat: *ikuti perjalanan satu paket data dari laptop sampai ke web server, langkah demi langkah, hingga ke byte-nya*. Siswa tidak memulai dari tabel istilah, tetapi dari sebuah cerita yang runtut: laptop yang baru tersambung belum punya alamat, lalu meminta alamat (DHCP), mencari alamat fisik router (ARP), menanyakan alamat sebuah nama (DNS), membuka koneksi (TCP), dan akhirnya meminta halaman (HTTP).

B. Prinsip Rancangan

- **Offline-first.** Seluruh tampilan, data, dan logika berada dalam satu berkas HTML. Tidak ada pustaka, huruf, atau gambar yang diunduh dari internet.
- **Satu berkas, tanpa instalasi.** Cukup dibuka di peramban di laptop atau telepon genggam; mudah dibagikan lewat flashdisk atau grup kelas.
- **Bertahap dan dikendalikan siswa.** Siswa menentukan tempo; tersedia mode otomatis dan pilihan kecepatan.
- **Tiga lapis bahasa.** Setiap paket dijelaskan dengan bahasa sehari-hari, sisi teknis, lalu byte mentah, sehingga siswa dapat berhenti di lapisan yang sesuai kesiapannya.
- **Akurat meski disederhanakan.** Penyederhanaan dilakukan pada penyajian, bukan pada kebenaran isi paket.
- **Rendah hati terhadap keterbatasan.** Media menyatakan secara terbuka bahwa datanya adalah rangkaian ulang untuk belajar, bukan tangkapan sungguhan.



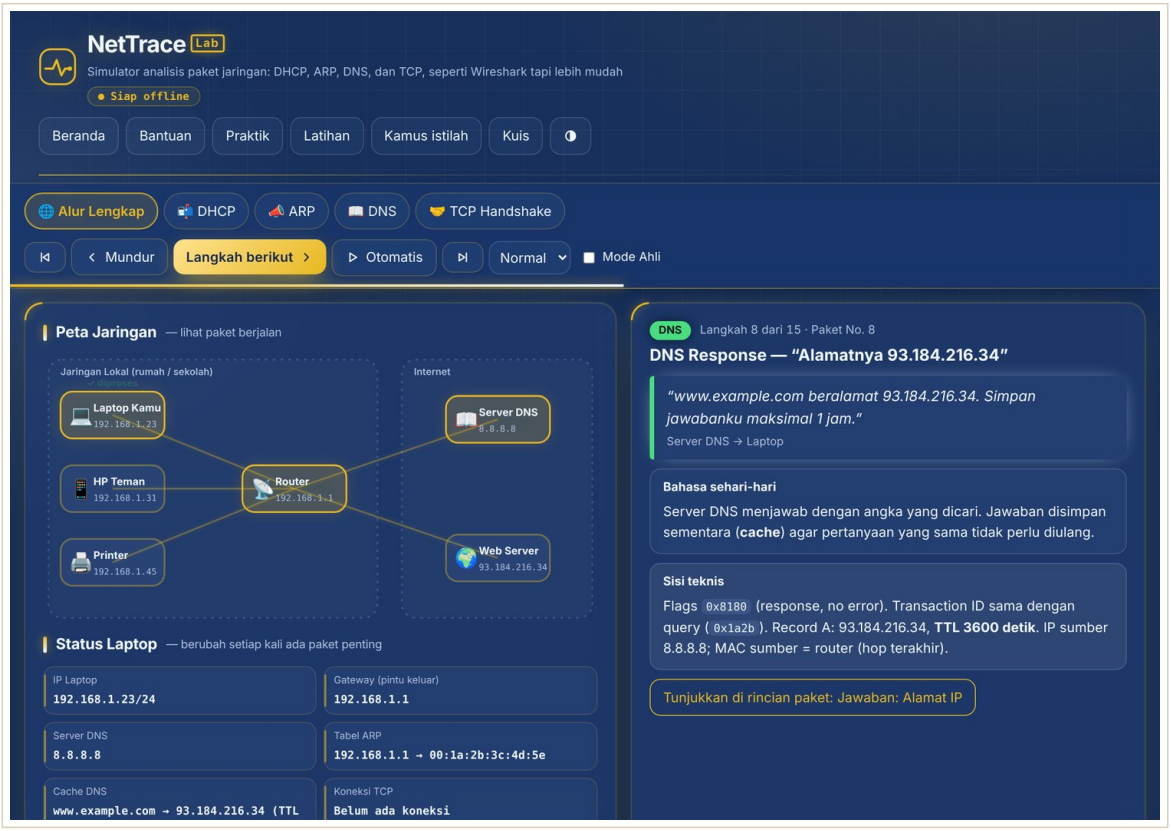
Gambar 1. Halaman sampul NetTrace Lab. Tanda "berjalan sepenuhnya offline" ditampilkan sejak awal agar guru dan siswa yakin media dapat dipakai tanpa internet.

C. Komponen Utama

NetTrace Lab terdiri atas sembilan komponen yang saling melengkapi. Tabel berikut meringkas fungsi dan alasan pedagogis masing-masing.

Komponen	Apa yang dilakukan	Alasan pedagogis
1. Simulator alur (5 skenario)	Alur Lengkap, DHCP, ARP, DNS, dan TCP Handshake, dengan 15 paket pada alur lengkap. Siswa maju dan mundur langkah demi langkah.	Segmenting; siswa memegang kendali tempo.
2. Penangkap paket bergaya Wireshark	Daftar paket, rincian lapis demi lapis, dan byte heksadesimal. Mengeklik satu bidang menyorot byte-nya dan menjelaskan artinya.	Jembatan menuju alat profesional; signaling.
3. Peta jaringan beranimasi	Paket digambarkan berpindah antara laptop, HP, printer, router, server DNS, dan web server; siaran (broadcast) menyebar ke banyak perangkat.	Menjadikan proses yang tak terlihat menjadi terlihat.
4. Status laptop	IP, gateway, DNS, tabel ARP, cache DNS, dan koneksi TCP berubah di layar setiap kali ada paket penting.	Menghubungkan paket dengan akibatnya pada perangkat.
5. Latihan (8 jenis)	Mitos atau fakta, mencocokkan istilah, mengurutkan langkah, menebak isi paket, dan kasus gangguan, dengan petunjuk bertahap.	Praktik mengambil ingatan; umpan balik seketika.

Komponen	Apa yang dilakukan	Alasan pedagogis
6. Kuis dan kamus istilah	Kuis dengan penjelasan dan remedial; kamus istilah dalam bahasa sederhana.	Asesmen formatif; mengurangi hambatan bahasa teknis.
7. Terminal mini dan misi	Perintah ipconfig, ping, nslookup, arp, dan tracert disimulasikan; paket di baliknya ditampilkan dan digerakkan di peta mini. Enam misi tercentang otomatis.	Pembelajaran berbasis pengalaman; jembatan menuju praktik di lab.
8. Troubleshooting (6 kasus)	Gejala dan paket tertangkap disajikan; siswa menentukan penyebab, lalu menerima pembahasan.	Melatih penalaran diagnostik berbasis bukti.
9. Hasil dan rekap guru	Laporan siswa (cetak atau PDF), kode hasil dan file hasil, serta tab rekap guru dengan ekspor CSV, semuanya tanpa server.	Umpan balik bagi guru; selaras dengan kondisi offline.



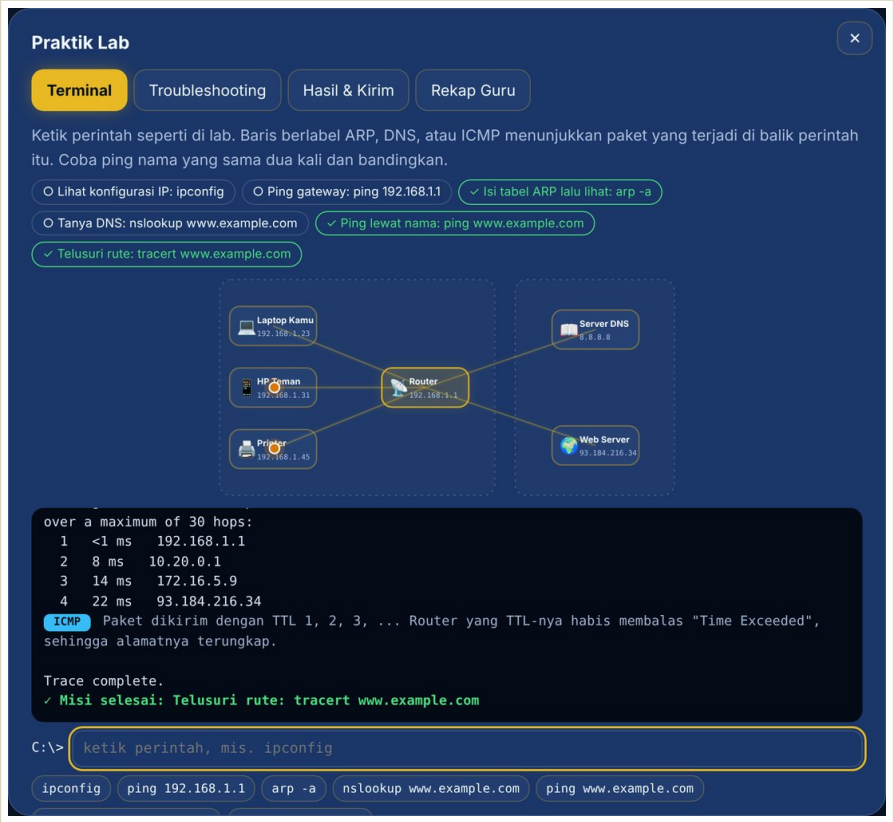
Gambar 2. Tampilan simulator: peta jaringan, status laptop, serta penjelasan tiga lapis untuk satu langkah (di sini: ACK pada jabat tangan TCP).

Penangkap paket dan Mode Ahli

Pada tampilan bawaan, daftar paket memakai kolom yang ramah pemula ("Dari", "Ke", "Artinya"). Ketika Mode Ahli dinyalakan, kolom berubah menjadi Time, Source, Destination, Length, dan Info seperti pada Wireshark. Dengan cara ini siswa mengenali tampilan yang kelak akan mereka temui di laboratorium, tanpa harus langsung menanggung kerumitannya.

Terminal mini dan peta yang bergerak

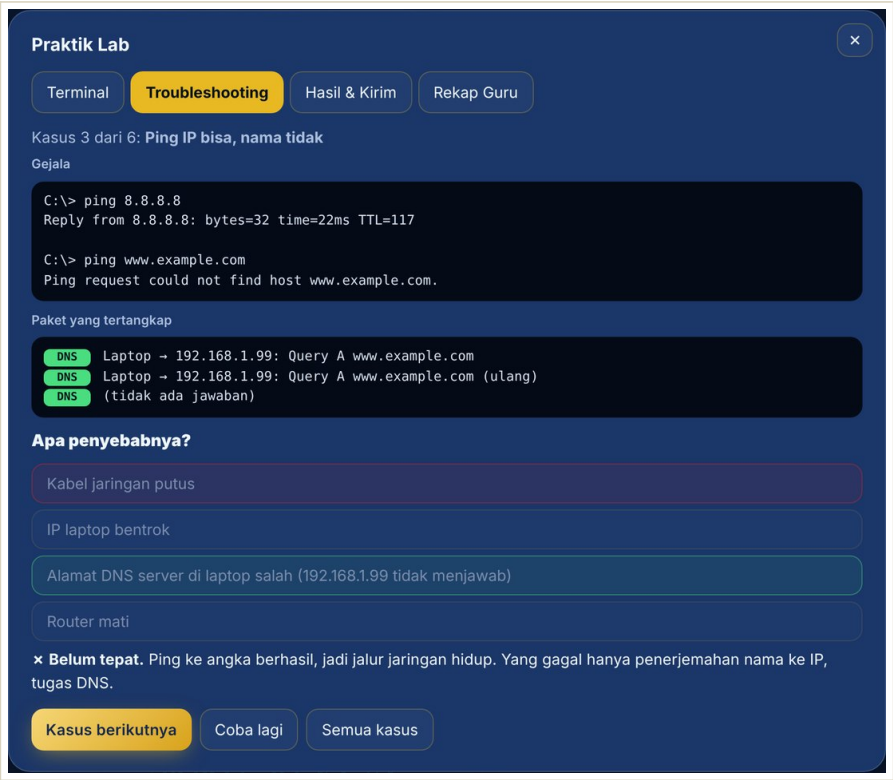
Terminal mini dirancang untuk menyambungkan perintah yang diketik siswa dengan paket yang terjadi di baliknya. Tabel ARP awalnya kosong dan baru terisi setelah ping; memanggil ping ke sebuah nama untuk kedua kalinya memakai cache DNS sehingga tidak ada lagi pertanyaan ke server nama. Hal-hal kecil seperti ini sengaja dibiarkan terlihat agar siswa menemukan sendiri logika di baliknya.



Gambar 3. Terminal mini dengan enam misi, peta mini yang menggerakkan paket, dan baris berlabel ARP, DNS, atau ICMP yang menjelaskan paket di balik setiap perintah.

Kasus troubleshooting

Enam kasus dipilih karena paling sering dijumpai: alamat 169.254.x.x karena DHCP gagal, gateway salah, DNS salah, konflik IP, port web tertutup, dan jaringan lokal sehat tetapi internet tidak tersambung. Setiap kasus menampilkan gejala dan paket yang tertangkap, urutan pilihan jawaban diacak, dan pembahasannya menekankan *bukti apa dalam paket yang membuktikan penyebabnya*.



Gambar 4. Contoh kasus diagnosis: siswa membaca gejala dan paket (RST sebagai balasan aktif), memilih penyebab, lalu menerima pembahasan.

D. Keakuratan Teknis

Karena media ini diklaim mengikuti standar, penulis memeriksanya secara terpisah dari tampilan. Seluruh lima belas paket pada skenario Alur Lengkap dibaca ulang dari byte mentahnya dan diuji: panjang total IP, checksum header IP, panjang UDP, serta checksum UDP dan TCP (termasuk pseudo-header) semuanya konsisten. Paket ARP diperiksa panjangnya (42 byte). Selain itu, media dijalankan pada peramban sungguhan dengan jaringan dimatikan, dan tidak ditemukan satu pun permintaan keluar maupun galat pada konsol, baik pada layar desktop maupun layar ponsel.

Penulis tetap menekankan bahwa data tersebut adalah rangkaian ulang untuk pembelajaran. Nilai-nilai yang bergantung pada keadaan nyata, seperti waktu respons ping dan alamat router antara, bersifat contoh.

E. Kebaruan dan Kebermanfaatan

Penulis tidak mengklaim bahwa simulasi jaringan atau penelusuran paket merupakan gagasan baru; keduanya telah lama ada. Kebaruan yang ditawarkan terletak pada *perpaduan* hal-hal berikut dalam satu paket yang ringan: (1) berjalan offline penuh dalam satu berkas tanpa instalasi; (2) penjelasan tiga lapis dari bahasa sehari-hari hingga byte; (3) jembatan eksplisit menuju Wireshark melalui Mode Ahli; (4) terminal mini yang memperlihatkan paket di balik perintah; (5) kasus diagnosis berbasis bukti paket; dan (6) pelaporan hasil kepada guru yang tetap bekerja tanpa jaringan. Kebermanfaatannya terutama dirasakan pada kelas dengan sarana terbatas, yang menjadi realitas di banyak tempat.

BAB IV

Implementasi di Kelas

Media yang baik tidak otomatis menghasilkan pembelajaran yang baik. Bab ini mengusulkan cara memakainya, sebagai titik awal yang dapat diubah sesuai jam pelajaran dan kondisi kelas masing-masing.

A. Prasyarat dan Distribusi

Media dibagikan sebagai satu berkas HTML melalui flashdisk, grup kelas, atau sarana lain yang sudah dipakai sekolah. Peramban modern di laptop atau telepon genggam sudah memadai; internet tidak diperlukan. Guru dianjurkan membukanya terlebih dahulu pada satu perangkat uji sebelum kelas dimulai, terutama pada komputer laboratorium yang kebijakan peramban atau penyimpanannya dibatasi.

B. Siklus Pembelajaran Lima Langkah

Penulis mengusulkan siklus yang sederhana dan mudah diingat: **Amati, Telusuri, Praktik, Diagnosis, Refleksi**.

Langkah	Kegiatan siswa	Peran guru	Fitur yang dipakai
Amati	Memutar alur lengkap; menyebutkan apa yang terjadi pada setiap langkah dengan kata sendiri.	Mengajukan pertanyaan pemantik; tidak langsung menjelaskan.	Simulator alur, peta, status laptop
Telusuri	Mengeklik paket dan bidangnya; mencocokkan penjelasan dengan byte; mencoba Mode Ahli.	Mendampingi siswa yang tertinggal; menantang yang cepat.	Penangkap paket, hex, kamus
Praktik	Mengetik perintah, menyelesaikan misi, dan mengamati paket yang terjadi.	Berkeliling; meminta siswa memprediksi hasil sebelum menekan Enter.	Terminal mini, misi, latihan
Diagnosis	Menganalisis kasus gangguan; memilih penyebab dan menjelaskan buktinya.	Mendorong siswa menyebut bukti dari paket, bukan menebak.	Troubleshooting
Refleksi	Menulis tiga hal yang dipahami dan satu hal yang masih membingungkan; mengumpulkan hasil.	Membaca rekap; menentukan bahan penguatan pertemuan berikutnya.	Hasil dan rekap guru

C. Usulan Rangkaian Empat Pertemuan

Usulan berikut mengandaikan empat pertemuan dengan durasi menyesuaikan jadwal sekolah. Guru dapat menggabungkan, memecah, atau mengurangi sesuai kebutuhan.

Pertemuan	Fokus	Kegiatan inti	Produk belajar
1	DHCP dan ARP: bagaimana perangkat mendapat alamat dan menemukan tetangga	Amati skenario DHCP lalu ARP; urutkan DORA; praktik ipconfig dan arp -a	Penjelasan lisan atau tulisan singkat; skor latihan DORA
2	DNS: dari nama menjadi angka	Amati skenario DNS; bedakan ping ke IP dan ke nama; praktik nslookup	Tabel perbandingan ping IP dan ping nama
3	TCP dan HTTP: jabat tangan dan permintaan halaman	Amati TCP Handshake dan alur lengkap; telusuri flag dan nomor urut pada Mode Ahli	Diagram sendiri tiga langkah TCP; misi tracert
4	Diagnosis gangguan dan refleksi	Selesaikan enam kasus troubleshooting; diskusikan bukti; susun laporan	Laporan hasil; kode atau file hasil untuk guru

D. Pertanyaan Pemantik

Pertanyaan yang baik membuat siswa menyalakan pikirannya sebelum membaca jawaban. Beberapa contoh:

- Laptop baru tersambung dan belum punya alamat IP. Kepada siapa ia berteriak, dan mengapa ia memakai alamat 0.0.0.0?
- Mengapa ARP memakai siaran, sedangkan jawabannya tidak?
- Jika ping ke 8.8.8.8 berhasil tetapi ping ke nama situs gagal, bagian mana yang kamu curigai lebih dulu? Mengapa?
- Apa bedanya paket yang tidak dijawab sama sekali dengan paket yang dijawab penolakan (RST)?

E. Diferensiasi

Kelas hampir selalu heterogen. Beberapa cara menyesuaikan:

- **Siswa yang masih membangun dasar:** berhenti di lapisan bahasa sehari-hari, memakai latihan Pemula, dan memanfaatkan petunjuk.
- **Siswa yang sudah siap:** membuka Mode Ahli, menelusuri nomor urut TCP, atau menantang diri dengan kasus Mahir dan troubleshooting tanpa membuka petunjuk.
- **Kelas tanpa laboratorium memadai:** pembelajaran tetap berjalan melalui telepon genggam atau satu laptop yang diproyeksikan, dengan siswa bergantian mengendalikan.
- **Kelas dengan laboratorium:** siswa menjalankan perintah yang sama pada komputer sungguhan, lalu membandingkan hasilnya dengan simulasi.

F. Asesmen

Asesmen sebaiknya berfungsi sebagai umpan balik terlebih dahulu, dan sebagai penilaian kemudian. Tiga jenis bukti belajar yang tersedia dari media ini adalah skor latihan (pemahaman konsep), hasil troubleshooting (penalaran diagnosis), dan penyelesaian misi terminal (keterampilan prosedural). Guru dapat menambahkan penilaian lisan dan unjuk kerja di laboratorium. Contoh rubrik tersedia pada Lampiran C.

G. Tantangan yang Mungkin Dihadapi dan Antisipasinya

Tantangan	Antisipasi
Perangkat dan listrik terbatas	Media ringan dan dapat berjalan di telepon genggam; kegiatan dapat dilakukan berkelompok atau dengan satu layar proyeksi.
Kesiapan siswa sangat beragam	Penjelasan tiga lapis, petunjuk bertahap, dan Mode Ahli opsional memberi jalur berbeda bagi tiap siswa.
Waktu pelajaran terbatas	Skenario dapat dipakai terpisah; empat pertemuan dapat dipadatkan menjadi dua.
Kekhawatiran bahwa simulasi berbeda dari kenyataan	Media terbuka mengenai sifat datanya; guru melengkapinya dengan praktik laboratorium dan perbandingan hasil.
Data siswa tersimpan di peramban	Disimpan hanya pada perangkat tersebut; tersedia tombol hapus data untuk komputer bersama.
Siswa mengubah atau menyalin kode hasil	Kode hasil bersifat gambaran belajar, bukan penilaian tunggal; padukan dengan pengamatan langsung dan unjuk kerja.

BAB V

Rencana Evaluasi dan Indikator Keberhasilan

Bagian ini disusun dengan sengaja sebagai **rencana**, bukan laporan hasil. Penulis berpandangan bahwa klaim tentang efektivitas hanya layak disampaikan setelah diuji secara tertib di kelas, dan karena itu memilih jujur menyatakan bahwa uji coba pembelajaran belum dilaporkan dalam naskah ini.

A. Pertanyaan Evaluasi

1. Apakah pemahaman siswa tentang urutan dan fungsi DHCP, ARP, DNS, dan TCP meningkat setelah pembelajaran?
2. Apakah kemampuan siswa mendiagnosis gangguan jaringan berdasarkan bukti paket membaik?
3. Bagaimana pengalaman siswa dan guru menggunakan media ini, dan bagian mana yang perlu diperbaiki?

B. Desain Sederhana

Evaluasi dapat dilakukan dalam kelas sendiri dengan desain yang sederhana: *pretest* pada awal rangkaian, penerapan empat pertemuan, *posttest* dengan butir yang setara, angket pengalaman belajar, serta catatan observasi guru. Jika memungkinkan, kelas pembanding yang belajar tanpa media dapat membantu memperkuat kesimpulan, dengan tetap memperhatikan keadilan bagi seluruh siswa. Penulis menyadari bahwa dalam kelas nyata banyak faktor lain ikut berpengaruh, sehingga hasilnya sebaiknya dibaca sebagai indikasi, bukan bukti mutlak.

C. Indikator dan Instrumen

Aspek	Indikator	Instrumen
Pemahaman konsep	Peningkatan skor pretest ke posttest; skor latihan	Tes tertulis; rekap latihan
Penalaran diagnosis	Proporsi kasus troubleshooting yang dijawab benar disertai bukti	Rekap troubleshooting; rubrik penjelasan
Keterampilan prosedural	Penyelesaian misi terminal; unjuk kerja di laboratorium	Rekap misi; lembar observasi
Pengalaman belajar	Persepsi kejelasan, kemudahan, dan motivasi	Angket (Lampiran C)
Kelayakan penerapan	Kendala teknis dan waktu yang dijumpai guru	Catatan refleksi guru

D. Etika dan Perlindungan Data

Data siswa yang dikumpulkan sebatas nama dan capaian belajar, tersimpan di perangkat masing-masing dan hanya dikirim atas tindakan siswa sendiri. Guru dianjurkan menjelaskan tujuan pengumpulan data, memakai hasilnya untuk perbaikan pembelajaran, dan tidak mempublikasikan data yang dapat mengidentifikasi siswa tanpa izin.

BAB VI

Keterbatasan dan Rencana Pengembangan

A. Keterbatasan

Penulis menganggap keterbukaan tentang keterbatasan sebagai bagian dari kejujuran ilmiah dan sebagai bentuk penghormatan kepada pembaca yang hendak memakai karya ini.

- **Simulasi bukan tangkapan nyata.** Paket dirangkai ulang. Perilaku jaringan sungguhan dapat bervariasi, misalnya karena jeda, kehilangan paket, atau konfigurasi perangkat.
- **Cakupan terbatas.** Baru IPv4 pada satu segmen lokal dengan satu router; HTTP tanpa enkripsi; penutupan koneksi TCP baru disebut sebagai catatan.
- **Terminal mini bersifat simulasi.** Hanya sebagian perintah dan opsi yang didukung, dengan gaya keluaran Windows.
- **Penyimpanan di peramban.** Data dapat hilang bila peramban dibersihkan atau memakai mode privat; perpindahan perangkat tidak membawa data.
- **Pengiriman hasil bersifat manual.** Tanpa server dan internet, hasil dikirim melalui kode atau file; pengiriman otomatis tidak mungkin tanpa menyalahi prinsip offline.
- **Kode hasil bukan alat anti-curang.** Pengaman di dalamnya hanya mendeteksi salinan yang rusak. Nilai gabungan pada rekap bersifat indikatif.
- **Belum teruji luas.** Pengujian teknis telah dilakukan, tetapi uji coba pembelajaran dan uji pada beragam perangkat sekolah masih menjadi pekerjaan berikutnya.

B. Rencana Pengembangan

Beberapa arah yang dipandang paling bermanfaat, diurutkan menurut kebutuhan yang paling sering dijumpai di kelas:

Arah pengembangan	Manfaat
Skenario penutupan koneksi TCP (FIN/ACK) dan ICMP lebih lengkap	Melengkapi siklus hidup koneksi dan memperdalam praktik ping dan traceroute.
Kalkulator subnet interaktif	Materi inti TKJ yang selalu menjadi tantangan; cocok sebagai latihan terpisah.
Pengantar HTTPS dan TLS	Menjawab pertanyaan lazim siswa: mengapa gembok di peramban penting.
Lembar kerja praktik cetak	Menghubungkan simulasi dengan praktik Wireshark dan perintah nyata di laboratorium.
Dukungan bahasa dan aksesibilitas tambahan	Menjangkau lebih banyak pembelajar, termasuk pengguna pembaca layar.
Uji coba terstruktur di beberapa kelas dan sekolah	Memberi bukti yang lebih kuat tentang dampak, serta masukan perbaikan.

BAB VII

Penutup

A. Simpulan

NetTrace Lab merupakan upaya merancang media pembelajaran jaringan dasar yang selaras dengan realitas banyak sekolah: ringan, offline, mudah dibagikan, dan tetap akurat secara teknis. Rancangannya bertumpu pada teori belajar yang mapan dan diterjemahkan ke dalam sembilan komponen yang membimbing siswa dari mengamati, menelusuri, mempraktikkan, hingga mendiagnosis. Pemeriksaan teknis menunjukkan konsistensi isi paket dengan standar, dan pengujian pada peramban menunjukkan media berjalan tanpa jaringan. Efektivitas pembelajarannya belum diuji dan karena itu dirumuskan sebagai rencana evaluasi.

B. Saran

- **Bagi guru:** mulailah dari satu skenario yang paling relevan dengan materi pekan ini, lalu tambah secara bertahap. Pertahankan peran sebagai pengajuan pertanyaan, bukan penyampai jawaban.
- **Bagi sekolah:** sediakan satu perangkat uji dan ruang untuk guru saling berbagi pengalaman penggunaan.
- **Bagi pengembang dan peneliti:** silakan menguji, mengkritik, dan mengembangkan lebih jauh; masukan berbasis pengalaman kelas sangat berharga.

C. Kata Akhir

Pada akhirnya, teknologi hanyalah bejana; yang mengisinya adalah guru yang sabar bertanya dan siswa yang berani mencoba. Jika naskah dan media sederhana ini dapat sedikit meringankan langkah seorang guru atau menyalakan rasa ingin tahu seorang siswa tentang apa yang terjadi di balik layar, maka tujuannya telah tercapai. Penulis menutup dengan harapan agar karya ini terus diperbaiki bersama, dan memohon maaf atas segala kekurangan.

Daftar Pustaka

Black, P., & Wiliam, D. (1998). Assessment and classroom learning. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice, 5*(1), 7–74.

Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. (2022). *Kurikulum Merdeka.* Jakarta: Kemendikbudristek. (Capaian Pembelajaran program keahlian terkait dapat dilihat pada dokumen resmi yang berlaku di satuan pendidikan.)

Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.

Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science, 12*(2), 257–285.

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes.* Cambridge, MA: Harvard University Press.

Wood, D., Bruner, J. S., & Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 17*(2), 89–100.

Postel, J. (1980). *RFC 768: User Datagram Protocol.* IETF.

Postel, J. (1981). *RFC 791: Internet Protocol.* IETF.

Postel, J. (1981). *RFC 792: Internet Control Message Protocol.* IETF.

Plummer, D. (1982). *RFC 826: An Ethernet Address Resolution Protocol.* IETF.

Mockapetris, P. (1987). *RFC 1035: Domain Names – Implementation and Specification.* IETF.

Droms, R. (1997). *RFC 2131: Dynamic Host Configuration Protocol.* IETF.

Eddy, W. (2022). *RFC 9293: Transmission Control Protocol (TCP).* IETF.

Fielding, R., Nottingham, M., & Reschke, J. (2022). *RFC 9110: HTTP Semantics.* IETF.

Fielding, R., Nottingham, M., & Reschke, J. (2022). *RFC 9112: HTTP/1.1.* IETF.

Lampiran A. Daftar Perintah dan Misi Terminal Mini

Perintah	Fungsi	Yang dapat diamati siswa
ipconfig [/all]	Menampilkan IP, mask, gateway (dan MAC, server DHCP, DNS dengan /all)	Hasil dari DHCP yang telah dipelajari
ping <ip atau nama>	Menguji hubungan melalui ICMP	ARP ke gateway, kueri DNS bila memakai nama, echo request dan reply
nslookup <nama>	Menanyakan alamat IP sebuah nama	Kueri dan jawaban DNS; nama yang tidak ada (NXDOMAIN)
arp -a / arp -d	Melihat atau mengosongkan tabel ARP	Tabel kosong, lalu terisi setelah ping
tracert <ip atau nama>	Menelusuri rute ke tujuan	Hop demi hop; peran TTL
help, clear	Bantuan dan pembersih layar	-

Enam misi: (1) lihat konfigurasi IP; (2) ping gateway; (3) isi tabel ARP lalu melihatnya; (4) tanya DNS dengan nslookup; (5) ping lewat nama; (6) telusuri rute dengan tracert. Alamat contoh: router 192.168.1.1, HP 192.168.1.31, printer 192.168.1.45, DNS 8.8.8.8, web server 93.184.216.34 (www.example.com).

Lampiran B. Enam Kasus Troubleshooting (Ringkasan)

Kasus	Gejala utama	Penyebab dan bukti
IP aneh 169.254.x.x	IP laptop 169.254.x.x; gateway kosong	DHCP tidak menjawab: Discover berulang tanpa Offer
Gateway salah	Ping ke internet gagal; gateway 192.168.1.254	ARP ke gateway tidak dijawab karena alamat tidak ada
Ping IP bisa, nama tidak	Ping 8.8.8.8 berhasil; nama situs tidak ditemukan	DNS yang dipakai laptop salah; kueri tidak dijawab
Koneksi putus-nyambung	Peringatan konflik IP	ARP dijawab dua MAC berbeda untuk satu IP
Website ditolak	Ping server berhasil; browser tidak bisa terhubung	SYN dibalas RST: layanan di port 80 tidak berjalan
Terhubung tapi tak ada internet	Ping gateway berhasil; ping 8.8.8.8 timeout	LAN sehat; masalah di sisi router ke internet

Lampiran C. Contoh Rubrik dan Angket

1. Rubrik penilaian diagnosis (skala 3 tingkat)

Aspek	Sangat baik (3)	Cukup (2)	Perlu bimbingan (1)
Ketepatan diagnosis	Penyebab tepat dan menyingkirkan penyebab lain dengan alasan.	Penyebab tepat, alasan kurang lengkap.	Penyebab belum tepat atau menebak.
Penggunaan bukti paket	Menunjuk paket atau bidang tertentu sebagai bukti.	Menyebut bukti secara umum.	Tidak merujuk pada bukti.
Penjelasan dengan bahasa sendiri	Runtut, istilah dipakai dengan benar.	Cukup jelas, ada istilah kurang tepat.	Sulit dipahami atau menyalin.
Langkah perbaikan	Usulan tepat dan dapat dilakukan.	Usulan tepat tetapi umum.	Usulan belum relevan.

2. Angket pengalaman belajar (skala 1 = sangat tidak setuju sampai 4 = sangat setuju)

1. Penjelasan pada setiap langkah mudah saya pahami.
2. Animasi pada peta membantu saya membayangkan perjalanan paket.
3. Saya merasa lebih percaya diri membaca daftar paket setelah memakai media ini.
4. Terminal mini membantu saya memahami perintah yang saya ketik.
5. Kasus troubleshooting membuat saya terbiasa mencari bukti sebelum menyimpulkan.
6. Saya dapat belajar dengan tempo sendiri.
7. Bagian yang paling membantu saya: .....
8. Bagian yang masih membingungkan atau perlu diperbaiki: .....