



## Data and Information Networks

**Azam Fadhillah Mulki**

Sekolah Tinggi Manajemen Informatika & Komputer LIKMI, Indonesia

Email: azamfm12@gmail.com

---

### KEYWORD

*Data Networks,  
Information Networks,  
Network Architecture,  
Cloud Computing,  
Artificial Intelligence,  
Digital Twin Networks.*

---

### ABSTRACT

*The rapid advancement of information and communication technologies has positioned data and information networks as the core infrastructure underpinning global digital transformation. Computer networks have evolved beyond basic communication functions into the foundation for modern technologies such as cloud computing, the Internet of Things (IoT), big data, artificial intelligence (AI), autonomous networks, and digital twin networks. This study aims to examine the fundamental concepts of data and information, trace the evolution of network architectures and technologies, and analyze their role in enabling efficient, secure, and sustainable data management in the digital economy era. This research employs a qualitative descriptive approach through a systematic literature review. The analysis is based on reputable scientific journals, academic books, and technical documents published within the last five years. The findings reveal that modern network architectures have developed in a modular and adaptive manner to support cloud-, IoT-, and AI-based applications. Emerging paradigms like Information-Centric Networks (ICN) enhance data distribution efficiency. Furthermore, the integration of AI into networking enables automated management through autonomous networks and digital twin networks, while also introducing significant challenges related to security, privacy, and data governance. A comprehensive understanding of network architectures and supporting technologies is essential for designing secure, efficient, and adaptable digital infrastructures. This study provides insights for researchers, network engineers, and policymakers in developing future-proof network strategies that balance innovation with security and governance considerations.*

---

### KATA KUNCI

Jaringan Data, Jaringan Informasi, Arsitektur Jaringan, Komputasi Awan, Kecerdasan Buatan, Digital Twin Networks

---

### ABSTRAK

Pesatnya kemajuan teknologi informasi dan komunikasi telah menempatkan jaringan data dan informasi sebagai infrastruktur inti yang mendukung transformasi digital global. Jaringan komputer telah berkembang melampaui fungsi komunikasi dasar menjadi fondasi bagi teknologi modern seperti komputasi awan, Internet of Things (IoT), big data, kecerdasan buatan (AI), jaringan otonom (*autonomous networks*), dan jaringan digital twin (*digital twin networks*). Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji konsep dasar data dan informasi, menelusuri evolusi arsitektur dan teknologi jaringan, serta menganalisis perannya dalam mendukung pengelolaan data yang efisien, aman, dan berkelanjutan di era ekonomi digital. Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif melalui tinjauan literatur sistematis. Analisis didasarkan pada jurnal ilmiah bereputasi, buku akademik, dan dokumen teknis yang diterbitkan dalam lima tahun terakhir. Temuan menunjukkan bahwa arsitektur jaringan modern telah berkembang secara modular dan adaptif untuk mendukung aplikasi berbasis cloud, IoT, dan AI. Paradigma baru seperti *Information-Centric Networks* (ICN) meningkatkan efisiensi distribusi data. Selain itu, integrasi AI ke dalam jaringan memungkinkan pengelolaan otomatis melalui jaringan otonom dan jaringan digital twin, namun juga menghadirkan tantangan signifikan terkait keamanan, privasi, dan tata kelola data. Pemahaman menyeluruh tentang arsitektur jaringan dan teknologi pendukungnya sangat penting untuk merancang infrastruktur digital yang aman, efisien, dan mampu beradaptasi. Penelitian ini memberikan wawasan bagi peneliti, insinyur jaringan, dan pembuat kebijakan dalam mengembangkan strategi jaringan yang berkelanjutan dengan menyeimbangkan inovasi serta pertimbangan keamanan dan tata kelola.

## PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) telah membawa dampak besar dalam cara manusia berinteraksi dengan dunia di sekitar mereka (Cholik, 2021; Putri & Simatupang, 2023; Wardiana, 2002). Dalam beberapa dekade terakhir, teknologi ini telah mengubah cara kita mengakses, memproses, dan mendistribusikan data serta informasi. Salah satu komponen utama dari revolusi ini adalah jaringan komputer (computer networks), yang berfungsi sebagai infrastruktur kunci dalam mendukung komunikasi global, berbagi sumber daya, dan pengolahan data secara terdistribusi (Ardiansyah, 2023; Aulia et al., 2023; Parenreng et al., 2025). Jaringan komputer memungkinkan konektivitas dari skala lokal hingga global, memberikan kesempatan untuk berbagi informasi secara cepat, efisien, dan tanpa batasan geografis (Huawei Technologies Co., Ltd., 2023; Lopes, 2025).

Di tengah percepatan adopsi teknologi digital, kompleksitas arsitektur jaringan juga meningkat seiring dengan integrasi AI, IoT, dan komputasi tepi (*edge computing*) (Widyaningrum & Nugroho, 2020). Hal ini menimbulkan tantangan baru terkait skalabilitas, keamanan siber, privasi data, serta tata kelola jaringan yang otonom. Selain itu, minimnya literatur yang menyajikan tinjauan komprehensif mengenai evolusi arsitektur jaringan data dan informasi—khususnya dalam konteks konvergensi dengan AI dan paradigma *digital twin*—menyebabkan adanya kesenjangan pemahaman baik di kalangan akademisi maupun praktisi. Oleh karena itu, penelitian ini diperlukan untuk memetakan perkembangan terkini, mengidentifikasi tantangan, dan memberikan rekomendasi strategis dalam merancang infrastruktur jaringan yang aman, efisien, dan berkelanjutan.

Di era ekonomi digital saat ini, peran jaringan komputer semakin penting. Jaringan data tidak hanya mendukung layanan komunikasi tradisional seperti email dan web browsing, tetapi juga telah berkembang menjadi tulang punggung bagi berbagai teknologi maju lainnya. Salah satunya adalah komputasi awan (cloud computing), yang memungkinkan penyimpanan dan pemrosesan data secara terpusat dengan akses yang dapat dilakukan dari mana saja. Selain itu, jaringan data juga menjadi dasar bagi teknologi Internet of Things (IoT), yang menghubungkan berbagai perangkat fisik untuk berbagi data dan berinteraksi dengan sistem lainnya. Big data analytics dan kecerdasan buatan (AI) juga bergantung pada keberadaan jaringan data yang kuat untuk melakukan analisis dan pengolahan data dalam jumlah besar dan kompleks. Bahkan, jaringan ini mendukung layanan otonom yang sedang berkembang di berbagai sektor, seperti kendaraan otonom dan sistem manufaktur pintar yang semakin banyak digunakan di industri. (Afifi et al., 2024; Huawei Technologies Co., Ltd., 2023; Lopes, 2025).

Beberapa studi telah mengkaji aspek-aspek tertentu dari jaringan data dan informasi. Misalnya, Huawei Technologies Co., Ltd. (2023) membahas teknologi komunikasi data dan jaringan secara teknis, sementara Afifi et al. (2024) mengeksplorasi integrasi *machine learning* dalam manajemen jaringan. Luntovskyy (2023) dan Sai et al. (2024) masing-masing mengangkat topik jaringan otonom (*autonomous networks*) dan *digital twin networks* beserta tantangan privasi dan keamanannya. Namun, belum banyak tinjauan literatur yang

menghubungkan perkembangan arsitektur jaringan secara holistik—dari fondasi klasik hingga inovasi terkini seperti *information-centric networks* (ICN), *software-defined networking* (SDN), dan *network function virtualization* (NFV)—dalam satu kerangka analisis yang terpadu.

Penelitian ini bertujuan untuk membahas lebih dalam mengenai konsep dasar data dan informasi, serta bagaimana arsitektur dan teknologi jaringan data dan informasi telah berkembang seiring waktu. Selain itu, makalah ini juga akan mengkaji peran jaringan dalam pengelolaan data yang efisien dan aman. Dalam konteks ini, isu-isu kontemporer yang berkaitan dengan jaringan data, seperti masalah keamanan data, privasi pengguna, serta tantangan dan peluang yang muncul dari integrasi dengan teknologi-teknologi mutakhir seperti kecerdasan buatan (AI) dan jaringan digital twin, juga akan dibahas. Teknologi digital twin, yang memungkinkan replikasi dunia fisik dalam bentuk digital untuk memantau, menganalisis, dan mengoptimalkan operasi, bergantung pada jaringan data yang cepat dan handal untuk bekerja secara efektif. (Afifi et al., 2024; Huawei Technologies Co., Ltd., 2023). Secara akademis, penelitian ini diharapkan dapat memperkaya khazanah ilmu jaringan komputer dengan sintesis perkembangan arsitektur dan teknologi terkini, serta mengidentifikasi *research gap* untuk kajian lebih lanjut. Secara praktis, temuan penelitian dapat menjadi acuan bagi pengembang infrastruktur, *network engineer*, dan pembuat kebijakan dalam merancang dan mengelola jaringan yang tangguh, hemat energi, dan siap menghadapi tantangan digital masa depan. Selain itu, pemahaman yang komprehensif mengenai keamanan dan tata kelola jaringan juga dapat mendukung terciptanya ekosistem digital yang lebih terpercaya dan inklusif.

## METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam makalah ini adalah studi literatur dengan pendekatan kualitatif deskriptif. Pendekatan ini dipilih karena bertujuan untuk memberikan pemahaman mendalam mengenai perkembangan jaringan data dan informasi, serta isu-isu kontemporer yang terkait seperti keamanan, privasi, dan integrasi teknologi canggih seperti kecerdasan buatan (AI) dan digital twin networks. Penelitian ini mengandalkan analisis kritis terhadap sumber-sumber literatur yang ada untuk membangun pemahaman yang komprehensif tentang topik ini.

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan dalam studi literatur ini adalah sebagai berikut:

### 1. Pencarian Literatur:

Pada tahap pertama, dilakukan pencarian literatur yang relevan dengan topik yang akan dibahas. Literatur yang digunakan terdiri dari berbagai jenis sumber, termasuk jurnal ilmiah, buku referensi, artikel industri, laporan penelitian, dan dokumen resmi lainnya yang diterbitkan oleh lembaga terkait. Pencarian literatur ini dilakukan menggunakan database akademik dan sumber terpercaya yang mencakup jurnal ilmiah terindeks seperti Scopus, IEEE Xplore, ScienceDirect, dan sumber lainnya yang relevan dengan perkembangan teknologi jaringan data dan informasi, serta isu-isu kontemporer seperti keamanan data dan

privasi. Fokus pencarian literatur adalah pada sumber-sumber yang terbit dalam lima tahun terakhir, untuk memastikan relevansi dan kekinian informasi yang diperoleh.

## **2. Analisis Konten:**

Setelah literatur terkumpul, dilakukan analisis konten terhadap setiap sumber yang diperoleh. Proses ini melibatkan pembacaan mendalam terhadap berbagai artikel dan referensi yang ditemukan untuk mengidentifikasi poin-poin penting mengenai perkembangan jaringan data dan teknologi yang mendukungnya. Analisis ini juga mencakup identifikasi peran jaringan dalam konteks ekonomi digital, pengaruhnya terhadap berbagai sektor seperti komputasi awan (cloud computing), Internet of Things (IoT), dan kecerdasan buatan (AI). Selain itu, analisis konten dilakukan untuk mengidentifikasi tantangan yang muncul terkait dengan isu-isu kontemporer, khususnya masalah keamanan dan privasi dalam jaringan data yang semakin kompleks.

## **3. Sintesis Temuan:**

Tahap sintesis temuan merupakan langkah terakhir dalam penelitian ini, di mana informasi yang diperoleh dari berbagai literatur dianalisis dan digabungkan untuk membentuk gambaran yang holistik tentang topik yang diteliti. Sintesis ini bertujuan untuk menyajikan hasil-hasil yang relevan terkait dengan perkembangan jaringan data, penerapannya dalam pengelolaan informasi, serta peranannya dalam mendukung inovasi di berbagai sektor. Pada tahap ini, juga dilakukan pemetaan terhadap isu-isu utama seperti tantangan keamanan dan privasi data yang dihadapi dalam era digital saat ini. Sintesis ini kemudian disusun dalam bentuk narasi yang menggabungkan temuan-temuan penting dari berbagai sumber untuk memberikan wawasan yang lebih jelas dan komprehensif mengenai topik penelitian.

## **Konsep Dasar Data dan Informasi**

Data adalah representasi fakta mentah (angka, teks, simbol, sinyal) yang belum diolah, sedangkan informasi adalah data yang telah diproses sehingga bermakna dan dapat digunakan untuk pengambilan keputusan. Dalam konteks jaringan, data ditransmisikan sebagai paket-paket digital melalui media komunikasi, kemudian diolah di sisi penerima menjadi informasi yang relevan (misalnya halaman web, file dokumen, stream video). (Huawei Technologies Co., Ltd., 2023; Lopes, 2025) Pertumbuhan eksponensial volume data—sering disebut big data—mendorong kebutuhan jaringan yang mampu menyalurkan data secara andal, cepat, dan aman, sekaligus mendukung analitik dan aplikasi yang semakin kompleks. (Afifi et al., 2024).

## **Konsep Dasar Jaringan Data dan Informasi**

### **1. Definisi dan Tujuan Jaringan**

Jaringan komputer adalah sebuah infrastruktur yang terdiri dari sekumpulan perangkat seperti komputer, server, sensor, perangkat mobile, dan perangkat lainnya yang terhubung satu sama lain melalui media transmisi untuk berbagi data, sumber daya, dan layanan. Dalam jaringan ini, perangkat-perangkat tersebut dapat saling berkomunikasi, mentransfer data, serta memanfaatkan sumber daya secara bersama-sama. Koneksi antar perangkat ini memungkinkan

terjadinya interaksi dan kolaborasi dalam berbagai aktivitas yang memerlukan akses data, seperti pengolahan informasi, komunikasi, dan penyimpanan data secara terpusat (Huawei Technologies Co., Ltd., 2023; Lopes, 2025).

Tujuan utama dari adanya jaringan komputer adalah untuk memfasilitasi:

- a. **Komunikasi global secara real-time**, yang memungkinkan komunikasi antar pengguna di berbagai lokasi tanpa kendala waktu dan jarak. Contohnya adalah email, VoIP, dan media sosial yang memungkinkan interaksi langsung.
- b. **Berbagi sumber daya** yang meliputi berbagai perangkat keras dan perangkat lunak, seperti printer bersama, penyimpanan data terpusat (cloud storage), dan aplikasi-aplikasi yang dapat diakses oleh berbagai perangkat yang terhubung ke jaringan.
- c. **Pemrosesan terdistribusi dan komputasi awan**, di mana jaringan mendukung aliran data antar perangkat untuk menjalankan proses komputasi yang terbagi di berbagai lokasi, seperti yang diterapkan dalam cloud computing.
- d. **Konektivitas bagi perangkat cerdas (smart devices) dan IoT (Internet of Things)**, yang memanfaatkan jaringan untuk menghubungkan perangkat-perangkat pintar dan memungkinkan mereka saling berkomunikasi dan bertukar data untuk meningkatkan fungsionalitas dan efisiensi.

## **Jenis-Jenis Jaringan**

Jaringan komputer dapat dibedakan berdasarkan cakupan geografisnya, dan masing-masing jenis jaringan memiliki karakteristik serta fungsinya sendiri. Jenis-jenis jaringan berdasarkan cakupan geografis tersebut antara lain:

- a. Local Area Network (LAN): Merupakan jaringan yang terbatas pada area geografis kecil, seperti gedung, kampus, atau kantor. LAN dirancang untuk menghubungkan perangkat-perangkat dalam area yang kecil dengan kecepatan tinggi, memungkinkan berbagi sumber daya secara efisien dalam jarak dekat. LAN biasanya menggunakan kabel Ethernet atau Wi-Fi untuk konektivitas.
- b. Metropolitan Area Network (MAN): Jaringan yang mencakup area yang lebih luas daripada LAN, seperti wilayah kota atau kawasan metropolitan. MAN menghubungkan berbagai LAN yang berada dalam satu kota atau daerah besar, dengan kecepatan dan kapasitas yang lebih besar untuk mendukung kebutuhan komunikasi di area yang lebih luas.
- c. Wide Area Network (WAN): Jaringan yang menghubungkan perangkat-perangkat di area yang lebih luas, seperti berbagai kota, negara, atau bahkan benua. Internet adalah contoh terbesar dari WAN, yang menghubungkan berbagai jaringan di seluruh dunia, memungkinkan akses global. WAN memanfaatkan berbagai teknologi komunikasi, seperti kabel serat optik, satelit, dan koneksi nirkabel untuk menghubungkan jaringan di lokasi yang jauh.

Seiring dengan perkembangan teknologi, muncul pula Next Generation Networks (NGN) yang membawa inovasi dalam hal kapasitas, kecepatan, dan fleksibilitas jaringan. Teknologi-teknologi seperti 5G, jaringan satelit (misalnya Starlink), Ultra-Wide Band (UWB), dan Visible Light Communications (VLC) memperkenalkan cara baru dalam berkomunikasi dan menghubungkan perangkat, dengan latensi yang lebih rendah, kecepatan yang lebih tinggi, serta kemampuan untuk mendukung aplikasi-aplikasi berbasis kecerdasan buatan (AI) dan IoT. Teknologi-teknologi ini memungkinkan konektivitas yang lebih baik, efisien, dan andal di berbagai sektor, mulai dari transportasi, kesehatan, hingga industri manufaktur (Huawei Technologies Co., Ltd., 2023; Lopes, 2025).

Arsitektur dan Teknologi Jaringan

## **2. Arsitektur Internet Modern**

Internet pertama kali dibangun dengan arsitektur yang relatif sederhana dan terpusat pada konsep dasar untuk menghubungkan perangkat satu sama lain. Namun, seiring dengan meningkatnya kebutuhan komunikasi dan layanan digital yang lebih kompleks, arsitektur Internet telah mengalami evolusi yang signifikan. Pada tahap awal, Internet hanya terdiri dari koneksi sederhana antara komputer melalui protokol dasar seperti TCP/IP, yang memungkinkan pengiriman data dalam bentuk paket-paket. Namun, pada perkembangan berikutnya, Internet mengalami perubahan untuk mendukung berbagai aplikasi dan teknologi yang berkembang pesat, mulai dari komunikasi data, multimedia, hingga layanan berbasis cloud dan IoT.

Zave dan Rexford (2024) menjelaskan bahwa arsitektur Internet saat ini telah berkembang menjadi lebih modular dan kompleks. Pendekatan ini menggunakan teknik-teknik canggih seperti

**bridging, layering tambahan, segmentasi, dan subduction** (pemetaan satu jaringan di atas jaringan lain). Hal ini memungkinkan berbagai jenis jaringan dan layanan, yang sebelumnya tidak dapat terhubung atau tidak kompatibel, dapat saling berinteraksi dengan efisien. Sebagai contoh, overlay networks dan content delivery networks (CDN) dapat beroperasi dengan lebih baik di atas jaringan yang ada tanpa merombak total infrastruktur yang sudah terbentuk.

Pendekatan modular ini memberi keuntungan dalam deskripsi dan pengelolaan fungsi jaringan yang lebih kompleks, seperti Virtual Private Networks (VPN), yang memungkinkan pengelolaan komunikasi data yang aman antar lokasi yang terpisah, serta CDN yang mengoptimalkan distribusi konten di seluruh dunia. Selain itu, modularitas memungkinkan evolusi arsitektur jaringan yang lebih mudah, karena penambahan atau perubahan elemen-elemen jaringan dapat dilakukan dengan lebih fleksibel tanpa harus mengganti infrastruktur jaringan yang sudah ada (ITU-T Technical Specification, 2024; Luntovskyy, 2023). Konsep ini sangat penting dalam mendukung transformasi digital yang pesat dan mengakomodasi permintaan akan aplikasi-aplikasi baru yang lebih dinamis dan kompleks seperti video streaming, layanan cloud, dan aplikasi berbasis kecerdasan buatan (AI) (Afifi et al., 2024; Huawei Technologies Co., Ltd., 2023).

### 3. Switching dan Routing

Switching dan routing adalah dua komponen kunci dalam arsitektur jaringan yang mendasar. **Switching** berfungsi untuk mengalirkan frame atau paket data di dalam satu domain jaringan yang sama, seperti yang terjadi pada jaringan Ethernet. Fungsi utama dari switch adalah untuk memastikan bahwa data yang masuk ke dalam jaringan dapat diteruskan ke perangkat tujuan dengan efisien dan tepat waktu, berdasarkan alamat MAC (Media Access Control) perangkat yang terhubung di dalam jaringan tersebut. Switch seringkali digunakan dalam jaringan lokal untuk memfasilitasi komunikasi antar perangkat dalam satu area atau gedung yang sama.

Di sisi lain, **routing** berfokus pada pengambilan keputusan untuk memilih jalur terbaik yang digunakan untuk mentransfer data antar jaringan yang berbeda. Proses ini dilakukan menggunakan **router**, yang bertanggung jawab untuk menentukan rute terbaik berdasarkan **tabel routing** yang dihasilkan dari **protokol routing** seperti **OSPF** (Open Shortest Path First) dan **BGP** (Border Gateway Protocol). Protokol-protokol ini digunakan untuk memastikan bahwa data dikirimkan melalui jalur yang paling efisien, dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti kecepatan, latensi, dan keandalan jalur.

Selain itu, arsitektur jaringan modern kini juga mengadopsi dua konsep teknologi yang sangat penting, yaitu **Software-Defined Networking (SDN)** dan **Network Function Virtualization (NFV)**. SDN memisahkan fungsi pengendalian (control plane) dari data plane dalam jaringan, memungkinkan kontrol dan pengelolaan jaringan secara terpusat dan lebih fleksibel. Dengan SDN, administrator jaringan dapat mengonfigurasi, memonitor, dan mengelola seluruh jaringan melalui perangkat lunak, bukan perangkat keras jaringan. Ini memberikan keuntungan besar dalam hal fleksibilitas, efisiensi, dan otomatisasi. **NFV**, di sisi lain, memvirtualisasikan fungsi-fungsi jaringan tradisional yang sebelumnya hanya dapat dijalankan oleh perangkat keras khusus (seperti router atau firewall), memungkinkan fungsi tersebut dijalankan di perangkat keras standar. Ini mengurangi biaya dan meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan jaringan.

#### 4. Jaringan Berorientasi Informasi

Selain arsitektur jaringan tradisional yang berorientasi pada **host-centric** (yang berfokus pada alamat IP dan lokasi perangkat), paradigma baru yang lebih mengutamakan distribusi informasi mulai berkembang. Salah satu paradigma tersebut adalah **Information-Centric Networks (ICN)**. Dalam ICN, fokus utama bukan pada lokasi atau alamat dari perangkat (host), melainkan pada penamaan dan distribusi konten. Dalam model ini, data tidak lagi dipandang sebagai milik perangkat tertentu, tetapi sebagai objek yang dapat diakses berdasarkan identitas konten itu sendiri. Sebagai contoh, data video atau file dapat diakses langsung dengan menggunakan nama file atau ID unik tanpa perlu mengetahui perangkat asalnya.

Salah satu prinsip utama dalam ICN adalah bahwa **data diidentifikasi dan di-cache di dalam jaringan**. Artinya, data yang diminta oleh pengguna atau aplikasi akan disalin dan disimpan sementara di node yang lebih dekat dengan pengguna, sehingga permintaan konten dapat dilayani lebih cepat dan efisien. Pendekatan ini sangat berguna dalam layanan seperti **video streaming** dan **distribusi file besar**, di mana permintaan terhadap konten yang sama seringkali datang dari berbagai lokasi. Dengan memanfaatkan ICN, konten dapat disajikan lebih cepat dan dengan latensi yang lebih rendah, meningkatkan efisiensi distribusi dan ketersediaan konten di seluruh jaringan.

Selain meningkatkan **efisiensi distribusi konten**, ICN juga memberikan keuntungan dalam hal **skala** dan **keamanan**. Karena data di-cache di berbagai titik dalam jaringan, ICN dapat menangani skala distribusi yang lebih besar, bahkan dalam kondisi trafik yang sangat tinggi. Selain itu, dengan adanya kontrol yang lebih baik terhadap bagaimana dan di mana data disalin serta didistribusikan, ICN memberikan lapisan keamanan tambahan dalam melindungi data yang sensitif atau berhak cipta.

Secara keseluruhan, ICN memperkenalkan paradigma baru dalam pengelolaan data, memungkinkan distribusi dan penyimpanan konten secara lebih efisien, aman, dan skalabel, serta memberikan keuntungan besar bagi aplikasi-aplikasi yang membutuhkan pengiriman data dalam jumlah besar seperti **media streaming**, **sharing file**, dan **content delivery** (Afifi et al., 2024).

#### Jaringan dalam Pengelolaan Data dan Informasi

##### 1. Komputasi Terdistribusi, Cloud, dan Edge

Jaringan data dan informasi memungkinkan pemrosesan dan pengelolaan data secara efisien dengan membagi tugas pemrosesan ke berbagai node di jaringan, yang dikenal dengan **komputasi terdistribusi**. Dalam model komputasi terdistribusi, tugas-tugas yang besar dan kompleks dibagi menjadi bagian-bagian yang lebih kecil yang kemudian diproses secara paralel oleh beberapa perangkat atau server yang terhubung. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan **kinerja** sistem secara keseluruhan, tetapi juga meningkatkan **keandalan**, karena jika salah satu node gagal, node lain masih dapat mengambil alih tugas yang belum selesai. Hal ini membuat sistem lebih tahan terhadap kegagalan dan lebih efisien dalam menangani beban kerja yang berat (Afifi et al., 2024; Lopes, 2025).

Di dalam konteks ini, dua teknologi utama yang memanfaatkan komputasi terdistribusi adalah **cloud computing** dan **edge computing**. **Cloud computing** menggunakan jaringan untuk menyediakan **sumber daya komputasi dan penyimpanan secara on-demand** melalui internet. Platform cloud seperti Amazon Web Services (AWS), Google Cloud, dan Microsoft Azure menyediakan infrastruktur yang dapat disewa oleh pengguna untuk menjalankan aplikasi atau



menyimpan data tanpa memerlukan perangkat keras fisik. Hal ini memungkinkan skalabilitas yang tinggi dan penghematan biaya operasional.

Sebaliknya, **edge computing** membawa sebagian besar pemrosesan lebih dekat ke sumber data, yaitu di titik tepi jaringan (edge). Dalam model ini, data tidak perlu dikirimkan ke pusat data yang jauh untuk diproses, tetapi sebagian besar pemrosesan dilakukan di perangkat yang berada lebih dekat dengan sumber data, seperti perangkat IoT, sensor, atau gateway. Pendekatan ini mengurangi **latensi** (waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan dan menerima data), mengurangi beban pada **jaringan backbone**, dan mempercepat respons sistem. Dengan semakin berkembangnya aplikasi yang membutuhkan respons waktu nyata, seperti kendaraan otonom, aplikasi kesehatan real-time, dan sistem industri pintar, **edge computing** menjadi semakin penting (Afifi et al., 2024).

## 2. Big Data dan Jaringan

**Big data** mengacu pada volume besar, kecepatan tinggi, dan variasi data yang dihasilkan dari berbagai sumber, seperti media sosial, sensor IoT, transaksi online, dan banyak lagi. Dalam menghadapi **big data**, **mekanisme jaringan yang efisien** sangat dibutuhkan untuk memindahkan dan mengakses dataset besar yang disimpan di **pusat data** (data centers) dan di antara berbagai pusat data tersebut. Proses ini membutuhkan **bandwidth tinggi** dan **latensi rendah** untuk memastikan bahwa data dapat dipindahkan dengan cepat dan akurat.

Keterkaitan antara **big data** dan **jaringan** meliputi beberapa aspek kunci:

- **Kebutuhan bandwidth tinggi:** Transfer data besar memerlukan koneksi yang memiliki kapasitas lebih besar untuk menangani volume data yang tinggi. Tanpa bandwidth yang memadai, transfer data akan menjadi lambat, menyebabkan keterlambatan dalam pemrosesan dan pengambilan keputusan.
- **Optimasi routing dan penjadwalan untuk job analitik:** Big data membutuhkan mekanisme untuk menentukan jalur terbaik untuk mengirimkan data ke server atau perangkat yang tepat, sekaligus mengoptimalkan waktu yang dibutuhkan untuk memproses data. Routing yang efisien memastikan distribusi data yang tepat ke node yang tepat untuk analitik.
- **Penempatan data (data locality):** Untuk mengurangi transfer data yang tidak perlu, strategi penempatan data digunakan di mana data ditempatkan lebih dekat dengan pengguna atau aplikasi yang membutuhkan akses data tersebut. Hal ini dapat mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk mengakses dan memproses data serta mengurangi beban pada jaringan.

Penelitian dalam bidang **networking for big data** bertujuan untuk merancang dan mengonfigurasi infrastruktur jaringan yang dapat mendukung **workload big data** secara efisien. Ini melibatkan penggunaan **topologi jaringan khusus**, **traffic engineering**, dan integrasi dengan platform pemrosesan terdistribusi, seperti **Hadoop** dan **Spark**, yang digunakan untuk memproses data dalam skala besar secara terdistribusi di berbagai node atau cluster (Zave & Rexford, n.d.).

## 3. AI dan Jaringan

Interaksi antara **kecerdasan buatan (AI)** dan **jaringan** bersifat **dua arah**. Di satu sisi, jaringan digunakan untuk mendukung **pelatihan** dan **inferensi model AI**, baik dalam konteks **terpusat** (di cloud) maupun **terdistribusi** (di edge). Data yang dihasilkan oleh sensor atau perangkat IoT di jaringan dikirim ke server untuk dianalisis oleh model AI yang telah dilatih sebelumnya. AI dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas operasi jaringan dengan melakukan analisis yang lebih canggih dan otomatis, serta memberikan wawasan tentang perilaku lalu lintas atau serangan yang mungkin terjadi.

Di sisi lain, **machine learning (ML)** dan AI digunakan untuk mengoptimalkan pengelolaan dan operasi jaringan. Beberapa aplikasi ML di jaringan mencakup:

- a. **Prediksi trafik dan deteksi anomali:** Algoritma ML dapat digunakan untuk memprediksi pola lalu lintas jaringan di masa depan dan mendeteksi anomali yang menunjukkan potensi masalah, seperti serangan DDoS atau kegagalan perangkat jaringan.
- b. **Pengaturan parameter jaringan secara adaptif:** ML dapat digunakan untuk mengoptimalkan **alokasi sumber daya**, **kontrol kemacetan**, dan pengaturan kualitas layanan (QoS) berdasarkan analisis data jaringan secara real-time. Ini memungkinkan jaringan beradaptasi secara otomatis terhadap perubahan kondisi trafik.
- c. **Deteksi dan mitigasi serangan keamanan:** AI dan ML dapat diterapkan untuk mendeteksi serangan atau ancaman keamanan, seperti intrusi atau perangkat yang terinfeksi, serta memberikan respons otomatis untuk mengurangi dampaknya.
- d. **Otomatisasi operasi jaringan (self-optimizing networks):** Jaringan modern yang didukung oleh AI dapat mengoptimalkan dirinya sendiri, dengan kemampuan untuk mendeteksi masalah, mengonfigurasi ulang pengaturan, dan menyelesaikan masalah tanpa intervensi manusia (Afifi et al., 2024).

### **Autonomous Networks (AN)**

**Autonomous networks (AN)** merupakan konsep jaringan yang berkembang untuk menciptakan sistem yang mampu **mengonfigurasi, mengoptimalkan, dan memperbaiki dirinya sendiri** dengan bantuan **AI** dan **knowledge management**. Tujuan dari AN adalah untuk mengurangi ketergantungan pada intervensi manusia dalam mengelola jaringan, serta memungkinkan jaringan untuk beradaptasi dengan kebutuhan dan tantangan yang muncul secara otomatis. Dalam arsitektur AN, **knowledge management** berperan penting dalam mempelajari dan mengelola pengetahuan jaringan yang diperoleh dari berbagai **data heterogen**, yang kemudian digunakan untuk mempercepat respons terhadap masalah atau tugas jaringan serta mendukung adaptasi dinamis.

Arsitektur AN meliputi beberapa elemen penting, yaitu:

- a. **Modul pengumpulan dan penyimpanan pengetahuan:** Data tentang kondisi jaringan dikumpulkan dan disimpan untuk digunakan dalam proses pengambilan keputusan otomatis.
- b. **Fungsi inferensi dan pengambilan keputusan otomatis:** Dengan bantuan AI, jaringan dapat mengambil keputusan secara mandiri, seperti memperbaiki masalah atau mengoptimalkan konfigurasi.

- c. **Mekanisme umpan balik (feedback)** untuk pembelajaran berkelanjutan, di mana jaringan dapat belajar dari pengalaman sebelumnya dan meningkatkan kinerjanya seiring waktu.
- d. **Pertimbangan keamanan dalam pengelolaan pengetahuan:** Keamanan sangat penting dalam pengelolaan pengetahuan jaringan untuk mencegah kebocoran atau manipulasi data sensitif yang ada dalam jaringan (Afifi et al., 2024; ITU-T Technical Specification, 2024).

### Digital Twin Networks (DTN)

**Digital Twin Networks (DTN)** adalah konsep yang membawa ide **digital twin**—yang awalnya digunakan untuk mereplikasi objek fisik dalam bentuk digital—ke dalam domain jaringan. Dalam DTN, elemen-elemen **jaringan fisik** direpresentasikan secara digital untuk memungkinkan pemantauan, perencanaan, dan **optimasi** jaringan. Representasi digital ini menyediakan model yang dinamis dari jaringan yang dapat disinkronkan dengan kondisi jaringan fisik secara real-time. DTN memiliki beberapa keuntungan penting, termasuk:

- a. **Melakukan eksperimen dan pengujian konfigurasi tanpa mengganggu jaringan produksi:** Dengan memiliki representasi digital dari jaringan fisik, eksperimen dapat dilakukan tanpa risiko mengganggu operasi jaringan yang sedang berjalan.
- b. **Meningkatkan perencanaan kapasitas dan manajemen kegagalan:** DTN memungkinkan simulasi skenario untuk merencanakan kapasitas jaringan secara lebih baik dan mengantisipasi potensi kegagalan.
- c. **Mendukung otomatisasi dan layanan cerdas di atas jaringan:** Dengan pemahaman yang lebih baik tentang kondisi jaringan melalui DTN, otomatisasi dan layanan cerdas dapat diimplementasikan untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi operasional.

Namun, **tantangan privasi dan keamanan** menjadi isu penting dalam DTN karena representasi digital dari jaringan mengandung banyak informasi sensitif mengenai konfigurasi dan kondisi jaringan. Pengelolaan data dan akses yang tepat sangat penting untuk memastikan bahwa informasi ini tidak disalahgunakan (Zave & Rexford, n.d.).

### Keamanan, Privasi, dan Tata Kelola Jaringan Data

Dengan semakin kompleksnya jaringan yang mendukung layanan digital modern, tantangan terkait **keamanan** dan **privasi** juga semakin besar. Keamanan jaringan bertujuan untuk menjaga **kerahasiaan**, **integritas**, dan **ketersediaan** data serta layanan yang disediakan oleh jaringan. Teknik yang digunakan untuk mencapai ini termasuk penggunaan **protokol enkripsi** seperti **TLS/SSL** untuk komunikasi yang aman, **IPsec** untuk pengamanan di level IP, serta **otentikasi** dan **otorisasi** menggunakan sertifikat digital atau token.

Seiring dengan meningkatnya penggunaan **IoT**, **cloud computing**, dan **AI**, permukaan serangan jaringan semakin meluas, yang mengharuskan penerapan **monitoring cerdas** dan deteksi intrusi berbasis **machine learning**. Selain itu, desain arsitektur jaringan juga perlu mengadopsi prinsip **security by design**, yang mempertimbangkan keamanan sejak tahap perancangan (Permana et al., 2025; Suliman, 2023; Syahab et al., 2023; Varma & SH, 2024).

Di sisi lain, **privasi data** menjadi perhatian utama dalam pengumpulan dan pemrosesan data berskala besar, terutama dalam konteks **smart cities** dan **infrastruktur cerdas**. Masalah terkait **pemantauan** dan potensi penyalahgunaan data oleh negara atau perusahaan menuntut adanya

regulasi dan standar internasional untuk melindungi hak privasi individu, seperti yang tercantum dalam **GDPR** dan regulasi serupa (Afifi et al., 2024).

### **Perkembangan Terkini dan Tantangan**

Arsitektur Internet terus berkembang dengan cara yang modular dan adaptif untuk mendukung teknologi baru seperti **AI**, **5G**, dan **big data**. Model-model arsitektur baru yang lebih presisi dapat membantu membandingkan desain jaringan dan memandu evolusi layanan dan praktik keamanan di masa depan (Luntovskyy, 2023).

Tren konvergensi antara jaringan generasi berikutnya dan aplikasi **AI** membawa tantangan terkait **keberlanjutan energi**, serta bagaimana merancang arsitektur yang mendukung **edge AI** dan **federated learning** dengan aman (Luntovskyy, 2023; Sai et al., 2024).

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **1. Peran Jaringan Data dalam Ekonomi Digital**

Jaringan data adalah komponen fundamental dalam mendukung berbagai aplikasi teknologi digital yang mengubah cara kita berinteraksi dengan dunia, baik dalam konteks bisnis, pendidikan, maupun pemerintahan. Jaringan ini menyediakan infrastruktur yang memungkinkan distribusi data secara global dan real-time, yang sangat penting dalam memenuhi kebutuhan komunikasi dan akses informasi yang semakin berkembang.

- a. **Komputasi Awan (Cloud Computing):** Jaringan data memungkinkan komputasi awan yang menyediakan layanan infrastruktur, platform, dan perangkat lunak secara virtual melalui internet. Cloud computing memungkinkan organisasi dan individu untuk menyimpan, mengelola, dan memproses data secara efisien tanpa harus mengelola perangkat keras fisik secara langsung. Infrastruktur jaringan yang cepat dan dapat diandalkan adalah kunci untuk memastikan aplikasi cloud dapat diakses dengan lancar, baik untuk kebutuhan bisnis, pendidikan, maupun pemerintahan.
- b. **Internet of Things (IoT):** Jaringan data juga mendukung pertumbuhan pesat Internet of Things (IoT), yang menghubungkan berbagai perangkat pintar untuk saling berbagi data dan berinteraksi. Dalam IoT, jaringan berperan penting dalam menghubungkan jutaan perangkat dan memungkinkan pertukaran informasi secara real-time untuk berbagai aplikasi seperti smart homes, industri 4.0, dan kendaraan otonom.
- c. **Big Data dan Kecerdasan Buatan (AI):** Data yang dihasilkan oleh berbagai perangkat dan aplikasi membutuhkan jaringan yang efisien untuk memindahkan dan mengakses dataset besar dengan cepat. Dalam konteks big data, jaringan memainkan peran penting dalam mengelola aliran data yang sangat besar, memungkinkan penyimpanan dan pemrosesan data di pusat data (data centers) atau di lokasi yang lebih dekat dengan pengguna, seperti yang dilakukan dalam edge computing. Infrastruktur jaringan yang kuat juga mendukung penggunaan **kecerdasan buatan (AI)** yang mengandalkan analisis data besar untuk mempelajari pola, membuat keputusan otomatis, dan meningkatkan efisiensi operasional di berbagai sektor.

### **2. Keamanan dan Privasi dalam Jaringan**

Seiring dengan berkembangnya teknologi, isu **keamanan** dan **privasi** dalam jaringan data semakin mendominasi, mengingat tingginya volume dan sensitivitas data yang diproses dan ditransmisikan. Keamanan jaringan menjadi lebih krusial untuk melindungi data dari ancaman serangan yang semakin canggih dan tersebar, terutama dengan semakin banyaknya perangkat yang terhubung dalam jaringan seperti **IoT** dan **komputasi awan**.

- a. **Keamanan Jaringan:** Serangan terhadap jaringan dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk serangan DDoS (Distributed Denial of Service), malware, dan intrusi jaringan lainnya. Untuk melindungi data dan infrastruktur jaringan, berbagai protokol keamanan digunakan, seperti:
  - 1) **IPsec (Internet Protocol Security):** Protokol ini digunakan untuk mengamankan komunikasi data pada level IP dengan cara mengenkripsi paket-paket data yang dikirimkan antara dua pihak.
  - 2) **SSL/TLS (Secure Sockets Layer/Transport Layer Security):** SSL/TLS adalah protokol yang digunakan untuk mengamankan komunikasi data di layer aplikasi, seperti pada transaksi e-commerce, layanan perbankan online, dan pengiriman email.
  - 3) **Penggunaan AI dalam Deteksi Anomali dan Serangan:** Kecerdasan buatan (AI) digunakan untuk mendeteksi pola-pola yang tidak biasa dalam lalu lintas jaringan, yang bisa mengindikasikan adanya serangan atau pelanggaran keamanan. Teknologi **machine learning (ML)** memungkinkan sistem untuk belajar dari data sebelumnya dan mengidentifikasi potensi ancaman dengan lebih efektif.
- b. **Privasi Data:** Pengumpulan, penyimpanan, dan pemrosesan data pribadi dalam jaringan menimbulkan kekhawatiran mengenai **privasi** pengguna. Isu utama yang muncul dalam konteks privasi meliputi:
  - 1) **Pemantauan dan Penyalahgunaan Data:** Ada kekhawatiran bahwa data pribadi pengguna dapat dimanfaatkan oleh negara atau perusahaan tanpa izin yang jelas, yang dapat merugikan privasi individu.
  - 2) **Kekurangan Transparansi:** Kurangnya transparansi mengenai siapa yang mengakses data dan untuk tujuan apa, seringkali menyebabkan ketidakpercayaan terhadap organisasi yang mengelola data.
  - 3) **Regulasi dan Standar Privasi:** Regulasi seperti **GDPR (General Data Protection Regulation)** di Eropa dan standar internasional lainnya diperlukan untuk melindungi hak privasi pengguna. Perusahaan dan organisasi harus memastikan bahwa mereka mengimplementasikan kebijakan yang jelas dan mematuhi standar untuk melindungi data pribadi.

### **3. Integrasi AI dan Digital Twin Networks**

Konsep **AI** dan **Digital Twin Networks (DTN)** menjadi semakin relevan dalam konteks jaringan data, mendukung otomatisasi dan optimasi operasional jaringan dengan cara yang lebih efisien dan responsif.

- a. **Autonomous Networks: Autonomous Networks (AN)** merujuk pada jaringan yang dapat mengonfigurasi, mengoptimalkan, dan memperbaiki dirinya sendiri dengan menggunakan kecerdasan buatan (AI) dan **knowledge management**. Dalam konsep AN, jaringan tidak lagi sepenuhnya bergantung pada intervensi manusia dalam pengelolaan dan pemeliharannya. Sebaliknya, AI digunakan untuk belajar dari data yang dihasilkan oleh jaringan dan membuat keputusan secara otomatis berdasarkan pola yang ditemukan. Ini memungkinkan pengelolaan jaringan yang lebih cepat dan lebih efisien, termasuk deteksi dan pemulihan otomatis dari kegagalan jaringan .
  - 1) Arsitektur AN melibatkan modul **pengumpulan dan penyimpanan pengetahuan**, fungsi **inferensi dan pengambilan keputusan otomatis**, serta mekanisme **umpan balik (feedback)** untuk pembelajaran berkelanjutan. Selain itu, dalam AN, **keamanan** juga diperhatikan dengan memastikan bahwa data yang digunakan dalam proses pembelajaran tidak disalahgunakan.
- b. **Digital Twin Networks: Digital Twin Networks (DTN)** merupakan penerapan konsep **digital twin** dalam domain jaringan, yaitu representasi digital dari elemen-elemen jaringan fisik yang digunakan untuk pemantauan, perencanaan, dan optimasi. Dengan menggunakan **simulasi** dan **sinkronisasi data real-time**, DTN memungkinkan pengujian dan eksperimen terhadap konfigurasi jaringan tanpa mengganggu operasi jaringan yang sebenarnya.
  - 1) DTN membuka peluang untuk meningkatkan perencanaan kapasitas jaringan, mengelola kegagalan dengan lebih baik, dan mendukung otomatisasi serta layanan cerdas. Namun, tantangan yang dihadapi termasuk masalah **privasi** dan **keamanan**, karena DTN berisi data detail tentang kondisi dan konfigurasi jaringan yang sangat sensitif, yang dapat menjadi target serangan jika tidak dikelola dengan baik.

#### 4. Evolusi Arsitektur Internet dan Teknologi Jaringan Baru

Arsitektur **Internet** dan **teknologi jaringan** terus berkembang, beradaptasi dengan tuntutan aplikasi-aplikasi baru yang lebih kompleks. Meskipun ada kritik yang menyebutkan bahwa Internet telah "membeku" (ossified), banyak bukti yang menunjukkan bahwa arsitektur Internet tetap mengalami perubahan, terutama dalam cara jaringan disusun dan dikelola.

- a. **Arsitektur Modular Internet:** Internet modern sekarang lebih modular, dengan penambahan layer baru, **overlay networks**, dan teknik lainnya seperti **bridging** dan **segmentasi** yang meningkatkan kapasitas dan fleksibilitas jaringan. Konsep ini memungkinkan penyesuaian dan evolusi arsitektur tanpa harus merombak seluruh infrastruktur yang ada (Indah & Manuaba, 2019; Ishaq et al., 2025).
- b. **Penggunaan Jaringan Satelit dan 5G:** Dengan adanya teknologi baru seperti **5G** dan **jaringan satelit** (seperti **Starlink**), kemampuan jaringan untuk mendukung aplikasi canggih seperti **AI** dan **IoT** semakin berkembang. Teknologi ini memungkinkan kecepatan tinggi dan latensi rendah, yang sangat penting untuk aplikasi yang membutuhkan komunikasi real-time, seperti kendaraan otonom, robotika, dan aplikasi medis jarak jauh (Febrianti et al., 2025; Ricardo BP, 2023).

## KESIMPULAN

Makalah ini menunjukkan betapa pentingnya jaringan data dan informasi dalam mendukung perkembangan ekonomi digital dan berbagai aplikasi teknologi modern seperti cloud computing, IoT, AI, dan big data. Arsitektur jaringan yang modular, serta kemajuan dalam teknologi seperti 5G, AI, dan Digital Twin Networks, menunjukkan bahwa jaringan akan terus berkembang dan memainkan peran sentral dalam transformasi digital yang semakin cepat.

Namun, tantangan terkait keamanan, privasi, dan pengelolaan jaringan masih harus dihadapi dengan pendekatan yang cermat dan etis, terutama terkait dengan perlindungan data sensitif dan infrastruktur jaringan yang semakin kompleks. Dalam konteks ini, pemahaman mendalam tentang arsitektur jaringan dan teknologi yang mendukungnya sangat penting bagi para peneliti, praktisi, dan pengambil keputusan yang berfokus pada pengembangan infrastruktur digital yang aman, efisien, dan berkelanjutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afifi, H., Pochaba, S., Boltres, A., Laniewski, D., Haberer, J., Paeleke, L., Poorzare, R., Stolpmann, D., Wehner, N., Redder, A., Samikwa, E., & Seufert, M. (2024). Machine Learning With Computer Networks: Techniques, Datasets, and Models. *IEEE Access*, 12, 54673–54720. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3384460>
- Ardiansyah, W. M. (2023). Peran teknologi dalam transformasi ekonomi dan bisnis di era digital. *JMEB Jurnal Manajemen Ekonomi & Bisnis*, 1(1), 12–16.
- Aulia, B. W., Rizki, M., Prindiyana, P., & Surgana, S. (2023). Peran krusial jaringan komputer dan basis data dalam era digital. *Jurnal Sistem Informasi Dan Teknologi Informasi*, 1(1), 9–20.
- Cholik, C. A. (2021). Perkembangan Teknologi Informasi Komunikasi/ICT dalam Berbagai Bidang. *Jurnal Fakultas Teknik Kuningan*, 2(2), 39–46.
- Febrianti, R. A., Afif, A. Z., Safaraz, D. A., Siti, A., & Febriyanti, D. (2025). Revolusi Teknologi dalam Arsitektur Komputer: Tantangan dan peluang di Era Digital. *Kohesi: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 9(6), 111–120.
- Huawei Technologies Co., Ltd. (2023). Data Communications and Network Technologies. In *Data Communications and Network Technologies*. Springer Nature Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-19-3029-4>
- Indah, K. A. T., & Manuaba, I. B. P. (2019). Arsitektur Jaringan LTE (Long Term Evolution) Untuk Mengatasi Backhaul Connection Wifi Pada Rural Area Dengan Teknologi Fourth Generation (4G). *Just TI (Jurnal Sains Terapan Teknologi Informasi)*, 10(2), 24.
- Ishaq, A. M., Hanif, I. F., Nugroho, M. R., & Putra, N. A. (2025). Evolusi dan Tantangan Sistem Enterprise Terdistribusi di Era Modern: Perspektif Teknologi dan Arsitektur Pasca-2020. *Kohesi: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 8(12), 121–130.
- Lopes, C. (2025). *The Fascinating World of Computer Networks: Connecting the Digital World*. <https://doi.org/10.35248/0976-4860.25.16.325>

- Parenreng, M. M., Janna, N., Jariyah, A., Muzakkir, I., Furqan, A. A., Hamdianah, A., Indasari, S. S., Syaharuddin, A. Z., Irsan, M., & Amiruddin, M. R. K. (2025). *Pengantar teknologi informasi*. CV. Sakura Digital Nusantara.
- Permana, Y. P., Kom, S., & Kom, M. (2025). *Kecerdasan Buatan: Mengubah Dunia dengan Teknologi*. Mega Press Nusantara.
- Putri, A., & Simatupang, A. (2023). Perkembangan Teknologi Komunikasi dan Informasi: Akar Revolusi dan Berbagai Standarnya. *Dawatuna: Journal of Communication and Islamic Broadcasting*, 3(2), 330–337. <https://doi.org/10.47476/dawatuna.v3i2.2460>
- Ricardo BP, R. (2023). Peran Teknologi Informasi Dalam Perkembangan Arsitektur Digital. *JoDA Journal of Digital Architecture*, 3(1), 3–8.
- Suliman, A. H. (2023). *Analisis Keamanan Protokol Kriptografi SSL/TLS dengan Algoritma ECC pada Layanan Transaksi Online pada E-Commerce*.
- Syhab, A. S., Ujianto, E. I. H., & Rianto, R. (2023). Penggunaan Wireshark dan Nessus untuk Analisis SSL/TLS pada Keamanan Data Pengguna Website. *JIKA (Jurnal Informatika)*, 7(2), 183–192.
- Varma, A. D., & SH, M. (2024). *Kecerdasan Buatan (AI) Dan Hukum Di Masa Depan: Sebuah Pengantar*. Deepublish.
- Wardiana, W. (2002). *Perkembangan teknologi informasi di Indonesia*.
- Widyaningrum, R., & Nugroho, H. (2020). IoT-based remote patient monitoring. *Journal of Health Informatics*, 12(4), 210–225.