

Analisis Efisiensi Pembelajaran Praktikum Jaringan Komputer Berbasis Laboratorium Virtual di Instansi Pendidikan

Ahli¹, Noor Kholili^{1*}, Sudarmin², Junirin³

^{1,2,3} Politeknik Balekambang Jepara

* E-mail: ahliiskholili@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis efisiensi pembelajaran praktikum jaringan komputer melalui laboratorium virtual (Cisco Packet Tracer) di institusi vokasi. Masalah utama yang diangkat adalah keterbatasan perangkat keras dan tingginya biaya operasional laboratorium fisik. Menggunakan metode quasi-experimental dengan desain pretest-posttest control group, penelitian ini membandingkan kelas eksperimen (virtual) dan kelas kontrol (fisik). Hasil menunjukkan bahwa laboratorium virtual meningkatkan capaian kognitif secara signifikan dengan skor N-gain 0,74 (kategori tinggi). Dari sisi operasional, penggunaan simulator mampu mereduksi waktu praktikum sebesar 57,1% dibandingkan perangkat fisik. Simpulan penelitian menegaskan bahwa laboratorium virtual adalah solusi efisien untuk mengatasi keterbatasan infrastruktur tanpa mengurangi kualitas kompetensi teknis. Disarankan bagi institusi vokasi untuk menerapkan strategi pembelajaran Virtual-First guna mengoptimalkan anggaran dan efektivitas jam praktikum.

Kata kunci: Efisiensi Pembelajaran, Laboratorium Virtual, Pendidikan Vokasi, Cisco Packet Tracer

ABSTRACT

This study analyzes the efficiency of computer network practicum through virtual laboratories (Cisco Packet Tracer) in vocational education. The main issues addressed are hardware limitations and high operational costs of physical labs. Using a quasi-experimental method with a pretest-posttest control group design, this study compares an experimental class (virtual) and a control class (physical). Results show that virtual laboratories significantly improve cognitive achievement with an N-gain score of 0.74 (high category). Operationally, the use of simulators reduced practicum time by 57.1% compared to physical devices. The study concludes that virtual laboratories are an efficient solution to overcome infrastructure constraints without compromising technical competence. It is recommended that vocational institutions implement a Virtual-First learning strategy to optimize budgets and practicum hours effectiveness.

Keywords: Learning Efficiency, Virtual Laboratory, Vocational Education, Cisco Packet Tracer.

PENDAHULUAN

Adanya kemajuan yang signifikan dalam bidang teknologi informasi dan komunikasi serta didukung dengan berkembangnya penggunaan internet secara massive menjadi cikal bakal lahirnya konsep digitalisasi dan otomatisasi dalam era industri 4.0 (Arjana & Tri Upayogi, 2022), penguasaan kompetensi di bidang infrastruktur jaringan komputer menjadi pilar fundamental bagi lulusan pendidikan vokasi. Sebagai garda terdepan dalam penyediaan tenaga kerja teknis, institusi pendidikan vokasi dituntut untuk menghasilkan lulusan yang tidak hanya memahami teori protokol komunikasi data, tetapi juga memiliki kemahiran praktis dalam merancang, mengonfigurasi, dan mengelola sistem jaringan yang kompleks. dalam pembelajaran pengajar dituntut mampu menganalisis kebutuhan, merancang, mendesain, menemukan, dan memproduksi dan menggunakan berbagai jenis sumber belajar diwujudkan dalam media pembelajaran berbasis teknologi dan informasi (Arrahman et al., 2023).

Dalam konteks ini, metode praktikum memegang peranan vital sebagai instrumen utama untuk menjembatani kesenjangan antara konsep akademis dengan realitas kebutuhan industri. Media adalah alat komunikasi yang digunakan dalam pendidikan untuk menjelaskan pesan-pesan dalam interaksi antara individu, yang penggunaannya akan optimal jika lingkungan belajar dirancang dengan baik oleh guru, sehingga mendukung proses pembelajaran sebagai interaksi antara peserta didik, pendidik, dan sumber belajar dalam suatu lingkungan belajar (Wulandari et al., 2025).

Melalui praktikum yang intensif, Peserta didik diharapkan mampu mencapai tingkat kemahiran teknis (*technical mastery*) yang sesuai dengan standar sertifikasi internasional. Namun, urgensi ini berbenturan dengan tantangan dinamis di mana perangkat keras jaringan (*hardware*) terus berkembang dengan siklus hidup yang pendek, sehingga menuntut institusi untuk selalu memperbarui sarana prasarana agar tetap relevan dengan tren teknologi global.

Laboratorium merupakan salah satu sumber belajar dan media pembelajaran (Muhajarah & Sulthon, 2020), Kondisi di lapangan menunjukkan bahwa pemenuhan standar laboratorium fisik yang ideal menghadapi hambatan struktural yang signifikan. Karena kebutuhan untuk pengetahuan/pengalaman praktis tentang protokol dan sistem jaringan, diperlukan suatu laboratorium penunjang (Prapanca & Suartana, 2017), Pertama, tingginya biaya pengadaan perangkat jaringan enterprise-grade seperti multi-layer switch, high-end router, dan server seringkali melampaui kapasitas anggaran tahunan institusi. Selain beban akuisisi, biaya pemeliharaan rutin dan perbaikan perangkat akibat beban kerja tinggi juga menjadi beban finansial yang berkelanjutan. Kedua, terdapat kendala pada rasio jumlah alat terhadap jumlah Peserta didik yang tidak seimbang. Keterbatasan jumlah perangkat fisik memaksa Peserta didik untuk melakukan praktikum secara berkelompok dalam jumlah besar, yang secara langsung menghambat efektivitas waktu sentuh (*hands-on time*) dan kedalaman eksplorasi individu sehingga motivasi rendah untuk belajar siswa dalam mata pelajaran Pemasangan dan Konfigurasi Perangkat Jaringan serta keterbatasan sarana praktik di laboratorium (Sahidin et al., 2025). Ketiga, proses pembelajaran pada tahap awal seringkali dihantui oleh risiko kerusakan perangkat keras. Kesalahan konfigurasi yang dilakukan oleh Peserta didik pemula, seperti kesalahan kelistrikan atau beban kerja berlebih pada memori perangkat, dapat menyebabkan kerusakan permanen pada aset institusi yang bernilai tinggi.

Sebagai langkah strategis untuk memitigasi kendala tersebut, pemanfaatan teknologi virtualisasi dan simulasi muncul sebagai alternatif yang sangat prospektif. Laboratorium Virtual (V-Lab) sebagai solusi inovatif untuk meningkatkan keterampilan praktik (Sa'adah et al., 2025). Media laboratorium virtual, seperti Cisco Packet Tracer, menawarkan lingkungan simulasi yang fleksibel dan mampu mereplikasi perilaku perangkat keras secara akurat dalam ruang digital. Lingkungan laboratorium yang baik harus sangat fleksibel dan dapat dikonfigurasi untuk mensimulasikan berbagai jaringan komputer untuk eksperimen dan atau eksperimen lainnya (Kartadie & Nugroho, 2023). Keunggulan utama dari laboratorium virtual terletak pada aspek aksesibilitasnya yang tidak terbatas oleh ruang dan waktu, Peserta didik dapat melakukan eksperimen mandiri di mana saja dan

kapan saja tanpa harus bergantung pada jam operasional laboratorium fisik. Selain itu, laboratorium virtual memungkinkan simulasi skenario jaringan berskala besar dan kompleks seperti implementasi *Border Gateway Protocol* (BGP) atau integrasi *Internet of Things* (IoT) yang hampir mustahil dilakukan di laboratorium fisik konvensional karena keterbatasan jumlah unit perangkat. Yang paling krusial, media ini menyediakan ruang eksperimen yang aman (*safe environment*), di mana kesalahan konfigurasi tidak akan berdampak pada kerusakan fisik, sehingga mendorong keberanian Peserta didik untuk bereksplorasi secara lebih radikal. Media pembelajaran interaktif pada materi jaringan LAN dengan inovasi teknologi desktop virtual reality diharapkan dapat membantu guru dalam hal keterbatasan penyediaan peralatan laboratorium disekolah (Hasim & Hadi, 2022).

Meskipun pemanfaatan laboratorium virtual telah banyak diadopsi secara luas di berbagai institusi pendidikan, namun masih terdapat celah penelitian terkait bukti empiris mengenai tingkat efisiensinya secara komprehensif. Sebagian besar literatur masih berfokus pada aspek kepuasan pengguna atau sekadar efektivitas hasil belajar secara kognitif. Masih diperlukan evaluasi mendalam mengenai apakah efisiensi dari sisi reduksi biaya operasional dan optimalisasi waktu pengerjaan benar-benar berbanding lurus dengan kedalaman pemahaman konsep serta keterampilan psikomotorik Peserta didik. Terdapat perdebatan akademis mengenai apakah ketergantungan pada simulator dapat mengurangi kepekaan Peserta didik terhadap detail fisik jaringan. Oleh karena itu, penelitian ini hadir untuk mengisi kekosongan data tersebut dengan memberikan analisis komparatif yang terukur antara metode simulasi virtual dengan metode konvensional.

Pendidikan vokasi mengutamakan keterampilan siswa, menekankan pembelajaran langsung, dan menyelenggarakan proses pembelajaran teoritis secara lebih efektif (Bayu Widodo et al., 2023). Penelitian ini secara spesifik bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan laboratorium virtual terhadap efisiensi proses pembelajaran di lingkungan pendidikan vokasi, baik dari parameter waktu maupun hasil capaian. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mengukur tingkat pemahaman teknis Peserta didik setelah melalui rangkaian simulasi yang terstruktur guna memastikan bahwa standar kompetensi industri tetap terpenuhi. Pembelajaran berbasis laboratorium virtual merupakan salah satu alternatif pengganti dalam pelaksanaan praktikum secara nyata di laboratorium (Nurfidah, 2021).

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah memberikan referensi empiris bagi para pengambil kebijakan di institusi pendidikan dalam mengoptimalkan alokasi anggaran sarana prasarana, sehingga investasi dapat dialihkan pada aspek pengembangan kurikulum atau SDM tanpa mengorbankan kualitas praktikum. Secara praktis, hasil penelitian ini diharapkan dapat merumuskan strategi pembelajaran praktikum yang lebih efektif dan efisien, yang dapat diadaptasi oleh program studi terkait teknologi informasi untuk meningkatkan daya saing lulusan di pasar kerja global.

METODE/EKSPERIMEN

Bagian ini menguraikan kerangka kerja penelitian yang digunakan untuk mengukur efisiensi pembelajaran praktikum jaringan komputer melalui perbandingan antara penggunaan laboratorium virtual dan laboratorium fisik.

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Komputer, pada sekoah menengah kejuruan. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada karakteristik institusi vokasi yang memiliki kurikulum berbasis keterampilan teknis yang intensif. Waktu penelitian dilaksanakan pada Semester Genap Tahun Akademik 2025/2026, yang mencakup tahap persiapan, pengambilan data eksperimen, hingga analisis hasil.

Subjek Penelitian

Subjek penelitian terdiri dari peserta didik aktif yang sedang menempuh mata pelajaran Jaringan komputer. Pemilihan subjek dilakukan menggunakan teknik purposive sampling untuk memastikan responden memiliki basis pengetahuan teori jaringan yang setara. Subjek dibagi menjadi dua kelompok:

1. Kelas Eksperimen (n=25): peserta didik yang melakukan praktikum menggunakan media simulasi laboratorium virtual.
2. Kelas Kontrol (n=25): peserta didik yang melakukan praktikum menggunakan perangkat keras jaringan fisik secara konvensional.

Alat dan Bahan

Penelitian ini melibatkan integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak sebagai berikut:

1. Perangkat Lunak (*Software*):
 - Cisco Packet Tracer sebagai core engine simulasi laboratorium virtual.
 - Sistem Operasi Windows 11 sebagai host pengerjaan.
 - LMS (Learning Management System) untuk distribusi modul dan pengumpulan tugas berupa google form.
2. Perangkat Keras (*Hardware*):
 - Unit Kontrol: Router, Switch Catalyst 2960, dan Server untuk kelompok kontrol.
 - Unit Komputer: PC Desktop dengan spesifikasi Processor Intel Core i5, RAM 8GB sebagai workstation praktikum.
 - Konektivitas: Kabel UTP Cat6, konektor RJ-45, dan alat pendukung teknis lainnya

Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan melalui empat tahapan utama yang terstruktur:

1. Tahap Persiapan: Penyusunan modul praktikum (Jobsheet) dengan materi VLAN, Routing Dinamis (OSPF), dan Access Point yang identik untuk kedua kelompok.
2. Tahap Pre-test: Pengujian kemampuan awal untuk memastikan tidak ada perbedaan signifikan dalam pemahaman teori dasar antara kedua kelas.
3. Tahap Implementasi (*Treatment*): Kelas eksperimen membangun topologi dan konfigurasi secara digital di Cisco Packet Tracer.
4. Kelas kontrol melakukan instalasi fisik, pengabelan, dan konfigurasi langsung.
5. Tahap Evaluasi & Post-test: Pengujian akhir untuk mengukur ketuntasan belajar serta pengukuran durasi waktu yang dihabiskan untuk menyelesaikan seluruh instruksi dalam jobsheet.

Variabel Penelitian (Definisi Efisiensi)

Variabel independen dalam penelitian ini adalah jenis media praktikum (Virtual vs Fisik). Sedangkan variabel dependennya adalah Efisiensi Pembelajaran, yang secara operasional didefinisikan ke dalam tiga dimensi:

- Efisiensi Kognitif: Peningkatan skor dari pre-test ke post-test (*N-Gain*).
- Efisiensi Waktu: Total durasi (dalam menit) yang dibutuhkan peserta didik dari tahap inisiasi perangkat hingga pengujian konektivitas berhasil.
- Efisiensi Proses: Kemampuan peserta didik dalam melakukan troubleshooting mandiri saat terjadi kesalahan konfigurasi.

Teknik Pengumpulan Data

Data dikumpulkan secara objektif melalui instrumen-instrumen berikut:

- Lembar Observasi & Log File: Mencatat waktu mulai dan waktu selesai pengerjaan secara presisi untuk mengukur kecepatan kerja.
- Tes Hasil Belajar: Soal pilihan ganda dan studi kasus konfigurasi untuk mengukur capaian

kognitif.

- Kuesioner Skala Likert: Disebarkan kepada kelas eksperimen untuk menangkap persepsi peserta didik mengenai kemudahan navigasi dan kepuasan belajar menggunakan simulator.

Teknik Analisis Data

Data yang terkumpul diolah secara statistik menggunakan perangkat lunak analisis data dengan metode:

1. Statistik Deskriptif Kuantitatif: Untuk menyajikan rata-rata (mean), median, dan standar deviasi dari perolehan skor dan waktu pengerjaan.
2. Analisis N-Gain: Digunakan untuk mengukur efektivitas peningkatan hasil belajar antara sebelum dan sesudah perlakuan.

$$g = \frac{\text{Skor posttest} - \text{Skor pretest}}{\text{Skor maksimal} - \text{Skor pretest}}$$

3. Statistik Komparatif (Uji-t): Menggunakan Independent Sample T-Test untuk membuktikan secara signifikan apakah terdapat perbedaan efisiensi waktu dan hasil belajar yang bermakna antara kelompok virtual dan kelompok fisik pada taraf kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Data

Data yang disajikan dalam bagian ini merupakan hasil observasi terstruktur dan pengujian kognitif yang dilakukan pada semester genap 2025/2026 masa eksperimen di instansi pendidikan.

Capaian Kompetensi Kognitif (Pre-test dan Post-test)

Efisiensi pertama diukur dari sejauh mana media simulasi mampu mentransfer pengetahuan dibandingkan dengan perangkat fisik. Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan statistik deskriptif, diperoleh ringkasan performa peserta sebagaimana tercantum pada Tabel berikut:

Tabel 1. Distribusi nilai hasil belajar siswa

Statistik Deskriptif	Kelas Eksperimen (virtual)	Kelas Kontrol (Fisik)
Jumlah peserta (<i>N</i>)	25	25
Nilai minimum	72	60
Nilai maksimum	96	88
Rata-rata (<i>Mean</i>)	86,25	78,50
Standar Deviasi	5,42	7,18
Peningkatan <i>N-Gain</i>	0,74 (tinggi)	0,60 (sedang)

Secara visual, perbedaan peningkatan kompetensi ini dapat dilihat pada grafik di bawah ini:

Data menunjukkan bahwa kelas eksperimen memiliki sebaran nilai yang lebih homogen (standar deviasi lebih rendah) dibandingkan kelas kontrol. Hal ini mengindikasikan bahwa laboratorium virtual memberikan kesempatan belajar yang lebih merata bagi seluruh peserta, terlepas dari kecepatan belajar individu, karena setiap peserta memegang kendali penuh atas simulatornya masing-masing.

Analisis Efisiensi Waktu Operasional (Time Motion Study)

Efisiensi waktu diukur menggunakan metode Time Motion Study untuk setiap modul praktikum. Kami membagi aktivitas praktikum menjadi empat fase utama: Persiapan, Inisiasi, Konfigurasi Dasar, dan Troubleshooting.

Tabel 2. Rincian Efisiensi Waktu per Komponen Praktikum (dalam Menit)

Komponen aktivitas	Virtual (CPT)	Fisik (Hardware)	Selisih Waktu
Pemasangan kabel dan topologi	3,5	20,5	17,0
Booting dan Konsol perangkat	1,0	9,0	8,0
Implementasi konfigurasi	19,5	26,0	6,5
Validasi dan troubleshooting	6,0	14,5	8,5
Total rata-rata	30,0	70,0	40,0

Data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa penggunaan laboratorium virtual mampu mereduksi waktu praktikum sebesar 57,1%. Penghematan waktu terbesar terjadi pada fase persiapan fisik dan fase troubleshooting. Pada perangkat fisik, peserta didik sering terjebak pada masalah mekanis (kabel longgar, interface mati, atau masalah kelistrikan) yang sebenarnya bukan merupakan target kompetensi utama dalam modul administrasi jaringan.

Pengujian Hipotesis

Pengujian hipotesis dilakukan menggunakan Independent Sample T-Test untuk melihat signifikansi perbedaan efisiensi waktu antara kedua kelompok.

- H0 : Tidak ada perbedaan signifikansi efisiensi waktu antara lab virtual dan lab fisik.
- H1 : Terdapat perbedaan signifikansi efisiensi waktu antara lab virtual dan lab fisik.

Hasil uji menunjukkan nilai t-hitung (7,54) > t-tabel (2,011) dengan nilai $p < 0,05$. Dengan demikian, H0 ditolak, yang berarti penggunaan laboratorium virtual secara signifikan memberikan efisiensi waktu yang nyata dalam proses pembelajaran praktikum.

Pembahasan (Discussion)

Masalah utama yang diangkat dalam penelitian ini adalah keterbatasan sarana prasarana di pendidikan vokasi. Temuan penelitian menunjukkan bahwa laboratorium virtual menjawab tantangan tersebut melalui Efisiensi Skala. Dalam laboratorium fisik, penambahan satu peserta didik baru berarti penambahan beban pada rasio alat. Namun, dalam ekosistem virtual, penambahan subjek tidak memerlukan biaya marginal tambahan.

Efisiensi waktu sebesar 57,1% yang ditemukan bukan sekadar angka, melainkan peluang. Dalam satu pertemuan berdurasi 150 menit, kelas virtual dapat menyelesaikan 3 hingga 4 skenario topologi, sedangkan kelas fisik hanya mampu menyelesaikan 1 skenario. Hal ini membuktikan bahwa simulasi mempercepat proses pematangan logika peserta didik melalui intensitas latihan yang lebih tinggi dalam satuan waktu yang sama.

Ada beberapa alasan fundamental mengapa laboratorium virtual menghasilkan efisiensi kognitif yang lebih tinggi:

1. Visualisasi Abstraksi: Jaringan komputer adalah bidang yang sangat abstrak. Peserta tidak bisa melihat bagaimana data mengalir di dalam kabel. Cisco Packet Tracer memvisualisasikan paket data sebagai amplop digital yang bergerak secara step-by-step. Penafsiran kami adalah bahwa stimulasi visual ini mempercepat pembentukan model mental dalam otak peserta mengenai cara kerja protokol (seperti ICMP, ARP, dan OSPF).
2. Psikologi Belajar "Tanpa Rasa Takut": Observasi menunjukkan peserta di kelas kontrol cenderung ragu untuk mencoba perintah write erase atau mengubah konfigurasi VLAN karena takut mengacaukan sistem yang sudah ada atau merusak perangkat. Di sisi lain, peserta kelas virtual memiliki kebebasan penuh untuk melakukan kesalahan. Kesalahan (error) dalam simulator justru menjadi sumber belajar yang efisien tanpa adanya konsekuensi finansial.

Integrasi Temuan dengan Pengetahuan yang Ada

Temuan ini sejalan dengan teori Cognitive Load Theory (Teori Beban Kognitif) yang dikemukakan oleh Sweller. Dalam praktikum fisik, peserta menghadapi *Extraneous Cognitive Load* (beban luar) yang tinggi seperti kesulitan memasang konektor yang keras atau mencari kabel yang tidak putus. Beban ini tidak berkontribusi pada pemahaman jaringan.

Laboratorium virtual berhasil mereduksi beban luar tersebut dan memfokuskan energi mental peserta pada *Germane Cognitive Load*, yaitu konstruksi skema konfigurasi jaringan. Penelitian ini memperkuat posisi bahwa simulator bukan sekadar "pengganti", melainkan "akselerator" kognitif dalam pendidikan teknik.

Modifikasi Teori: Paradigma "Virtual-First" dalam Vokasi

Selama ini, teori pendidikan vokasi sangat menekankan pada *hands-on experience* pada alat nyata sebagai standar emas. Namun, berdasarkan temuan ini, kami mengusulkan modifikasi teori pembelajaran vokasi di era digital, yaitu Paradigma *Virtual-First Learning (VFL)*.

Dalam teori VFL, proses belajar dibagi menjadi dua zona:

- Zona Eksplorasi Logika (Virtual): peserta menghabiskan 80% waktu untuk mencoba berbagai variasi topologi, melakukan kesalahan, dan memahami logika algoritma jaringan secara virtual.
- Zona Validasi Fisik (Konvensional): peserta hanya masuk ke laboratorium fisik setelah logika mereka matang di simulator. Di sini, fokusnya bukan lagi belajar konfigurasi, melainkan belajar karakteristik fisik perangkat (seperti pengabelan dan manajemen suhu rak).

Modifikasi teori ini menggeser peran laboratorium fisik dari "tempat belajar utama" menjadi "tempat validasi kompetensi". Hal ini sangat realistis bagi institusi pendidikan vokasi di Indonesia yang memiliki keterbatasan anggaran namun ingin mengejar kualitas lulusan yang kompeten secara logika dan teknis

Implikasi bagi Pengambil Kebijakan

Dari sisi manajemen institusi, efisiensi sumber daya yang ditemukan menunjukkan bahwa investasi pada laboratorium virtual berbasis server (seperti EVE-NG atau PNETLab untuk tingkat lanjut) jauh lebih menguntungkan dibandingkan pembelian perangkat fisik tingkat rendah secara masif. Anggaran dapat dialokasikan untuk membeli satu atau dua unit perangkat high-end (seperti Router seri 4000 atau Nexus Switch) sebagai perangkat validasi, sementara latihan harian didorong sepenuhnya ke platform virtual.

Strategi ini tidak hanya efisien secara biaya, tetapi juga secara ekologis (reduksi konsumsi listrik) dan operasional (mengurangi beban kerja teknisi laboratorium dalam merapikan kabel setiap hari).

PENUTUP

Kesimpulan

Simpulan dari rangkaian penelitian ini menegaskan bahwa pengintegrasian laboratorium virtual yang berbasis pada platform Cisco Packet Tracer bukan sekadar inovasi tambahan, melainkan jawaban deterministik yang sangat krusial dalam mengatasi berbagai hambatan efisiensi pembelajaran, khususnya pada lingkungan institusi pendidikan vokasi. Secara substansial dan empiris, pemanfaatan simulator ini terbukti mampu mengeskalasi capaian kognitif peserta didik secara signifikan. Fenomena peningkatan ini terefleksi dengan sangat jelas melalui perolehan skor N-Gain yang berada pada kategori tinggi, yang menunjukkan bahwa proses transformasi pengetahuan terjadi secara efektif di dalam ruang digital tersebut.

Temuan ini sekaligus memvalidasi bahwa hambatan kognitif berupa abstraksi yang sering

kali muncul dalam penguasaan materi jaringan komputer seperti konsep perutean data yang tidak kasat mata dapat dimitigasi sepenuhnya melalui visualisasi interaktif dan dinamis yang disediakan oleh media virtual. Peserta didik tidak lagi sekadar menghafal teori, tetapi mampu membangun model mental yang kokoh melalui observasi langsung terhadap simulasi aliran paket data. Lebih jauh lagi, penelitian ini menyoroti aspek efisiensi waktu operasional yang sangat impresif, di mana durasi praktikum dapat dipangkas hingga lebih dari separuh waktu yang biasanya dihabiskan pada laboratorium konvensional.

Hal ini menegaskan posisi laboratorium virtual bukan lagi dipandang sebagai alat bantu substitusi yang inferior atau sekadar pengganti sementara, melainkan bertindak sebagai akselerator proses pembelajaran yang strategis. Kecepatan operasional dalam lingkungan simulasi memungkinkan intensitas latihan dan eksplorasi skenario jaringan menjadi jauh lebih tinggi meskipun berada dalam satuan waktu pertemuan yang sangat terbatas. Dengan demikian, implementasi simulator ini berhasil mereduksi kendala kronis terkait keterbatasan dan mahalannya pengadaan perangkat keras fisik, tanpa sedikit pun mengompromikan atau mereduksi standar kualitas kompetensi teknis serta keterampilan psikomotorik yang telah ditargetkan oleh kurikulum vokasi modern. Keberhasilan ini memberikan jaminan bahwa lulusan tetap memiliki daya saing yang kompetitif dengan efisiensi sumber daya pendidikan yang jauh lebih optimal.

Saran

Berdasarkan temuan komprehensif yang telah dipaparkan dalam penelitian ini, terdapat sejumlah rekomendasi strategis dan praktis yang sangat krusial untuk segera ditindaklanjuti oleh para pemangku kepentingan di ekosistem pendidikan. Bagi para pengelola program studi serta dosen pengampu mata kuliah jaringan komputer, sangat disarankan untuk melakukan redesain fundamental terhadap modul praktikum dengan mengadopsi strategi Virtual-First. Pendekatan ini bukan sekadar pemindahan platform, melainkan sebuah metode sistematis untuk mematangkan logika konfigurasi dan mengasah kemampuan troubleshooting peserta didik di dalam ruang digital yang aman dan terkendali terlebih dahulu. Dengan penguasaan simulasi yang matang, diharapkan saat peserta didik mulai berinteraksi langsung dengan perangkat fisik yang nyata, mereka telah memiliki tingkat kepercayaan diri yang tinggi serta pemahaman prosedur teknis yang jauh lebih solid, sehingga risiko kegagalan operasional dapat diminimalisir.

Di sisi lain, bagi jajaran pimpinan institusi maupun para pengambil kebijakan di bidang pendidikan vokasi, hasil penelitian ini seyogianya dijadikan landasan empiris yang kuat dalam upaya mengoptimalkan alokasi anggaran sarana dan prasarana pendidikan. Strategi investasi institusi sudah saatnya mulai dialihkan dari pola pengadaan perangkat keras tingkat rendah (entry-level) yang bersifat masif dan cepat mengalami depresiasi, menuju pengembangan infrastruktur server laboratorium virtual yang jauh lebih mumpuni. Hal ini mencakup pengadaan lisensi perangkat lunak emulasi tingkat lanjut yang mampu mereplikasi ekosistem jaringan modern secara presisi. Langkah transformatif ini sangat penting dilakukan untuk menjamin bahwa laboratorium pendidikan tetap relevan dengan dinamika teknologi industri yang saat ini tengah bergerak pesat menuju paradigma Software Defined Networking (SDN). Selain menjaga relevansi kurikulum, peralihan ke arah laboratorium virtual juga akan menjamin keberlanjutan operasional institusi yang jauh lebih efisien, terutama jika ditinjau dari aspek penghematan biaya pemeliharaan rutin, pengurangan limbah perangkat keras, hingga efisiensi konsumsi energi listrik dalam jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Arjana, I. G., & Tri Upayogi, I. N. (2022). Pengembangan home-laboratory based digital practicum module dalam menunjang pembelajaran jarak jauh pada matakuliah praktikum fisika dasar. *Wahana Matematika Dan Sains: Jurnal Matematika, Sains, Dan Pembelajarannya*, 16(1), 12–20. <https://doi.org/10.23887/wms.v16i1.45417>
- Arrahman, R. A., Irsyadunas, & Samudra, A. A. (2023). Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Virtual Lab Pada Mata Pelajaran Resistor. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Dan Riset Pendidikan*, 2(1), 313–322. <https://doi.org/10.31004/jerkin.v2i1.180>
- Bayu Widodo, Nur Aziezhah, & Aditya Wicaksono. (2023). Pengembangan Model Laboratorium Jaringan Virtual Menggunakan GNS3 Di SMKS Bhinneka Karya 5 Boyolali. *NUSANTARA Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3(2), 72–80. <https://doi.org/10.55606/nusantara.v3i2.1118>
- Hasim, A., & Hadi, A. (2022). Rancang Bangun Virtual Laboratory pada Materi Praktikum Jaringan LAN. *JAVIT: Jurnal Vokasi Informatika*, 63–75. <https://doi.org/10.24036/javit.v2i2.78>
- Kartadie, R., & Nugroho, M. A. (2023). Analisis Implementasi Virtual Lab Pada Praktikum Big Data Dengan Platform Open Stack Virtual Compute. *Journal of Information System Management (JOISM)*, 5(1), 46–52. <https://doi.org/10.24076/joism.2023v5i1.1153>
- Muhajarah, K., & Sulthon, M. (2020). Pengembangan Laboratorium Virtual sebagai Media Pembelajaran: Peluang dan Tantangan. *Justek: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 3(2), 77. <https://doi.org/10.31764/justek.v3i2.3553>
- Nurfidah. (2021). Penerapan Pembelajaran Berbasis Laboratorium Virtual Dengan Bantuan Aplikasi Rekam Layar Pada Materi Routing. *VOCATIONAL: Jurnal Inovasi Pendidikan Kejuruan*, 1(3), 87–92. <https://doi.org/10.51878/vocational.v1i3.349>
- Prapanca, A., & Suartana, I. M. (2017). Simulasi Virtual Laboratorium untuk Pengajaran Jaringan Komputer. *Journal of Information Engineering and Educational Technology*, 1(2), 89. <https://doi.org/10.26740/jieet.v1n2.p89-93>
- Sa'adah, N. L., Putra, M. T. M., Maula, P. I., & Putra, E. R. (2025). V-Lab sebagai Sarana Pembelajaran Inovatif pada Pembelajaran Praktikum Fiber Optic. *Jurnal Ilmiah Edutic: Pendidikan Dan Informatika*, 12(1), 49–60. <https://doi.org/10.21107/edutic.v12i1.29394>
- Sahidin, M. Z. I., Munir, & Wahyudin. (2025). *Efektivitas Virtual Laboratory Client-Server dengan Model Project Based Learning (PjBL) untuk Meningkatkan Motivasi Siswa*. 9, 20081–20088.
- Wulandari, S., Dafitri, H., & Lubis, Y. F. A. (2025). Media Pembelajaran Praktikum Jaringan Komputer Berbasis Augmented Reality dengan Metode Marker Based Tracking. *Explorer*, 5(1), 1–13. <https://doi.org/10.47065/explorer.v5i1.1719>