

Optimalisasi Performa Sistem Operasi melalui Integrasi Arsitektur Heterogen dan Virtualisasi di Era Komputasi Awan

Muhammad Rinov Cuhazriansyah¹, Shelomita Putri Agustina², Sigit Gilang Pamungkas Raharjo³,
Achmad Sultoni Ichwana⁴

^{1,2,3,4}Pendidikan Teknologi Informasi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IKIP
PGRI Bojonegoro, Kec. Bojonegoro, Bojonegoro, Jawa Timur

E-mail:

Muhrinov15@gmail.com^{1*}, tatashelo123@gmail.com², sigitgilang100@gmail.com³,
toniichwana2005@gmail.com⁴

Abstract

As cloud computing continues to grow, more stable and efficient operating systems are required to manage increasingly complex workloads. To improve system performance and flexibility, the integration of virtualization technology and heterogeneous architectures such as CPUs, GPUs, and FPGAs is essential. To determine how effective the applied optimization techniques and architectures are, this study employs qualitative and quantitative methods using literature analysis, interviews, and surveys. The findings indicate that dynamic virtual machine consolidation and memory optimization can enhance data center resource utilization and reduce latency by up to 25%. Technologies such as edge and fog computing also improve response speed and service availability. Overall, the combination of virtualization and heterogeneous architectures serves as an effective strategy for maximizing operating system performance in cloud computing environments.

Keywords: *cloud computing; heterogeneous architecture; memory optimization; operating system; virtualization*

Abstrak

Saat komputasi awan berkembang, dibutuhkan sistem operasi yang lebih stabil dan efisien untuk mengelola pekerjaan yang semakin rumit. Untuk meningkatkan kinerja dan kemampuan sistem, sangat penting untuk menggabungkan teknologi virtualisasi dan berbagai jenis arsitektur heterogen seperti CPU, GPU, dan FPGA. Untuk mengetahui seberapa efektif teknik optimasi dan arsitektur yang diterapkan, penelitian ini menggunakan metode kualitatif dan kuantitatif, menggunakan analisis literatur, wawancara, dan survei. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsolidasi dan optimalisasi memori mesin virtual dinamis dapat meningkatkan pemanfaatan sumber daya pusat data dan menurunkan latensi hingga 25%. Teknologi seperti komputasi edge dan fog juga meningkatkan kecepatan respons dan ketersediaan layanan. Secara keseluruhan, kombinasi virtualisasi dan arsitektur heterogen menjadi strategi yang berguna untuk memaksimalkan kinerja sistem operasi di komputasi awan

Kata kunci: *cloud computing; arsitektur heterogen; optimasi memori; sistem operasi; virtualisasi*

1. PENDAHULUAN

Dalam era teknologi modern, teknologi *cloud computing* telah menjadi komponen penting dari infrastruktur IT di banyak perusahaan. Namun, masalah utama dalam menerapkan teknologi ini adalah manajemen beban kerja yang efektif untuk memastikan layanan yang konsisten dan andal. Kekurangan manajemen beban kerja dapat menyebabkan sistem bekerja kurang baik dan pengguna harus menunggu lebih lama. Untuk mengatasi masalah ini, berbagai pendekatan *load balancing* telah diciptakan. Tujuan dari teknik *load balancing* adalah untuk membagi beban kerja secara merata diseluruh *node* jaringan sehingga tidak ada *node* yang terbebani terlalu banyak [2].

Menurut [7], istilah "*cloud computing*" benar-benar telah menjadi elemen utama dalam teknologi informasi (TI). Komputasi awan merupakan jenis komputasi yang sangat fleksibel yang memanfaatkan sumber daya virtual yang dapat diakses secara bersama oleh berbagai pengguna. Peningkatan permintaan server akan mendorong penyedia layanan *cloud computing* untuk bersaing dalam membangun infrastruktur yang mendukung layanan bisnis konsumen di sektor tersebut. Sebagai hasilnya, penyedia layanan *cloud computing* bersaing dalam membangun infrastruktur demi meraih peluang keuntungan yang besar.

Komputasi heterogen menerapkan berbagai jenis prosesor dalam satu sistem. Contohnya, penggunaan CPU, GPU, dan FPGA yang saling bersinergi memungkinkan aplikasi untuk mengoptimalkan daya setiap jenis prosesor untuk tugas tertentu. GPU sesuai untuk komputasi paralel dan grafis, sementara CPU kompetitif dalam pengelolaan bertahap, dan FPGA dapat diterapkan untuk tugas yang memerlukan modifikasi kinerja spesifik. Teknologi ini telah mempercepat pemrosesan data besar dan aplikasi kecerdasan buatan. Arsitektur komputasi heterogen menggabungkan berbagai jenis prosesor yang dirancang untuk menangani jenis tugas tertentu secara optimal. Setiap unit pemrosesan dalam arsitektur ini memiliki keunggulan unik dalam memproses tugas tertentu [5].

Menurut [1], mengkaji keterkaitan antara teknologi dan kinerja pada sistem komputasi awan membuktikan bahwa pemilihan model arsitektur yang tepat dapat memaksimalkan kecepatan pemrosesan hingga 35%. *hypervisor* memiliki peran signifikan dalam menempatkan sumber daya virtual dan mengurangi beban sistem operasi utama melalui segmentasi beban kerja yang optimal. Penelitian lain oleh [16] menekankan peran teknologi virtualisasi dalam mengurangi biaya operasional dan meningkatkan efisiensi bisnis digital di Indonesia.

Namun demikian [8], memperlihatkan bahwa implementasi virtualisasi GPU pada sistem cloud gaming di Indonesia sukses meningkatkan performa proses kerja grafis secara mencolok. Dari beragam studi tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa arsitektur heterogen dan virtualisasi berfungsi sebagai dua elemen saling melengkapi dalam tata kelola sumber daya sistem operasi berbasis *cloud*. Arsitektur heterogen mengoptimalkan efisiensi eksekusi komputasi, dan pada saat yang sama virtualisasi memastikan fleksibilitas serta pemisahan antar lingkungan kerja virtual.

1.1. Karakteristik Komputasi Awan

Akses jaringan yang luas melalui berbagai platform laptop, PDA, dan desktop standar lainnya adalah ciri utama komputasi awan (draft) menurut Institut Standar Dan Teknologi Nasional AS. Dengan kata lain, penggunaan internet nirkabel telah menyebabkan sejumlah masalah keamanan baru. Ini karena karakteristik teknologi komputasi awan seperti virtualisasi, dinamis, terbuka, dan rumit. Potensi bahaya keamanan baru-baru ini menarik perhatian akademis dan industri. Dari sudut pandang hukum, sangat wajar untuk membutuhkan keamanan data pengguna awan karena pengguna benar-benar membutuhkan data yang aman. Ini berarti bahwa data yang diberikan kepada penyedia awan tidak boleh diakses, diungkapkan atau dirusak.

1.2. Internet Nirkabel Dengan Layanan Komputasi Awan

Internet nirkabel dan layanan komputasi awan adalah sistem kompleks yang menghadapi

berbagai ancaman keamanan. Hal ini yang sangat penting adalah penelitian dan pengembangan teknologi baru yang dimaksudkan untuk memerangi dan menghentikan ancaman ini. Arsitektur keamanan komputasi awan sangat penting, dan banyak peneliti dan bisnis telah menganalisis dan mengembangkan sebagai kerangka kerja keamanan sistem yang relevan.

Windows Azure adalah platform komputasi awan yang diluncurkan *Microsoft*. Penulis mengusulkan arsitektur keamanan komputasi awan untuk meningkatkan keamanan aplikasi lokal yang cukup umum berdasarkan keamanan aplikasi, keamanan jaringan, dan keamanan *host*. Keamanan aplikasi meliputi audit dan pencatatan, autentikasi, otorisasi, konfigurasi, manajemen, kriptografi, pengecualian manajemen, parameter manajemen, data sensitif, manajemen sesi, dan validasi. Router, firewall, dan switch adalah komponen utama keamanan jaringan. Komponen keamanan *host* lainnya meliputi protokol, pembaruan dan patch, layanan, akun, file dan direktori, registri, pertukaran, port, audit, dan pencatatan. Menurut peneliti *Bell Laboratory*, arsitektur ujung ke ujung aman VSITE memungkinkan integrasi sederhana dari sumber daya awan ke dalam intranet lapisan organisasi.

Layanan komputasi awan yang dapat diskalakan dan disesuaikan dapat disediakan oleh *Amazon Elastic Compute Cloud (Amazon EC2)*. Sistem operasi *host*, sistem operasi tamu atau sistem operasi instan virtual, firewall, dan panggilan API yang ditandatangani adalah beberapa tingkat keamanannya. Kemampuan yang berbeda menentukan tingkat ini, Dua tujuan utama terkait dengan *Amazon EC2* adalah pencegahan penggunaan oleh sistem yang tidak sah, yang memungkinkan penerapan *instances amazon EC2* yang seaman mungkin sambil mempertahankan fleksibilitas konfigurasi yang diminta oleh pelanggan. [15].

2. METODE

Metode kuantitatif dan kualitatif digunakan dalam penelitian ini. Fenomena keamanan dalam komputasi awan dan internet nirkabel dipahami dengan metode kualitatif, sedangkan tingkat

keamanan dan efektivitas arsitektur yang disarankan diukur dengan metode kuantitatif. Data primer dan sekunder terdiri dari data yang dikumpulkan dalam penelitian ini. Data primer terdiri dari hasil wawancara dengan hasil keamanan siber, survei, penggunaan tentang bagaimana mereka menggunakan layanan komputasi awan, dan data eksperimen terkait dengan implementasi arsitektur keamanan. Data sekunder terdiri dari literatur tentang keamanan komputasi awan, laporan penelitian sebelumnya, dan dokumen kebijakan.

Data yang dikumpulkan akan dianalisis dengan dua pendekatan: data wawancara dan survei kualitatif akan dianalisis menggunakan pendekatan tematik untuk menemukan pola dan tema yang muncul, dan data survei kuantitatif akan dianalisis menggunakan statistik deskripsi untuk menunjukkan karakteristik responden dan tingkat keamanan yang mereka rasakan. Untuk memastikan bahwa hasilnya valid, triangulasi menggunakan berbagai sumber data (wawancara, survei, dan studi literatur) akan digunakan. Uji coba awal dengan kuesioner untuk memastikan bahwa responden memahami pertanyaan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam lingkungan digital saat ini, komputasi awan dapat meningkatkan efisiensi operasional. Berikut adalah beberapa potensi efisiensi operasional komputasi awan, yang disajikan dalam tabel 1.

Tabel 1. Potensi Efisiensi Operasional
Komputasi Awan

Potensi Efisiensi Operasional	Deskripsi
Pengurangan Biaya	Ada kemungkinan untuk mengurangi biaya infrastruktur TI, termasuk server, penyimpanan, dan perangkat lunak, serta model pembayaran berdasarkan penggunaan.
Peningkatan Produktivitas	Sangat mudah untuk mendapatkan akses ke sumber daya TI, yang memungkinkan anda untuk lebih fokus pada tugas utama.

Kecepatan dan Skalabilitas	Bisa mendapatkan sumber daya TI dengan cepat dan dapat mendukung pertumbuhan dan perubahan bisnis.
Ketersediaan Tinggi	Komputasi awan menyediakan redundansi dan ketersediaan yang sangat tinggi, yang memungkinkan akses berkelanjutan ke aplikasi dan data.

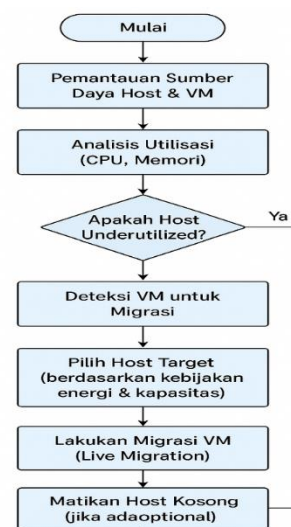
Untuk memaksimalkan potensinya, kami bisa memulai dengan memilih model layanan yang tepat seperti *SaaS*, *PaaS*, atau *IaaS*, lalu mengubah anggaran sesuai kebutuhan yang ada, mengoptimalkan penggunaan sumber daya menggunakan alat dan teknik dari penyedia layanan *cloud*, dan juga jangan lupa membangun tim yang kompeten dengan pemahaman teknologi *cloud* dan manajemen penggunaan *cloud* yang baik, agar semuanya dapat berjalan dengan lancar dan tidak ada masalah [6].

Teori komputasi awan bermula dari gagasan bahwa sumber daya komputasi yang berhubungan melalui jaringan global secara bertahap dievaluasi dan dikembangkan. *JCR Lincklider* “jaringan komputer antarplanet” pada tahun 60-an dan memberikan kontribusi besar pada pengembangan proyek jaringan ARPANET, yang didirikan pada tahun 1969. Salah satu tujuannya adalah menciptakan dunia di mana setiap orang dapat terhubung dan mengakses data, aplikasi, dan program tanpa batas waktu atau ruang. Namun, *Herwin Aggeriana* menekankan dalam bukunya “Komputasi Awan” bahwa gagasan awal tentang komputasi awan sudah ada sejak tahun 1960-an.

3.1. Konsolidasi Virtual Machine Dinamis

Secara garis besar, ada dua strategi konsolidasi *virtual machine* (VM): konsolidasi VM statis dan konsolidasi VM dinamis diklasifikasikan kapan dan dimana VM harus dimigrasikan antara PM atau host di data center. Prosedur konsolidasi VM dinamis diuraikan ke dalam sub-pemilihan, yakni deteksi *overloading host*, deteksi *underloading host*, pemilihan VM, dan penempatan VM, seperti yang ditunjukkan

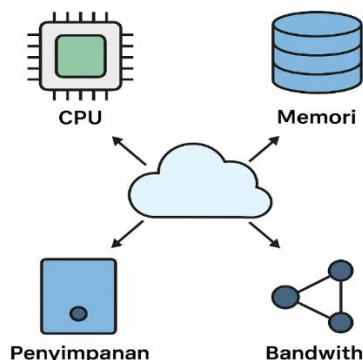
pada gambar 1. Dalam situasi seperti ini, satu atau lebih *virtual machine* (VM) harus bermigrasi dari server tersebut. Keputusan tentang *virtual machine* (VM) mana yang harus dimigrasikan dari satu host ke host lainnya akan dibuat. Pada tahap pemilihan *virtual machine* (VM). Penempatan *virtual machine* (VM) akan memetakan ke mana *virtual machine* (VM) yang harus dimigrasikan ke suatu host yang relatif tidak terlalu penuh dengan host tambahan [4].



Gambar 1. Prosedur Konsolidasi VM Dinamis

Deteksi *overloading* host sering kali menjadi fokus utama dalam prosedur konsolidasi VM dinamis untuk mengurangi beban kerja yang terkait dengan tujuan penghematan energi di data *center cloud*. Keputusan yang diambil dalam setiap prosedur konsolidasi VM dinamis didasarkan pada definisi aturan utilisasi sumber daya komputasi PM. Aturan biasanya menggunakan nilai yang cenderung konstan atau statis dengan mempertimbangkan bobot tertinggi dan terendah dari beban kerja yang menggunakan sumber daya komputasi, sehingga dapat terjadi *overhead* saat konsolidasi VM dinamis dimigrasikan. Terdapat *overhead* karena VM yang seharusnya tidak dimigrasikan atau VM yang seharusnya dimigrasikan tetapi tidak dilakukan karena peraturan host yang *overloading* dan *underloading* yang tidak sesuai. Keputusan awal dalam prosedur konsolidasi *virtual machine* (VM) dinamis adalah untuk mengidentifikasi *overload* dan *underload* host. Jika keputusan awal tersebut salah, itu akan

berdampak pada langkah selanjutnya, yaitu memilih VM yang akan dimigrasikan dan menempatkan VM yang dipilih pada host yang dipilih juga. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2, sumber daya *cloud computing* terdiri dari sumber daya fisik dan virtual. Penggunaan sumber daya ini merupakan dasar dari setiap prosedur konsolidasi *virtual machine* (VM) [4].



Gambar 1. Sumber Daya Pada Cloud Computing

3.2. Awan Heterogen

Ketika komputasi awan terus menjadi paradigma komputasi yang dominan, penyedia layanan awan mencari segmen baru untuk berkembang, dan bisnis mencari cara baru untuk menggunakan komputasi awan untuk menciptakan nilai bisnis. Dalam beberapa tahun terakhir, banyak perhatian telah diberikan pada analisis data besar dan komputasi kinerja tinggi (HPC) di *cloud*. Analisis data besar dan HPC memiliki manfaat, termasuk peningkatan kinerja kompetitif, inovasi, dan kelincahan. Ini telah banyak dibahas dalam praktik dan literatur IS dan CS. HPC memberikan kontribusi yang kurang dibahas, tetapi diakui memainkan peran penting dalam penemuan ilmu pengetahuan dan daya saing bangsa. Penggunaan analisis *Big Data* dan HPC di *cloud* dihalangi oleh investasi awal yang signifikan dan biaya operasional tidak langsung, termasuk staf khusus, yang terkait dengan pengoperasian dan pemeliharaan infrastruktur ini. Namun, analisis di *cloud* juga menawarkan peluang besar untuk meningkatkan nilai bisnis melalui pengurangan belanja modal (capEx) dan biaya operasional (OpEx).

3.3. Kinerja Virtual Machine (VM)

Memastikan bahwa efisiensi memori tidak mengorbankan kinerja *virtual machine* (VM) adalah tantangan utama dalam optimasi memori. Hasil pengujian menunjukkan bahwa teknik optimasi memori tidak hanya mempertahankan kinerja, bahkan mungkin meningkatkan efisiensi aplikasi. Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian latensi aplikasi untuk optimasi memori yang berhasil mengurangi latensi aplikasi hingga 25% pada berbagai tingkat beban:

Tabel 1. Hasil Pengujian Latensi Aplikasi

Skenario	Latensi Sebelum Optimasi	Latensi Setelah Optimasi	Pengurangan Latensi (%)
Beban Tinggi	120 ms	90 ms	25%
Beban Sedang	80 ms	60 ms	25%
Beban Rendah	40 ms	30 ms	25%

Setelah deduplikasi, analisis hasil pengurangan latensi ini dapat membantu meningkatkan efisiensi akses memori. Selain itu, pembagian memori dinamis mengurangi waktu tunggu untuk aplikasi yang aktif dengan memprioritaskan VM yang membutuhkan lebih banyak sumber daya. Faktor-faktor yang Menyebabkan Beban Tinggi Waktu respons aplikasi tetap berada di bawah batas yang dapat diterima dalam kondisi beban tinggi, menunjukkan bahwa metode ini tetap stabil dalam situasi ekstrim. Hal ini menjadikan teknik optimasi memori ideal untuk pusat data besar dengan tingkat permintaan aplikasi yang berubah-ubah.

3.4. Awan yang Dapat Dikomposisi

Bahkan setelah adopsi *private cloud*, arsitektur TI konvensional masih kesulitan memenuhi kebutuhan komputasi *cloud* dari aplikasi generasi berikutnya. Aplikasi lama membutuhkan ketahanan infrastruktur dan penggunaan virtualisasi dan pengelompokan untuk mendukung portabilitas dan pelestarian status. Sebaliknya, aplikasi generasi berikutnya (NGA) dirancang untuk dapat diskalakan secara horizontal, terkontainerisasi, dan terus-menerus

diperbarui. Di sebagian besar pusat data perusahaan, IDC menemukan bahwa hanya 40% infrastruktur melebihi kapasitas ketentuan, 45% digunakan, dan hanya 40% mematuhi perjanjian tingkat layanan (SLA).

Arsitektur yang dapat dikomposisi mengasumsikan bahwa sumber daya seperti komputasi, memori, penyimpanan, jaringan, dan lainnya dapat dipisahkan dari perangkat keras tempat mereka berada. Menggunakan lapisan perangkat lunak kontrol, sumber daya ini dapat dirakit dan dirakit kembali untuk memenuhi kebutuhan beban kerja sesuai permintaan. Perangkat keras dapat dilepaskan untuk digunakan pada tugas lain setelah tidak lagi diperlukan. Metode ini memiliki banyak keuntungan. Pertama dan terpenting, *server* terpisah tidak perlu dikonfigurasi untuk aplikasi tertentu karena sumber daya perangkat keras dapat dikumpulkan secara dinamis untuk memenuhi kebutuhan aplikasi generasi berikutnya (NGA) dan aplikasi warisan. Sumber daya akan disediakan secara otomatis jika diperlukan untuk menyelesaikan tugas tertentu. Kedua, arsitektur *composable* memungkinkan komputasi heterogen dan pengumpulan sumber daya dengan cara yang sama. Ini memungkinkan bisnis untuk memanfaatkan kinerja dan efisiensi energi dari sumber daya ini. Ketiga, *overprovisioning*, atau kelebihan penyediaan, dapat dikurangi secara signifikan karena semua beban kerja disediakan sesuai dengan kebutuhan. Ini membantu menurunkan Belanja Modal (CapEx) dan Biaya Operasional (OpEx). *Composable Cloud* adalah metode yang secara fundamental berbeda untuk mengoperasikan pusat data dan *cloud* pribadi. Ini mampu mengurangi kelebihan penyediaan dan inefisiensi yang signifikan sekaligus membebaskan sumber daya perusahaan yang berharga, termasuk arus kas dan tenaga kerja. Oleh karena itu, *Composable Cloud* layak untuk diselidiki lebih lanjut oleh para peneliti, khususnya dalam hal nilai bisnis dan efisiensi operasional yang dapat diperdebatkan.

3.5. *Cloud Computing dan Internet of Things*

Selama lima tahun terakhir, minat terhadap *Internet of Things* (IoT) telah meningkat secara dramatis, sebagian karena meningkatnya aksesibilitas internet dan smartphone, serta karena perkiraan nilai IoT akan melebihi 295,450 triliun rupiah Indonesia. Nilai ini akan tercapai berkat integrasi beberapa dari 1,4 triliun objek, yang pada akhirnya akan meningkatkan pemanfaatan aset, produktivitas karyawan, rantai pasokan dan logistik, pengalaman pelanggan, serta mempercepat inovasi.

Internet of Things (IoT) adalah sebuah konsep di mana objek fisik terhubung dan terintegrasi secara mulus ke dalam jaringan komputer dan dapat berperan aktif dalam proses bisnis. Layanan yang tersedia memungkinkan interaksi dengan objek-objek “cerdas” ini melalui Internet, misalnya dengan memantau status dan informasi terkait mereka, sambil mempertimbangkan aspek keamanan dan perlindungan privasi. Objek cerdas dapat berupa berbagai perangkat, mulai dari sensor dengan kapasitas penyimpanan dan pemrosesan data yang terbatas hingga smartphone modern. Internet of Things (IoT) mengasumsikan bahwa objek cerdas ini dapat memproses data dengan latensi minimal pada tingkat tertentu, serta berinteraksi dengan perangkat dan sistem lain, baik secara lokal maupun jarak jauh. Dengan demikian, IoT mengasumsikan kontinuitas operasi komputasi dari awan ke objek (C2T), di mana sumber daya komputasi dapat berada di awan, di perangkat itu sendiri (edge computing), atau di antara keduanya (fog computing). Dengan cara ini, IoT secara efektif mengembangkan dan memperluas komputasi awan dari struktur layanan terpusat menuju terdesentralisasi. Tabel 3 di bawah ini menyajikan definisi-definisi penting dari paradigma komputasi baru dalam kontinum C2T.

Tabel 2. Paradigma komputasi baru sepanjang kontinum C2T

KONSEP	DEFINISI
EDGE COMPUTING	Dalam proses produksi sensor, instrumen ukur, atau berbagai perangkat lain yang terhubung ke jaringan, bagian tepi

FOG COMPUTING	merupakan lapisan jaringan yang mencakup perangkat akhir serta penggunaannya.
	<i>Fog computing</i> merupakan sebuah model berlapis yang memfasilitasi akses komprehensif ke berbagai sumber daya komputasi yang dapat diperluas. Model ini terdiri dari <i>node fog</i> (baik fisik maupun virtual) yang berada di antara perangkat akhir cerdas dan layanan terpusat, sehingga memungkinkan pembuatan aplikasi dan layanan terdistribusi dengan memperhatikan keterlambatan.
MIST COMPUTING	<i>Mist computing</i> adalah jenis komputasi yang lebih ringan dan sederhana daripada <i>fog computing</i> , karena ia berada langsung di ujung jaringan dan mendekatkan lapisan <i>fog computing</i> ke perangkat akhir yang cerdas. Teknologi ini memanfaatkan mikrokomputer dan mikrokontroler yang terpasang di <i>node fog computing</i> serta dapat juga diintegrasikan dengan layanan komputasi terpusat (<i>cloud</i>).

2.6. Edge Computing

Hasil pengukuran latensi menunjukkan perbedaan yang signifikan antara sistem IoT dengan arsitektur *cloud computing*. Sistem *cloud computing* memiliki latensi rata-rata 150 ms, sedangkan sistem *edge computing* memiliki latensi rata-rata 50 ms. Data rinci tentang latensi yang diukur untuk masing-masing sistem disajikan dalam tabel 3 berikut:

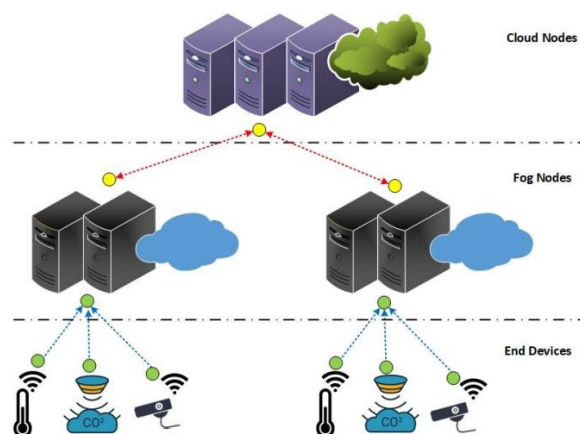
Tabel 3. Perbandingan Latensi Sistem *Cloud Computing* dan *Edge Computing*

System	Latensi Rata-Rata (Ms)	Standar Deviasi (Ms)
<i>Cloud computing</i>	150	20
<i>Edge computing</i>	50	10

Hasilnya menunjukkan bahwa *edge computing* secara signifikan mengurangi latensi jika dibandingkan dengan *cloud computing*. Aplikasi seperti monitoring kesehatan dan kendaraan otonom yang membutuhkan respons cepat membutuhkan pengurangan latensi ini [13].

2.7. Fog Computing

Cisco memulai *fog computing*. Dibandingkan dengan pusat data mungkin, *fog* menyediakan lingkungan komputasi virtual yang dijalankan antara *cloud* dan pengguna akhir; keduanya melakukan pekerjaan yang sama untuk melayani pengguna, tetapi *fog* melayani wilayah tertentu. Aplikasi *internet of things* yang sensitif terhadap keterlambatan membutuhkan *fog computing*. Latensi cloud meningkat jika jarak antara *cloud server* dan *end user* semakin jauh. Gambar 3 menunjukkan gambaran umum arsitektur *fog computing* [14].



Gambar 2. Gambaran umum arsitektur *fog computing*

Menurut blok diagram di atas, *fog nodes* berada di antara *cloud nodes* dan perangkat akhir. Apabila beban komputasi *fog nodes* tidak terlalu tinggi, *fog nodes* dianggap sebagai *smart gateway* karena data *sensing end device* dikirim ke *fog nodes* dan juga diproses di sana. Perangkat jaringan edge seperti *router*, *access point*, *roadside units (RSUs)*, dan lainnya dapat mengalami *fog*. Skalabilitas toleransi kegagalan, dan kehandalan dapat disesuaikan dengan *node fog*. Untuk menerapkan *smart gateway*, *fog computing* lebih cocok.

4. KESIMPULAN

Kombinasi dari berbagai arsitektur dan teknologi virtualisasi telah terbukti sebagai fondasi penting untuk meningkatkan kinerja sistem operasi di era komputasi awan. Pemanfaatan CPU, GPU, dan FPGA dalam beragam arsitektur memungkinkan proses

disesuaikan dengan sifat berbagai jenis beban kerja, sehingga sistem menjadi lebih cepat dan efisien. Virtualisasi juga mendukung pemisahan sumber daya, memberikan fleksibilitas yang lebih besar, dan mengoptimalkan beban kerja melalui proses pemindahan dan konsolidasi mesin virtual. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, “berbagai teknologi komputer mencakup berbagai jenis prosesor yang dirancang untuk menjalankan tugas tertentu secara seefisien mungkin” [5]. Penggabungan kedua elemen ini tidak hanya meningkatkan kecepatan pemrosesan, tetapi juga memperkuat stabilitas sistem operasi dalam menghadapi tuntutan teknologi komputer modern yang selalu berubah.

Temuan penelitian menunjukkan bahwa pengembangan memori, konsolidasi mesin virtual yang dinamis, dan cara penyeimbangan beban mempunyai pengaruh besar dalam menurunkan latensi, meningkatkan efisiensi energi, dan memanfaatkan sumber daya fisik dengan lebih tepat di pusat data berbasis *cloud*. Teknik pengoptimalan memori mampu mengurangi latensi aplikasi hingga 25%, menandakan bahwa metode ini tidak hanya efisien tetapi juga dapat diandalkan pada berbagai tingkat beban. Selain itu, metode keamanan yang terintegrasi dengan sistem *cloud* dan jaringan nirkabel berperan penting dalam memastikan keandalan serta perlindungan data milik pengguna. Ini sejalan dengan pernyataan bahwa “layanan pemrosesan *cloud* menyediakan redundansi dan ketersediaan yang sangat tinggi” [5] dan menegaskan pemikiran bahwa pemrosesan awan yang terintegrasi dengan baik mendukung operasi yang lebih stabil dan fleksibel. Secara keseluruhan, penggabungan berbagai arsitektur dan virtualisasi adalah strategi krusial untuk meningkatkan kinerja sistem operasi di masa pemrosesan awan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Apriliani, A. R. Indra Pratama, and A. S. Yuda Irawan, “Perbandingan antara Teknologi dan Peforma pada Komputasi Awan (Cloud Computing),” *Infotek J. Inform. dan Teknol.*, vol. 5, no. 2, pp. 219–229, 2022, doi: 10.29408/jit.v5i2.5672.
- [2] D. Ariestiandy, L. Suhery, Jusmawati, and Yanuardi, “Evaluasi Load Balancing: Studi Komparatif Least-Connection dan Round-Robin dalam Konteks Cloud Computing,” *J. Fasilkom*, vol. 13, no. 3, pp. 424–430, 2023, doi: 10.37859/jf.v13i3.6236.
- [3] N. Eiling, M. Kröning, J. Klimt, P. Fensch, S. Lankes, and A. Monti, “GPU Acceleration in Unikernels Using Cricket GPU Virtualization,” *ACM Int. Conf. Proceeding Ser.*, pp. 1588–1595, 2023, doi: 10.1145/3624062.3624236.
- [4] A. Fadil, “Strategi Efisiensi Energi dan Penyeimbangan Beban Kerja Layanan Cloud Computing Melalui Konsolidasi Mesin Virtual Dinamis,” *Appl. Technol. Comput. Sci. J.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–12, 2020, doi: 10.33086/atcsj.v3i1.1680.
- [5] D. C. Humendru, “Konsep Dasar Dan Perkembangan Terbaru Dalam Organisasi Dan Arsitektur Komputer,” *J. Ilmu Ekon. Pendidik. dan Tek.*, vol. 2, no. 1, pp. 141–149, 2025, <https://doi.org/10.70134/identik.v2i4.275>.
- [6] E. N. Ilahi, M. Saripudin, M. A. Nugraha, G. D. A. Cardinsyah, M. F. Hikmatulloh, and M. Encep, “Mengungkap Potensi Luar Biasa dan Tantangan Menantang Cloud Computing di Era Digital,” *Karimah Tauhid*, vol. 3, no. 2, pp. 2197–2206, 2024, doi: 10.30997/karimahtauhid.v3i2.12300.
- [7] S. Kosasi, S. Millah, and N. P. L. Santoso, “Manajemen dalam Konsep dan Prinsip Pengelolaan Pendidikan menggunakan Komputasi Awan,” *J. MENTARI Manajemen, Pendidik. dan Teknol. Inf.*, vol. 1, no. 1, pp. 38–45, 2022, doi: 10.34306/mentari.v1i1.137.
- [8] D. P. Kristiadi, F. Sudarto, E. F. Rahardja, N. R. Hafizh, C. Samuel, and H. L. H. S. Warnars, “Mobile cloud game in high performance computing environment,” *Telkomnika (Telecommunication Comput.*

- Electron. Control.*, vol. 18, no. 4, pp. 1983–1989, 2020, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.V18I4.14896.
- [9] P. Li and J. Cao, “A Virtual Machine Consolidation Algorithm Based on Dynamic Load Mean and Multi-Objective Optimization in Cloud Computing,” *Sensors*, vol. 22, no. 23, 2022, doi: 10.3390/s22239154.
- [10] X. Liu, J. Wu, G. Sha, and S. Liu, “Virtual Machine Consolidation with Minimization of Migration Thrashing for Cloud Data Centers,” *Math. Probl. Eng.*, vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/7848232.
- [11] N. Mc Donnell, E. Howley, and J. Duggan, “Dynamic virtual machine consolidation using a multi-agent system to optimise energy efficiency in cloud computing,” *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 108, pp. 288–301, 2020, doi: 10.1016/j.future.2020.02.036.
- [12] J. Shao and J. Liang, “Joint Optimization of Memory Sharing and Communication Distance for Virtual Machine Instantiation in Cloudlet Networks,” *Electron.*, vol. 12, no. 20, 2023, doi: 10.3390/electronics12204205.
- [13] D. Suryadi, C. S. Octiva, T. I. Fajri, U. W. Nuryanto, and M. L. Hakim, “Optimasi Kinerja Sistem IoT Menggunakan Teknik Edge Computing,” *J. Minfo Polgan*, vol. 13, no. 2, pp. 1456–1461, 2024, doi: 10.33395/jmp.v13i2.14102.
- [14] A. Zainudin, I. Anisah, and M. M. Gulo, “Implementasi Fog Computing Pada Aplikasi Smart Home Berbasis Internet of Things,” *CESS (Journal Comput. Eng. Syst. Sci.)*, vol. 6, no. 1, p. 127, 2021, doi: 10.24114/cess.v6i1.20658.
- [15] Zen Munawar, Sri Sutjiningtyas, Novianti Indah Putri, Milla Marlina Assegaf, Rita Komalasari, and Herru Soerjono, “Arsitektur Keamanan Komputasi Awan Di Internet Nirkabel,” *Tematik*, vol. 12, no. 1, pp. 94–100, 2025, doi: 10.38204/tematik.v12i1.2409.
- [16] A. Iswara Sanantagraha and E. Puspitaloka Mahadewi, “The Role of Virtualization Technology to Increase Operational Cost Efficiency of Indonesian SMEs: Case Study of Internet Service Providers,” *Int. J. Sci. Technol. Manag.*, vol. 5, no. 5, pp. 1050–1058, 2024, doi: 10.46729/ijstm.v5i5.1161.