

PENGEMBANGAN VIRTUAL LEARNING LAB BERBASIS CLOUD NETWORKING UNTUK PEMBELAJARAN INFRASTRUKTUR JARINGAN KOMPUTER

Zulkipli Zulkipli¹, M. Firdaus Isnain², Ekal Syahrian³, M. Hilal Mumtaz Lutfie⁴,
Tomy Ariq⁵, Herman Supriantono⁶

^{1, 2, 3, 4, 5, 6} Universitas Bumigora, Jl. Ismail Marzuki No.22, Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia
Email: zulkipli@universitasbumigora.ac.id

Article History

Received: 08-05-2026

Revision: 19-05-2026

Accepted: 22-05-2026

Published: 24-05-2026

Abstract. This study aims to develop a cloud-based Virtual Learning Lab concept as an alternative to a flexible, cost-effective, and easily accessible computer networking practice laboratory. The research is motivated by the limitations of physical laboratories, such as the high cost of equipment procurement, infrastructure maintenance, and the imbalance between laboratory capacity and the number of students. The research method uses a descriptive conceptual approach through literature studies and analysis of the needs of a cloud-based virtual laboratory system by examining network emulation technology, horizontal elasticity, and auto-scaling. The results of the study produce a virtual laboratory architecture design consisting of a front-end in the form of a user web portal and a back-end in the form of a cloud-based network emulation server. The system is designed to support access across devices and operating systems, provide flexible practicum modules, and manage resources according to user needs. In addition, the study also produces a security management framework through setting access policies, monitoring user activity, and evaluating system security. The research findings indicate that a cloud-based virtual laboratory can improve the accessibility of computer networking practice, support large-scale practicum implementation, and reduce operational costs through a pay-as-you-use scheme, although its implementation still requires technical readiness, security governance, and good curriculum integration.

Keywords: Virtual Learning Lab, Cloud Networking, Elasticity, Network Emulation, Computer Network Learning

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan konsep *Virtual Learning Lab* berbasis *cloud networking* sebagai alternatif laboratorium praktik jaringan komputer yang fleksibel, hemat biaya, dan mudah diakses. Penelitian dilatarbelakangi oleh keterbatasan laboratorium fisik, seperti tingginya biaya pengadaan perangkat, perawatan infrastruktur, serta ketidakseimbangan kapasitas laboratorium dengan jumlah peserta didik. Metode penelitian menggunakan pendekatan deskriptif konseptual melalui studi literatur dan analisis kebutuhan sistem laboratorium virtual berbasis cloud dengan mengkaji teknologi emulasi jaringan, *horizontal elasticity*, dan *auto scaling*. Hasil penelitian menghasilkan rancangan arsitektur laboratorium virtual yang terdiri atas *front-end* berupa portal web pengguna dan *back-end* berupa server emulasi jaringan berbasis cloud. Sistem dirancang untuk mendukung akses lintas perangkat dan sistem operasi, penyediaan modul praktikum secara fleksibel, serta pengelolaan sumber daya sesuai kebutuhan pengguna. Selain itu, penelitian juga menghasilkan kerangka pengelolaan keamanan melalui pengaturan kebijakan akses, monitoring aktivitas pengguna, dan evaluasi keamanan sistem. Temuan penelitian menunjukkan bahwa laboratorium virtual berbasis cloud mampu meningkatkan aksesibilitas praktikum jaringan komputer, mendukung pelaksanaan praktikum skala besar, serta menekan biaya operasional melalui skema *pay as you use*, meskipun implementasinya tetap memerlukan kesiapan teknis, tata kelola keamanan, dan integrasi kurikulum yang baik.

Kata Kunci: Virtual Learning Lab, Cloud Networking, Elastisitas, Emulasi Jaringan, Pembelajaran Jaringan Komputer

How to Cite: Zulkipli, Z., Isnain, M. F., Syahrian, E., Lutfie, M. H. M., Ariq, T., & Supriantono, H. (2026). Pengembangan *Virtual Learning Lab* Berbasis *Cloud Networking* untuk Pembelajaran Infrastruktur Jaringan Komputer. *Indo-MathEdu Intellectuals Journal*, 7 (3), 3662-3672. <http://doi.org/10.54373/imeij.v7i3.5665>

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi mendorong transformasi signifikan dalam sistem pembelajaran, khususnya pada bidang infrastruktur jaringan komputer. Kompetensi jaringan komputer tidak hanya menuntut penguasaan konsep teoretis, tetapi juga keterampilan praktis dalam merancang, mengonfigurasi, dan mengelola sistem jaringan (Barovich et al., 2025). Oleh karena itu, praktikum menjadi komponen penting dalam pembelajaran jaringan komputer karena banyak konsep jaringan bersifat abstrak dan sulit dipahami tanpa pengalaman langsung melalui simulasi maupun implementasi nyata (Santiyadiputra & Hadi, 2023). Namun, pelaksanaan praktikum pada laboratorium fisik masih menghadapi berbagai kendala, seperti keterbatasan perangkat sesuai standar industri, tingginya biaya pengadaan dan pemeliharaan, serta terbatasnya akses penggunaan laboratorium. Kondisi tersebut berdampak pada rendahnya intensitas praktik dan terbatasnya kesempatan peserta didik untuk mengeksplorasi skenario jaringan yang lebih kompleks.

Berbagai penelitian telah mengembangkan pendekatan virtualisasi, simulator, dan emulator jaringan sebagai solusi alternatif terhadap keterbatasan laboratorium fisik. Penelitian Damanik et al. (2025) menunjukkan bahwa *cloud labs* berbasis *virtual emulation* mampu meningkatkan kompetensi teknis dan keterampilan praktik siswa melalui pembelajaran berbasis proyek. Selain itu, emulator jaringan seperti EVE-NG memungkinkan peserta didik melakukan simulasi konfigurasi perangkat jaringan yang menyerupai kondisi nyata. Pada konteks pendidikan tinggi, Criollo-C et al. (2023) juga menemukan bahwa simulator jaringan berbasis web efektif meningkatkan pemahaman konseptual dan keterampilan praktis mahasiswa melalui visualisasi topologi dan interaksi real-time. Temuan-temuan tersebut menunjukkan bahwa laboratorium virtual memiliki potensi besar dalam mendukung pembelajaran jaringan komputer yang lebih fleksibel dan adaptif.

Meskipun demikian, kajian terdahulu umumnya masih berfokus pada penggunaan simulator atau emulator jaringan secara terpisah dan belum banyak mengintegrasikan teknologi virtualisasi dengan arsitektur *cloud networking* yang terpusat dan elastis. Sebagian besar implementasi masih berjalan pada lingkungan lokal dengan keterbatasan skalabilitas, pengelolaan multi-pengguna, dan distribusi sumber daya secara dinamis. Padahal, karakteristik *cloud computing* seperti fleksibilitas, elastisitas, dan akses lintas lokasi sangat relevan untuk mendukung pembelajaran praktikum jaringan komputer secara luas dan berkelanjutan (Permana & Munaldi, 2026). Dengan demikian, terdapat celah penelitian pada pengembangan lingkungan praktikum virtual yang mampu mengintegrasikan teknologi cloud, virtualisasi, dan emulator jaringan dalam satu ekosistem pembelajaran yang terpadu.

Integrasi *cloud computing* dengan teknologi virtualisasi dan akses jarak jauh memungkinkan pengembangan *Virtual Learning Lab* berbasis *cloud networking* yang lebih komprehensif (Pitriyani & Firdaus, 2024). Lingkungan ini memungkinkan penyediaan sumber daya praktikum secara terpusat, dapat diakses kapan saja dan dari berbagai perangkat, serta mampu menyesuaikan kapasitas sesuai kebutuhan pengguna (Miftakhudin, et al., 2025). Dengan demikian, *Virtual Learning Lab* tidak hanya berfungsi sebagai pengganti laboratorium fisik, tetapi juga sebagai platform pembelajaran yang adaptif, efisien, dan selaras dengan tuntutan pembelajaran abad ke-21 (Santiyadiputra & Hadi, 2023; Permana & Munaldi, 2026).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan merancang *Virtual Learning Lab* berbasis *cloud networking* untuk pembelajaran infrastruktur jaringan komputer dengan mengintegrasikan teknologi cloud, virtualisasi, dan simulator/emulator jaringan dalam satu platform pembelajaran. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif solusi terhadap keterbatasan laboratorium fisik sekaligus mendukung pembelajaran praktikum yang lebih fleksibel, efisien sesuai dengan kebutuhan pembelajaran abad ke-21.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Research and Development* (R&D) berbasis prototipe untuk merancang dan memvalidasi *Virtual Learning Lab* berbasis *cloud networking* sebagai media pembelajaran infrastruktur jaringan komputer. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan pengembangan sistem secara bertahap dan menyesuaikan kebutuhan pengguna. Tahap awal penelitian dilakukan melalui analisis kebutuhan pembelajaran dan kebutuhan institusi. Analisis pembelajaran mencakup identifikasi kompetensi praktik jaringan komputer, seperti *routing*, *switching*, *IP addressing*, *subnetting*, konfigurasi *static* dan *dynamic routing*, serta *troubleshooting* jaringan. Sementara itu, analisis institusi meliputi keterbatasan laboratorium fisik, biaya pengadaan dan pemeliharaan perangkat, serta keterbatasan akses peserta didik terhadap perangkat jaringan standar industri.

Tahap berikutnya adalah perancangan arsitektur sistem *Virtual Learning Lab* berbasis cloud. Sistem dirancang dengan memisahkan komponen *front-end* dan *back-end*. Komponen *front-end* berfungsi sebagai portal pembelajaran untuk pengelolaan materi, modul, dan aktivitas praktikum, sedangkan *back-end* menyediakan layanan laboratorium virtual berbasis *cloud instance* yang menjalankan simulator atau emulator jaringan. Pada tahap ini juga dirancang penggunaan *virtual machine template* sebagai dasar penyediaan lingkungan praktikum yang seragam, serta mekanisme *provisioning* dan akses pengguna untuk mendukung penggunaan multi-pengguna secara efisien.

Tahap selanjutnya meliputi pengembangan modul praktikum, perancangan keamanan sistem, dan analisis operasional laboratorium virtual. Modul praktikum dikembangkan dalam bentuk topologi jaringan dan panduan praktik langkah demi langkah agar proses pembelajaran dapat berjalan sistematis dan terukur. Aspek keamanan dirancang melalui kebijakan akses pengguna, aturan penggunaan laboratorium virtual, dan mekanisme monitoring aktivitas pengguna. Selain itu, dilakukan analisis biaya operasional menggunakan prinsip *pay-as-you-use*, yaitu perhitungan biaya berdasarkan durasi penggunaan layanan cloud dan kebutuhan penyimpanan data. Data penelitian dianalisis secara deskriptif untuk mengevaluasi kesesuaian rancangan sistem dengan kebutuhan pembelajaran praktikum jaringan komputer.

HASIL DAN DISKUSI

Virtual Learning Lab Berbasis Cloud Networking

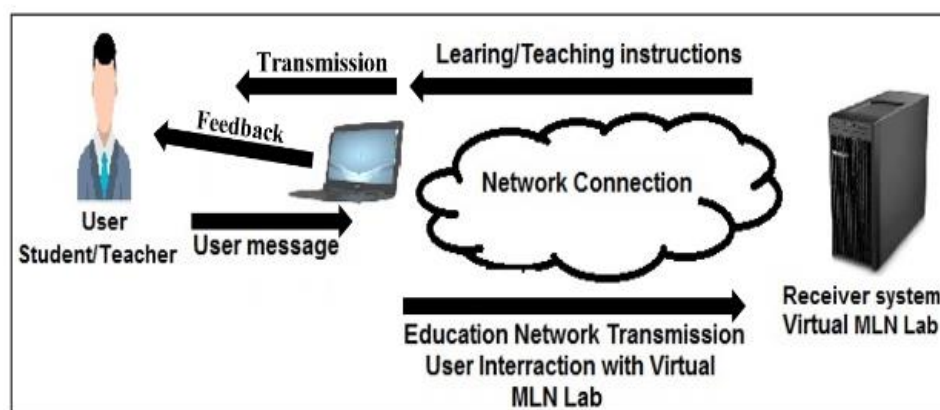
Virtual Learning Lab dirancang sebagai lingkungan praktik jaringan komputer berbasis *cloud networking* yang mampu menyediakan sumber daya komputasi dan jaringan secara fleksibel, terukur, dan dapat diakses melalui internet dari berbagai perangkat (Kartadie & Nugroho, 2023). Pengembangan konsep ini didasarkan pada kebutuhan pembelajaran jaringan komputer yang memerlukan infrastruktur praktik dengan banyak node, topologi kompleks, dan simulasi jaringan yang menyerupai kondisi nyata. Pada laboratorium konvensional, kebutuhan tersebut sering sulit dipenuhi karena keterbatasan perangkat keras dan kapasitas laboratorium. Oleh karena itu, pemanfaatan infrastruktur cloud menjadi solusi untuk menyediakan mesin virtual dan layanan jaringan secara terpusat tanpa membebani perangkat pengguna akhir (Al-Zubaidie et al., 2024).

Dalam sistem ini, seluruh lingkungan laboratorium ditempatkan pada infrastruktur cloud sehingga peserta didik tidak perlu melakukan instalasi perangkat lunak jaringan yang kompleks pada komputer masing-masing. Pendekatan ini mampu mengatasi permasalahan kompatibilitas sistem operasi, termasuk keterbatasan emulator tertentu yang hanya dapat dijalankan pada platform tertentu, seperti Linux. Seluruh proses instalasi, konfigurasi, dan eksekusi emulator jaringan dilakukan pada server cloud, sedangkan pengguna hanya memerlukan akses internet melalui *browser* web atau koneksi SSH untuk menjalankan praktikum. Model ini sejalan dengan konsep *remote virtual laboratory* yang memungkinkan kegiatan praktikum dilakukan secara lebih fleksibel, lintas perangkat, dan tidak bergantung pada lokasi fisik laboratorium (Haag et al., 2019; Al-Zubaidie et al., 2024).

Virtual Learning Lab berbasis *cloud networking* juga memanfaatkan karakteristik utama *cloud computing*, yaitu elastisitas dan skalabilitas horizontal. Sistem dirancang agar jumlah mesin virtual dapat ditambah atau dikurangi sesuai jumlah pengguna dan kebutuhan praktikum. Misalnya, ketika jumlah peserta praktikum meningkat, sistem dapat secara otomatis menambah kapasitas sumber daya melalui mekanisme *auto-scaling* (Al-Zubaidie et al., 2024). Dengan mekanisme tersebut, laboratorium virtual mampu memberikan pengalaman praktikum yang stabil sekaligus menerapkan prinsip *pay-as-you-use* sehingga penggunaan sumber daya menjadi lebih efisien dan ekonomis.

Dari sisi arsitektur, sistem dibangun dengan memisahkan lapisan *back-end* dan *front-end*. Lapisan *back-end* terdiri atas server cloud yang menjalankan mesin virtual atau emulator jaringan, seperti Netkit dan emulator sejenis, sebagai dasar pembentukan topologi jaringan virtual. Sementara itu, lapisan *front-end* menyediakan portal pembelajaran yang digunakan untuk mengelola modul praktikum, mendistribusikan skenario jaringan, serta memberikan akses pengguna terhadap laboratorium virtual. Pemisahan arsitektur ini mendukung pengelolaan sistem yang lebih modular, mudah dikembangkan, dan sesuai dengan prinsip arsitektur cloud modern (Al-Zubaidie et al., 2024; Alonso et al., 2022).

Selain sebagai pengganti laboratorium fisik, Virtual Learning Lab juga dirancang untuk mendukung pembelajaran berbasis eksperimen dan eksplorasi. Peserta didik dapat melakukan konfigurasi, pengujian, dan evaluasi jaringan secara mandiri maupun kolaboratif tanpa risiko kerusakan perangkat fisik. Lingkungan cloud yang stabil memungkinkan pelaksanaan berbagai skenario praktikum, mulai dari konfigurasi dasar hingga simulasi jaringan berskala besar. Dengan demikian, Virtual Learning Lab tidak hanya meningkatkan aksesibilitas pembelajaran praktikum jaringan komputer, tetapi juga mendukung terciptanya pembelajaran yang lebih adaptif, aman, dan berkelanjutan sesuai dengan kebutuhan pendidikan di era digital (Al-Zubaidie et al., 2024; Puntambekar et al., 2021).



Gambar 1. Konsep arsitektur virtual learning lab berbasis *cloud networking*

Arsitektur Sistem

Arsitektur *Virtual Learning Lab* berbasis *cloud networking* dirancang menggunakan pendekatan berlapis (*layered architecture*) yang memisahkan fungsi teknis laboratorium dan fungsi manajemen pembelajaran. Pemisahan ini bertujuan untuk meningkatkan modularitas sistem, memudahkan pengelolaan, serta memberikan fleksibilitas dalam pengembangan sistem. Secara umum, arsitektur terdiri atas dua lapisan utama, yaitu *back-end* atau *Lab Compute Layer* dan *front-end* atau *Learning Portal Layer*. Kedua lapisan ini saling terhubung, tetapi memiliki peran yang berbeda. *Back-end* berfungsi sebagai pusat eksekusi teknis praktikum jaringan, sedangkan *front-end* berfungsi sebagai antarmuka pembelajaran bagi pengguna (Ramdhani, 2024).

Lapisan *back-end* menyediakan sumber daya komputasi berbasis cloud yang digunakan untuk menjalankan praktikum jaringan. Lapisan ini terdiri atas server atau *cloud instance* yang menjalankan emulator jaringan dan telah dikonfigurasi dalam kondisi siap pakai. Salah satu *instance* dasar disiapkan sebagai *template image* yang berisi sistem operasi, perangkat emulator jaringan, serta konfigurasi awal praktikum (Rachmad et al., 2023). Dengan penggunaan *template image*, penyediaan laboratorium virtual dapat dilakukan secara cepat, seragam, dan konsisten. Selain itu, administrator cukup memperbarui *template* utama apabila diperlukan perubahan sistem, kemudian mendistribusikannya kembali ke seluruh *instance* laboratorium sesuai kebutuhan. Pendekatan ini membuat proses pemeliharaan lebih efisien dan mendukung skalabilitas sistem (Al-Zubaidie et al., 2024).

Lapisan *front-end* berperan sebagai portal pembelajaran yang menjadi penghubung utama antara pengguna dan sistem *Virtual Learning Lab*. Portal ini digunakan untuk mengelola modul praktikum, menyusun urutan pembelajaran, menyediakan materi pendukung, serta mendistribusikan skrip dan file konfigurasi topologi jaringan. Melalui portal tersebut, pendidik dapat merancang kegiatan praktikum secara bertahap, mulai dari skenario sederhana seperti koneksi dua node hingga skenario yang lebih kompleks, seperti penggunaan *switch*, *router*, serta konfigurasi *routing* statik dan dinamik. Dengan demikian, *front-end* berfungsi sebagai pusat pengelolaan pedagogis, sedangkan *back-end* menangani proses teknis emulasi jaringan pada infrastruktur cloud.

Integrasi antara *front-end* dan *back-end* memungkinkan proses pembelajaran praktikum berlangsung secara lebih terstruktur, terkontrol, dan efisien. Pendidik dapat mengatur skenario pembelajaran melalui portal, sementara sistem cloud menyediakan lingkungan praktik yang siap digunakan oleh peserta didik. Model arsitektur ini tidak hanya memudahkan pengelolaan

laboratorium virtual, tetapi juga mendukung pembelajaran jaringan komputer yang fleksibel, skalabel, dan sesuai dengan kebutuhan pembelajaran berbasis teknologi (Al-Zubaidie et al., 2024).

Mekanisme Penyediaan Lab: Elastisitas Horizontal dan *Auto Scaling*

Elastisitas horizontal memungkinkan sistem menambah atau mengurangi jumlah instance laboratorium sesuai dengan kebutuhan aktual pengguna. Sebagai contoh, ketika jumlah peserta praktikum meningkat, misalnya mencapai puluhan mahasiswa dalam satu sesi pembelajaran, administrator dapat dengan cepat menyediakan instance laboratorium baru berdasarkan template yang telah disiapkan. Sebaliknya, setelah kegiatan pembelajaran selesai, instance tersebut dapat dimatikan atau dihapus sehingga tidak menimbulkan biaya operasional yang berkelanjutan. Mekanisme ini selaras dengan prinsip *pay-as-you-use* dalam cloud computing, yang menekankan efisiensi penggunaan sumber daya berdasarkan kebutuhan riil (Al-Zubaidie et al., 2024). Selain penyediaan instance secara manual, sistem juga mendukung penerapan fitur *auto scaling* untuk mengotomatisasi proses elastisitas. Melalui fitur ini, administrator dapat menetapkan parameter atau metrik tertentu, seperti tingkat penggunaan CPU, jumlah koneksi aktif, atau indikator performa lainnya. Sistem kemudian akan memantau kondisi operasional secara berkelanjutan dan secara otomatis menentukan kapan perlu menambah atau mengurangi instance laboratorium. Otomatisasi ini sangat penting untuk menjaga stabilitas layanan, terutama ketika banyak peserta melakukan praktikum secara bersamaan dan beban sistem meningkat secara signifikan (Al-Zubaidie et al., 2024).

Dengan kombinasi elastisitas horizontal dan *auto scaling*, Virtual Learning Lab mampu menyediakan pengalaman pembelajaran praktikum yang stabil, responsif, dan berkelanjutan. Peserta didik dapat mengakses lingkungan laboratorium dengan performa yang konsisten tanpa terpengaruh oleh jumlah pengguna lain, sementara institusi pendidikan dapat mengelola sumber daya secara efisien tanpa investasi perangkat keras tambahan. Pendekatan ini menegaskan peran cloud networking sebagai fondasi strategis dalam pengembangan laboratorium virtual modern yang adaptif terhadap kebutuhan pembelajaran jaringan komputer.

Desain Modul Praktikum dan Alur Aktivitas Belajar

Desain modul praktikum dalam Virtual Learning Lab berbasis *cloud networking* disusun untuk mendukung pembelajaran jaringan komputer yang sistematis, terstruktur, dan dapat direplikasi. Setiap aktivitas praktikum dirancang dengan mengintegrasikan dua komponen utama, yaitu file topologi atau konfigurasi jaringan serta *didactic script* atau skrip instruksional.

File topologi berfungsi sebagai representasi struktur jaringan virtual yang akan dijalankan oleh sistem emulasi, mencakup definisi node, antarmuka jaringan, alamat IP, serta konektivitas antarperangkat. Dengan adanya file ini, sistem dapat secara otomatis membentuk lingkungan jaringan yang konsisten bagi setiap peserta didik (Hasdyna & Dinata, (2024). Sementara itu, *didactic script* berperan sebagai panduan langkah demi langkah yang harus diikuti oleh peserta didik selama praktikum. Skrip ini memuat instruksi teknis yang rinci, seperti konfigurasi IP addressing, pengaturan netmask, penerapan routing statik maupun dinamik, hingga pengujian konektivitas jaringan. Pendekatan ini menekankan pembelajaran prosedural, di mana peserta didik tidak hanya memahami konsep secara teoritis, tetapi juga mampu menerapkannya melalui urutan aktivitas yang jelas dan terkontrol. Model pembelajaran ini memungkinkan instruktur mengatur tingkat kompleksitas praktikum secara bertahap, menyesuaikan dengan capaian kompetensi yang ditargetkan pada setiap sesi pembelajaran (Al-Zubaidie et al., 2024). Selain mendukung keterulangan (*replicability*), desain modul ini juga memudahkan proses evaluasi pembelajaran. Karena setiap peserta menjalankan skenario praktikum yang sama, instruktur dapat melakukan penilaian secara objektif berdasarkan ketercapaian konfigurasi, keberhasilan konektivitas, dan ketepatan prosedur yang dilakukan. Dengan demikian, Virtual Learning Lab tidak hanya berfungsi sebagai sarana praktik, tetapi juga sebagai alat evaluasi kompetensi yang terukur dan konsisten.

Tata Kelola Keamanan Virtual Lab

Keamanan merupakan aspek krusial dalam implementasi Virtual Learning Lab, mengingat sistem ini diakses secara jarak jauh dan digunakan secara bersamaan oleh banyak pengguna. Oleh karena itu, tata kelola keamanan dirancang secara komprehensif untuk menjaga stabilitas sistem, melindungi data, serta memastikan bahwa seluruh aktivitas praktikum tetap selaras dengan tujuan edukatif. Kerangka keamanan yang diterapkan mengacu pada pendekatan *lab services security* yang dikemukakan oleh Al-Zubaidie et al. (2024). Pada tingkat operasional, *lab management* atau *scenario management* digunakan untuk merancang struktur sistem dan memetakan layanan jaringan ke dalam *service pool* yang tersedia. Melalui mekanisme ini, setiap skenario praktikum dapat diinstansiasi secara dinamis ke dalam mesin virtual sesuai model yang telah ditentukan, sehingga lingkungan praktikum tetap terkontrol dan terisolasi antar pengguna. Selanjutnya, *policy administration* digunakan untuk menetapkan tujuan dan kriteria keamanan, yang kemudian diterjemahkan menjadi konfigurasi kebijakan teknis dan diterapkan pada lingkungan laboratorium virtual. Pendekatan ini memastikan bahwa setiap

layanan dan aktivitas praktikum berjalan sesuai dengan kebijakan yang telah ditetapkan (Ferdiansyah, et al., 2023).

Selain itu, tata kelola keamanan juga mencakup penetapan aturan penggunaan (*regulations for competition*) yang bertujuan mencegah tindakan yang dapat merusak proses pembelajaran, seperti serangan *denial of service* (DoS) antar pengguna atau aktivitas lain yang mengganggu stabilitas sistem. Aturan ini penting karena serangan semacam itu sulit dievaluasi secara akademik dan berpotensi menimbulkan tekanan yang tidak relevan dengan tujuan pembelajaran (Al-Zubaidie et al., 2024). Untuk mendukung evaluasi keamanan, diterapkan mekanisme *security evaluation* melalui agen pemantauan yang berjalan pada mesin virtual. Agen ini bertugas memantau lalu lintas dan perilaku sistem, kemudian mengirimkan data ke komponen analisis untuk dievaluasi berdasarkan entitas dan skenario yang dimodelkan. Dalam konteks implementasi institusi, kerangka ini dapat dipadukan dengan prinsip keamanan cloud berbasis layanan dan pengendalian akses guna meningkatkan perlindungan sistem secara menyeluruh (Parast et al., 2022).

Estimasi Biaya dan Efisiensi Operasional

Aspek efisiensi biaya menjadi salah satu pertimbangan penting dalam pengembangan *Virtual Learning Lab* berbasis *cloud networking*. Pada layanan cloud, biaya operasional umumnya dihitung berdasarkan durasi penggunaan *instance* dan konsumsi sumber daya, seperti kapasitas penyimpanan dan penggunaan jaringan. Untuk kebutuhan emulasi jaringan yang sebagian besar berbasis teks dan tidak memerlukan komputasi grafis tinggi, penggunaan *instance* dengan spesifikasi rendah hingga menengah dinilai sudah memadai. Pendekatan ini memungkinkan institusi menekan biaya operasional tanpa mengurangi kualitas layanan praktikum. Sementara itu, komponen portal pembelajaran yang menangani manajemen pengguna, basis data, dan aktivitas pembelajaran memerlukan kapasitas sumber daya yang lebih besar agar sistem tetap stabil dan responsif (Al-Zubaidie et al., 2024).

Keunggulan utama pendekatan berbasis cloud terletak pada fleksibilitas pengelolaan sumber daya dan biaya. *Instance* laboratorium dapat diaktifkan ketika praktikum berlangsung dan dimatikan saat tidak digunakan, sehingga institusi hanya membayar layanan sesuai kebutuhan (*pay-as-you-use*). Model ini lebih efisien dibandingkan laboratorium fisik yang membutuhkan investasi awal besar serta biaya pemeliharaan rutin, meskipun tingkat penggunaannya tidak selalu optimal. Dengan demikian, *Virtual Learning Lab* memungkinkan pengelolaan laboratorium yang lebih adaptif terhadap jumlah pengguna dan kebutuhan pembelajaran.

Selain menggunakan layanan cloud komersial, pengembangan laboratorium virtual juga dapat dilakukan melalui pendekatan *open-source private cloud* berbasis *Infrastructure as a Service* (IaaS). Pendekatan ini berpotensi mengurangi biaya lisensi dan memberikan kontrol lebih besar terhadap infrastruktur sistem. Namun, implementasinya memerlukan kesiapan institusi dalam hal perangkat keras, sumber daya manusia, dan pengelolaan sistem secara mandiri. Oleh karena itu, pemilihan model cloud, baik publik, privat, maupun hibrida, perlu disesuaikan dengan kebutuhan, kapasitas, dan strategi institusi agar Virtual Learning Lab dapat dioperasikan secara efisien, stabil, dan berkelanjutan (Al-Zubaidie et al., 2024).

KESIMPULAN

Pengembangan *Virtual Learning Lab* berbasis *cloud networking* menunjukkan bahwa integrasi teknologi cloud, virtualisasi, dan emulator jaringan mampu menjadi solusi terhadap keterbatasan laboratorium fisik dalam pembelajaran infrastruktur jaringan komputer. Berdasarkan hasil perancangan sistem, arsitektur yang memisahkan *front-end* sebagai portal pembelajaran dan *back-end* sebagai lingkungan emulasi jaringan memungkinkan penyediaan laboratorium virtual yang lebih fleksibel, mudah dikelola, dan dapat diakses dari berbagai perangkat melalui internet. Sistem ini juga mendukung pelaksanaan praktikum secara lebih luas melalui mekanisme elastisitas dan *auto scaling*, sehingga kapasitas sumber daya dapat disesuaikan dengan jumlah pengguna dan kebutuhan pembelajaran.

Selain meningkatkan aksesibilitas praktikum, penerapan model berbasis cloud juga terbukti lebih efisien dari sisi operasional karena menggunakan prinsip *pay-as-you-use*. Dengan demikian, institusi dapat mengurangi biaya pengadaan dan pemeliharaan perangkat laboratorium fisik tanpa mengurangi kualitas pengalaman praktik peserta didik. Dari aspek keamanan, penerapan kebijakan akses, aturan penggunaan, dan monitoring aktivitas pengguna menunjukkan bahwa laboratorium virtual dapat dikelola secara lebih terkontrol dan tetap mendukung tujuan edukatif pembelajaran. Oleh karena itu, penelitian ini menegaskan bahwa *Virtual Learning Lab* berbasis *cloud networking* berpotensi menjadi alternatif pembelajaran praktikum jaringan komputer yang adaptif, efisien, dan sesuai dengan kebutuhan pendidikan di era digital.

REFERENSI

- Al-Zubaidie, M., Muhajjar, R. A., & Shihabe, L. A. (2024). *Computer networking and cloud-based learning/teaching environment using virtual labs tools: A review and future aspirations*. *Mesopotamian Journal of Computer Science*, 2024, 176–203. <https://doi.org/10.58496/MJCSC/2024/015>
- Barovich, G., Ajismanto, F., & Yuniansyah, Y. (2025). Meningkatkan Literasi Jaringan Komputer bagi Siswa SMK TKJ: Pelatihan untuk Peningkatan Pengetahuan dan Minat terhadap Teknologi Informasi: Improving Computer Network Literacy for TKJ Vocational School Students: Training for Knowledge and Interest in Information Technology Improvement. *PengabdianMu: Jurnal Ilmiah Pengabdian kepada Masyarakat*, 10(9), 1127-1135.
- Criollo-C, S., Govea, J., Játiva, W., Pierrottet, J., Guerrero-Arias, A., Jaramillo-Alcázar, Á., & Luján-Mora, S. (2023). Towards the integration of emerging technologies as support for the teaching and learning model in higher education. *Sustainability*, 15(7), 6055.
- Damanik, H. A., Anggraeni, M., & Nusantara, F. A. A. (2025). Peningkatan kompetensi siswa melalui implementasi cloud labs virtual emulation untuk meningkatkan aspek soft skill di SMK Nusantara. *Jurnal Abdi Insani*, 12(6), 2862–2872. <https://doi.org/10.29303/abdiinsani.v12i6.2572>
- Miftakhudin, M., Farkhan, M., & Izaki, M. (2025). Optimalisasi Pembelajaran Jarak Jauh pada Institusi Pendidikan di Indonesia melalui Platform E-Learning Berbasis Cloud Computing.
- Ferdiansyah, D., Majapahit, S. A., & Muttaqin, M. F. (2023). Rancangan Infrastruktur Virtual Lab Untuk Mendukung Praktikum Keamanan Informasi Berdasarkan National Institute of Standards and Technology (NIST). *Journal of Information Technology Ampera*, 4(3), 242-253.
- Hasdyna, N., & Dinata, R. K. (2024). Komunikasi Data Dan Jaringan; Konsep, teknologi dan penerapannya dalam sistem modern. *Serasi Media Teknologi*.
- 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>
- Pitriyani, S., & Firdaus, R. (2024). Pengembangan Data Base Terdistribusi untuk Aplikasi Cloud Computing. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 4(3), 15905-15917. <https://doi.org/10.31004/innovative.v4i3.12437>
- Permana, R. A., & Munaldi, M. (2026). Integrasi Cloud Computing, Virtualisasi Dan Remote Dekstop Dalam Pembelajaran Teknologi Informasi. *Kohesi: Jurnal Sains dan Teknologi*, 10(8), 501-510. <https://ejournal.cibinstituit.com/index.php/kohesi/article/view/5820>
- Rachmad, Y. E., Dewantara, R., Junaidi, S., & Firdaus, M. (2023). *Mastering Cloud Computing (Foundations and Applications Programming)*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Ramdhani, T. I. (2024). Kajian Arsitektur Berlapis Untuk Pengembangan Aplikasi Dalam Mendukung Pembangunan Aplikasi Di Pemerintahan Provinsi Jawa Barat. *Creative Research Journal*, 10(01), 17-26.
- Santyadiputra, G. S., & Hadi, S. (2023). Vilanets: Inovasi Media Pembelajaran Jaringan Komputer. *Jurnal Pendidikan Teknologi Dan Kejuruan*, 20(1), 57-67. <https://doi.org/10.23887/jptkuniksha.v20i1.55087>