

Cloud Computing: Tinjauan Sistematis Arsitektur, Keamanan, dan Optimasi Performa pada Era Transformasi Digital

Kevin Ananda Puryanto P^{1)*} , David Prasetya Utama²⁾ 

¹⁾³⁾Universitas Madura, Pamekasan, Indonesia

¹⁾penulis1@unira.ac.id, ³⁾penulis3@unira.ac.id

²⁾ Universitas Madura, Pamekasan, Indonesia

²⁾penulis2@unira.ac.id

Abstrak

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi yang pesat telah mendorong adopsi cloud computing secara masif di berbagai sektor industri. Meskipun menawarkan berbagai keuntungan berupa skalabilitas, fleksibilitas, dan efisiensi biaya, cloud computing menghadirkan tantangan kritis pada aspek keamanan data, privasi, keandalan layanan, dan optimasi performa jaringan. Penelitian ini bertujuan menganalisis perkembangan terkini arsitektur cloud computing, mengidentifikasi tantangan keamanan utama, mengevaluasi strategi optimasi performa, serta mengusulkan kerangka kerja terintegrasi melalui metode Systematic Literature Review (SLR) berdasarkan panduan PRISMA terhadap 50 publikasi ilmiah dari jurnal terindeks dan prosiding konferensi internasional periode 2008–2025. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tren arsitektur cloud computing bergerak ke arah hybrid cloud yang dikelola melalui Software-Defined Networking (SDN) dan Network Function Virtualization (NFV), sementara integrasi teknologi 5G dan edge computing membuka peluang layanan dengan latensi ultra-rendah untuk mendukung ekosistem IoT. Pendekatan zero-trust security yang dikombinasikan dengan verifikasi integritas data berbasis blockchain serta deteksi ancaman real-time berbasis kecerdasan buatan merupakan solusi keamanan paling menjanjikan yang teridentifikasi dari literatur. Penelitian ini menyimpulkan bahwa kerangka kerja terintegrasi SDN, NFV, dan zero-trust security merupakan pendekatan efektif untuk menjawab tantangan arsitektur, keamanan, dan performa cloud computing secara simultan, khususnya untuk mendukung transformasi digital dan pengembangan smart city berbasis IoT di Indonesia.

Kata Kunci: cloud computing, keamanan data, Software-Defined Networking, multi-cloud, optimasi performa, edge computing

Article history: Received 5 September 2026, first decision 22 September 2026, accepted 22 Desember 2026, available online 28 Desember 2026

I. I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi yang pesat telah mendorong adopsi cloud computing secara masif di berbagai sektor industri [1]. Cloud computing menawarkan paradigma baru dalam komputasi, di mana sumber daya TI seperti server, penyimpanan, basis data, jaringan, perangkat lunak, dan analitik dapat diakses melalui internet tanpa memerlukan investasi infrastruktur fisik yang besar [11], [12]. Menurut National Institute of Standards and Technology (NIST), cloud computing adalah model yang memungkinkan akses jaringan yang mudah dan sesuai permintaan (on-demand) terhadap kumpulan sumber daya komputasi yang dapat dikonfigurasi, serta dapat disediakan dan dilepaskan dengan cepat dengan upaya manajemen yang minimal [11].

Transformasi digital yang dipercepat oleh pandemi COVID-19 telah mendorong organisasi dari berbagai skala untuk beralih ke model komputasi berbasis cloud. Berbagai laporan industri menunjukkan bahwa pasar cloud computing global terus mengalami pertumbuhan tahunan gabungan (CAGR) yang signifikan [13], [14]. Layanan cloud umumnya dikategorikan ke dalam tiga model utama, yaitu Infrastructure as a Service (IaaS), Platform as a Service (PaaS), dan Software as a Service (SaaS), yang masing-masing menawarkan tingkat abstraksi dan fleksibilitas berbeda bagi pengguna [28], [32].

Meskipun memberikan banyak keuntungan, cloud computing juga membawa sejumlah tantangan kritis, terutama pada aspek keamanan data, privasi, keandalan layanan, dan optimasi performa jaringan [15], [17], [18]. Ancaman siber yang semakin canggih, kompleksitas pengelolaan multi-cloud, serta kebutuhan akan latensi rendah pada aplikasi real-time menjadi permasalahan yang belum sepenuhnya teratasi oleh peneliti maupun praktisi [1], [2], [6]. Meskipun penelitian-penelitian sebelumnya telah membahas arsitektur cloud [13], [14], keamanan [15], [19], dan performa jaringan [9], [33] secara terpisah, masih terdapat kesenjangan penelitian berupa belum adanya kerangka kerja

* Corresponding author

terintegrasi yang membahas ketiga dimensi tersebut secara simultan, khususnya dalam konteks teknologi terkini seperti Software-Defined Networking (SDN), Network Function Virtualization (NFV), dan konektivitas 5G [1], [7].

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis perkembangan terkini arsitektur cloud computing, (2) mengidentifikasi tantangan keamanan utama yang dihadapi pada lingkungan cloud, (3) mengevaluasi strategi optimasi performa yang efektif, dan (4) mengusulkan kerangka kerja terintegrasi yang menggabungkan SDN, NFV, dan pendekatan keamanan zero-trust. Penelitian ini menggunakan metode tinjauan literatur sistematis (Systematic Literature Review/SLR) dengan menganalisis 50 publikasi ilmiah dari jurnal terindeks dan prosiding konferensi internasional periode 2008-2025, guna memberikan sintesis komprehensif terhadap perkembangan cloud computing serta rekomendasi praktis untuk implementasi yang aman dan optimal.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. A. Arsitektur dan Model Layanan Cloud Computing

Armbrust dkk. [13] mendefinisikan cloud computing sebagai kumpulan aplikasi yang disampaikan sebagai layanan melalui internet, beserta perangkat keras dan perangkat lunak sistem pada pusat data yang menyediakan layanan tersebut. Buyya dkk. [14] selanjutnya mengelompokkan cloud computing ke dalam empat model penerapan, yaitu public cloud, private cloud, hybrid cloud, dan community cloud. NIST melalui arsitektur referensi SP 500-292 menetapkan standar industri global untuk implementasi cloud [32]. Model layanan IaaS, PaaS, dan SaaS masing-masing menawarkan keunggulan yang berbeda [28]; IaaS memberikan kontrol penuh atas infrastruktur virtual, PaaS menyediakan platform pengembangan aplikasi tanpa perlu mengelola infrastruktur, sementara SaaS memungkinkan penggunaan aplikasi secara langsung melalui peramban. Vouk [44] menyatakan bahwa pemilihan model layanan yang tepat bergantung pada kebutuhan spesifik organisasi, tingkat kontrol yang diinginkan, dan kapasitas teknis tim TI.

B. B. Keamanan dan Privasi pada Lingkungan Cloud

Keamanan data merupakan salah satu tantangan terbesar dalam adopsi cloud computing. Subashini dan Kavitha [15] melakukan survei komprehensif terhadap masalah keamanan pada ketiga model layanan cloud dan mengidentifikasi ancaman utama seperti data breaches, insider threats, dan denial-of-service attacks. Putra dkk. [2] mengusulkan sistem keamanan berbasis cloud yang memanfaatkan analisis efek avalanche sebagai mekanisme deteksi perubahan data yang tidak sah pada jaringan perusahaan. Hashizume dkk. [43] menganalisis isu keamanan secara mendalam dan mengkategorikannya ke dalam kerentanan infrastruktur, kerentanan API, dan kerentanan pada model pengiriman layanan, sementara Zissis dan Lekkas [48] mengusulkan pendekatan Public Key Infrastructure (PKI) berbasis cloud untuk mengatasi masalah autentikasi dan integritas data.

C. C. Teknologi Blockchain dan Pendekatan Zero-Trust

Penggunaan teknologi blockchain pada lingkungan cloud menjadi topik penelitian yang semakin populer. Putra dkk. [4] menunjukkan bahwa integrasi blockchain pada infrastruktur jaringan komputer dapat meningkatkan keamanan data melalui mekanisme desentralisasi dan sifat immutability yang melekat pada teknologi tersebut. Pendekatan zero-trust security, yang mengasumsikan tidak ada entitas di dalam maupun di luar jaringan yang dapat dipercaya secara implisit, semakin banyak diadopsi sebagai standar keamanan modern pada lingkungan cloud hybrid [5], [34]. Putra dkk. [5] turut menekankan pentingnya analisis keamanan yang komprehensif dan mekanisme pemulihan data yang andal pada jaringan komputer berskala besar.

D. D. Optimasi Performa Jaringan Cloud

Performa jaringan merupakan faktor kritis dalam layanan cloud, terutama untuk aplikasi yang memerlukan latensi rendah seperti streaming video, gaming, dan layanan keuangan real-time. Putra dkk. [9] mengimplementasikan dan mengevaluasi protokol QUIC sebagai alternatif TCP untuk streaming video real-time pada jaringan 5G, dan menunjukkan peningkatan signifikan pada throughput serta penurunan latensi. Analisis Quality of Service (QoS) tetap menjadi metrik penting dalam evaluasi performa layanan cloud [8]. Putra dkk. [8] turut mengoptimasi manajemen jaringan komputer melalui analisis big data menggunakan metode time series, yang menunjukkan bahwa pendekatan berbasis data mampu memprediksi dan mencegah degradasi performa jaringan sebelum berdampak pada pengguna.

E. E. Konektivitas 5G dan Edge Computing

Konektivitas 5G membuka peluang baru bagi optimasi layanan cloud. Putra dkk. [7] menganalisis kinerja jaringan 5G dalam mendukung konektivitas Internet of Things (IoT) dan menunjukkan kemampuan jaringan tersebut untuk mendukung densitas perangkat yang sangat tinggi dengan latensi ultra-rendah. Hal ini berimplikasi langsung terhadap desain arsitektur edge computing, yang merupakan perluasan layanan cloud menuju tepi jaringan (edge). Dinh dkk. [33] melakukan survei komprehensif mengenai mobile cloud computing dan mengidentifikasi tantangan utama dalam

menyediakan layanan cloud dengan kualitas konsisten bagi perangkat mobile. Sementara itu, Putra dkk. [3] mengevaluasi implementasi ZeroTier sebagai solusi virtual network berbasis cloud yang memungkinkan konektivitas perangkat secara fleksibel tanpa infrastruktur VPN tradisional.

III. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan Systematic Literature Review (SLR) berdasarkan panduan PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)[40]. Metodologi penelitian terdiri atas lima tahap, yaitu: (1) perumusan pertanyaan penelitian, (2) strategi pencarian literatur, (3) penetapan kriteria inklusi dan eksklusi, (4) ekstraksi dan sintesis data, serta (5) analisis hasil. Penelitian ini dirancang untuk menghasilkan sintesis pengetahuan berbasis bukti yang dapat digunakan sebagai dasar pengembangan kerangka kerja cloud computing yang terintegrasi.

A. Pertanyaan Penelitian

Penelitian ini mengajukan tiga pertanyaan utama: (RQ1) Bagaimana perkembangan arsitektur cloud computing dalam lima tahun terakhir? (RQ2) Apa saja tantangan keamanan utama pada lingkungan cloud dan solusi apa yang telah diusulkan dalam literatur? (RQ3) Strategi apa yang paling efektif untuk mengoptimalkan performa infrastruktur cloud?

B. Strategi Pencarian dan Seleksi Literatur

Pencarian literatur dilakukan pada basis data ilmiah utama, meliputi IEEE Xplore, ACM Digital Library, Google Scholar, Scopus, dan Web of Science. Kata kunci pencarian yang digunakan meliputi cloud computing, cloud security, SDN, NFV, multi-cloud, cloud performance optimization, edge computing, IaaS, PaaS, SaaS, cloud networking, blockchain in cloud, 5G cloud integration, dan IoT cloud computing, dengan rentang waktu publikasi dibatasi antara tahun 2008 hingga 2025[41], [42].

Kriteria inklusi meliputi: (1) artikel yang diterbitkan pada jurnal terindeks atau prosiding konferensi bereputasi, (2) artikel yang membahas cloud computing dari aspek arsitektur, keamanan, atau performa, (3) artikel yang memberikan kontribusi teknis yang terukur, serta (4) artikel berbahasa Inggris atau Indonesia. Kriteria eksklusi meliputi artikel duplikasi, artikel tanpa metodologi yang jelas, dan artikel di luar lingkup penelitian[43].

Tabel 1. Tahapan Seleksi Studi Literatur

No	Tahapan Seleksi	Jumlah Artikel
1	Hasil pencarian awal pada basis data	423
2	Setelah screening judul dan abstrak	142
3	Setelah penerapan kriteria inklusi-eksklusi (final)	50

Dari total 423 artikel yang ditemukan pada pencarian awal, proses screening judul dan abstrak menghasilkan 142 artikel relevan sebagaimana disajikan pada Tabel 1. Setelah pembacaan teks lengkap dan penerapan kriteria inklusi-eksklusi, diperoleh 50 artikel final yang digunakan dalam sintesis penelitian ini. Sebanyak 10 artikel di antaranya merupakan karya dosen pembimbing, F. Prasetyo Eka Putra [1]–[10], yang memberikan perspektif lokal dan kontekstual yang relevan terhadap implementasi cloud computing di Indonesia[44], [45].

C. Kerangka Analisis

Analisis dilakukan menggunakan pendekatan tematik yang mengkategorikan temuan ke dalam tiga dimensi utama, yaitu arsitektur, keamanan, dan performa[46]. Untuk setiap dimensi, diekstraksi komponen-komponen berupa teknologi yang digunakan, metode evaluasi, hasil yang dicapai, dan keterbatasan yang teridentifikasi. Kerangka konseptual yang diusulkan dibangun berdasarkan sintesis temuan dari seluruh literatur yang dianalisis[47], [48].

IV. HASIL

Penelitian ini menganalisis 50 publikasi ilmiah mengenai cloud computing yang bersumber dari jurnal terindeks dan prosiding konferensi internasional. Analisis dilakukan terhadap tiga dimensi utama, yaitu arsitektur, keamanan, dan performa, kemudian hasilnya disintesis ke dalam kerangka kerja konseptual terintegrasi. Bagian ini menyajikan hasil analisis secara terstruktur dalam bentuk uraian dan tabel.

A. Tren Arsitektur Cloud Computing

Hasil analisis literatur menunjukkan bahwa tren arsitektur cloud computing bergerak ke arah: (1) multi-cloud dan hybrid cloud, (2) cloud-native architecture, dan (3) edge-cloud continuum[49]. Sebanyak 68% dari literatur yang dianalisis membahas penerapan multi-cloud sebagai strategi untuk menghindari vendor lock-in dan meningkatkan

ketersediaan layanan. Integrasi SDN dan NFV yang dibahas oleh Putra dkk. [1] menjadi enabler utama fleksibilitas arsitektur tersebut.

Tabel 2 menyajikan perbandingan karakteristik utama dari tiga model deployment cloud computing berdasarkan sintesis literatur yang dianalisis. Public cloud menawarkan skalabilitas tertinggi namun dengan kontrol keamanan yang lebih terbatas, private cloud memberikan kontrol penuh namun memerlukan investasi infrastruktur yang lebih besar, sementara hybrid cloud menawarkan keseimbangan antara keduanya dan semakin banyak diadopsi oleh organisasi skala enterprise [14], [36], [41].

Tabel 2. Perbandingan Model Deployment Cloud Computing

Karakteristik	Public Cloud	Private Cloud	Hybrid Cloud
Skalabilitas	Sangat Tinggi	Terbatas	Tinggi
Kontrol Keamanan	Terbagi dengan Provider	Penuh	Fleksibel
Biaya Awal	Rendah	Tinggi	Sedang
Kepatuhan Regulasi	Bergantung Provider	Mudah Dikontrol	Dapat Dikustomisasi

B. Tantangan Keamanan Cloud Computing

Dari 50 literatur yang dianalisis, teridentifikasi delapan kategori tantangan keamanan utama pada lingkungan cloud, yaitu: (1) data breaches dan kebocoran informasi sensitif, (2) identity and access management yang tidak memadai, (3) insecure APIs dan interfaces, (4) insider threats, (5) account hijacking, (6) advanced persistent threats (APT), (7) ketidakpatuhan terhadap regulasi, dan (8) kerentanan pada shared technology. Temuan ini konsisten dengan laporan berkala Cloud Security Alliance (CSA) mengenai ancaman cloud terkini [15], [17], [18], [19].

C. Strategi Optimasi Performa Cloud Computing

Literatur yang dianalisis menunjukkan bahwa strategi optimasi performa cloud dapat dikelompokkan ke dalam tiga level, yaitu: (1) level infrastruktur (server dan jaringan fisik), (2) level virtualisasi (hypervisor dan container), dan (3) level aplikasi (kode dan arsitektur aplikasi). Pada level infrastruktur, integrasi SDN untuk manajemen traffic jaringan cloud terbukti efektif; Putra dkk. [1] menunjukkan bahwa arsitektur SDN yang terintegrasi dengan NFV memungkinkan pengaturan bandwidth yang dinamis dan routing optimal berdasarkan kondisi jaringan real-time. Teknologi 5G yang dianalisis oleh Putra dkk. [7] dan [9] membuka peluang baru bagi layanan cloud edge yang memerlukan latensi ultra-rendah, seperti augmented reality, kendaraan otonom, dan industrial IoT.

V. PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa solusi keamanan yang paling banyak diusulkan dalam literatur mencakup enkripsi end-to-end, implementasi zero-trust architecture, dan pemanfaatan AI/machine learning untuk deteksi anomali. Pendekatan multi-layer security yang menggabungkan keamanan pada level jaringan, aplikasi, dan data terbukti lebih efektif dibandingkan pendekatan single-layer [34], [43], [49]. Implementasi blockchain sebagai mekanisme audit trail dan verifikasi integritas data menunjukkan hasil yang menjanjikan; Putra dkk. [4] mendemonstrasikan bahwa teknologi blockchain dapat diintegrasikan ke dalam infrastruktur jaringan komputer untuk menciptakan sistem manajemen data yang tamper-proof, sementara Kshetri [17] menekankan peran institusi dalam membentuk regulasi privasi dan keamanan cloud, serta perlunya kerangka hukum yang komprehensif untuk mendukung keamanan cloud di tingkat nasional maupun internasional.

Dari sisi performa, Putra dkk. [10] menggunakan metode time series analysis untuk mengoptimalkan manajemen jaringan komputer melalui analisis big data. Pendekatan prediktif ini memungkinkan administrator jaringan mengantisipasi bottleneck performa sebelum berdampak pada pengguna. Implementasi mesh network yang turut dianalisis oleh Putra dkk. [10] menunjukkan keunggulan dalam hal skalabilitas dan keandalan untuk deployment IoT di lingkungan perkotaan. Temuan ini memperkuat pandangan bahwa optimasi performa tidak lagi dapat mengandalkan penskalaan infrastruktur secara reaktif semata, melainkan memerlukan manajemen jaringan prediktif dan berbasis data yang terintegrasi dengan traffic engineering berbasis SDN.

Untuk menilai kontribusi penelitian ini secara lebih terukur, Tabel 3 menyajikan perbandingan dengan penelitian-penelitian terkemuka di bidang cloud computing yang teridentifikasi dalam tinjauan literatur, berdasarkan cakupan (arsitektur, keamanan, performa), metodologi, dan kontribusi utama.

Tabel 3. Perbandingan dengan Penelitian Terkini

Peneliti	Fokus Penelitian	Metode	Kontribusi
Armbrust dkk. [13]	Arsitektur Cloud	Analisis Konseptual	Definisi dan visi cloud computing modern
Subashini & Kavitha [15]	Keamanan Cloud	Survei Sistematis	Survei keamanan pada model layanan SaaS, PaaS, IaaS
Putra dkk. [1]	Cloud Networking (SDN+NFV)	Literature Review	Kerangka kerja optimasi infrastruktur cloud melalui SDN, NFV, multi-cloud
Putra dkk. [2]	Keamanan Cloud Berbasis Avalanche	Eksperimental	Sistem deteksi perubahan data berbasis efek avalanche untuk cloud enterprise
Penelitian Ini	Arsitektur, Keamanan, Performa	SLR (50 Literatur)	Kerangka kerja terintegrasi SDN+NFV+Zero-Trust untuk cloud computing optimal

Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3, penelitian ini memberikan kontribusi yang berbeda sekaligus komplementer terhadap penelitian sebelumnya melalui sintesis yang lebih komprehensif dan proposisi kerangka kerja terintegrasi yang menggabungkan dimensi arsitektur, keamanan, dan performa secara holistik. Penelitian Putra dkk. [1] memberikan fondasi yang kuat bagi aspek networking dan infrastruktur cloud, sementara penelitian ini memperluas fondasi tersebut dengan mengintegrasikan dimensi keamanan dan performa secara lebih mendalam.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, literatur yang ditinjau dibatasi pada publikasi berbahasa Inggris dan Indonesia serta periode 2008-2025, sehingga memungkinkan adanya studi relevan dalam bahasa lain atau di luar rentang waktu tersebut yang tidak tercakup. Kedua, sebagai sintesis berbasis literatur, kerangka kerja yang diusulkan belum divalidasi secara empiris melalui implementasi prototipe atau deployment di dunia nyata, dan klaim performa kuantitatif yang disajikan (misalnya peningkatan performa hingga 40%) merupakan hasil agregasi temuan dari literatur yang ditinjau, bukan hasil eksperimen orisinal pada penelitian ini.

Berdasarkan hasil dan analisis yang telah dilakukan, pembahasan ini dapat dirangkum dalam beberapa poin utama sebagai berikut:

1. Integrasi SDN dan NFV terbukti menjadi enabler utama dalam mengoptimalkan arsitektur cloud networking, khususnya pada konteks multi-cloud dan hybrid cloud.
2. Pendekatan keamanan multi-layer yang menggabungkan zero-trust architecture, blockchain, dan deteksi ancaman berbasis AI lebih efektif dibandingkan pendekatan keamanan tunggal dalam menghadapi kompleksitas ancaman pada lingkungan cloud.
3. Optimasi performa cloud membutuhkan pendekatan prediktif dan berbasis data pada level infrastruktur, virtualisasi, maupun aplikasi, didukung oleh konektivitas 5G dan edge computing untuk skenario latensi ultra-rendah.

VI. VI. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa tinjauan literatur sistematis terhadap cloud computing mampu memberikan sintesis komprehensif mengenai arsitektur, keamanan, dan optimasi performa pada era transformasi digital. Berdasarkan analisis terhadap 50 publikasi ilmiah, tren arsitektur cloud computing bergerak ke arah multi-cloud dan hybrid cloud yang dikelola melalui pendekatan SDN dan NFV, sementara integrasi teknologi 5G dan edge computing membuka peluang baru bagi layanan cloud dengan latensi ultra-rendah yang mendukung aplikasi IoT dan kota pintar.

Hasil analisis menunjukkan bahwa keamanan data tetap menjadi tantangan utama dalam adopsi cloud, dan pendekatan zero-trust security yang dikombinasikan dengan verifikasi integritas data berbasis blockchain serta deteksi ancaman real-time berbasis AI merupakan solusi yang paling menjanjikan berdasarkan literatur yang ditinjau. Dari sisi metodologi, optimasi performa cloud dapat dicapai melalui pendekatan multi-level yang mencakup infrastruktur, virtualisasi, dan aplikasi, dengan analitik prediktif berbasis time series untuk manajemen jaringan proaktif menunjukkan hasil signifikan dalam mencegah degradasi performa. Penelitian yang dilakukan oleh F. Prasetyo Eka Putra dan tim memberikan kontribusi penting dalam konteks implementasi cloud computing dan networking di Indonesia, khususnya pada optimasi infrastruktur cloud networking, keamanan data berbasis cloud, dan integrasi teknologi 5G dengan layanan cloud.

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa kerangka kerja terintegrasi yang menggabungkan SDN, NFV, dan zero-trust security merupakan pendekatan yang efektif untuk menjawab tantangan arsitektur, keamanan, dan performa cloud computing secara simultan. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk: (1) mengembangkan dan memvalidasi kerangka kerja terintegrasi yang diusulkan melalui implementasi prototipe, (2) mengevaluasi performa kerangka kerja pada skenario deployment industri yang nyata, (3) menginvestigasi potensi quantum computing dalam konteks keamanan cloud masa depan, dan (4) mengeksplorasi dimensi regulasi dan kebijakan cloud computing di Indonesia guna mendukung transformasi digital nasional.

Kontribusi Penulis:

Penulis Pertama: Konseptualisasi, Metodologi, Penulisan, dan Supervisi, merancang konsep dan metodologi penelitian, serta melakukan penulisan dan penyuntingan akhir naskah.

Penulis Kedua: Pencarian Literatur, Ekstraksi Data, dan Analisis, bertanggung jawab atas pencarian dan penyaringan literatur, ekstraksi data dari studi terpilih, serta pelaksanaan analisis tematik.

Penulis Ketiga: Penyusunan Kerangka Kerja, Visualisasi, dan Penyuntingan, bertanggung jawab atas perumusan kerangka kerja konseptual, penyajian hasil dalam bentuk tabel, serta penyuntingan akhir naskah.

Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi naskah yang telah diterbitkan.

Pendanaan: Penelitian ini tidak menerima pendanaan eksternal.

Ucapan Terima Kasih: Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Madura atas dukungan akademik dan fasilitas penelitian yang diberikan, serta kepada Dr. F. Prasetyo Eka Putra, M.Kom., atas bimbingan dan dukungan dalam penyelesaian penelitian ini.

Konflik Kepentingan: Para penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan.

Ketersediaan Data: Daftar dan rincian bibliografis dari 50 publikasi yang ditinjau tersedia atas permintaan kepada penulis koresponden.

Persetujuan Berdasarkan Informasi ORCID: Tidak tersedia.

Penulis Pertama: -

Penulis Kedua: -

Penulis Ketiga: -

REFERENSI

- [1] F. P. E. Putra, N. D. Saputri, F. Rosi, dan R. Loati, "Optimalisasi Infrastruktur Cloud Networking melalui Integrasi SDN, NFV, dan Multi-Cloud," *Jurnal Informatika dan Teknologi Komputer (JITEK)*, vol. 5, no. 1, hlm. 1–10, Mar. 2025, doi: 10.55606/jitek.v5i1.xxxx.
- [2] F. P. E. Putra, F. Khusaini, A. Amsori, dan K. Anam, "Pengembangan Sistem Keamanan berbasis Cloud dengan Analisis Efek Avalanche pada Jaringan Perusahaan yang Mengadopsi Infrastruktur Cloud," *Jurnal Informatika dan Teknologi Komputer (JITEK)*, vol. 5, no. 2, hlm. 1–12, Jul. 2025, doi: 10.55606/jitek.v5i2.xxxx.
- [3] F. P. E. Putra, R. M. Ilhamsyah, S. A. Efendy, dan A. Rizki, "Implementation and Evaluation of ZeroTier-Based Virtual Network for Device Connectivity," *Brilliance Research of Artificial Intelligence*, vol. 5, no. 1, hlm. 87–96, Jun. 2025.
- [4] F. P. E. Putra, T. Salsabila, S. Arifin, dan S. P. D., "Penggunaan Teknologi Blockchain dalam Jaringan Komputer untuk Meningkatkan Keamanan Data," *Jurnal Informatika dan Teknologi Komputer (JITEK)*, vol. 5, no. 1, hlm. 1–8, Mar. 2025, doi: 10.55606/jitek.v5i1.xxxx.
- [5] F. P. E. Putra, Syirofi, D. Wahid, dan A. M. Syam, "Security Analysis and Data Recovery on Large-Scale Computer Networks," *Brilliance Research of Artificial Intelligence*, vol. 5, no. 1, hlm. 1–12, Jul. 2025.
- [6] F. P. E. Putra, I. Hidayatullah, M. H. Khairi, dan I. Maulana, "Analisis Protokol Keamanan Jaringan dalam Era Internet of Things (IoT)," *Infotek: Jurnal Informatika dan Teknologi*, vol. 8, no. 2, hlm. 1–10, Jul. 2025.
- [7] F. P. E. Putra, D. T. Agustina, T. S. K. Khotimah, dan T. Ramadhanty, "Analisis Kinerja Jaringan 5G dalam Meningkatkan Konektivitas Internet of Things (IoT)," *Jurnal Informatika dan Teknologi Komputer (JITEK)*, vol. 5, no. 1, hlm. 1–9, Mar. 2025, doi: 10.55606/jitek.v5i1.xxxx.
- [8] F. P. E. Putra, Ubaidi, M. A. Huda, dan A. Rohman, "Computer Network Management Optimization Through Big Data Analysis Using Time Series Analysis Method," *Brilliance Research of Artificial Intelligence*, vol. 4, no. 2, hlm. 1–10, Aug. 2024.
- [9] F. P. E. Putra, L. Romadona, dan S. F. Rohmah, "Implementasi dan Evaluasi Protokol QUIC untuk Optimalisasi Kinerja Streaming Video Real-Time pada Jaringan 5G," *Jurnal Informatika dan Teknologi Komputer (JITEK)*, vol. 5, no. 2, hlm. 1–11, Jul. 2025, doi: 10.55606/jitek.v5i2.xxxx.
- [10] F. P. E. Putra, M. Ghummah, M. Amrullah, dan R. Hidayatullah, "Studi Kinerja Mesh Network untuk Penerapan Internet of Things (IoT) di Lingkungan Perkotaan," *Jurnal Informatika dan Teknologi Komputer (JITEK)*, vol. 5, no. 1, hlm. 1–9, Mar. 2025, doi: 10.55606/jitek.v5i1.xxxx.
- [11] P. Mell dan T. Grance, "The NIST Definition of Cloud Computing," National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA, Tech. Rep. SP 800-145, Sep. 2011, doi: 10.6028/NIST.SP.800-145.
- [12] Q. Zhang, L. Cheng, dan R. Boutaba, "Cloud computing: state-of-the-art and research challenges," *J. Internet Serv. Appl.*, vol. 1, no. 1, hlm. 7–18, 2010, doi: 10.1007/s13174-010-0007-6.
- [13] M. Armbrust dkk., "A view of cloud computing," *Commun. ACM*, vol. 53, no. 4, hlm. 50–58, Apr. 2010, doi: 10.1145/1721654.1721672.
- [14] R. Buyya, C. S. Yeo, S. Venugopal, J. Broberg, dan I. Brandic, "Cloud computing and emerging IT platforms: Vision, hype, and reality for delivering computing as the 5th utility," *Future Gener. Comput. Syst.*, vol. 25, no. 6, hlm. 599–616, Jun. 2009, doi: 10.1016/j.future.2008.12.001.
- [15] S. Subashini dan V. Kavitha, "A survey on security issues in service delivery models of cloud computing," *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 34, no. 1, hlm. 1–11, Jan. 2011, doi: 10.1016/j.jnca.2010.07.006.

- [16] I. Garg dan R. Buyya, "Green cloud computing and environmental sustainability," in *Harnessing Green IT: Principles and Practices*, S. Murugesan dan G. R. Gangadharan, Eds. Hoboken, NJ, USA: Wiley/IEEE Computer Society Press, 2012, hlm. 315–339.
- [17] N. Kshetri, "Privacy and security issues in cloud computing: The role of institutions and institutional evolution," *Telecomm. Policy*, vol. 37, no. 4–5, hlm. 372–386, 2013, doi: 10.1016/j.telpol.2012.04.011.
- [18] C. Modi, D. Patel, B. Borisaniya, H. Patel, A. Patel, dan M. Rajarajan, "A survey of intrusion detection techniques in cloud," *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 36, no. 1, hlm. 42–57, Jan. 2013, doi: 10.1016/j.jnca.2012.05.003.
- [19] Z. Xiao dan Y. Xiao, "Security and privacy in cloud computing," *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, vol. 15, no. 2, hlm. 843–859, 2013, doi: 10.1109/SURV.2012.060912.00182.
- [20] A. N. Khan, M. L. M. Kiah, S. U. Khan, dan S. A. Madani, "Towards secure mobile cloud computing: A survey," *Future Gener. Comput. Syst.*, vol. 29, no. 5, hlm. 1278–1299, Jul. 2013, doi: 10.1016/j.future.2012.08.003.
- [21] D. Agrawal, A. El Abbadi, S. Das, dan A. Elmore, "Database scalability, elasticity, and autonomy in the cloud," in *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 6587, 2011, hlm. 2–15, doi: 10.1007/978-3-642-20149-3_2.
- [22] J. Hurwitz, R. Bloor, M. Kaufman, dan F. Halper, *Cloud Computing for Dummies*. Hoboken, NJ, USA: Wiley Publishing, 2010.
- [23] B. Hayes, "Cloud computing," *Commun. ACM*, vol. 51, no. 7, hlm. 9–11, Jul. 2008, doi: 10.1145/1364782.1364786.
- [24] W. Kim, "Cloud computing: Today and tomorrow," *J. Object Technol.*, vol. 8, no. 1, hlm. 65–72, Jan. 2009, doi: 10.5381/jot.2009.8.1.c4.
- [25] Y. Jadeja dan K. Modi, "Cloud computing - concepts, architecture and challenges," in *Proc. Int. Conf. Comput. Electron. Electr. Technol. (ICCEET)*, Mar. 2012, hlm. 877–880, doi: 10.1109/ICCEET.2012.6203873.
- [26] M. D. Dikaiakos, D. Katsaros, P. Mehra, G. Pallis, dan A. Vakali, "Cloud computing: Distributed internet computing for IT and scientific research," *IEEE Internet Comput.*, vol. 13, no. 5, hlm. 10–13, Sep.–Okt. 2009, doi: 10.1109/MIC.2009.103.
- [27] R. L. Grossman, "The case for cloud computing," *IT Prof.*, vol. 11, no. 2, hlm. 23–27, Mar.–Apr. 2009, doi: 10.1109/MITP.2009.40.
- [28] S. Bhardwaj, L. Jain, dan S. Jain, "Cloud computing: A study of infrastructure as a service (IAAS)," *Int. J. Eng. Inf. Technol.*, vol. 2, no. 1, hlm. 60–63, 2010.
- [29] N. Sultan, "Cloud computing for education: A new dawn?," *Int. J. Inf. Manage.*, vol. 30, no. 2, hlm. 109–116, Apr. 2010, doi: 10.1016/j.ijinfomgt.2009.09.004.
- [30] K. Chard, S. Caton, O. Rana, dan K. Bubendorfer, "Social cloud: Cloud computing in social networks," in *Proc. 3rd IEEE Int. Conf. Cloud Comput. (CLOUD)*, 2010, hlm. 99–106, doi: 10.1109/CLOUD.2010.28.
- [31] C. Gong, J. Liu, Q. Zhang, H. Chen, dan Z. Gong, "The characteristics of cloud computing," in *Proc. 39th Int. Conf. Parallel Process. Workshops (ICPPW)*, 2010, hlm. 275–279, doi: 10.1109/ICPPW.2010.45.
- [32] F. Liu dkk., "NIST cloud computing reference architecture," National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA, Tech. Rep. SP 500-292, 2011, doi: 10.6028/NIST.SP.500-292.
- [33] H. T. Dinh, C. Lee, D. Niyato, dan P. Wang, "A survey of mobile cloud computing: Architecture, applications, and approaches," *Wirel. Commun. Mob. Comput.*, vol. 13, no. 18, hlm. 1587–1611, Des. 2013, doi: 10.1002/wcm.1203.
- [34] B. Grobauer, T. Walloschek, dan E. Stocker, "Understanding cloud computing vulnerabilities," *IEEE Secur. Priv.*, vol. 9, no. 2, hlm. 50–57, Mar.–Apr. 2011, doi: 10.1109/MSP.2010.115.
- [35] G. Catteddu dan G. Hogben, "Cloud computing: Benefits, risks and recommendations for information security," European Network and Information Security Agency (ENISA), Heraklion, Yunani, Tech. Rep., 2009.
- [36] A. Khajeh-Hosseini, D. Greenwood, dan I. Sommerville, "Cloud migration: A case study of migrating an enterprise IT system to IaaS," in *Proc. 3rd IEEE Int. Conf. Cloud Comput. (CLOUD)*, 2010, hlm. 450–457, doi: 10.1109/CLOUD.2010.37.
- [37] L. M. Vaquero, L. Roderio-Merino, J. Caceres, dan M. Lindner, "A break in the clouds: towards a cloud definition," *ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 39, no. 1, hlm. 50–55, Jan. 2009, doi: 10.1145/1496091.1496100.
- [38] D. C. Marinescu, *Cloud Computing: Theory and Practice*. Waltham, MA, USA: Morgan Kaufmann, 2013.
- [39] C. Wang, Q. Wang, K. Ren, dan W. Lou, "Privacy-preserving public auditing for data storage security in cloud computing," in *Proc. IEEE INFOCOM*, 2010, hlm. 1–9, doi: 10.1109/INFOCOM.2010.5462173.
- [40] B. P. Rimal, E. Choi, dan I. Lumb, "A taxonomy and survey of cloud computing systems," in *Proc. 5th Int. Joint Conf. INC, IMS and IDC*, 2009, hlm. 44–51, doi: 10.1109/NCM.2009.218.
- [41] A. Fox dkk., "Above the clouds: A Berkeley view of cloud computing," EECS Department, Univ. California, Berkeley, CA, USA, Tech. Rep. UCB/EECS-2009-28, Feb. 2009.
- [42] L. Cui, G. Xie, dan Y. Qu, "Review of 5G network technology and its security issues," in *Proc. Int. Conf. Electron. Commun. Eng. (ICECE)*, 2018, hlm. 151–155, doi: 10.1109/ELCE.2018.8637357.
- [43] K. Hashizume, D. G. Rosado, E. Fernandez-Medina, dan E. B. Fernandez, "An analysis of security issues for cloud computing," *J. Internet Serv. Appl.*, vol. 4, no. 1, art. 5, 2013, doi: 10.1186/1869-0238-4-5.
- [44] M. A. Vouk, "Cloud computing - issues, research and implementations," *J. Comput. Inf. Technol.*, vol. 16, no. 4, hlm. 235–246, 2008, doi: 10.2498/cit.1001391.
- [45] V. Chang dan M. Ramachandran, "Towards achieving data security with the cloud computing adoption framework," *IEEE Trans. Serv. Comput.*, vol. 9, no. 1, hlm. 138–151, Jan.–Feb. 2016, doi: 10.1109/TSC.2015.2401033.
- [46] S. Sakr, A. Liu, D. M. Batista, dan M. Alomari, "A survey of large scale data management approaches in cloud environments," *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, vol. 13, no. 3, hlm. 311–336, 2011, doi: 10.1109/SURV.2011.032211.00087.
- [47] M. Klems, J. Nimis, dan S. Tai, "Do clouds compute? A framework for estimating the value of cloud computing," in *Designing E-Business Systems, Lecture Notes in Business Information Processing*, vol. 22, 2009, hlm. 110–123, doi: 10.1007/978-3-642-01310-9_10.
- [48] D. Zissis dan D. Lekkas, "Addressing cloud computing security issues," *Future Gener. Comput. Syst.*, vol. 28, no. 3, hlm. 583–592, Mar. 2012, doi: 10.1016/j.future.2010.12.006.

- [49] M. Jensen, J. Schwenk, N. Gruschka, dan L. L. Iacono, "On technical security issues in cloud computing," in Proc. IEEE Int. Conf. Cloud Comput. (CLOUD-II), 2009, hlm. 109–116, doi: 10.1109/CLOUD.2009.60.
- [50] A. W. Zahra, Cloud Computing untuk Pemula: Konsep Dasar, Aplikasi, dan Arah Masa Depan. Yogyakarta, Indonesia: Deepublish, 2022.