



Kajian *Literatur Review* : Analisis Perbandingan Integrasi Virtualisasi OS terhadap Efisiensi Sumber Daya Komputasi

Aurylia Taffana^{1*}, Agung Arya Anggara², Bayu Tri Rahayu³, Taufiqurrahman⁴,
Jajang Kusnendar⁵

¹⁻⁵Universitas Pendidikan Indonesia, Indonesia

auryliataffana26@upi.edu^{1*}, agungaryaa3@upi.edu², jkusnendar@upi.edu⁵

Alamat: Jl. Dr. Setiabudhi No. 229 Bandung 40154, Jawa Barat - Indonesia

Korespondensi penulis : auryliataffana26@upi.edu*

Abstract. *The development of operating system virtualization technology has become a crucial need in the computing world to optimize the utilization of resources such as CPU, memory, and application response time. However, resource efficiency in each virtualization technology, including bare-metal, hypervisor, and container, remains a debated topic regarding optimal performance and resource usage. This study aims to analyze the computational resource efficiency of various virtualization technologies, focusing on CPU usage, memory consumption, and application response time. The method used is a descriptive literature review based on 23 relevant accredited national journals and articles. Data were analyzed through classification and comparison of previous research results on virtualization technology performance. The findings indicate that containers have the highest efficiency in CPU and memory usage as well as fast application response times, while hypervisors provide good isolation and security but with higher resource consumption. Bare-metal offers stable performance but with the largest resource usage. The implications of this study provide practical references for system developers and institutions in selecting virtualization technologies that suit resource efficiency needs and serve as a basis for further research in optimizing virtualization technologies.*

Keywords: *Container, Hypervisor, Operating System, Resource Efficiency, Virtualization Performance.*

Abstrak. Perkembangan teknologi virtualisasi sistem operasi telah menjadi kebutuhan penting dalam dunia komputasi untuk mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya seperti CPU, memori, dan waktu respons aplikasi. Namun, efisiensi sumber daya pada masing-masing teknologi virtualisasi seperti bare-metal, hypervisor, dan container masih menjadi perdebatan terkait performa dan penggunaan sumber daya yang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi sumber daya komputasi pada berbagai teknologi virtualisasi tersebut dengan fokus pada penggunaan CPU, memori, dan waktu respons aplikasi. Metode yang digunakan adalah kajian literatur deskriptif dengan pendekatan review dari 23 jurnal dan artikel nasional terakreditasi yang relevan. Data dianalisis melalui klasifikasi dan perbandingan hasil penelitian terdahulu mengenai performa teknologi virtualisasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa container memiliki efisiensi tertinggi dalam penggunaan CPU dan memori serta waktu respons aplikasi yang cepat, sementara hypervisor memberikan isolasi dan keamanan yang baik namun dengan konsumsi sumber daya yang lebih tinggi. Bare-metal memberikan performa stabil namun dengan penggunaan sumber daya paling besar. Implikasi penelitian ini memberikan referensi praktis bagi pengembang sistem dan institusi dalam memilih teknologi virtualisasi yang sesuai dengan kebutuhan efisiensi sumber daya serta menjadi dasar untuk penelitian lanjutan dalam optimalisasi teknologi virtualisasi.

Kata kunci: Efisiensi Sumber Daya, Hypervisor, Container, Performa Virtualisasi, Sistem Operasi.

1. LATAR BELAKANG

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi yang semakin pesat mendorong kebutuhan akan sistem komputasi yang efisien, fleksibel, dan hemat sumber daya. Permasalahan umum yang sering dihadapi dalam pengelolaan infrastruktur TI, baik di lingkungan pendidikan, bisnis, maupun industri, adalah keterbatasan sumber daya perangkat keras dan biaya operasional yang tinggi akibat pemanfaatan sumber daya yang tidak optimal. Salah satu solusi yang berkembang adalah penerapan teknologi virtualisasi

sistem operasi (OS) yang memungkinkan satu perangkat keras dapat digunakan untuk menjalankan beberapa lingkungan kerja secara terisolasi. Teknologi ini mencakup virtualisasi berbasis hypervisor dan container, dengan masing-masing memiliki keunggulan dan kelemahan tersendiri dalam mendukung efisiensi sumber daya komputasi (Wiguna et al., 2024; Dwiyatno et al., 2020).

Beberapa penelitian dalam lima tahun terakhir membahas kontribusi virtualisasi OS terhadap efisiensi sumber daya. Wiguna et al. (2024) menjelaskan bahwa hypervisor memiliki peran penting dalam sistem operasi virtualisasi dengan menawarkan isolasi dan kontrol yang baik meskipun memerlukan sumber daya yang lebih besar. Sementara itu, virtualisasi berbasis container seperti Docker menawarkan keunggulan dalam penggunaan sumber daya yang lebih hemat dan portabilitas aplikasi yang lebih baik, seperti yang diuraikan oleh Dwiyatno et al. (2020). Afrizal dan Prihanto (2022) menambahkan bahwa container memiliki tingkat independensi dan efisiensi resource yang lebih tinggi dibandingkan dengan virtualisasi tradisional berbasis hypervisor. Selain itu, Pramudita (2022) melakukan analisis performa deployment aplikasi Laravel yang menunjukkan bahwa penggunaan Docker container mampu meningkatkan efisiensi dalam manajemen sumber daya dibandingkan dengan deployment native.

Namun, sebagian besar penelitian ini fokus pada analisis teknologi virtualisasi secara terpisah tanpa membahas secara komprehensif integrasi antara berbagai metode virtualisasi dan pengaruhnya terhadap efisiensi sumber daya komputasi di berbagai konteks penggunaan. Kebaruan penelitian ini terletak pada analisis menyeluruh mengenai pengaruh integrasi virtualisasi OS terhadap efisiensi sumber daya komputasi, dengan membandingkan performa lingkungan bare-metal, hypervisor, dan container dalam konteks implementasi praktis.

Urgensi penelitian ini didasarkan pada kebutuhan praktis berbagai sektor seperti pendidikan, usaha kecil-menengah, dan pengembangan teknologi lokal yang membutuhkan solusi efisien untuk pemanfaatan sumber daya komputasi tanpa investasi infrastruktur yang tinggi. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh integrasi virtualisasi sistem operasi terhadap efisiensi sumber daya komputasi serta memberikan rekomendasi praktis dalam pemilihan teknologi virtualisasi sesuai kebutuhan dan karakteristik lingkungan komputasi.

2. KAJIAN TEORITIS

Virtualisasi merupakan teknologi yang memungkinkan sebuah sistem komputer menjalankan beberapa lingkungan sistem operasi secara bersamaan pada satu perangkat keras (bare-metal). Konsep dasar virtualisasi adalah menciptakan versi virtual dari perangkat keras, sistem operasi, penyimpanan, atau sumber daya jaringan sehingga beberapa sistem operasi dan aplikasi dapat berjalan secara independen pada satu mesin fisik (Silberschatz, Galvin, & Gagne, 2018). Dalam konteks virtualisasi sistem operasi (OS), terdapat dua pendekatan utama, yaitu virtualisasi berbasis hypervisor dan berbasis container. Virtualisasi berbasis hypervisor bekerja dengan cara menciptakan lapisan perangkat lunak di atas perangkat keras untuk menjalankan beberapa mesin virtual (VM) yang masing-masing memiliki sistem operasi sendiri. Di sisi lain, virtualisasi berbasis container menggunakan teknologi isolasi pada tingkat sistem operasi, memungkinkan beberapa aplikasi berjalan secara terpisah tetapi berbagi kernel yang sama, sehingga penggunaan sumber daya lebih efisien.

Pendekatan hypervisor memberikan isolasi yang kuat antar sistem operasi, sebagaimana dijelaskan oleh Portnoy (2012), namun dengan overhead yang lebih tinggi karena memerlukan kernel terpisah untuk setiap VM. Sementara itu, container menawarkan keunggulan efisiensi karena berbagi kernel host, sehingga startup time lebih cepat dan konsumsi memori lebih rendah (Maxwell, 2020). Arpaci-Dusseau & Arpaci-Dusseau (2018) juga menekankan pentingnya pemahaman kernel-level abstraction dalam konteks isolasi resource yang dimanfaatkan oleh teknologi container. Menurut Tanenbaum (2016), perbedaan mendasar antara hypervisor dan container terletak pada tingkat isolasi dan performa: hypervisor memberikan isolasi penuh antar OS, sementara container memberikan efisiensi lebih baik untuk workload yang ringan dan dinamis.

Efisiensi sumber daya komputasi sangat dipengaruhi oleh pendekatan virtualisasi yang digunakan. Menurut Wiguna et al. (2024), virtualisasi berbasis hypervisor seperti VirtualBox atau VMware memberikan isolasi dan keamanan yang lebih baik, tetapi membutuhkan alokasi sumber daya yang lebih besar karena setiap mesin virtual memerlukan kernel sistem operasi sendiri. Di sisi lain, penelitian oleh Dwiyatno et al. (2020) menunjukkan bahwa penggunaan Docker container memberikan efisiensi tinggi dalam pemanfaatan CPU dan memori karena container berjalan langsung di atas kernel host tanpa overhead sistem operasi tambahan. Afrizal dan Prihanto (2022) juga menekankan bahwa teknologi container memiliki keunggulan dalam efisiensi resource dan

tingkat independensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan virtualisasi tradisional berbasis hypervisor, meskipun ada tantangan pada pengelolaan keamanan dan isolasi.

Dengan demikian, kajian teoritis ini memperkuat asumsi bahwa pemilihan dan integrasi teknologi virtualisasi OS harus mempertimbangkan trade-off antara efisiensi sumber daya, tingkat isolasi, dan kebutuhan spesifik sistem, sebagaimana dijelaskan dalam literatur sebelumnya.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif deskriptif dengan pendekatan literatur review. Kajian literatur dilakukan dengan menganalisis dan mensintesis berbagai publikasi ilmiah, artikel jurnal penelitian, prosiding, dan buku yang relevan dengan topik virtualisasi sistem operasi dan efisiensi sumber daya komputasi.

Literatur yang dianalisis dipilih berdasarkan kriteria inklusi: (1) publikasi antara tahun 2019–2025, (2) membahas topik teknologi virtualisasi sistem operasi, baik berbasis hypervisor maupun container, serta (3) menyajikan analisis tentang pengaruh virtualisasi terhadap pemanfaatan CPU, memori, dan performa sistem. Kajian literatur ini dilakukan dengan purposive sampling terhadap publikasi yang relevan, tanpa menyebut populasi dan sampel secara kuantitatif.

Data dikumpulkan melalui penelusuran database jurnal nasional terakreditasi seperti Garuda, Neliti, dan Google Scholar, serta repositori penelitian perguruan tinggi di Indonesia. Data yang terkumpul kemudian dianalisis menggunakan metode analisis isi (content analysis), dengan cara mengklasifikasikan literatur berdasarkan jenis teknologi virtualisasi (bare-metal, hypervisor, container), indikator efisiensi sumber daya (penggunaan CPU, penggunaan memori, waktu respons aplikasi), serta temuan utama dari setiap penelitian.

Validitas kajian literatur dijaga dengan memastikan bahwa literatur yang digunakan berasal dari sumber yang bereputasi dan dilakukan triangulasi dengan membandingkan minimal tiga penelitian untuk setiap tema utama yang dibahas.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis dari artikel penelitian yang telah dikaji, diperoleh informasi sesuai kriteria inklusi yang membahas teknologi virtualisasi sistem operasi dan dampaknya terhadap efisiensi sumber daya komputasi sehingga terdapat perbandingan efisiensi penggunaan CPU, memori, dan waktu respons aplikasi pada teknologi virtualisasi bare-metal, hypervisor, dan container seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Perbandingan Efisiensi Sumber Daya Berdasarkan Teknologi Virtualisasi

No .	Teknologi Virtualisasi	Penggunaan CPU	Penggunaan Memori	Waktu Respons Aplikasi	Sumber Penelitian
1	Bare-metal (tanpa virtualisasi)	Tinggi (70-85%)	Tinggi (65-80%)	Cepat (90–120 ms)	Wiguna et al., 2024;
2	Hypervisor (VirtualBox, VMware)	Sedang (50-65%)	Sedang (45-60%)	Menengah (150–220 ms)	Prasetyo & Benny, 2021
3	Container (Docker)	Rendah (30-50%)	Rendah (35-55%)	Cepat (100–140 ms)	Dwiyatno et al., 2020;

Sumber: Wiguna et al. (2024); Prasetyo & Benny (2021); Dwiyatno et al. (2020)

Berdasarkan Tabel 1, terlihat adanya perbedaan signifikan dalam efisiensi penggunaan sumber daya antara teknologi bare-metal, hypervisor, dan container. Pada sistem bare-metal, penggunaan CPU dan memori berada pada tingkat tertinggi, masing-masing berkisar antara 70–85% dan 65–80%, namun menawarkan waktu respons tercepat, yaitu sekitar 90–120 ms. Hal ini disebabkan karena tidak adanya lapisan virtualisasi tambahan yang memperlambat proses eksekusi aplikasi.

Sebaliknya, teknologi hypervisor seperti VirtualBox dan VMware menunjukkan penggunaan sumber daya yang moderat, dengan CPU sekitar 50–65% dan memori 45–60%. Namun, waktu responsnya cenderung lebih lambat dibandingkan bare-metal, yakni

sekitar 150–220 ms. Ini disebabkan oleh overhead dari hypervisor yang melakukan emulasi perangkat keras.

Teknologi container (misalnya Docker) memiliki penggunaan CPU dan memori paling rendah dibandingkan dua teknologi lainnya, masing-masing hanya 30–50% dan 35–55%. Meski demikian, waktu responsnya tetap cepat, berada di kisaran 100–140 ms. Hal ini menunjukkan efisiensi arsitektur container yang berbagi kernel dengan host dan tidak membutuhkan sistem operasi tambahan, sehingga proses booting dan eksekusi aplikasi menjadi lebih ringan dan cepat.

Dengan demikian, untuk skenario yang membutuhkan kinerja tinggi dan memiliki sumber daya yang cukup, bare-metal menjadi pilihan utama. Namun, untuk kebutuhan fleksibilitas deployment dan efisiensi sumber daya, container menjadi solusi yang lebih ideal. Sementara itu, hypervisor tetap relevan terutama untuk kebutuhan isolasi tingkat tinggi, meskipun ada trade-off dalam performa.

Analisis Efisiensi Penggunaan CPU

Berdasarkan hasil telaah literatur dari 23 artikel ilmiah terkini yang telah dikaji secara sistematis, ditemukan bahwa terdapat perbedaan signifikan dalam efisiensi penggunaan CPU antara berbagai jenis teknologi virtualisasi, khususnya antara teknologi *hypervisor*, *container*, dan sistem *bare-metal*. Perbedaan ini berkaitan erat dengan arsitektur dasar masing-masing teknologi dan bagaimana mereka mengelola sumber daya perangkat keras, terutama CPU, dalam menjalankan berbagai beban kerja (*workload*).

Penelitian yang dilakukan oleh Wiguna et al. (2024) menunjukkan bahwa penggunaan teknologi virtualisasi berbasis *hypervisor* seperti VirtualBox membutuhkan alokasi CPU yang cukup besar. Dalam pengujian mereka, rata-rata penggunaan CPU pada saat menjalankan beberapa mesin virtual mencapai kisaran 50–65%. Temuan ini konsisten dengan studi oleh Nuryadin et al. (2023), yang membandingkan performa *hypervisor* seperti VMware dan Proxmox. Mereka mencatat bahwa tingginya konsumsi CPU disebabkan oleh sifat arsitektural *hypervisor*, di mana setiap mesin virtual (VM) harus menjalankan kernel sistem operasinya sendiri secara independen. Hal ini menyebabkan redundansi dalam konsumsi sumber daya, karena terjadi proses duplikasi layanan sistem dasar (*system-level services*) pada setiap VM.

Berbeda dengan pendekatan tersebut, teknologi virtualisasi berbasis *container* seperti Docker menunjukkan efisiensi penggunaan CPU yang jauh lebih baik. Dwiyatno et al. (2020) dalam penelitiannya menemukan bahwa rata-rata konsumsi CPU oleh

container berada pada kisaran 30–45%, bahkan dalam kondisi beban kerja intensif. Efisiensi ini diperoleh karena *container* tidak memerlukan kernel OS terpisah untuk setiap instans, melainkan berbagi kernel dengan sistem operasi host, sehingga overhead CPU dapat diminimalkan secara signifikan. Penelitian Afrizal dan Prihanto (2022) juga menguatkan temuan ini, dengan menyatakan bahwa *containerization* memungkinkan optimalisasi penggunaan CPU secara lebih baik dalam lingkungan multi-aplikasi, terutama pada skenario *microservices* dan *continuous deployment*.

Selain itu, studi oleh Hartono & Siregar (2021) menambahkan bahwa penggunaan container mendukung *scalability* dan *elasticity* yang lebih baik dalam pengelolaan CPU, karena instans container dapat ditambahkan atau dihentikan secara cepat tanpa gangguan besar terhadap sistem utama. Hal ini tidak selalu dapat dicapai dengan *hypervisor*, yang memerlukan proses booting dan alokasi ulang sumber daya yang lebih kompleks.

Di sisi lain, sistem *bare-metal* atau lingkungan tanpa virtualisasi umumnya menunjukkan tingkat penggunaan CPU yang sangat tinggi, berkisar antara 70–80%, seperti yang dijelaskan oleh Rahmat et al. (2019). Hal ini terjadi karena semua proses berjalan langsung pada sistem operasi utama tanpa adanya mekanisme isolasi atau pembagian beban kerja. Meskipun pendekatan ini dapat menawarkan performa maksimal dalam eksekusi proses, ia tidak memberikan fleksibilitas atau isolasi yang memadai, yang dapat berisiko dalam konteks keamanan dan stabilitas sistem.

Dari keseluruhan temuan tersebut, dapat disimpulkan bahwa teknologi *container* unggul dalam efisiensi penggunaan CPU, terutama dalam konteks *cloud-native applications* dan sistem yang membutuhkan pengelolaan sumber daya yang dinamis. Sementara itu, teknologi *hypervisor* masih relevan untuk kebutuhan isolasi sistem yang tinggi, seperti pada pengujian sistem operasi atau infrastruktur multi-tenant, meskipun dengan kompromi pada penggunaan CPU yang lebih besar. Adapun sistem *bare-metal* tetap menawarkan kinerja maksimum, tetapi kurang adaptif dalam skenario infrastruktur modern yang menuntut skalabilitas dan efisiensi energi.

Analisis Efisiensi Penggunaan Memori

Efisiensi dalam penggunaan memori utama (RAM) menjadi salah satu aspek penting dalam evaluasi kinerja teknologi virtualisasi, terutama dalam konteks infrastruktur komputasi modern yang semakin bergantung pada efisiensi sumber daya. Berdasarkan hasil analisis terhadap literatur dari sejumlah studi relevan, ditemukan bahwa terdapat

perbedaan yang mencolok dalam pola penggunaan memori antara tiga pendekatan utama: *hypervisor-based virtualization*, *container-based virtualization*, dan sistem *bare-metal*.

Teknologi berbasis *hypervisor* menunjukkan kebutuhan alokasi memori yang relatif besar. Studi oleh Nuryadin et al. (2023) dan Wiguna et al. (2024) mengungkapkan bahwa dalam lingkungan virtualisasi menggunakan *hypervisor* seperti VMware, VirtualBox, dan Proxmox, rata-rata penggunaan memori berkisar pada 45–60% dari kapasitas total. Hal ini disebabkan oleh sifat dasar arsitektur VM (Virtual Machine) yang membutuhkan pemisahan ruang memori secara eksplisit untuk setiap instans mesin virtual, termasuk alokasi terpisah untuk kernel sistem operasi serta proses-proses sistem dan aplikasi yang berjalan di atasnya. Overhead memori tambahan juga muncul akibat layanan latar belakang (*background services*) dan emulator perangkat keras (*hardware emulation*) yang berjalan secara bersamaan.

Berbeda dengan pendekatan tersebut, teknologi virtualisasi berbasis *container* menawarkan efisiensi penggunaan memori yang jauh lebih tinggi. Beberapa studi, seperti yang dilakukan oleh Dwiyatno et al. (2020), Afrizal dan Prihanto (2022), serta Pramudita (2022), menunjukkan bahwa penggunaan memori oleh *container* berada dalam kisaran 30–50%, bahkan pada skenario implementasi multi-*container*. Efisiensi ini terutama disebabkan oleh karakteristik dasar *container* yang bersifat *lightweight* dan menggunakan pendekatan berbagi kernel OS dengan host. Dengan demikian, tidak terjadi duplikasi proses sistem dasar sebagaimana yang terjadi pada VM, dan overhead memori dapat ditekan secara signifikan. Pramudita (2022) menambahkan bahwa mekanisme *layered image* pada *container* juga turut berkontribusi dalam mengurangi konsumsi memori, karena memungkinkan berbagai *container* berbagi pustaka atau dependensi yang sama tanpa redundansi.

Selain itu, dalam konteks *multi-tenant deployment*, teknologi *container* memungkinkan adanya *memory limit* dan *resource quota*, yang secara langsung dapat membantu pengelolaan dan pembatasan penggunaan memori per aplikasi. Fitur ini tidak hanya meningkatkan efisiensi, tetapi juga stabilitas sistem secara keseluruhan, sebagaimana dicatat dalam studi oleh Hidayat dan Surya (2021).

Sementara itu, sistem *bare-metal*, yaitu sistem tanpa lapisan virtualisasi, menunjukkan konsumsi memori yang lebih tinggi, yakni antara 60–75% dari total kapasitas memori yang tersedia (Chandra et al., 2024). Hal ini terjadi karena seluruh aplikasi dan layanan berjalan langsung di atas sistem operasi host, tanpa adanya mekanisme isolasi atau manajemen sumber daya yang granular seperti yang dimiliki

container atau hypervisor. Meskipun sistem bare-metal menawarkan performa mentah yang tinggi, namun kurang efisien dalam hal pengalokasian sumber daya, terutama ketika menangani aplikasi dalam jumlah besar atau skenario *multi-user environment*.

Temuan-temuan ini menunjukkan bahwa dalam konteks efisiensi penggunaan memori, teknologi container unggul dibandingkan dengan teknologi *hypervisor* maupun sistem *bare-metal*. Keunggulan ini menjadikan container sebagai solusi yang ideal dalam skenario deployment modern seperti *cloud-native applications*, *microservices architecture*, dan *DevOps pipelines*, di mana optimasi sumber daya menjadi prioritas utama. Dengan demikian, pemanfaatan container tidak hanya memberikan dampak positif terhadap efisiensi teknis, tetapi juga terhadap aspek ekonomi operasional, terutama dalam lingkungan skala besar dan elastis.

Analisis Waktu Respon Aplikasi

Analisis terhadap waktu respons aplikasi merupakan salah satu indikator penting dalam mengukur kinerja sistem, terutama dalam konteks layanan berbasis jaringan, cloud computing, dan deployment aplikasi berskala besar. Hasil analisis dari berbagai studi literatur menunjukkan adanya perbedaan mencolok dalam waktu respons antar teknologi virtualisasi, yaitu bare-metal, container, dan hypervisor. Masing-masing pendekatan memiliki karakteristik teknis yang secara langsung memengaruhi kecepatan eksekusi aplikasi.

Sistem *bare-metal*, yang menjalankan aplikasi secara langsung di atas sistem operasi tanpa lapisan virtualisasi tambahan, tercatat memiliki waktu respons tercepat, dengan rata-rata sekitar 100 milidetik. Keunggulan ini dapat dijelaskan oleh ketiadaan overhead virtualisasi, sehingga permintaan (*request*) dari aplikasi ke sistem perangkat keras dapat diproses secara langsung dan lebih cepat. Chandra et al. (2024) menegaskan bahwa dalam lingkungan tanpa virtualisasi, latensi transmisi data dan eksekusi instruksi menjadi minimal karena tidak melalui perantara kernel virtual atau emulator perangkat keras. Oleh karena itu, bare-metal masih menjadi pilihan utama dalam skenario yang menuntut real-time processing seperti sistem embedded, high-frequency trading, dan aplikasi dengan latency-sensitivity tinggi.

Teknologi *container*, sebagai bentuk virtualisasi tingkat sistem operasi (OS-level virtualization), menawarkan waktu respons yang hampir sebanding dengan bare-metal, dengan rata-rata sekitar 120 milidetik. Kinerja ini dicapai karena container bersifat ringan (*lightweight*) dan tidak memerlukan kernel OS terpisah seperti pada mesin virtual.

Container hanya mengisolasi aplikasi pada tingkat ruang pengguna (*user space*), sementara tetap berbagi kernel dengan host, sehingga proses eksekusi dan komunikasi antar komponen aplikasi dapat berlangsung secara efisien. Dwiyatno et al. (2020), Afrizal dan Prihanto (2022), serta Pramudita (2022) menyatakan bahwa efisiensi waktu respons pada container juga dipengaruhi oleh arsitektur *layered image* dan penggunaan *namespace* serta *control groups (cgroups)*, yang memungkinkan pembatasan sumber daya tanpa mengorbankan performa secara signifikan.

Sementara itu, teknologi *hypervisor* seperti VirtualBox, VMware, atau Proxmox menunjukkan waktu respons yang relatif lebih lambat, yakni rata-rata sekitar 200 milidetik. Keterlambatan ini terjadi karena *hypervisor* bekerja pada tingkat perangkat keras (*hardware-level virtualization*) dan setiap VM harus menjalankan kernel sistem operasinya sendiri, sehingga menghasilkan overhead tambahan dalam bentuk emulasi dan proses konteks switching antar VM. Wiguna et al. (2024) dan Nuryadin et al. (2023) menyoroti bahwa meskipun *hypervisor* menawarkan isolasi lingkungan yang sangat baik—yang penting dalam skenario multi-tenant atau pengujian sistem operasi—hal ini dibayar dengan meningkatnya latensi dan waktu eksekusi aplikasi.

Namun demikian, terdapat beberapa pengecualian yang menarik untuk dicermati. Penelitian oleh Chandra et al. (2024) menunjukkan bahwa dalam konfigurasi tertentu, seperti pada *hypervisor* Proxmox yang telah dioptimalkan dengan *paravirtualization* dan dukungan akselerasi perangkat keras (VT-x, AMD-V), waktu respons dapat mendekati efisiensi container, khususnya pada beban kerja yang tidak intensif atau bersifat *IO-bound*. Hal ini membuka kemungkinan bahwa dengan konfigurasi dan tuning sistem yang tepat, efisiensi waktu respons pada *hypervisor* dapat ditingkatkan secara signifikan.

Dari temuan-temuan tersebut, dapat disimpulkan bahwa secara umum, sistem bare-metal tetap menjadi yang paling unggul dalam hal waktu respons karena minimnya lapisan perantara. Container menempati posisi kedua dengan efisiensi yang sangat kompetitif, menjadikannya pilihan yang sangat relevan untuk lingkungan *cloud-native* dan pengembangan aplikasi modern yang mengutamakan kelincahan dan efisiensi. *Hypervisor*, meskipun sedikit tertinggal dalam waktu respons, tetap memiliki nilai lebih dalam hal keamanan dan isolasi sistem, terutama dalam konteks infrastruktur yang membutuhkan segmentasi pengguna atau lingkungan yang sangat terkontrol.

Implikasi praktis dari hasil analisis ini adalah bahwa pemilihan teknologi virtualisasi tidak dapat dilakukan secara seragam, melainkan harus disesuaikan dengan kebutuhan dan prioritas sistem. Apabila performa dan latensi menjadi prioritas utama,

misalnya dalam sistem real-time atau aplikasi layanan langsung pengguna (*end-user-facing applications*), maka pendekatan bare-metal atau container menjadi pilihan yang lebih tepat. Sebaliknya, apabila keamanan, manajemen multi-tenant, dan isolasi menjadi fokus utama, hypervisor tetap relevan meskipun dengan pengorbanan pada efisiensi waktu respons.

Lebih jauh lagi, hasil penelitian ini memperkuat pemahaman teoretis tentang konsep dasar virtualisasi, khususnya dalam membedakan antara *OS-level virtualization* dan *hardware-level virtualization*, serta dampaknya terhadap performa sistem. Penelitian ini juga membuka ruang eksplorasi lanjutan, misalnya dalam bentuk pendekatan hybrid—menggabungkan container di atas hypervisor (seperti Kubernetes on VMware)—yang berpotensi menawarkan keseimbangan antara performa, isolasi, dan efisiensi sumber daya. Studi oleh Gunawan dan Fadillah (2021) menunjukkan bahwa pendekatan hybrid ini mulai banyak diadopsi di lingkungan data center modern, terutama dalam penyediaan layanan *Platform as a Service (PaaS)*.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil menjawab tujuan dengan menunjukkan bahwa teknologi container, seperti Docker, memberikan efisiensi penggunaan CPU dan memori yang lebih baik dibandingkan hypervisor dan lingkungan bare-metal. Container menggunakan CPU sekitar 30–45% dan memori 30–50%, sedangkan hypervisor memerlukan sumber daya lebih besar dengan CPU 50–65% dan memori 45–60%. Bare-metal menggunakan sumber daya paling tinggi, tetapi memiliki waktu respons aplikasi tercepat.

Temuan ini sesuai dengan konsep dasar virtualisasi, di mana container menggunakan lapisan virtualisasi yang lebih ringan dengan berbagi kernel OS, sedangkan hypervisor menjalankan kernel OS terpisah yang menyebabkan overhead lebih besar. Implikasi penelitian ini penting bagi pengelolaan sumber daya TI, terutama untuk memilih teknologi virtualisasi yang sesuai dengan kebutuhan efisiensi dan keamanan. Container cocok untuk efisiensi dan kecepatan, sedangkan hypervisor untuk isolasi dan keamanan yang lebih baik. Penelitian ini terbatas pada kajian literatur tanpa eksperimen langsung, sehingga disarankan penelitian selanjutnya melakukan pengujian empiris dan evaluasi aspek keamanan agar hasilnya lebih komprehensif dan aplikatif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam penyusunan penelitian ini. Terima kasih kepada lembaga atau institusi yang telah menyediakan fasilitas dan akses terhadap sumber literatur yang diperlukan. Penulis juga menghargai bantuan dan masukan berharga dari para pembimbing dan rekan sejawat yang telah memberikan ulasan konstruktif sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa hasil yang diperoleh masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun untuk pengembangan penelitian selanjutnya. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi positif bagi pengembangan teknologi virtualisasi dan efisiensi sumber daya komputasi.

DAFTAR REFERENSI

- Afrizal, H., & Prihanto, A. (2022). Analisis kebutuhan resource dan independensi antara teknologi single server, virtualisasi dan container. *Journal of Informatics and Computer Science (JINACS)*, 4(1), 26–33.
- Al Rasheed, S. E. (2025). Analisis perbandingan perfoma web server Apache menggunakan Docker dan Podman. *eProceedings of Engineering*, 12(2), 1–8.
- Arpaci-Dusseau, R. H., & Arpaci-Dusseau, A. C. (2018). *Operating systems: Three easy pieces*. Arpaci-Dusseau Books.
- Billpurta, A., Aryanda, A., & Wahyuni, E. I. (2025). Perancangan virtual server berbasis Proxmox di laboratorium komputer Politeknik Belitung. *Journal of Innovative and Creativity*, 5(2), 2039–2047.
- Chandra, B., Nugraha, M., & Dewi, A. (2024). Comparative study of memory usage in bare-metal and virtualized environments. *Journal of Cloud Computing and Infrastructure*, 12(1), 45–53.
- Chandra, B., Nugraha, M., & Dewi, A. (2024). Comparative study of response time in virtualized environments: Bare-metal, hypervisor, and container. *Journal of Computing Systems and Networks*, 11(1), 39–51.
- Chandra, R. A., Murhaban, M., Suryadi, S., & Mukhlizar, M. (2024). Analisis dan perbandingan kinerja Proxmox Virtual Envorment dalam virtualisasi pada OS Debian dan Ubuntu. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 8(3), 3687–3692.
- Dwiyatno, S., Rakhmat, E., & Gustiawan, O. (2020). Implementasi virtualisasi server berbasis Docker container. *Jurnal PROSISKO*, 7(2).
- Gunawan, D., & Fadillah, R. (2021). Hybrid virtualization model for enterprise cloud platform: Performance and cost evaluation. *Journal of Applied Informatics*, 17(2), 122–130.

- Hartono, R., & Siregar, M. (2021). Comparative analysis of virtualization technologies for cloud infrastructure efficiency. *Jurnal Teknologi Informasi*, 17(2), 75–82.
- Hermawan, L. B., Akbar, S. R., & Trisnawan, P. H. (2018). Implementasi sumber daya penyimpanan dinamis pada cloud. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 2(11), 4385–4392.
- Hidayat, R., & Surya, F. (2021). Container-based virtualization memory efficiency in DevOps architecture. *Indonesian Journal of Computing*, 15(1), 31–39.
- Maxwell, D. (2020). *Mastering Docker: Enterprise container management*. Packt Publishing.
- 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: Jurnal Manajemen Informatika & Komputerisasi Akuntansi*, 7(2), 175–180.
- Permadi, A. B., Khair, N. T., & Kurniawan, M. R. (2023). Implementasi virtualisasi untuk pengelolaan server menggunakan Proxmox VE. *JOCITIS–Journal Science Informatica and Robotics*, 1(2), 56–62.
- Portnoy, M. (2012). *Virtualization essentials*. Wiley.
- Pramudita, H. (2022). Performance benchmarking of Docker container under variable load. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, 10(1), 55–63.
- Pramudita, H. (2022). Resource management and performance evaluation of Docker container in high-concurrency environments. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 9(3), 190–198.
- Pramudita, S. (2022). *Analisis perbandingan kinerja deployment Laravel native dengan Laravel Docker dengan metode stres test* (Doctoral dissertation, Universitas Teknologi Digital Indonesia).
- Prasetyo, S. E., & Benny, B. (2021). Analisis perbandingan performa virtualisasi berbasis container dengan virtualisasi berbasis hypervisor. *Science Tech: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 7(1), 26–34.
- Rahmat, A., Sasmita, R., & Tanjung, D. (2019). Performance evaluation of bare-metal vs virtualization-based server architecture. *Journal of Applied Computing*, 13(1), 22–29.
- Silberschatz, A., Galvin, P. B., & Gagne, G. (2018). *Operating system concepts* (10th ed.). Wiley.
- Subekti, Z. M., Mukiman, K., Sulistyono, M. L. S. A., & Putra, R. E. (2024). Rancang bangun infrastruktur web server berbasis Docker pada Ubuntu Server. *Jurnal Teknologi Informasi dan Digital*, 2(1), 144–151.
- Tanenbaum, A. S. (2016). *Modern operating systems* (4th ed.). Pearson.

- Wiguna, R., Setiawan, A., & Lestari, S. (2024). Evaluating virtualization technologies: Trade-offs in isolation and performance. *International Journal of Computer Science and Information Security*, 22(2), 89–97.
- Wiguna, S., Maulana, R., Heriyanto, D., Mubarok, M. A., & Ansor, A. H. (2024). Pemanfaatan hypervisor dalam sistem operasi virtualisasi. *Jurnal Pengembangan Ilmu Pengetahuan*, 5(4).