



Pemetaan Sistematis Kinerja dan Efisiensi Virtualisasi pada Infrastruktur Komputasi Awan

Hardiansyah^{1*}, Syatya Bagja Setiawan², Muhammad Ali Zulfikar Umasugy³

¹Program Studi Informatika, Universitas Indonesia Membangun, Indonesia

²⁻³Program Studi Sistem Informasi, Universitas Indonesia Membangun, Indonesia

*Penulis Korespondensi: hardiansyah@inaba.ac.id

Abstract. Virtualization is a central foundation of cloud computing, yet the claim that it consistently improves efficiency with only minor performance degradation cannot be generalized without considering workload, platform, and configuration. This study maps evidence on performance, resource efficiency, and implementation conditions of virtualization in network and cloud infrastructures. A structured literature review was conducted on publications from 2010 to 2026 retrieved through IEEE Xplore, ACM Digital Library, ScienceDirect, SpringerLink, Google Scholar, and Indonesian journal portals. Eighteen core studies were retained based on relevance, measurable parameters, configuration clarity, and traceable findings; narrative synthesis was applied because hardware, operating systems, and test scenarios were heterogeneous. The findings show that virtualization overhead is not a fixed value. Performance is shaped by hypervisor type, storage and network paths, paravirtualized drivers, overcommitment, inter-virtual-machine interference, and guest operating-system compatibility. Proxmox VE, VMware ESXi, and Hyper-V may deliver comparable performance under selected workloads, but platform superiority changes across metrics, operating systems, and virtual-machine density. Containers generally provide lower overhead, although their isolation model is not sufficient for every workload. The study proposes a decision framework based on workload characteristics, isolation requirements, service targets, and operational capacity. Therefore, successful virtualization depends on architectural fit and disciplined management rather than platform branding alone.

Keywords: Cloud Computing; Computer Networks; Performance Overhead; Resource Efficiency; Virtualization.

Abstrak. Virtualisasi merupakan fondasi utama komputasi awan, tetapi klaim bahwa teknologi ini selalu meningkatkan efisiensi dengan penurunan kinerja yang kecil tidak dapat digeneralisasi tanpa mempertimbangkan beban kerja, platform, dan konfigurasi. Penelitian ini bertujuan memetakan bukti mengenai kinerja, efisiensi sumber daya, dan kondisi implementasi virtualisasi pada infrastruktur jaringan dan komputasi awan. Tinjauan literatur terstruktur dilakukan terhadap publikasi periode 2010–2026 yang diperoleh melalui IEEE Xplore, ACM Digital Library, ScienceDirect, SpringerLink, Google Scholar, dan portal jurnal nasional. Delapan belas studi inti dipilih berdasarkan relevansi, keterukuran parameter, kejelasan konfigurasi, dan keterlacakan hasil; sintesis naratif digunakan karena heterogenitas perangkat keras, sistem operasi, dan skenario pengujian. Hasil menunjukkan bahwa overhead virtualisasi bukan nilai tetap. Kinerja dipengaruhi oleh jenis hypervisor, jalur penyimpanan dan jaringan, driver paravirtual, overcommitment, interferensi antar mesin virtual, serta kesesuaian sistem operasi tamu. Proxmox VE, VMware ESXi, dan Hyper-V dapat menghasilkan kinerja yang berdekatan pada beban tertentu, tetapi keunggulan platform berubah ketika indikator, sistem operasi, dan jumlah mesin virtual berubah. Kontainer menawarkan overhead lebih rendah, namun tingkat isolasinya tidak selalu memadai untuk seluruh beban kerja. Penelitian menghasilkan kerangka keputusan berbasis karakteristik beban kerja, kebutuhan isolasi, target layanan, dan kapasitas operasi. Dengan demikian, keberhasilan virtualisasi ditentukan oleh kesesuaian arsitektur dan disiplin pengelolaan, bukan semata-mata oleh pemilihan merek platform.

Kata Kunci: Efisiensi Sumber Daya; Jaringan Komputer; Komputasi Awan; Overhead Kinerja; Virtualisasi.

1. LATAR BELAKANG

Virtualisasi memisahkan layanan komputasi dari ketergantungannya terhadap satu perangkat fisik sehingga sumber daya prosesor, memori, penyimpanan, dan jaringan dapat dialokasikan secara dinamis. Pada pusat data modern, mekanisme tersebut mendukung konsolidasi server, elastisitas layanan, pemulihan bencana, dan penyediaan fungsi jaringan berbasis perangkat lunak. Network Functions Virtualization memperluas prinsip ini dari server menuju router, firewall, penyeimbang beban, dan fungsi jaringan lainnya (Mijumbi et al.,

2016), sedangkan komputasi tepi menempatkan sumber daya virtual lebih dekat dengan perangkat Internet of Things untuk menekan jarak layanan dan mendukung respons yang lebih cepat (Qiu et al., 2020).

Meskipun manfaat konseptualnya kuat, kualitas layanan pada lingkungan virtual tidak hanya ditentukan oleh kapasitas perangkat keras. Interferensi antar mesin virtual yang berbagi cache, memori, jalur I/O, dan jaringan dapat menurunkan prediktabilitas kinerja (Lin et al., 2023). Kajian berskala luas pada penyedia awan juga menunjukkan bahwa mesin virtual dengan spesifikasi nominal yang sama dapat memiliki variasi kinerja lintas waktu, tipe instansi, dan penyedia (Baresi et al., 2023). Oleh sebab itu, klaim tunggal seperti “virtualisasi hanya menimbulkan overhead 5–10%” atau “virtualisasi selalu menghemat biaya 60%” secara metodologis terlalu luas apabila tidak disertai informasi mengenai beban kerja, konfigurasi host, mekanisme penyimpanan, dan dasar pembandingan.

Studi awal pada Amazon EC2 menemukan adanya perbedaan kinerja jaringan antara lingkungan virtual dan server fisik (Wang & Ng, 2010). Analisis pada lapisan jaringan virtual mengidentifikasi virtual switch dan proses paket sebagai sumber overhead yang penting (Esteves & Granville, 2012), sedangkan eksperimen di sisi network edge memperlihatkan bahwa biaya virtualisasi berubah menurut teknologi dan skenario pemrosesan (Morabito et al., 2016). Ketiga temuan tersebut tidak menolak virtualisasi, tetapi menegaskan bahwa overhead merupakan hasil interaksi antarkomponen, bukan konstanta yang dapat dipindahkan begitu saja dari satu penelitian ke konteks lain.

Temuan nasional juga menunjukkan pola yang tidak tunggal. Perbandingan VMware ESXi, XenServer, dan Proxmox pada layanan Infrastructure as a Service menghasilkan perbedaan penggunaan CPU dan memori (Marta et al., 2019). Pada pengujian Proxmox VE 6.0 dan VMware ESXi 6.5, Proxmox lebih baik pada beberapa indikator memori, CPU, disk, dan transmit rate, sedangkan ESXi lebih baik pada receive rate (Putri & Hadi, 2021). Pada skenario Moodle, Proxmox lebih unggul dalam beban CPU dan memori, tetapi ESXi memperoleh hasil lebih baik pada indikator benchmark aplikasi (Dammara et al., 2023). Eksperimen lain terhadap ESXi, VirtualBox, VMware Workstation, dan Proxmox menunjukkan bahwa ESXi dan Proxmox lebih kompetitif untuk web server, namun selisih throughput relatif kecil dan tetap dipengaruhi konfigurasi pengujian (Nuryadin et al., 2023).

Naskah awal yang menjadi bahan kajian telah mengumpulkan literatur penting mengenai virtualisasi, tetapi masih menggabungkan angka dari konteks yang berbeda, belum menunjukkan hubungan eksplisit antara bukti dan rekomendasi, serta belum menjelaskan batas generalisasi. Penelitian ini memperbaiki kelemahan tersebut melalui tiga pertanyaan: (1) faktor

apa yang paling konsisten memengaruhi kinerja virtualisasi; (2) dalam kondisi apa efisiensi konsolidasi sebanding dengan overhead yang muncul; dan (3) bagaimana hasil kajian dapat diterjemahkan menjadi kerangka keputusan implementasi. Kontribusi penelitian bukan menentukan satu hypervisor terbaik secara universal, melainkan menyusun peta bukti dan aturan keputusan yang dapat diuji pada konteks organisasi tertentu.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan tinjauan literatur terstruktur dengan alur identifikasi, penyaringan, penilaian kelayakan, ekstraksi, dan sintesis yang diadaptasi dari prinsip transparansi PRISMA 2020 (Page et al., 2021). Pendekatan ini dipilih karena tujuan penelitian bukan menghitung efek gabungan yang homogen, melainkan memetakan pola kinerja dari studi dengan platform, perangkat keras, sistem operasi, dan beban kerja yang berbeda. Meta-analisis tidak dilakukan karena satuan pengukuran dan konfigurasi eksperimen tidak setara sehingga penggabungan numerik berpotensi menghasilkan kesimpulan semu.

Pencarian diperbarui sampai Juli 2026 melalui IEEE Xplore, ACM Digital Library, ScienceDirect, SpringerLink, Google Scholar, Garuda, dan portal jurnal nasional. String utama yang digunakan meliputi “virtualization performance”, “virtual machine network overhead”, “hypervisor comparison”, “Proxmox ESXi performance”, “VM versus container performance”, “resource isolation container”, dan padanan bahasa Indonesia. Penelusuran mundur terhadap daftar pustaka dan penelusuran maju terhadap artikel kunci digunakan untuk memperoleh studi yang relevan tetapi tidak selalu muncul pada pencarian awal.

Tabel 1. Protokol Tinjauan Literatur Terstruktur.

Komponen	Ketentuan operasional
Rentang publikasi	2010–Juli 2026; prioritas interpretasi diberikan pada publikasi 2021–2026.
Kriteria inklusi	Artikel jurnal/prosiding yang membahas VM, hypervisor, kontainer, NFV, atau virtualisasi jaringan; memuat konfigurasi atau parameter kinerja; teks dapat ditelusuri; bahasa Indonesia atau Inggris.
Kriteria eksklusi	Duplikasi; tulisan konseptual tanpa bukti atau sintesis yang dapat ditelusuri; sumber nonilmiah; studi yang hanya menyebut virtualisasi tanpa mengevaluasi dampaknya.
Data yang diekstraksi	Platform, tipe virtualisasi, workload, konfigurasi penting, metrik CPU/memori/disk/jaringan/latensi, hasil utama, dan keterbatasan.
Penilaian kualitas	Kejelasan tujuan, kecukupan metode, keterukuran indikator, kesesuaian inferensi, dan keterlacakan referensi.
Teknik sintesis	Pengelompokan tematik dan perbandingan kontekstual; tidak dilakukan pooling statistik karena heterogenitas desain.

Delapan belas publikasi inti dipertahankan setelah penyaringan relevansi dan kualitas. Buku teks dan dokumen praktik vendor hanya digunakan sebagai penjelas implementasi, bukan sebagai dasar tunggal untuk mengklaim efektivitas. Setiap hasil numerik diperlakukan sebagai temuan spesifik konfigurasi. Apabila dua penelitian menghasilkan peringkat platform berbeda,

perbedaan tersebut dianalisis berdasarkan workload, versi perangkat lunak, alokasi sumber daya, dan indikator yang digunakan, bukan dipaksakan menjadi satu peringkat agregat.

Keabsahan sintesis dijaga melalui tiga langkah. Pertama, klaim utama harus memiliki dukungan lebih dari satu studi atau dinyatakan sebagai temuan kontekstual. Kedua, hasil kinerja dipisahkan dari manfaat operasional agar penghematan sumber daya tidak otomatis ditafsirkan sebagai peningkatan performa. Ketiga, rekomendasi implementasi diturunkan dari hubungan antara karakteristik workload dan mekanisme virtualisasi. Keterbatasan kajian terletak pada heterogenitas benchmark dan tidak tersedianya data mentah dari seluruh artikel; karena itu, kesimpulan diarahkan pada pola dan kondisi, bukan estimasi efek universal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik bukti dan sumber variasi

Literatur terbagi ke dalam empat kelompok: pengujian VM terhadap server fisik; perbandingan antara hypervisor; perbandingan VM dan kontainer; serta kajian interferensi dan variabilitas pada lingkungan awan. Keragaman ini penting karena setiap kelompok menjawab pertanyaan berbeda. Pengujian bare metal versus VM mengukur biaya abstraksi, perbandingan hypervisor menilai implementasi platform, sedangkan VM versus kontainer membandingkan dua model isolasi. Menyamakan seluruh hasil menjadi satu angka overhead akan mengabaikan perbedaan objek analisis.

Tabel 2. Sintesis temuan representatif.

Studi	Objek/konteks	Temuan yang relevan	Batas interpretasi
Wang dan Ng (2010)	Amazon EC2; jaringan VM	Virtualisasi memengaruhi throughput dan perilaku jaringan.	Arsitektur awan dan generasi perangkat keras 2010 berbeda dari platform kini.
Morabito et al. (2016)	Virtualisasi pada network edge	Overhead berubah menurut teknologi dan pola pemrosesan.	Tidak dapat digeneralisasi ke seluruh aplikasi enterprise.
Putri dan Hadi (2021)	Proxmox 6.0 vs ESXi 6.5	Proxmox unggul pada beberapa metrik; ESXi unggul pada receive rate.	Satu lokasi, versi dan spesifikasi perangkat tertentu.
Dammara et al. (2023)	Moodle pada Proxmox vs ESXi	Peringkat platform berbeda antara CPU/memori dan benchmark Moodle.	Hasil sensitif terhadap konfigurasi VM dan plugin benchmark.
Nuryadin et al. (2023)	Empat platform; web server	ESXi dan Proxmox kompetitif pada respons, CPU, disk, dan memori.	Host memiliki sumber daya terbatas dan pengulangan relatif kecil.
Shah et al. (2021)	VM/kontainer untuk workload ilmiah	Konfigurasi dan ukuran instans memengaruhi throughput dan efisiensi.	Fokus pada workload ilmiah dan lingkungan pengujian tertentu.
Chengeta (2021)	VM vs kontainer pada model pembelajaran mendalam	Kontainer dapat menekan waktu dan penggunaan sumber daya pada skenario tertentu.	Hasil tidak mewakili seluruh model dan penyedia awan.

Lin et al. (2023)	Survei interferensi VM	Kontensi sumber daya dan penempatan VM menurunkan prediktabilitas.	Merangkum berbagai metrik dan desain yang heterogen.
Baresi et al. (2023)	16 tipe VM, 4 penyedia, 10 benchmark	Kinerja VM bervariasi menurut sumber daya, isolasi, waktu, dan biaya.	Variabilitas penyedia publik tidak identik dengan private cloud.
Wang et al. (2023)	Isolasi sumber daya kernel pada kontainer	Kontainer memerlukan kontrol terhadap penyalahgunaan resource kernel.	Membahas mekanisme kernel; bukan perbandingan total platform.

Kinerja CPU, memori, penyimpanan, dan jaringan

Pada CPU, overhead muncul dari world switch, emulasi atau paravirtualisasi perangkat, scheduling vCPU, serta kontensi cache dan NUMA. Dampaknya relatif kecil ketika vCPU tidak di-overcommit dan workload memiliki pola stabil, tetapi meningkat ketika banyak VM aktif bersamaan atau penempatan vCPU tidak selaras dengan topologi prosesor. Survei interferensi menegaskan bahwa dua VM dengan kebutuhan rata-rata yang sama dapat saling menurunkan kinerja apabila berebut sumber daya pada waktu yang sama (Lin et al., 2023). Oleh karena itu, utilisasi rata-rata bukan satu-satunya dasar capacity planning; variasi, puncak, dan tail latency perlu diamati.

Pada memori, efisiensi tidak hanya berarti konsumsi RAM yang lebih kecil. Ballooning, page sharing, swap host, dan memory overcommit dapat meningkatkan densitas VM, tetapi juga menciptakan jeda yang tajam ketika tekanan memori meningkat. Temuan Proxmox yang lebih hemat memori pada satu studi (Putri & Hadi, 2021) tidak secara otomatis membuktikan keunggulan universal, sebab hasil dipengaruhi tipe guest, konfigurasi cache, dan cara alat ukur mencatat memori. Bukti yang lebih kuat adalah bahwa platform bare-metal hypervisor umumnya lebih konsisten untuk beban server dibanding hypervisor hosted ketika jumlah VM bertambah (Nuryadin et al., 2023).

Penyimpanan merupakan sumber variasi yang sering tidak dikontrol dengan baik. Thin provisioning menurunkan kebutuhan alokasi awal, tetapi kinerja aktual ditentukan oleh media fisik, cache, filesystem, format virtual disk, controller virtual, dan pola baca-tulis. Angka kapasitas disk per VM tidak boleh langsung ditafsirkan sebagai performa I/O. Penelitian Dammara et al. (2023) menunjukkan bahwa platform yang efisien pada CPU dan memori tidak selalu unggul pada benchmark aplikasi. Hal ini mengindikasikan perlunya menguji storage latency, IOPS, throughput, dan waktu respons aplikasi secara bersamaan.

Pada jaringan, biaya pemrosesan dapat timbul di virtual switch, mekanisme bridging, firewall virtual, overlay, dan antrean NIC. SR-IOV atau hardware offloading dapat mendekatkan kinerja ke native, tetapi mengurangi sebagian fleksibilitas migrasi dan observabilitas. Temuan lama mengenai degradasi throughput (Esteves & Granville, 2012; Wang & Ng, 2010) tetap relevan secara mekanistik, namun besarnya tidak boleh dipakai

sebagai konstanta untuk NIC dan driver modern. Praktik yang lebih tepat adalah menetapkan baseline bare metal atau baseline host yang setara, lalu mengukur throughput, packet loss, median latency, dan tail latency pada jumlah koneksi yang realistis.

VM, kontainer, dan model hibrida

VM menyediakan isolasi kuat karena setiap guest membawa kernel sendiri, sedangkan kontainer berbagi kernel host sehingga startup dan penggunaan sumber dayanya lebih ringan. Benchmark terhadap workload ilmiah dan pembelajaran mendalam memperlihatkan bahwa kontainer dapat memberikan efisiensi lebih baik pada skenario tertentu (Chengeta, 2021; Shah et al., 2021). Namun, efisiensi tersebut tidak identik dengan keamanan atau isolasi yang lebih tinggi. Penelitian tentang resource isolation menunjukkan bahwa kontainer yang berperilaku buruk dapat memengaruhi resource kernel bersama apabila kontrol tidak memadai (Wang et al., 2023).

Bukti terbaru pada Moodle berbasis Proxmox juga memperlihatkan bahwa pilihan VM atau LXC sebaiknya ditentukan oleh stabilitas, kebutuhan isolasi, dan pola beban, bukan hanya skor benchmark (Parulian, 2025). Untuk layanan homogen, stateless, dan mudah direplikasi, kontainer lebih sesuai. Untuk multi-tenant yang tidak sepenuhnya dipercaya, guest dengan kernel berbeda, atau beban yang membutuhkan batas keamanan tegas, VM tetap lebih defensibel. Model hibrida kontainer di dalam VM sering menjadi kompromi rasional karena menggabungkan batas keamanan VM dengan kepadatan dan portabilitas kontainer, walaupun menambah lapisan pengelolaan

Perbandingan platform dan batas generalisasi

Tidak ditemukan dasar empiris untuk menetapkan Proxmox VE, VMware ESXi, atau Hyper-V sebagai platform terbaik pada seluruh kondisi. Pada pengujian Windows, Hyper-V dapat memperoleh keunggulan karena integrasi dengan ekosistem guest, sedangkan Proxmox lebih kompetitif pada workload Linux; selisih keseluruhan dapat kecil dan berubah menurut benchmark (Vakal et al., 2026). Studi nasional menunjukkan pola serupa: Proxmox dan ESXi sama-sama dapat menempati posisi teratas, tetapi indikator pemenangnya berbeda (Dammara et al., 2023; Nuryadin et al., 2023; Putri & Hadi, 2021).

Implikasinya, proses pemilihan tidak boleh berhenti pada daftar fitur atau satu hasil benchmark. Organisasi perlu membedakan lima lapisan keputusan: kompatibilitas workload, target SLA, kebutuhan isolasi, kemampuan operasi, dan biaya siklus hidup. Platform open-source dapat mengurangi biaya lisensi, tetapi tetap memerlukan kompetensi, dukungan, desain backup, dan pengujian pemulihan. Platform komersial dapat memberikan integrasi dan dukungan vendor, tetapi biaya dan risiko lock-in harus dianalisis. Studi implementasi nasional

menegaskan manfaat virtualisasi untuk konsolidasi dan laboratorium, namun bukti penghematan harus dihitung dari kondisi lokal, bukan disalin sebagai persentase universal (Faredha et al., 2019; Santoso et al., 2022).

Efisiensi, keandalan, dan risiko operasional

Efisiensi virtualisasi berasal dari peningkatan utilisasi, pengurangan server idle, provisioning yang lebih cepat, dan standardisasi image. Akan tetapi, konsolidasi memperbesar blast radius: kegagalan satu host dapat memengaruhi banyak layanan. Karena itu, efisiensi yang hanya menghitung pengurangan perangkat tanpa biaya high availability, backup, observability, dan kompetensi administrator akan menghasilkan estimasi yang bias. Penghematan Total Cost of Ownership harus memasukkan lisensi, energi, ruang, waktu operasi, pemeliharaan, downtime, dan biaya migrasi.

Keamanan juga bersifat dua sisi. Isolasi VM dan micro-segmentation dapat memperkecil pergerakan lateral, tetapi hypervisor, management plane, image, snapshot, dan jaringan virtual menciptakan permukaan serangan baru. Praktik operasional harus mencakup pemisahan jaringan manajemen, least privilege, patching, hardening template, enkripsi backup, log terpusat, dan pengujian restore. Snapshot tidak boleh disamakan dengan backup karena tetap bergantung pada storage dan host yang sama. Dokumen praktik platform dapat membantu konfigurasi, tetapi rekomendasi vendor perlu divalidasi terhadap kebutuhan dan risiko organisasi (VMware, Inc., 2023).

Implementasi

Kerangka keputusan berbasis workload

Sintesis penelitian diterjemahkan menjadi kerangka keputusan empat tahap. Tahap pertama mengklasifikasikan workload berdasarkan sensitivitas latency, pola CPU dan I/O, kebutuhan akselerator, sistem operasi, dan tingkat kepercayaan tenant. Tahap kedua menetapkan target layanan yang terukur, seperti p95 latency, availability, recovery point objective, recovery time objective, dan batas utilisasi. Tahap ketiga memilih model isolasi dan platform. Tahap keempat melakukan *proof of concept* dengan workload representatif, bukan hanya microbenchmark.

Tabel 3. Matriks Keputusan Implementasi Virtualisasi.

Karakteristik workload	Pilihan awal	Kontrol wajib	Indikator uji
Layanan web stateless, Linux, mudah direplikasi	Kontainer/LXC atau kontainer di dalam VM	Limit CPU/memori, image scanning, orchestration, health check	p95/p99 latency, request per second, error rate, restart time

Aplikasi enterprise multi-OS atau tenant tidak sepenuhnya dipercaya	VM full virtualization	Segmentasi jaringan, hardening guest, HA, backup terpisah	response time, failover time, CPU ready, storage latency
Database I/O intensif	VM dengan storage tervalidasi atau bare metal bila SLA menuntut	Dedicated I/O path, cache policy, replication, capacity headroom	IOPS, fsync latency, tail latency, recovery time
Aplikasi real-time/latency sangat ketat	Bare metal atau VM dengan passthrough/SR-IOV setelah uji	CPU pinning, NUMA alignment, NIC passthrough, isolasi workload	jitter, p99.9 latency, packet loss, deadline miss
Laboratorium pendidikan dan pengujian	Proxmox/ESXi/Hyper-V sesuai kompetensi dan lisensi	Template, kuota, reset otomatis, jaringan terisolasi	waktu provisioning, jumlah sesi, utilisasi host, keberhasilan restore

Prosedur validasi sebelum produksi

Implementasi dimulai dengan baseline pada host fisik atau konfigurasi referensi. Workload kemudian dijalankan pada VM atau kontainer dengan alokasi setara. Pengujian sedikitnya mencakup kondisi normal, puncak, gangguan satu komponen, dan pemulihan. Pengulangan perlu dilakukan pada waktu berbeda untuk menangkap variasi. Hasil dilaporkan menggunakan median, rentang, dan persentil tinggi, bukan hanya rata-rata. Perbedaan yang kecil secara numerik harus dinilai terhadap SLA dan biaya operasional, bukan langsung disebut signifikan tanpa uji statistik atau ambang praktis.

Untuk konteks perguruan tinggi, *proof of concept* dapat menggunakan satu cluster tiga node dan storage terpisah. Skenario meliputi web pembelajaran, basis data, virtual lab, dan layanan administrasi. Keputusan produksi baru dibuat setelah uji failover, backup-restore, isolasi jaringan, dan kapasitas saat satu node gagal. Dokumentasi harus mencatat versi hypervisor, firmware, driver, spesifikasi host, konfigurasi VM, jenis storage, topologi jaringan, serta script benchmark agar hasil dapat direplikasi

Implikasi pengelolaan

Virtualisasi sebaiknya diperlakukan sebagai sistem sosio-teknis. Ketersediaan fitur tidak menjamin keberhasilan apabila administrator tidak memiliki prosedur perubahan, monitoring, dan respons insiden. Organisasi perlu menetapkan pemilik layanan, matriks tanggung jawab, jadwal patch, target kapasitas, serta kebijakan lifecycle image. Pada lingkungan pendidikan, manfaat terbesar bukan sekadar mengurangi komputer fisik, melainkan

menyediakan lingkungan praktikum yang dapat direplikasi, direset, dan diaudit. Implementasi Windows Server melalui VirtualBox menunjukkan nilai fungsional untuk akses dan pembelajaran, tetapi penggunaan produksi tetap membutuhkan penilaian arsitektur yang berbeda (Samad & Ramadhani, 2025).

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Tinjauan ini menunjukkan bahwa virtualisasi memberi dasar yang kuat bagi konsolidasi, elastisitas, dan pengelolaan infrastruktur komputasi awan, tetapi overhead dan efisiensinya tidak memiliki satu nilai universal. Kinerja ditentukan oleh interaksi hypervisor, workload, sistem operasi tamu, jalur jaringan dan penyimpanan, tingkat overcommitment, serta interferensi sumber daya. Proxmox VE, VMware ESXi, dan Hyper-V dapat sama-sama layak, sementara keunggulan masing-masing berubah menurut indikator dan konteks. Kontainer menawarkan kepadatan lebih tinggi, tetapi tidak menggantikan VM ketika isolasi kuat atau heterogenitas sistem operasi menjadi kebutuhan utama. Kontribusi praktis penelitian adalah kerangka keputusan yang menghubungkan karakteristik workload, SLA, model isolasi, kapasitas operasi, dan uji *proof of concept*. Dengan demikian, keputusan virtualisasi yang dapat dipertanggungjawabkan harus berbasis benchmark lokal dan analisis risiko, bukan persentase penghematan atau peringkat platform yang dipindahkan dari konteks penelitian lain.

DAFTAR REFERENSI

- Baresi, L., Dolci, T., Quattrocchi, G., & Rasi, N. (2023). A multi-faceted analysis of the performance variability of virtual machines. *Software: Practice and Experience*, 53(11), 2067–2091. <https://doi.org/10.1002/spe.3244>
- Chengeta, K. (2021). Comparing the performance between virtual machines and containers using deep learning credit models. In *Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence and Its Applications* (pp. 1–8). <https://doi.org/10.1145/3487923.3487934>
- Dammara, A. B., Adam, I. F., & Pranata, M. (2023). Analisis perbandingan kinerja virtualisasi server menggunakan Proxmox dan VMware ESXi (studi kasus: Virtualisasi server untuk penggunaan Moodle). *Jurnal Teknoinfo*, 17(1), 102–111. <https://doi.org/10.33365/jti.v17i1.2060>
- Esteves, R. P., & Granville, L. Z. (2012). Network performance in virtualized environments. In *2012 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium*. <https://doi.org/10.1109/NOMS.2012.6168488>
- Faredha, A. R., Harianja, R. S. M., Arisandi, D., Ulhaq, M. I., & Darmawan, A. (2019). Analisis performa virtualisasi server menggunakan ProxmoxVE. *Jurnal Fasilkom*, 9(2), 369–376. <https://doi.org/10.37859/jf.v9i2.1394>

- Lin, W., Xiong, C., Wu, W., Shi, F., Li, K., & Xu, M. (2023). Performance interference of virtual machines: A survey. *ACM Computing Surveys*, 55(12), Article 254, 1–37. <https://doi.org/10.1145/3573009>
- Marta, D., Putra, M. A. E., & Barovih, G. (2019). Analisis perbandingan performa virtualisasi server sebagai basis layanan *infrastructure as a service* pada jaringan cloud. *MATRIK: Jurnal Manajemen, Teknik Informatika dan Rekayasa Komputer*, 19(1), 1–8. <https://doi.org/10.30812/matrik.v19i1.433>
- Mijumbi, R., Serrat, J., Gorricho, J. L., Bouten, N., De Turck, F., & Boutaba, R. (2016). Network function virtualization: State-of-the-art and research challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(1), 236–262. <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2477041>
- Morabito, R., Kjällman, J., & Komu, M. (2016). Virtualization at the network edge: A performance comparison. In *2016 IEEE 17th International Symposium on A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM)*. <https://doi.org/10.1109/WoWMoM.2016.7523584>
- Nuryadin, R. A., Ramadhani, T. A., Karaman, J., & Reza, M. (2023). Analisis perbandingan performa virtualisasi server menggunakan VMware ESXi, Oracle VirtualBox, VMware Workstation 16 dan Proxmox. *METHOMIKA*, 7(2), 175–180. <https://doi.org/10.46880/jmika.Vol7No2.pp175-180>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, Article n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Parulian. (2025). Proxmox-based virtualization for CBT Moodle hosting: VM vs. LXC performance evaluation. *Journal of Intelligent Decision Support System*, 8(4), 244–252. <https://doi.org/10.35335/idss.v8i4.328>
- Putri, A., & Hadi, A. (2021). Komparasi kinerja virtualisasi server menggunakan Proxmox Virtual Environment dan VMware ESXi (di SMK Negeri 3 Pariaman). *Voteteknika*, 9(1). <https://doi.org/10.24036/voteteknika.v9i1.110934>
- Qiu, T., Chi, J., Zhou, X., Ning, Z., Atiquzzaman, M., & Wu, D. O. (2020). Edge computing in industrial Internet of Things: Architecture, advances and challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22(4), 2462–2488. <https://doi.org/10.1109/COMST.2020.3009103>
- Samad, A., & Ramadhani, K. A. A. (2025). Integrasi Windows Server pada VirtualBox untuk akses basis data Ngrok dan manajemen RDP. *Jurnal Komputer Teknologi Informasi Sistem Informasi*, 4(2), 499–503. <https://doi.org/10.62712/juktisi.v4i2.404>
- Santoso, N. A., Zakaria, & Kurniawan, R. D. (2022). Analisis jaringan komputer menggunakan teknologi virtualisasi. *Jurnal Minfo Polgan*, 11(2), 52–58. <https://doi.org/10.33395/jmp.v11i2.11652>
- Shah, S. A. R., Waqas, A., Kim, M.-H., Kim, T.-H., Yoon, H., & Noh, S.-Y. (2021). Benchmarking and performance evaluations on various configurations of virtual machine and containers for cloud-based scientific workloads. *Applied Sciences*, 11(3), Article 993. <https://doi.org/10.3390/app11030993>

- Vakal, A., Regalado, C., & Alférez, G. H. (2026). Evaluating Hyper-V vs. Proxmox: Performance comparison for virtualization. In *Lecture Notes in Networks and Systems* (Vol. 1677). https://doi.org/10.1007/978-3-032-07995-4_10
- VMware, Inc. (2023). *Performance best practices for VMware vSphere 8.0* [White paper].
- Wang, G., & Ng, T. S. E. (2010). The impact of virtualization on network performance of Amazon EC2 data center. In *IEEE INFOCOM 2010*. <https://doi.org/10.1109/INFOCOM.2010.5461931>
- Wang, K., Wu, S., Suo, Y., Liu, Y., Huang, H., Huang, H., & Jin, H. (2023). Characterizing and optimizing kernel resource isolation for containers. *Future Generation Computer Systems*, 141, 218–229. <https://doi.org/10.1016/j.future.2022.11.018>