

ANALISIS IMPLEMENTASI VIRTUAL LAB PADA PRAKTIKUM BIG DATA DENGAN PLATFORM OPEN STACK VIRTUAL COMPUTE

Rikie Kartadie ^{1*)}, Muhammad Agung Nugroho ²⁾

^{1),2)} *Informatika Universitas Teknologi Digital Indonesia*
email : rikie@utdi.ac.id¹⁾, m.agung.n@utdi.ac.id²⁾

Abstraksi

Dalam pendidikan perguruan tinggi laboratorium praktis diperlukan sebagai media untuk mahasiswa eksperimen, misalkan untuk praktikum jaringan, pemrograman, atau model lain yang membutuhkan platform. Lingkungan laboratorium yang baik harus sangat fleksibel dan dapat dikonfigurasi untuk mensimulasikan berbagai jaringan komputer untuk eksperimen dan atau eksperimen lainnya. Namun, sulit bagi organisasi pendidikan untuk mengikuti area yang kompleks dan selalu berubah ini karena komputer dan teknologi komunikasi terus berkembang. Proses e-learning yang menggunakan simulasi komputer dan dapat diimplementasikan dengan Cloud computing dengan menggunakan pemodelan virtual lab yang dapat diakses melalui browser. Metode pengujian yaitu pengujian Black Box dan kalkulasi biaya penggunaan cloud dibandingkan dengan lab fisik. Pengujian Black Box adalah pengujian aspek fundamental sistem tanpa memperhatikan struktur logika internal perangkat lunak. Penelitian ini bertujuan untuk menguji penggunaan virtual lab dengan infrastruktur cloud digunakan lebih dari 100 user dan menghitung investasi biaya jangka pendek sebagai pembanding dengan investasi server bare metal pada on-premise.

Kata Kunci:

Cloud computing, elearning, virtual lab, openstack

Abstract

In higher education, practical laboratories are needed as a medium for experimental students in practical in such fields, such as computer network practicum, programming, or other models that require a platform. A good laboratory environment should be highly flexible and configurable to simulate various computer networks for experiments and other experiments. However, it is difficult for educational organizations to keep up with this complex and ever-changing area as computer and communication technologies advance. The e-learning process uses computer simulation and can be implemented with cloud computing using a virtual lab model that can be accessed via a browser. The test method is Black Box testing and calculating the cost of using the cloud compared to the physical lab. Black box testing is testing the fundamental aspects of the system without regard to the internal logic structure of the software. This study aims to test the use of virtual labs with cloud infrastructure used by more than 100 users and calculate short-term investment costs compared with investment in bare metal servers on-premises..

Keywords:

Cloud computing, elearning, virtual lab, openstack

Pendahuluan

Cloud computing adalah sebuah layanan platform, *software* ataupun infrastruktur yang dapat digunakan oleh banyak orang kapanpun dan dimanapun. Teknologi cloud computing semakin berkembang terutama dalam layanan infarstrukturnya yaitu menyediakan storage yang dapat digunakan untuk menyimpan data [1], tanpa perlu takut data hilang ataupun diformat secara tidak sengaja, tentunya dengan teknologi ini, kita dapat dan mampu melakukan sebuah kolaborasi, simulasi dan berbagi sumber daya. Komputasi virtual berbasis *cloud* telah menerima perhatian yang signifikan. Komputasi ini memberikan daya komputasi yang sangat besar dan fleksibel sehingga satu sistem dapat memenuhi

persyaratan yang berbeda dengan komputasi dan sumber daya yang optimal [2].

Terbatasnya jumlah laboratorium komputer dan jumlah mahasiswa yang terus meningkat menyebabkan waktu penggunaan ruang laboratorium yang sempit. *Virtual lab* adalah proses e-learning yang menggunakan simulasi komputer dan dapat diimplementasikan dengan *Cloud computing*. *Virtual lab* dapat menjadi sarana untuk membantu memahami topik atau dapat menjadi cara untuk mengatasi keterbatasan peralatan laboratorium. Terdapat beberapa tipe laboratorium dengan fiturnya yang dapat dibandingkan dan menjadi referensi diantaranya seperti yang dibandingkan oleh Xe Lu, et al [3]. Dalam laboratorium virtual dengan fitur level multi VM dan virtual network memberikan kesediaan yang tinggi

layaknya lab secara fisik. Namun tentu saja memiliki keunggulan lebih baik dibanding lab fisik yaitu dapat diakses secara remote dan tidak ada batasan waktu dan ruang dalam penjadwalannya. Hal ini memberikan keleluasaan kepada pengguna lab untuk mengakses lab sesuai dengan kebutuhan eksperimennya. Solusi kebutuhan praktikum kegiatan pembelajaran jarak jauh dapat dipenuhi dengan laboratorium virtual (Vlab) [4], yaitu laboratorium komputer yang diakses dengan jaringan internet. Vlab adalah platform laboratorium komputer yang menggunakan teknologi virtualisasi untuk menyajikan virtual machine (VM) sebagai komputer praktikum. Implementasi Vlab dapat menggunakan infrastruktur on-premise maupun infrastruktur public cloud. Konsep virtual learning berkembang menjadi lebih adaptif sehingga dapat menyelesaikan persoalan dalam proses belajar dan mengajar dan dapat menjadi tantangan untuk menerapkan AI dalam penerapannya [5]. Virtual lab yang adaptif dapat dikembangkan pada model pembelajaran *coding*, dimana seorang pengajar dapat meningkatkan efektivitas pengajaran sehingga siswa dapat memahami secara terstruktur dari logika pemrograman dasar kemudian mulai melakukan percobaan membuat model pemrograman sederhana atau lebih mendalam [6].

Infrastruktur *cloud computing* yang berjalan secara otonom, hemat biaya, fleksibel, dan andal memungkinkan terciptanya ekosistem e-learning. Sistem e-learning berbasis cloud jauh lebih cepat, lebih murah, dan lebih efisien daripada sistem e-learning on-premise dan jauh lebih aman [7]. Dalam uji coba model adopsi arsitektur menggunakan metoda ROCCA di perbankan [8], dilakukan pengujian dengan membandingkan server pada layanan cloud dengan server pada virtualisasi on-premise. Hasilnya menunjukkan performa CPU pada server cloud unggul pada proses single thread, dari sisi memori memberikan hasil yang lebih baik untuk server berbasis cloud daripada server berbasis virtualisasi *hypervisor*, sementara dari sisi I/O pada hardisk tidak menunjukkan perbedaan signifikan. Open stack merupakan perangkat lunak bebas dan open-source software platform untuk cloud computing, umum digunakan untuk membangun *Infrastructure as a Service* (IaaS) [9]. Model setup dan konfigurasi pada open stack dapat mudah dipahami dengan adanya *core component* open stack yang dapat mengintegrasikan satu dengan yang lain [10]. Konsep SDN [11][12] dapat diterapkan untuk membangun router virtual untuk menghubungkan *public network* dengan *private network* yang dibuat oleh OpenStack melalui file yang dikonfigurasi OpenStack dan instance pada *private network* [13].

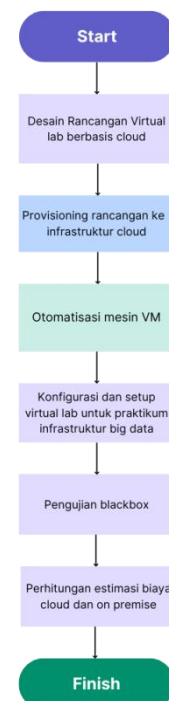
Efisiensi biaya menjadi salah satu model penerapan cloud karena dianggap dapat mengurangi pembiayaan dalam pengadaan infrastruktur untuk

kebutuhan laboratorium, dalam studi sistematis penerapan model machine learning dan FaaS di layanan cloud IaaS dapat mencapai biaya penyediaan yang lebih rendah [14]. Layanan cloud dapat memudahkan proses integrasi data dan operasional perusahaan dan secara keuangan dapat membantu efisiensi dari sisi biaya [15]. Selain itu, secara prespektif model bisnis cloud *pay-as-you-go* dapat memudahkan pengelolaan investasi secara berkelanjutan. Pembayaran penggunaan layanan cloud yang dapat dihitung per jam, dapat memberikan kemudahan dalam efisiensi biaya untuk diterapkan dalam berbagai model komputasi, salah satunya model komputasi edge dengan memperhitungkan perhitung *cost* dari sisi data transfer aplikasi [16].

Dalam paper ini akan melakukan percobaan model mengimplementasikan Virtual Lab (Laboratorium Virtual) pada praktikum infrastruktur big data dengan memanfaatkan platform private cloud computing. Model virtual lab ini diakses secara *remote* atau *online* dan tidak ada batasan waktu dan ruang dalam penjadwalannya. Dalam percobaan ini, peneliti melakukan pengujian blackbox dan implementasi di praktikum, dan melakukan simulasi perhitungan biaya operasional dari virtual lab menggunakan layanan cloud dan on-premise untuk menjadi bahan pertimbangan dalam penerapan virtual lab kedepannya.

Metode Penelitian

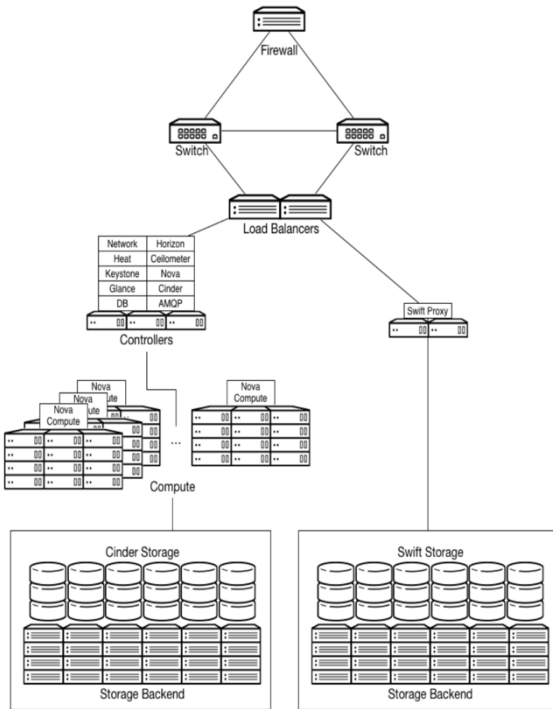
Secara umum penelitian ini menggunakan alur seperti pada gambar 1. Dimana proses utama adalah desain rancangan, provisioning infrastruktur, setup otomatisasi server, konfigurasi dan setup virtual lab, pengujian blackbox dan perhitungan estimasi biaya.



Gambar 1. Alur penelitian

A. Desain Rancangan

Proses awal dari penelitian ini dilakukan dengan membuat desain rancangan untuk skenario virtual lab. Desain Jaringan dibuat dalam bentuk LAN di dalam layanan cloud seperti terlihat pada Gambar 2, dengan 1 ip public yang dapat diakses melalui sistem tunneling. Jaringan ini didesain untuk praktikum infrastruktur big data.

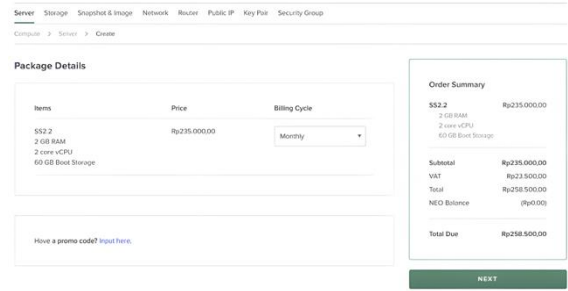


Gambar 2. Design Jaringan LAN Cloud

Untuk memenuhi kebutuhan virtual lab, maka diperlukan server tunnel virtual mesin, server untuk pengajar, dan server untuk mahasiswa praktikum. Server yang digunakan secara keseluruhan menggunakan spesifikasi sama yaitu Prosesor 1 core, memori 1 GB, dan hard-disk 60 GB. Untuk server mahasiswa akan menyesuaikan jumlah mahasiswa pada kelas praktikum. Sementara server tunnel digunakan untuk memudahkan dalam mengakses masing-masing server namun menggunakan jaringan local cloud biznet. Data center yang digunakan pada perancangan ini adalah Banten-1.

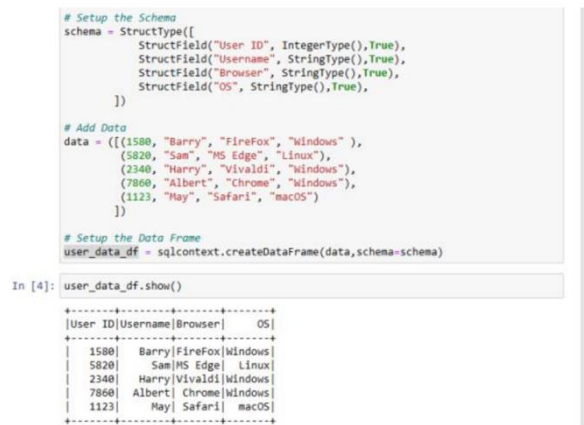
B. Provisioning Infrastruktur

Proses kedua merupakan *provisioning* infrastruktur menggunakan layanan cloud di provider biznet. Layanan NEO Virtual Compute [17] kini dapat diakses melalui portal Gio yaitu <https://portal.biznetgio.com/>. Karena layanan NEO Cloud bersifat *prepaid*, sebelum dilakukan order NEO *Virtual Compute*, dan dipastikan sudah tersedia *saldo balance* agar dapat menyelesaikan pembuatan *instance*. Dibawah ini cara order layanan Neo *Virtual Compute* pada portal Gio seperti terlihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Biznet Gio Order

Setelah semua langkah dilaksanakan akan terlihat status mesin virtual aktif dan dapat dilakukan proses konfigurasi dan setup jupyter notebook untuk kebutuhan lab seperti pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Jupyterlab pada virtual instance

C. Otomatisasi Server

Proses ketiga adalah membuat otomasi pada server. Otomasi server digunakan untuk memudahkan dalam melakukan proses menghentikan mesin VM seluruh mahasiswa di virtual lab. Hal ini dilakukan untuk menjaga agar seluruh proses pada waktu praktikum berjalan sesuai instruksi dari instruktur, dan menghilangkan waktu jeda mahasiswa untuk mengakses Kembali mesin VM diluar jam praktikum. Teknologi yang digunakan untuk otomasi adalah otomasi menggunakan ansible dari redhat [18]. Dalam proses ini server akan memiliki 2 macam file yml dengan tujuan masing-masing. File pertama, digunakan untuk menyimpan seluruh informasi alamat dari mesin VM yang digunakan mahasiswa sebagai server eksperimen lab. Sementara file kedua, digunakan sebagai instruksi untuk dikirimkan ke server tujuan, sehingga ketika file tersebut dieksekusi, seluruh mesin VM mahasiswa dapat berhenti dengan sendirinya.

D. Konfigurasi dan setup virtual lab

Proses keempat adalah tahapan konfigurasi dan persiapan server untuk praktikum akan menggunakan engine jupyter notebook. Pada server

yang digunakan mahasiswa, digunakan jupyter notebook dengan integrasi spark. Spark adalah tools yang digunakan pada praktikum infrastruktur big data. Dengan adanya jupyter notebook, dapat dengan mudah memasukkan command atau instruksi berbasis modul. Command langsung dapat dieksekusi dan mengurangi kesalahan dalam penulisan perintah dan kode program. Berikut ini beberapa Langkah model konfigurasi untuk server VM.

1. Instalasi jupyter dapat menggunakan perintah : `pip install notebook`
2. Setelah selesai instalasi, perlu dilakukan beberapa tahapan konfigurasi. Membuat file konfigurasi dari jupyter notebook, gunakan perintah: `jupyter notebook --generate-config`
3. Untuk proses dibutuhkan java, scala dan git. digunakan perintah berikut untuk melakukan instalasi : `sudo apt install default-jdk scala git -y`
4. Jalankan spark, dengan perintah : `wget https://dlcdn.apache.org/spark/spark-3.2.0/spark-3.2.0-bin-hadoop3.2.tgz && tar xf spark-* && sudo mv spark-3.2.0-bin-hadoop3.2 /opt/spark && start-master.sh`
5. Integrasi jupyter notebook dan spark
`export`
`PYSPARK_DRIVER_PYTHON='jupyter'`
`export`
`PYSPARK_DRIVER_PYTHON_OPTS='notebook --no-browser --allow-root --port=8889'`
6. Kemudian pyspark dijalankan, dan akan sekaligus menjalankan jupyter notebook.

E. Metode Pengujian

Untuk pengujian, peneliti menggunakan dua jenis pengujian yaitu pengujian Black Box dan perhitungan estimasi biaya penggunaan cloud dibandingkan dengan lab fisik. Pengujian ini di gunakan untuk mengetahui apakah perangkat lunak berfungsi dengan benar. Pengujian Black Box merupakan metode perancangan data uji yang didasarkan pada spesifikasi perangkat lunak. Data uji di bangkitkan, dieksekusi pada perangkat lunak dan kemudian keluaran dari perangkat lunak di cek apakah sudah sesuai dengan yang diharapkan.

Mekanisme pengujian Blackbox akan mempertimbangkan seluruh server baik tunnel dan server mahasiswa dapat berjalan baik dan bisa digunakan selama proses praktikum,

Adapun proses yang diujikan adalah sebagai berikut :

- Menghidupkan server tunnel
- Menghidupkan server mahasiswa
- Remote ke tunnel server

- Remote tunnel server ke server VM mahasiswa
- Mahasiswa dapat mengakses terminal server VM masing-masing
- Mahasiswa dapat melakukan proses praktikum dengan VM
- Mahasiswa dapat mengakses jupyter notebook
- VM server mahasiswa dapat bertahan selama praktikum
- VM server mahasiswa dapat menjalankan dengan single command

F. Simulasi perhitungan biaya

Untuk simulasi perhitungan estimasi biaya akan menggunakan basis perhitungan penggunaan server VM berbasis cloud per jam dengan dibandingkan penggunaan atau pengadaan server on-premise yang diletakkan pada data center kampus.

Hasil dan Pembahasan

A. Pengujian BlackBox virtual lab

Pada proses startup server tunnel dan server VM mahasiswa rata-rata membutuhkan waktu 5 detik untuk dapat masuk ke dalam terminal, sementara jika server mengalami problem biasa terjadi jeda yang cukup lama (lebih dari 30 detik). Pada Tabel 1 adalah beberapa parameter yang dilakukan untuk pengujian berserta proses waktu yang dibutuhkan.

Tabel 1. Parameter Pengujian

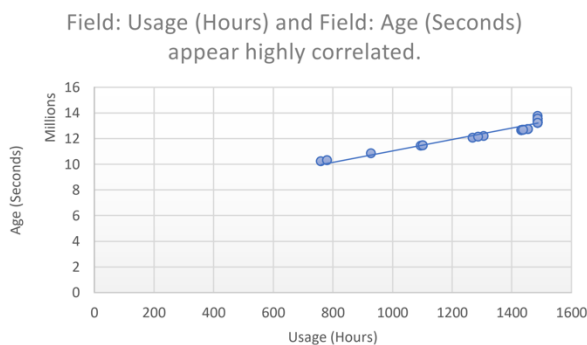
No.	Parameter	Nilai (dalam detik)	Kesesuaian
1	Menghidupkan server tunnel	8	Sesuai
2	Remoter ke Tunnel server	2	Sesuai
3	Remote tunnel server ke server VM mahasiswa	2	Sesuai
4	Mahasiswa dapat mengakses terminal VM server masing-masing	3	Sesuai
5	Mahasiswa dapat melakukan proses praktikum dengan VM	5	Sesuai
6	Mahasiswa dapat mengakses Jupyter Notebook	3	Sesuai
7	VM Mahasiswa dapat bertahan	7200 (2 jam tanpa	Sesuai

	selama praktikum	terputus)	
8	VM server mahasiswa dapat menjalankan single command	1	Sesuai

Pengujian jupyter notebook juga memberikan hasil yang dapat digunakan ketika mahasiswa memasukkan perintah pada input notebook. Server VM cloud secara cepat melakukan eksekusi perintah dan menampilkan hasil yang sesuai dengan input perintah. Hal ini berjalan serupa pada semua server VM cloud yang diujicoba oleh seluruh mahasiswa selama praktikum infrastruktur big data. Kesesuaian ini menunjukkan hasil yang sama tanpa ada pesan error atau log system yang anomali.

Penggunaan total seluruh server VM compute juga menunjukkan kesesuaian dimana penggunaannya lebih dari 2 jam. Artinya seluruh mesin VM menyala dan digunakan oleh mahasiswa secara konsisten selama praktikum. Jumlah mesin VM yang digunakan total adalah 133 instance dengan aktif memori total adalah 266 GB. Penggunaan VCPU per jam mencapai 197675.32, periode memori per jam mencapai 401791637.62. Penggunaan per jam dan waktu mesin menyala juga menunjukkan korelasi VM berjalan dengan optimal.

Penggunaan mesin VM cloud dari hasil data penelitian ini menunjukkan korelasi dengan umur aktif mesin. Artinya mesin berjalan sesuai dengan waktu praktikum dan digunakan oleh mahasiswa dalam praktikum infrastruktur big data seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Penggunaan dan umur aktif mesin per jam

B. Estimasi Perhitungan Investasi Bare metal Server dengan on-premise

Penggunaan baremetal atau server fisik on-premise yang ditempatkan pada data center kampus akan sepenuhnya mengandalkan infrastruktur kampus seperti koneksi internet, instalasi jaringan, UPS, listrik, kipas pendingin. Juga perlu diadakan maintenance secara berkala untuk perangkat seperti

hard-disk dan memori. Untuk membuat model replikasi jaringan cloud, diperlukan server repository OS Redhat atau Ubuntu, Server container registry dan 3 server untuk openshift yang akan digunakan bersama oleh mahasiswa. Konsep ini dapat melakukan pengadaan semua kebutuhan untuk infrastruktur kampus, namun kekurangannya, ada biaya maintenance yang perlu dipertimbangkan. Untuk investasi bare metal atau server pada on-premise dapat merujuk perhitungan pada Table 2.

Tabel 2. Perhitungan Investasi Pengadaan Bare Metal Server

Server	Kebutuhan	Investasi
HPE ProLiant ML30G10 (Xeon E-2224, 16GB, 1TB SATA)	2 PC untuk bootstrap dan Control Plane	Rp36.000.000
HPE ProLiant Microserver G10 Plus (Xeon E-2224, 8GB, 1TB SATA)	1 PC untuk compute, 1 PC untuk container registry.	Rp20.900.000
Total Investasi		Rp56.900.000

C. Estimasi Biaya Server Virtual Lab dengan Layanan Cloud

Penggunaan server dengan cloud akan menetapkan basis perhitungan per jam, jika praktikum dilakukan selama 2 jam, maka biaya yang dikeluarkan hanya untuk 2 jam.

Kemudian biaya ini diakumulasikan dengan jumlah mahasiswa dan pertemuan selama 1 semester yaitu 14 pertemuan. Mesin VM compute yang digunakan menggunakan processor 1 core, dan memori 1 GB. Kemampuan spesifikasi VM compute ini sudah dapat memenuhi kebutuhan untuk praktikum infrastruktur cloud. Rincian biaya penggunaan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Estimasi Biaya Penggunaan Server Vm Compute Berbasis Cloud

No	Server	Jml total peserta	Jml Server	Investasi Per sesi perkuliahan	Investasi
1	Biznet Virtual Compute Mahasiswa	40		Rp. 680	Rp. 163.200
2	IP Public		1	Rp. 280	Rp. 280

3	Biznet Virtual Compu te Dosen	6		Rp. 680	Rp. 4.080
Total Biaya untuk 1 pertemuan (1 SKS Praktikum = 2 jam)					Rp.167.540
Pajak 10%					Rp. 16.754
Total Biaya per 1 pertemuan					Rp. 184.294
Total biaya 1 semester (15 pertemuan)					Rp.2.764.410

Berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 3, investasi penggunaan server VM compute berbasis cloud dapat menghemat biaya dalam jangka pendek dari total investasi pengadaan server bare metal berbasis on-premise. Investasi per tahun untuk mata kuliah infrastruktur big data hanya sekitar Rp.2.764.410 dibandingkan pengeluaran untuk pembelian server fisik atau bare metal dengan total investasi Rp.56.900.000. Model penggunaan infrastruktur cloud dapat menjadi pilihan yang hemat jika institusi ingin melakukan optimalisasi virtual lab untuk praktikum infrastruktur big data. Walaupun server bare metal dapat digunakan untuk 5 tahun kedepan, namun investasi untuk pengadaan UPS, ruangan bebas hama, pendingin, dan mekanisme backup menjadi investasi yang mahal. Namun rincian model perhitungan diatas adalah estimasi investasi dalam jangka pendek, perlu dikaji kembali untuk perhitungan dalam jangka panjang.

Kesimpulan dan Saran

Penggunaan virtual lab dengan infrastruktur cloud dalam penelitian ini membuktikan bahwa server VM cloud yang digunakan lebih dari 100 mahasiswa dapat berjalan dengan optimal berdasarkan hasil pengujian blackbox, seluruh server mahasiswa belum mengalami kendala seperti server down selama praktikum. Penggunaan bandwidth juga dapat diminimalisir dengan remote SSH yang hanya menggunakan terminal. Selain itu dari sisi investasi penggunaan server VM compute berbasis cloud dapat menghemat biaya dari total investasi pengadaan server bare metal berbasis on-premise untuk penggunaan jangka pendek. Model penggunaan infrastruktur cloud dapat menjadi pilihan yang hemat jika institusi ingin melakukan optimalisasi virtual lab untuk praktikum infrastruktur big data.

Penelitian ini masih menggunakan mekanisme pengujian pada satu mata kuliah yaitu praktikum infrastruktur big data. Dapat dikembangkan dengan model pengujian lain dan perbandingan biaya dengan implementasi pada beragam mata kuliah informatika atau prodi Teknologi informasi. Dari sisi estimasi biaya bisa dilakukan analisis lebih mendalam dari biaya perkuliahan praktikum

dibandingkan dengan investasi cloud ataupun on premise dalam jangka panjang.

Daftar Pustaka

- [1] M. A. Nugroho and R. Kartadie, "CLOUD STORAGE DENGAN TEKNOLOGI KUBERNETES UNTUK PLATFORM COLLABORATIVE RESEARCH," *JUPI J. Ilm. Penelit. Dan Pembelajaran Inform.*, vol. 6, no. 1, pp. 74–81, May 2021, doi: 10.29100/jipi.v6i1.1908.
- [2] R. Herwanto, O. W. Purbo, and R. A. Aziz, *CLOUD COMPUTING: Manajemen dan Perencanaan Kapasitas*. Penerbit Andi, 2021.
- [3] L. Xu, D. Huang, W.-T. Tsai, and R. K. Atkinson, "V-Lab: A Mobile, Cloud-Based Virtual Laboratory Platform for Hands-On Networking Courses," *Int. J. Cyber Behav. Psychol. Learn. IJCPL*, vol. 2, no. 3, pp. 73–85, 2012.
- [4] D. Susanto, R. Ferdiana, and S. Sulisty, "Implementasi Laboratorium Komputer Virtual Berbasis Cloud-Kelas Pemrograman Berorientasi Obyek," *J. Nas. Tek. Elektro Dan Teknol. Inf.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–7, 2022.
- [5] A. Alam, "Employing Adaptive Learning and Intelligent Tutoring Robots for Virtual Classrooms and Smart Campuses: Reforming Education in the Age of Artificial Intelligence," in *Advanced Computing and Intelligent Technologies: Proceedings of ICACIT 2022*, Springer, 2022, pp. 395–406.
- [6] M. S. Smith, "Teaching coding in a virtual environment: Overcoming challenges," *Southwest. Bus. Adm. J.*, vol. 19, no. 1, p. 1, 2021.
- [7] A. Alam, "Cloud-Based E-learning: Scaffolding the Environment for Adaptive E-learning Ecosystem Based on Cloud Computing Infrastructure," in *Computer Communication, Networking and IoT: Proceedings of 5th ICICC 2021, Volume 2*, Springer, 2022, pp. 1–9.
- [8] K. Kurniawan, N. P. Sastra, and M. Sudarma, "Analisis Performansi Dan Efisiensi Cloud Computing Pada Sistem Perbankan," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 19, no. 1, pp. 11–18, 2020.
- [9] C. Bumgardner, *OpenStack in action*. Simon and Schuster, 2016.
- [10] R. P. Anugrah, I. Yatini, and M. A. Nugroho, "IMPLEMENTASI OPENSTACK UNTUK INFRASTRUKTUR PRIVATE CLOUD COMPUTING: STUDI KASUS UNTUK FASILITAS MAHASISWA UTDI," *J. Inf. Syst. Manag. JOISM*, vol. 4, no. 1, pp. 36–41, 2022.
- [11] R. KARTADIE, F. ROZI, and E. UTAMI, "OPENFLOW SWITCH SOFTWARE-BASED PERFORMANCE TEST ON ITS IMPLEMENTATION ON CAMPUS NETWORK.," *J. Theor. Appl. Inf. Technol.*, vol. 96, no. 13, 2018.

- [12] R. Kartadie and V. Panggayuh, "Floodlight VS ONOS Dalam Unjuk Kerja," *JUPI J. Ilm. Penelit. Dan Pembelajaran Inform.*, vol. 4, no. 2, pp. 111–121, 2019.
- [13] Z. Kai, L. Youyu, L. Qi, S. C. Hao, and Z. Liping, "Building a private cloud platform based on open source software OpenStack," in *2020 International Conference on Big Data and Social Sciences (ICBDSS)*, IEEE, 2020, pp. 84–87.
- [14] C. Zhang, M. Yu, W. Wang, and F. Yan, "MARk: Exploiting Cloud Services for Cost-Effective, SLO-Aware Machine Learning Inference Serving.," in *USENIX Annual Technical Conference*, 2019, pp. 1049–1062.
- [15] A. Setiawan, P. Praptiningsih, and N. Matondang, "Studi literatur tentang cloud accounting," *EQUITY*, vol. 23, no. 2, pp. 189–200, 2020.
- [16] X. Xia, F. Chen, Q. He, J. C. Grundy, M. Abdelrazek, and H. Jin, "Cost-effective app data distribution in edge computing," *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.*, vol. 32, no. 1, pp. 31–44, 2020.
- [17] biznetgio, "Neo Virtual Compute," *Cloud Server Indonesia dengan Platform Openstack*, 2023. <https://www.biznetgio.com/product/neo-virtual-compute>
- [18] M. Ulum, M. A. Nugroho, E. Iskandar, and Sudarmanto, "Pengujian Implementasi Disaster Recovery Menggunakan Ansible," *Indones. J. Comput. Sci. Res.*, vol. 2, no. 1, Art. no. 1, Feb. 2023, doi: 10.59095/ijcsr.v2i1.18.