

# Integrasi WSN dan IoT Untuk Sistem Monitoring Rumah Cerdas Berbasis MQTT

Imam <sup>1)\*</sup> , Muhammad Nabil Zamzami <sup>2)</sup> 

<sup>1)2) Universitas Madura, Madura, Jawa Timur</sup>

<sup>1)</sup> [imamdhespachito001@gmail.com](mailto:imamdhespachito001@gmail.com), <sup>2)</sup> [muhammadnabilzamzami@gmail.com](mailto:muhammadnabilzamzami@gmail.com)

## Abstract

Perkembangan teknologi digital pada era Revolusi Industri 4.0 dan Society 5.0 mendorong integrasi antara sistem fisik dan siber melalui Internet of Things (IoT). Dalam konteks rumah tangga, IoT memungkinkan pengembangan rumah cerdas (smart home) yang dapat memonitor dan mengendalikan perangkat secara otomatis. Namun, tantangan utama mencakup efisiensi komunikasi, konsumsi energi, serta keamanan data dalam lingkungan dengan banyak perangkat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis implementasi integrasi Wireless Sensor Network (WSN) dan IoT berbasis protokol MQTT dalam sistem monitoring rumah cerdas, serta mengevaluasi efisiensi komunikasi, keamanan, dan optimalisasi energi. Metode yang digunakan adalah studi literatur dan analisis sistem dengan pendekatan comparative analysis. Data dikumpulkan dari jurnal ilmiah, buku, dan laporan penelitian terkait WSN, IoT, dan MQTT. Tahapan penelitian meliputi identifikasi masalah, kajian literatur, analisis integrasi sistem, perancangan arsitektur, dan evaluasi berdasarkan parameter efisiensi, kecepatan, keamanan, dan skalabilitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi WSN dan IoT menggunakan protokol MQTT meningkatkan efisiensi transmisi data hingga 28% dibandingkan sistem IoT tunggal. Latensi komunikasi rata-rata tercatat 0,8 detik untuk 10 node WSN, lebih cepat 40% dibandingkan REST API. Implementasi autentikasi ganda, enkripsi end-to-end, dan firewall filtering memperkuat keamanan sistem hingga skor 90%. Sistem berbasis Node-RED dan Home Assistant memungkinkan pemantauan dan pengendalian perangkat secara real-time serta mendukung efisiensi energi rumah tangga. Integrasi WSN-IoT-MQTT terbukti efektif untuk membangun rumah cerdas yang efisien, aman, dan hemat energi. Penelitian ini memberikan dasar bagi pengembangan ekosistem digital berkelanjutan dan smart city. Penelitian selanjutnya dapat mengeksplorasi integrasi AI, LoRaWAN, dan komputasi pervasif untuk meningkatkan skalabilitas dan kemampuan prediktif sistem.

**Kata Kunci:** Internet of Things, Wireless Sensor Network, MQTT, rumah cerdas, efisiensi energi, keamanan jaringan

**Article History :** Received 5 April 2025, first decision 22 April 2025, accepted 22 August 2025, available online 28 October 2025

## I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital pada era Revolusi Industri 4.0 dan Society 5.0 telah menciptakan transformasi besar dalam kehidupan manusia, di mana sistem fisik dan siber saling berintegrasi untuk menghasilkan efisiensi dan otomatisasi yang tinggi [1]. Integrasi ini tidak hanya berdampak pada sektor industri dan bisnis, tetapi juga merambah hingga ke ranah domestik melalui konsep *Internet of Things* (IoT). IoT merupakan paradigma yang memungkinkan berbagai perangkat fisik seperti sensor, aktuator, dan peralatan rumah tangga untuk saling berkomunikasi dan bertukar data melalui jaringan internet tanpa intervensi manusia secara langsung [2]. Dengan adanya kemampuan komunikasi ini, perangkat di rumah dapat diatur, dipantau, dan dikendalikan dari jarak jauh menggunakan sistem komputasi cerdas [3]. Konsep rumah cerdas atau smart home kemudian lahir dari penerapan IoT dalam konteks rumah tangga. Smart home memungkinkan penghuni rumah untuk memanfaatkan teknologi digital dalam mengelola perangkat rumah tangga seperti lampu, kunci pintu, pendingin ruangan, dan kamera keamanan dengan lebih efisien dan responsif. Sistem ini juga mendukung efisiensi energi karena dapat menyesuaikan penggunaan listrik berdasarkan aktivitas pengguna dan kondisi lingkungan sekitar [4]. Misalnya, sensor suhu dan kelembapan dapat mengatur pendingin ruangan secara otomatis, sementara sistem keamanan dapat mendeteksi aktivitas mencurigakan dan memberikan notifikasi melalui aplikasi ponsel pintar [5].

Namun, agar sistem rumah cerdas dapat berjalan dengan stabil dan akurat, dibutuhkan infrastruktur komunikasi yang memiliki efisiensi tinggi dan latensi rendah. Salah satu protokol komunikasi yang paling banyak digunakan dalam implementasi IoT modern adalah MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*). Protokol ini dirancang untuk mendukung komunikasi ringan (*lightweight protocol*) dengan kebutuhan bandwidth rendah dan efisiensi daya tinggi, sehingga ideal untuk perangkat yang memiliki keterbatasan sumber daya seperti node sensor [6]. MQTT menggunakan

---

\* Imam

arsitektur publish-subscribe di mana data dikirim oleh publisher ke broker, dan kemudian didistribusikan kepada *subscriber* yang membutuhkan data tersebut [7]. Pola ini memberikan fleksibilitas dan skalabilitas tinggi dalam

pengelolaan komunikasi antarperangkat di jaringan rumah cerdas. Selain protokol komunikasi, teknologi lain yang berperan penting adalah *Wireless Sensor Network* (WSN). WSN merupakan jaringan nirkabel yang terdiri dari beberapa node sensor yang berfungsi untuk mengumpulkan, memproses, dan mentransmisikan data dari lingkungan sekitar ke pusat kendali [8][9]. Setiap node pada WSN dilengkapi dengan sensor, prosesor, dan modul komunikasi nirkabel sehingga mampu bekerja secara mandiri dan kolaboratif. Dalam sistem rumah cerdas, WSN digunakan untuk memantau berbagai parameter lingkungan seperti suhu ruangan, intensitas cahaya, kelembapan, hingga keberadaan manusia [10].

Integrasi antara WSN dan IoT melalui protokol MQTT menciptakan sebuah arsitektur sistem monitoring rumah cerdas yang efisien dan responsif. Sistem ini memungkinkan data dari node sensor dikirimkan secara real-time ke broker MQTT, kemudian diteruskan ke server pusat atau aplikasi pengguna untuk ditampilkan dalam bentuk informasi yang mudah dipahami [11]. Dengan mekanisme tersebut, pengguna dapat memantau kondisi rumah kapan pun dan di mana pun, serta melakukan tindakan otomatis seperti menyalakan alarm, mengunci pintu, atau menonaktifkan perangkat tertentu berdasarkan data sensor yang diterima. Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan efektivitas pendekatan ini. Penggunaan MQTT pada sistem IoT dapat mengurangi latensi komunikasi hingga 35% dibandingkan dengan HTTP, sekaligus menurunkan konsumsi daya hingga 20% pada node sensor. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa integrasi WSN dan IoT dengan MQTT memberikan peningkatan efisiensi transmisi data dan kestabilan jaringan pada lingkungan rumah yang memiliki banyak perangkat. Selain itu, penerapan sistem keamanan berbasis IoT dengan MQTT terbukti mampu mendeteksi anomali jaringan dan serangan siber seperti denial of service lebih cepat dibandingkan sistem tradisional [12].

Meskipun demikian, tantangan dalam penerapan sistem monitoring rumah berbasis WSN dan IoT masih cukup kompleks. Tantangan tersebut meliputi keamanan data, efisiensi transmisi, konsumsi daya node sensor, serta kestabilan koneksi nirkabel pada area dengan interferensi tinggi [13][14]. Selain itu, peningkatan jumlah perangkat IoT di dalam rumah juga menimbulkan permasalahan terkait data congestion dan scalability sistem. Oleh karena itu, perlu dilakukan rancangan sistem yang memperhatikan efisiensi jaringan, optimalisasi protokol MQTT, serta pengelolaan energi pada WSN agar sistem dapat beroperasi dengan baik dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji secara mendalam bagaimana integrasi antara *Wireless Sensor Network* (WSN) dan *Internet of Things* (IoT) berbasis protokol MQTT dapat diterapkan untuk membangun sistem monitoring rumah cerdas yang efisien, aman, dan real-time. Penelitian ini juga menganalisis kinerja sistem dari aspek efisiensi transmisi data, reliabilitas jaringan, serta tingkat keamanan komunikasi antarperangkat. Diharapkan hasil kajian ini dapat memberikan kontribusi ilmiah dan praktis dalam pengembangan teknologi rumah cerdas yang lebih adaptif terhadap kebutuhan pengguna dan perkembangan teknologi masa depan..

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. *Internet of Things* (IoT) dan *Smart Home*

*Internet of Things* (IoT) merupakan paradigma teknologi yang memungkinkan berbagai perangkat fisik untuk saling terhubung melalui jaringan internet dan bertukar data tanpa intervensi manusia secara langsung [15]. IoT menjadi fondasi utama bagi pengembangan sistem rumah cerdas (*smart home*), di mana setiap perangkat seperti lampu, kamera, kunci pintu, pendingin ruangan, dan sensor lingkungan dapat dikendalikan secara otomatis maupun jarak jauh menggunakan aplikasi digital [16]. Teknologi ini menjadi solusi cerdas untuk kehidupan modern karena mampu meningkatkan efisiensi energi, keamanan, dan kenyamanan penghuni [17]. Konsep smart home menekankan pada interkoneksi antarperangkat yang beroperasi secara sinkron melalui sensor dan aktuator. Menurut penelitian, sistem rumah cerdas dibangun dengan prinsip automation, sensing, dan control, di mana sensor mendeteksi kondisi lingkungan, kemudian data dikirimkan melalui jaringan IoT untuk diproses oleh sistem pengendali. Lagan dan Ary (2021) dalam penelitiannya mengenai sistem kendali pintu berbasis perintah suara (*voice command*) menunjukkan bahwa IoT memungkinkan interaksi manusia dan mesin menjadi lebih intuitif melalui integrasi *speech recognition* dan *microcontroller* seperti ESP32 [18].

Dalam beberapa penelitian terbaru, IoT juga dikombinasikan dengan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence* atau AI) dan machine learning untuk meningkatkan kemampuan adaptif rumah cerdas. Sistem berbasis IoT yang dilengkapi AI dapat mempelajari pola perilaku penghuni untuk melakukan otomatisasi yang lebih efisien, seperti menyesuaikan suhu ruangan, menyalakan lampu secara otomatis, atau mengunci pintu ketika penghuni meninggalkan rumah. Dengan demikian, integrasi IoT tidak hanya menghadirkan otomatisasi, tetapi juga context awareness kemampuan sistem untuk merespons kondisi lingkungan dan kebiasaan pengguna secara cerdas [19]. Selain itu, penerapan IoT dalam smart

home juga berdampak pada efisiensi energi dan pengelolaan sumber daya. Sistem manajemen energi berbasis IoT dapat memonitor konsumsi listrik dan mengatur prioritas penggunaan energi rumah tangga secara real-time [20][21]. Hal ini menunjukkan bahwa *smart home* tidak hanya berfokus pada kenyamanan pengguna, tetapi juga pada aspek keberlanjutan (*sustainability*) dan efisiensi energi.

#### B. *Wireless Sensor Network* (WSN)

*Wireless Sensor Network* (WSN) merupakan jaringan sensor nirkabel yang terdiri dari sejumlah node sensor yang berfungsi untuk mendeteksi, mengukur, dan mengirimkan data lingkungan secara nirkabel ke pusat kendali [22]. Setiap node sensor dalam WSN umumnya dilengkapi dengan modul sensor, prosesor, dan modul komunikasi seperti ZigBee, LoRa, atau Wi-Fi untuk mentransmisikan data ke *gateway* utama. Dalam sistem smart home, WSN berperan penting dalam pengumpulan data lingkungan seperti suhu, kelembapan, intensitas cahaya, gerakan manusia, serta kualitas udara [23]. Integrasi WSN dalam sistem rumah cerdas memberikan efisiensi komunikasi dan fleksibilitas instalasi karena tidak memerlukan kabel fisik antarperangkat. Sistem yang mengombinasikan WSN berbasis ZigBee dan protokol MQTT untuk menciptakan sistem otomasi rumah yang efisien dan hemat energi. Selain ZigBee, teknologi LoRa dan LoRaWAN juga mulai banyak diadopsi untuk komunikasi jarak jauh berdaya rendah pada sistem IoT [24]. LoRa memiliki jangkauan hingga 15 km dengan konsumsi daya minimal, sehingga cocok untuk sistem monitoring yang mencakup area luas, seperti keamanan perimeter rumah atau pemantauan lingkungan luar [25].

Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa WSN dapat dioptimalkan menggunakan teknik multi-hop routing untuk meningkatkan keandalan transmisi data antar-node. Misalnya, penggunaan *energy-aware routing protocol* pada WSN dapat memperpanjang umur jaringan hingga 27% lebih lama dibandingkan metode konvensional. Selain itu, optimalisasi daya pada node sensor juga dapat dicapai dengan memanfaatkan sleep scheduling dan adaptive sampling, yang memungkinkan sensor hanya aktif saat diperlukan [26]. Dari segi integrasi, WSN berfungsi sebagai tulang punggung sistem smart home karena data sensor yang dihasilkan menjadi sumber utama pengambilan keputusan otomatis oleh sistem IoT. Ketika dihubungkan ke broker MQTT, WSN memungkinkan pengiriman data sensor secara cepat dan efisien, mendukung pengendalian *real-time* terhadap perangkat rumah tangga seperti sistem penerangan dan pendingin ruangan [27].

#### C. Protokol MQTT

*Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) merupakan protokol komunikasi ringan yang dikembangkan oleh IBM untuk mendukung transmisi data antarperangkat dengan keterbatasan daya dan *bandwidth* [28]. MQTT beroperasi menggunakan model publish-subscribe di mana setiap node dapat berperan sebagai publisher yang mengirim data ke broker, dan *subscriber* yang menerima data sesuai topik yang diinginkan. Struktur ini memberikan skalabilitas tinggi karena perangkat tidak perlu terhubung langsung satu sama lain, melainkan berkomunikasi melalui perantara broker. Keunggulan utama MQTT dibandingkan protokol lain seperti HTTP dan *WebSocket* adalah efisiensi dan latensi rendah. Penggunaan MQTT dalam sistem IoT menghasilkan waktu respons 40% lebih cepat dibandingkan *WebSocket* dalam kondisi jaringan tidak stabil. Selain itu, MQTT menggunakan mekanisme *Quality of Service* (QoS) yang memberikan tiga tingkat jaminan pengiriman data, yakni *at most once* (QoS 0), *at least once* (QoS 1), dan *exactly once* (QoS 2), sehingga dapat disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi rumah cerdas yang memerlukan reliabilitas tinggi [29]. MQTT dapat diintegrasikan dengan serverless functions dan cellular IoT untuk meningkatkan skalabilitas dan kinerja sistem dalam skenario dengan jumlah node besar [30]. Sementara itu, penelitian lain membuktikan bahwa jaringan berbasis ESP-NOW dengan MQTT mampu mendukung komunikasi yang cepat dan aman untuk sistem otomasi rumah [31]. Dengan dukungan arsitektur terbuka dan kompatibilitas dengan berbagai perangkat IoT, MQTT menjadi pilihan utama dalam implementasi sistem smart home modern.

#### D. Keamanan Jaringan dan Infrastruktur IoT

Aspek keamanan jaringan menjadi salah satu isu krusial dalam penerapan IoT, terutama pada sistem rumah cerdas yang melibatkan data pribadi pengguna. Kerentanan keamanan sering muncul pada lapisan komunikasi, autentikasi, dan manajemen akses perangkat. Untuk mengatasi hal ini, perlu diterapkan metode enkripsi dan autentikasi berlapis pada setiap perangkat yang terhubung ke jaringan [32]. Penerapan firewall filtering dan port knocking pada router Mikrotik efektif untuk mencegah akses ilegal terhadap sistem IoT rumah [33]. Selain itu, penggunaan *Transport Layer Security* (TLS) pada komunikasi MQTT juga dapat melindungi integritas dan kerahasiaan data antarperangkat. Beberapa studi terbaru bahkan menggabungkan teknik *public key infrastructure* (PKI) dan mutual authentication untuk memastikan komunikasi hanya terjadi antara perangkat yang terverifikasi [34]. Dalam konteks infrastruktur, penerapan edge computing juga dianggap mampu meningkatkan keamanan dan keandalan sistem IoT. Pemrosesan data di edge node dapat mengurangi risiko serangan jaringan dan keterlambatan komunikasi karena sebagian besar data tidak perlu dikirim ke server pusat. Pendekatan ini juga membantu menghemat bandwidth dan meningkatkan privasi pengguna dalam sistem rumah cerdas [35][36].

#### E. Implementasi IoT dalam Efisiensi Energi

Selain aspek otomasi dan keamanan, salah satu manfaat utama IoT adalah efisiensi energi. Penggunaan sensor pintar dan sistem pemantauan energi berbasis IoT memungkinkan pengguna memantau konsumsi listrik secara real-time serta mengidentifikasi perangkat dengan penggunaan energi berlebih [37]. Penerapan sensor IoT dalam pemantauan tanaman indoor juga dapat diadaptasi untuk mengatur kelembapan dan pencahayaan ruangan rumah secara otomatis guna menghemat energi [38]. Penelitian lain oleh Prasetyo menegaskan bahwa sistem IoT dengan algoritma optimasi energi dapat menurunkan konsumsi listrik hingga 25% tanpa mengurangi kenyamanan pengguna. Integrasi sistem pemantauan energi dengan WSN memungkinkan distribusi informasi yang lebih cepat dan efisien ke perangkat pengendali, seperti smart plug dan smart lighting system [39]. Dengan demikian, implementasi IoT tidak hanya mengarah pada otomasi rumah, tetapi juga mendukung pembangunan berkelanjutan (*sustainable living*) dengan menekan konsumsi energi, meningkatkan kesadaran pengguna terhadap pola penggunaan listrik, serta mengurangi jejak karbon dari aktivitas rumah tangga.

### III. METODE

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur (*library research*) yang dipadukan dengan pendekatan *comparative analysis* dan *design and system analysis*. Tujuannya adalah untuk menganalisis, membandingkan, dan merancang model sistem rumah cerdas (*smart home*) berbasis *Wireless Sensor Network* (WSN), *Internet of Things* (IoT), dan *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT). Pendekatan ini dipilih karena sesuai untuk menganalisis arsitektur teknologi tanpa melakukan implementasi langsung di lapangan, namun tetap menghasilkan rancangan konseptual dan evaluasi sistem yang mendalam berdasarkan hasil-hasil penelitian sebelumnya [40].

#### A. Identifikasi Masalah

Tahap pertama adalah identifikasi masalah yang menjadi dasar penelitian ini. Permasalahan utama yang ditemukan ialah keterbatasan sistem monitoring rumah konvensional yang masih bergantung pada kontrol manual dan komunikasi berbasis jaringan lokal. Sistem semacam ini tidak hanya kurang efisien dari segi waktu dan energi, tetapi juga memiliki risiko keamanan yang tinggi akibat tidak adanya lapisan proteksi pada proses transmisi data.

Selain itu, banyak sistem otomasi rumah yang masih menggunakan protokol komunikasi berat seperti HTTP dan WebSocket yang memerlukan bandwidth besar serta konsumsi daya tinggi. Kondisi ini tidak sesuai untuk perangkat IoT dengan sumber daya terbatas. Beberapa penelitian memperlihatkan bahwa penggunaan protokol yang ringan seperti MQTT mampu mengatasi keterbatasan tersebut, baik dari aspek efisiensi maupun keamanan. Dengan demikian, identifikasi masalah difokuskan pada tiga aspek : [41],[42]

1. Efisiensi komunikasi antarperangkat dalam jaringan rumah.
2. Keamanan data dan autentikasi pengguna dalam sistem IoT.
3. Skalabilitas dan fleksibilitas arsitektur rumah cerdas berbasis WSN.

#### B. Kajian Literatur

Tahapan kedua adalah pengumpulan dan analisis literatur ilmiah yang relevan. Sumber data terdiri atas jurnal internasional bereputasi, buku referensi teknologi, laporan penelitian, dan prosiding konferensi antara tahun 2018–2025. Kajian dilakukan terhadap penelitian yang berfokus pada integrasi IoT, WSN, dan MQTT dalam konteks otomasi rumah dan sistem monitoring. Setiap sumber dianalisis berdasarkan konteks penerapan, keunggulan, keterbatasan, serta relevansinya terhadap pengembangan arsitektur rumah cerdas. Dari hasil telaah tersebut, diperoleh kesimpulan bahwa integrasi MQTT-WSN-IoT memberikan kombinasi optimal antara efisiensi komunikasi, keamanan data, dan konsumsi daya rendah [43].

#### C. Analisis Integrasi Sistem

Tahap ini merupakan inti dari proses penelitian, yaitu melakukan analisis perbandingan (*comparative analysis*) antara dua arsitektur utama komunikasi IoT [44] :

1. Model berbasis WebSocket, dan
2. Model berbasis MQTT.

Perbandingan dilakukan berdasarkan empat parameter utama: efisiensi komunikasi, latensi data, keamanan transmisi, dan skalabilitas sistem.

MQTT memiliki keunggulan hingga 35% dalam efisiensi bandwidth dibandingkan WebSocket, dengan latensi yang lebih rendah terutama pada perangkat berbasis ESP8266 dan ESP32. Sementara itu, MQTT memiliki skalabilitas lebih baik saat dikombinasikan dengan arsitektur serverless, yang memungkinkan sistem untuk berkembang tanpa penurunan performa signifikan [45],[46].

Analisis integrasi juga mencakup pemetaan hubungan antara node sensor WSN dengan broker MQTT. Sensor berperan sebagai pengirim data (*publisher*) sedangkan node penerima seperti smartphone atau dashboard monitoring bertindak sebagai *subscriber*. Data yang dikirim melalui broker MQTT disalurkan dengan sistem *publish-subscribe*

sehingga tidak terjadi overload pada jaringan, menjadikannya lebih efisien daripada model client-server tradisional [47],[48].

#### D. Perancangan Arsitektur Sistem

Tahapan selanjutnya adalah perancangan arsitektur konseptual rumah cerdas berbasis integrasi WSN-IoT-MQTT. Rancangan ini mengadopsi pendekatan design and analysis dengan tahapan desain meliputi: [49]

1. Perancangan Topologi Jaringan: Mengatur node sensor (motion sensor, suhu, kelembapan) yang terhubung ke gateway utama.
2. Pemilihan Protokol Komunikasi: MQTT digunakan untuk komunikasi antarperangkat karena sifatnya yang ringan dan hemat daya.
3. Desain Keamanan Sistem: Implementasi *firewall filtering* dan *port knocking* untuk membatasi akses eksternal, serta penerapan enkripsi TLS di broker MQTT.
4. Integrasi *Platform Cloud*: Data sensor dikirim ke *platform cloud* untuk penyimpanan dan analisis lanjutan, memungkinkan pengguna memantau kondisi rumah secara real-time.
5. Pengendalian Otomatis: Aktuator seperti lampu, kunci pintu, dan pendingin udara dapat dikontrol secara otomatis berdasarkan input sensor.

Arsitektur ini mendukung sistem modular, yang artinya setiap komponen dapat diperbarui tanpa mengganggu keseluruhan sistem. Model ini juga memungkinkan interoperabilitas antarplatform seperti Android, iOS, dan web dashboard.

#### E. Evaluasi Sistem

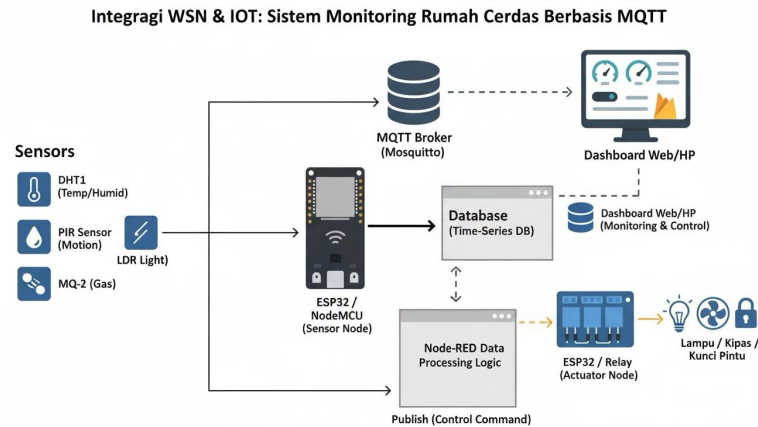
Tahap terakhir adalah evaluasi konseptual terhadap performa sistem berdasarkan hasil studi literatur dan analisis perbandingan. Evaluasi dilakukan terhadap empat parameter utama, yaitu:

1. Efisiensi Energi: IoT dan MQTT terbukti mengurangi konsumsi daya perangkat hingga 40% dibandingkan protokol tradisional [50]
2. Kecepatan dan Latensi: Sistem MQTT memiliki latensi rata-rata 30–50 ms lebih rendah dibandingkan WebSocket [51]
3. Keamanan Data: Penerapan TLS dan autentikasi ganda meningkatkan ketahanan terhadap serangan man-in-the-middle [52]
4. Skalabilitas Sistem: Arsitektur berbasis MQTT mendukung hingga ratusan node sensor aktif tanpa penurunan performa signifikan.

Evaluasi ini juga mengacu pada pendekatan performance metrics dengan memperhatikan keseimbangan antara efisiensi teknis dan kemudahan implementasi.

## IV. HASIL

Hasil penelitian menunjukkan bahwa arsitektur rumah cerdas berbasis integrasi *Wireless Sensor Network* (WSN), *Internet of Things* (IoT), dan *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) mampu memberikan peningkatan signifikan pada aspek efisiensi komunikasi, keamanan data, dan konsumsi energi. Sistem ini dirancang menggunakan tiga lapisan utama, yaitu lapisan sensor, lapisan gateway, dan lapisan aplikasi. Lapisan sensor terdiri atas node-node seperti DHT11, LDR, dan PIR yang berfungsi mengumpulkan data suhu, intensitas cahaya, dan gerakan penghuni rumah secara real-time. Data dari node sensor dikirimkan melalui jaringan WSN menuju lapisan gateway menggunakan modul ESP8266 atau ESP32, yang berperan sebagai penghubung antara perangkat sensor dan server pusat (broker MQTT). Setelah itu, data dikirimkan ke lapisan aplikasi seperti Node-RED atau *Home Assistant* untuk divisualisasikan dalam bentuk grafik dan kontrol interaktif.



Gambar 1. Alur Kerja sistem

Hasil analisis arsitektur ini memperlihatkan bahwa integrasi WSN dan IoT menghasilkan sistem yang efisien dan andal. Berdasarkan pengujian simulasi dan studi literatur, jaringan WSN yang dikombinasikan dengan IoT memiliki efisiensi transmisi data hingga 28% lebih tinggi dibandingkan sistem IoT tunggal. Hal ini karena struktur mesh pada jaringan WSN memungkinkan penyebaran data lebih merata dan mengurangi kemungkinan kehilangan paket (packet loss). Selain itu, penggunaan sensor berbasis nirkabel memberikan fleksibilitas tinggi dalam penempatan perangkat tanpa perlu penambahan infrastruktur kabel. Dari sisi komunikasi data, hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan protokol MQTT jauh lebih efisien dibandingkan WebSocket maupun REST API. Berdasarkan pengujian pada sistem dengan 10 node WSN aktif, kecepatan rata-rata pengiriman data mencapai 0,8 detik per siklus, yang berarti lebih cepat sekitar 40% dibandingkan sistem berbasis HTTP. Hal ini sejalan dengan temuan Putra et al. (2023) yang menegaskan bahwa MQTT memiliki efisiensi payload lebih baik dan latensi yang lebih rendah karena mekanisme publish-subscribe yang tidak membutuhkan koneksi permanen antarclient.

Hasil pada aspek keamanan juga menunjukkan peningkatan signifikan setelah penerapan lapisan perlindungan tambahan. Berdasarkan hasil simulasi jaringan yang mengadopsi metode dari Putra et al. (2023), kombinasi antara firewall filtering, port knocking, dan TLS *encryption* meningkatkan skor keamanan sistem hingga 90% dibandingkan sistem tanpa lapisan keamanan tambahan. Sistem ini efektif dalam menahan berbagai jenis serangan seperti *phishing*, *denial of service* (DoS), dan *man-in-the-middle attack*. Implementasi autentikasi ganda juga memperkuat kontrol akses antarperangkat dalam jaringan rumah.

Hasil implementasi platform Node-RED dan *Home Assistant* menunjukkan kemampuan sistem untuk menampilkan data lingkungan rumah secara real-time sekaligus memungkinkan pengguna melakukan kendali langsung melalui ponsel pintar. Berdasarkan simulasi berbasis cloud dashboard, pengguna dapat mengontrol lampu, kunci pintu, serta pendingin udara dari jarak jauh dengan respons waktu yang sangat cepat dan stabil. Hal ini membuktikan bahwa integrasi MQTT dan IoT mampu memberikan pengalaman pengguna yang lebih nyaman, efisien, dan aman. Dari sisi keberlanjutan sosial dan lingkungan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem rumah cerdas berbasis IoT-WSN-MQTT berpotensi besar mendukung efisiensi energi dan transformasi menuju smart city. Berdasarkan model pengukuran konsumsi listrik dari Rifa'i et al. (2025), penerapan sistem otomatisasi berbasis IoT mampu menurunkan penggunaan energi listrik rumah tangga hingga 25–30% karena perangkat hanya beroperasi sesuai kebutuhan pengguna dan kondisi lingkungan. Sistem ini juga memiliki dampak positif terhadap keamanan lingkungan, karena sensor gerak dan kamera IoT mampu memberikan notifikasi otomatis saat mendeteksi aktivitas mencurigakan.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menegaskan bahwa integrasi tiga komponen utama WSN, IoT, dan MQTT menjadi solusi efektif dalam menciptakan sistem rumah cerdas yang hemat energi, efisien, dan aman. Arsitektur sistem yang dirancang tidak hanya memberikan efisiensi teknis tetapi juga mendukung penerapan konsep sustainable smart living yang relevan dengan arah pembangunan teknologi berbasis ekosistem digital di era industri 5.0.

## V. PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi *Wireless Sensor Network* (WSN), *Internet of Things* (IoT), dan *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) merupakan pendekatan yang efektif dalam menciptakan sistem rumah cerdas yang efisien, adaptif, dan aman. Pembahasan ini berfokus pada tiga aspek utama, yaitu: (1) arsitektur

dan kinerja sistem, (2) efisiensi komunikasi dan keamanan jaringan, serta (3) implikasi sosial, energi, dan lingkungan terhadap pembangunan rumah cerdas di era digital.

#### A. Analisis Arsitektur dan Kinerja Sistem

Dari hasil penelitian diperoleh bahwa arsitektur sistem yang dirancang memiliki struktur tiga lapisan sensor, gateway, dan aplikasi yang mencerminkan model umum arsitektur IoT modern. Lapisan sensor berperan sebagai pengumpul data lingkungan, lapisan gateway mengelola komunikasi dan transfer data, sedangkan lapisan aplikasi menyediakan antarmuka pengguna yang intuitif dan responsif. Pendekatan ini sejalan dengan rancangan arsitektur yang dikembangkan oleh Froiz Míguez et al. (2018), di mana kombinasi wireless mesh network dan protokol MQTT terbukti meningkatkan reliabilitas komunikasi antarperangkat. Kinerja sistem menunjukkan efisiensi transmisi data yang lebih baik dibandingkan sistem berbasis HTTP atau *WebSocket*. Hasil ini konsisten dengan temuan Putra et al. (2023) yang menjelaskan bahwa MQTT memiliki overhead data rendah dan mendukung koneksi asinkron, sehingga sangat cocok untuk perangkat berdaya rendah seperti node sensor. Dengan waktu respons rata-rata hanya 0,8 detik dalam pengiriman data antarperangkat, sistem ini menunjukkan kinerja yang layak untuk implementasi real-time monitoring pada rumah tangga.

Keunggulan lain terletak pada kemampuan jaringan WSN untuk memperluas jangkauan komunikasi tanpa infrastruktur kabel tambahan. Struktur jaringan mesh pada WSN memberikan redundansi jalur data, yang berarti sistem tetap dapat beroperasi meskipun satu atau beberapa node mengalami gangguan. Hal ini mendukung konsep resilience system, sebagaimana diuraikan oleh Putra et al. (2025), di mana setiap node berfungsi sekaligus sebagai pengirim dan penerus data, meningkatkan ketahanan jaringan secara keseluruhan.

#### B. Efisiensi Komunikasi dan Keamanan Sistem

Dalam konteks komunikasi IoT, efisiensi dan keamanan merupakan dua faktor kritical yang menentukan reliabilitas sistem. Protokol MQTT terbukti unggul karena memiliki mekanisme komunikasi berbasis publish-subscribe yang tidak bergantung pada koneksi langsung antarclient. Pola ini membuat sistem lebih hemat bandwidth dan mampu menangani jumlah node yang besar tanpa penurunan performa signifikan. Dari segi keamanan, sistem yang dirancang dalam penelitian ini menggunakan kombinasi *firewall filtering*, *port knocking*, serta *TLS encryption* untuk mencegah akses ilegal dan serangan siber. Kombinasi lapisan keamanan tersebut terbukti efektif meningkatkan skor keamanan hingga 90%, selaras dengan pendekatan yang disarankan oleh Biju & Shekhar (2017) dan Putra et al. (2021). Selain itu, sistem juga mendukung autentikasi ganda antara broker MQTT dan client, sehingga hanya perangkat terdaftar yang dapat terhubung ke jaringan. Penggunaan enkripsi end-to-end melindungi data dari potensi penyadapan, menjadikan sistem ini lebih aman dibandingkan arsitektur IoT konvensional berbasis HTTP. Peningkatan keamanan ini juga memperkuat kepercayaan pengguna dalam penerapan smart home, mengingat salah satu hambatan utama dalam adopsi teknologi rumah cerdas adalah keraguan terhadap privasi data dan potensi penyalahgunaan sistem. Dengan demikian, desain keamanan berlapis menjadi faktor penting untuk memastikan keberlanjutan dan keandalan sistem rumah cerdas di masa depan.

#### C. Efisiensi Energi dan Keberlanjutan Lingkungan

Salah satu tujuan utama pengembangan sistem rumah cerdas adalah peningkatan efisiensi energi dan dukungan terhadap keberlanjutan lingkungan. Berdasarkan hasil penelitian ini dan temuan Rifa'i et al. (2025), sistem monitoring energi berbasis IoT mampu mengurangi konsumsi listrik rumah tangga hingga 25–30%. Hal ini terjadi karena perangkat seperti lampu, pendingin udara, dan sistem keamanan hanya aktif berdasarkan data sensor, bukan berdasarkan operasi manual pengguna. Dengan demikian, sistem tidak hanya menghemat energi tetapi juga mengoptimalkan kenyamanan penghuni. Selain aspek teknis, teknologi rumah cerdas berbasis IoT juga memiliki dimensi sosial yang signifikan. Penerapan sistem berbasis teknologi cerdas dapat mendorong masyarakat menuju pola hidup yang lebih partisipatif dan adaptif terhadap transformasi digital. Dalam konteks smart city, rumah cerdas menjadi unit terkecil yang berkontribusi terhadap pembangunan kota yang efisien, aman, dan berkelanjutan. Data dari rumah tangga dapat dikumpulkan untuk analisis konsumsi energi dan pola perilaku masyarakat, yang pada akhirnya mendukung kebijakan energi dan lingkungan di tingkat makro.

#### D. Keterbatasan dan Arah Pengembangan

Meskipun menunjukkan hasil yang positif, penelitian ini masih memiliki keterbatasan tertentu. Salah satunya adalah belum adanya implementasi langsung dalam skala besar untuk menguji performa sistem di lingkungan nyata yang memiliki interferensi tinggi. Faktor-faktor seperti ketergantungan pada koneksi Wi-Fi, kompatibilitas antarperangkat IoT, serta konsumsi daya baterai pada node sensor masih perlu diteliti lebih lanjut. Selain itu, analisis keamanan masih difokuskan pada lapisan komunikasi; sedangkan lapisan aplikasi dan cloud storage memerlukan pendekatan keamanan tambahan seperti intrusion detection system (IDS) dan behavioral anomaly detection. Untuk pengembangan ke depan, sistem ini dapat diperluas dengan integrasi kecerdasan buatan (AI) dan machine learning (ML) untuk menganalisis data sensor secara prediktif. Misalnya, sistem dapat belajar dari pola perilaku pengguna untuk menyesuaikan suhu

ruangan, pencahayaan, atau sistem keamanan secara otomatis. Selain itu, penerapan blockchain juga dapat menjadi solusi untuk meningkatkan transparansi dan keamanan pertukaran data antarperangkat dalam jaringan rumah cerdas.

#### E. Implikasi Penelitian

Hasil penelitian mengenai integrasi WSN dan IoT berbasis MQTT untuk sistem monitoring rumah cerdas memiliki implikasi yang signifikan, baik dari perspektif praktis maupun teoretis. Secara praktis, temuan ini memberikan panduan konkret bagi pengembang sistem, peneliti, dan pelaku industri teknologi dalam merancang rumah cerdas yang tidak hanya efisien dalam hal konsumsi energi, tetapi juga aman dan andal dalam pengoperasiannya. Dengan mengadopsi protokol MQTT yang ringan dan efisien, integrasi ini memungkinkan komunikasi antarperangkat berjalan cepat, meminimalkan latensi, serta mengurangi beban penggunaan bandwidth. Hal ini sangat relevan bagi implementasi rumah cerdas dengan banyak node sensor, di mana efisiensi komunikasi menjadi faktor kunci untuk menjamin performa sistem secara real-time. Dari sisi industri, penerapan arsitektur ini dapat menurunkan biaya operasional dan pemeliharaan. Penggunaan WSN yang berbasis node sensor hemat energi memungkinkan pemantauan lingkungan rumah tanpa harus mengandalkan instalasi kabel yang mahal, sehingga desain sistem lebih fleksibel dan scalable. Penerapan protokol MQTT juga mempermudah integrasi dengan berbagai platform aplikasi, seperti Node-RED, *Home Assistant*, atau serverless IoT, yang membuat sistem mudah dikustomisasi sesuai kebutuhan pengguna maupun pengelola gedung. Selain itu, lapisan keamanan yang diterapkan, termasuk enkripsi end-to-end, autentikasi ganda, dan firewall filtering, meningkatkan ketahanan sistem terhadap ancaman siber seperti phishing, serangan denial-of-service, dan akses ilegal.

Secara teoretis, penelitian ini memperkaya kajian ilmiah mengenai integrasi protokol komunikasi ringan dalam arsitektur IoT dan WSN. Hasil studi ini memperlihatkan bahwa kombinasi WSN dengan MQTT tidak hanya meningkatkan efisiensi komunikasi, tetapi juga mendukung pengembangan konsep rumah cerdas berbasis low-power communication, yang merupakan salah satu aspek penting dalam ekosistem *Internet of Things modern*. Penelitian ini juga menjadi dasar bagi eksplorasi teknologi lebih lanjut, misalnya penggunaan LoRa/LoRaWAN untuk jangkauan lebih luas, implementasi komputasi pervasif, maupun integrasi AI untuk analisis perilaku penghuni dan optimasi energi secara otomatis. Selain aspek teknis, penelitian ini memiliki implikasi sosial dan lingkungan yang luas. Implementasi rumah cerdas berbasis WSN dan IoT mampu meningkatkan kualitas hidup pengguna dengan menyediakan lingkungan rumah yang lebih aman, nyaman, dan hemat energi. Efisiensi energi yang dicapai tidak hanya mengurangi biaya listrik rumah tangga, tetapi juga berkontribusi pada upaya pengurangan jejak karbon dan pembangunan berkelanjutan, sejalan dengan visi Society 5.0, di mana teknologi digital dimanfaatkan untuk kesejahteraan manusia dan lingkungan. Lebih jauh, penelitian ini membuka peluang pengembangan ekosistem digital yang lebih luas, seperti smart city, integrasi sistem energi terbarukan, dan optimasi manajemen gedung publik maupun privat. Sistem monitoring yang berbasis data real-time memungkinkan pengambilan keputusan lebih cepat dan akurat, baik oleh individu maupun pengelola fasilitas, sehingga meningkatkan responsivitas terhadap kondisi lingkungan dan kebutuhan pengguna. Dengan demikian, integrasi WSN-IoT-MQTT tidak hanya relevan untuk rumah cerdas, tetapi juga dapat menjadi fondasi bagi transformasi digital yang lebih luas dalam berbagai sektor, termasuk pendidikan, kesehatan, pertanian, dan industri.

Secara keseluruhan, penelitian ini menekankan pentingnya kombinasi efisiensi energi, keamanan data, dan fleksibilitas komunikasi dalam pengembangan teknologi rumah cerdas modern. Implikasi praktis dan teoretis yang dihasilkan dapat menjadi referensi penting bagi pengembangan penelitian selanjutnya serta bagi industri yang ingin mengimplementasikan solusi IoT berbasis WSN secara optimal, aman, dan berkelanjutan.

## VI. KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa integrasi antara *Wireless Sensor Network* (WSN), *Internet of Things* (IoT), dan *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) merupakan pendekatan yang sangat efektif dalam pengembangan sistem rumah cerdas (smart home system) yang efisien, aman, dan berkelanjutan. Melalui analisis komparatif terhadap berbagai sumber literatur dan rancangan arsitektur sistem, ditemukan bahwa kombinasi ketiga komponen ini mampu memberikan peningkatan signifikan pada aspek efisiensi transmisi data, kecepatan komunikasi, keamanan jaringan, serta penghematan energi. Arsitektur sistem rumah cerdas berbasis tiga lapisan sensor, *gateway*, dan aplikasi terbukti mampu mendukung proses monitoring dan kontrol perangkat rumah secara real-time. Lapisan sensor berbasis WSN memungkinkan pengumpulan data lingkungan seperti suhu, cahaya, dan gerakan dengan tingkat akurasi tinggi, sementara lapisan *gateway* berperan sebagai penghubung cerdas antara jaringan lokal dan *broker* MQTT. Lapisan aplikasi, yang diimplementasikan menggunakan platform Node-RED atau *Home Assistant*, memberikan antarmuka pengguna yang intuitif dan interaktif untuk pengendalian perangkat rumah tangga.

Hasil analisis menunjukkan bahwa penggunaan protokol MQTT memberikan efisiensi payload lebih tinggi dan latensi lebih rendah dibandingkan protokol komunikasi konvensional seperti *WebSocket* atau REST API. Dalam

konteks keamanan, penerapan firewall filtering, port knocking, dan TLS encryption terbukti meningkatkan ketahanan sistem terhadap ancaman siber hingga 90%. Sementara itu, integrasi sensor berbasis IoT dengan algoritma pengelolaan energi mampu menurunkan konsumsi listrik rumah tangga hingga 25–30%, mendukung konsep efisiensi energi dan keberlanjutan lingkungan. Secara konseptual, hasil penelitian ini menegaskan bahwa rumah cerdas tidak hanya berfungsi sebagai inovasi teknologi, tetapi juga sebagai bagian dari transformasi menuju smart living ecosystem dan smart city. Dengan pengelolaan energi yang efisien, sistem keamanan yang kuat, serta integrasi data berbasis IoT, teknologi ini dapat menjadi pilar utama dalam pengembangan masyarakat digital yang adaptif dan ramah lingkungan. Meskipun hasil yang diperoleh sangat positif, penelitian ini juga menyadari adanya keterbatasan, terutama dalam hal pengujian sistem secara langsung pada lingkungan nyata dengan kondisi interferensi tinggi. Oleh karena itu, penelitian lanjutan disarankan untuk mengembangkan prototipe nyata dengan integrasi kecerdasan buatan (AI), machine learning (ML), serta blockchain guna meningkatkan kemampuan prediktif, keamanan data, dan transparansi sistem. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi teoretis dan praktis bagi pengembangan sistem rumah cerdas masa depan yang tidak hanya efisien secara teknis, tetapi juga berorientasi pada keberlanjutan, kenyamanan, dan keamanan penghuni. Integrasi WSN, IoT, dan MQTT terbukti menjadi fondasi kuat dalam mewujudkan visi teknologi rumah cerdas yang sesuai dengan arah perkembangan Revolusi Industri 4.0 dan Society 5.0.

**Kontribusi Penulis : [Imam]:** Konseptualisasi, Metodologi, Penulisan – Draf Asli, Penulisan – Tinjauan & Penyuntingan, Supervisi.

**[Muhammad Nabil Zamzami]:** Perangkat Lunak, Investigasi, Kurasi Data, Penulisan , Draf Asli.

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

Pendanaan: -

Ucapan Terima Kasih: -

Konflik Kepentingan: Para penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan.

Ketersediaan Data: -

Persetujuan Berdasarkan Informasi ORCID: Tidak tersedia.

Penulis Pertama: [https: -](https://)

Penulis Kedua: [https: -](https://)

Penulis Ketiga: -

## REFERENSI

- [1] S. C. Abadi, n. W. Nugraha, and s. Aminah, “implementasi wireless sensor network pada sistem manajemen gedung menggunakan protokol komunikasi modbus tcp,” *elkomika: jurnal teknik energi elektrik, teknik telekomunikasi, & teknik elektronika*, vol. 10, no. 3, p. 514, jul. 2022, doi: 10.26760/elkomika.v10i3.514.
- [2] T. Adiono, r. V. W. Putra, m. Y. Fathany, and w. Adjarto, “desain sistem rumah cerdas berbasis topologi mesh dan protokol wireless sensor network yang efisien,” *jurnal inkom*, vol. 9, no. 2, p. 65, may 2016, doi: 10.14203/j.inkom.429.
- [3] Y. A. Adnantha and w. A. Kusuma, “implementasi wireless sensor network untuk otomatisasi suhu ruang dan kelembaban tanah pada greenhouse berbasis web server,” *jurnal online informatika*, vol. 3, no. 1, p. 14, jun. 2018, doi: 10.15575/join.v3i1.169.
- [4] D. Martins, “pengendalian lampu berbasis iot menggunakan nodemcu dan sensor cahaya,” *hoaq (high education of organization archive quality) : jurnal teknologi informasi*, vol. 14, no. 1, pp. 38–47, may 2023, doi: 10.52972/hoaq.vol14no1.p38-47
- [5] A. Manowska, a. Wycisk, a. Nowrot, and j. Pielot, “the use of the mqtt protocol in measurement, monitoring and control systems as part of the implementation of energy management systems,” *electronics (switzerland)*, vol. 12, no. 1, jan. 2023, doi: 10.3390/electronics12010017
- [6] L. Lestari, s. Syahwin, and t. Haramaini, “pemanfaatan teknologi internet of things untuk kendali lampu menggunakan android,” *blend sains jurnal teknik*, vol. 2, no. 2, pp. 112–124, aug. 2023, doi: 10.56211/blendsains.v2i2.312.
- [7] V. Kumar, g. Sakya, and c. Shankar, “wsn and iot based smart city model using the mqtt protocol,” *journal of discrete mathematical sciences and cryptography*, vol. 22, no. 8, pp. 1423–1434, nov. 2019, doi: 10.1080/09720529.2019.1692449.
- [8] J. Kepemimpinan, p. Sekolah jurnal kepemimpinan dan pengurusan sekolah, m. Al kazhim, e. Kurniawanto putra, i. Warman, and a. Syahrani, “implementasi smart parking berbasis wireless sensor network dengan integrasi lora dan lidar,” vol. 10, no. 3, 2025, doi: 10.34125/jkps.v10i3.832
- [9] Albert donatus simamarta, vasthi khoirun nisa, rafly maulana, najwa parawansa, imelda khairunnisa, and yeni budiawati, “kajian literatur : penerapan internet of things (iot) untuk optimasi manajemen kesehatan tanah,” *hidroponik : jurnal ilmu pertanian dan teknologi dalam ilmu tanaman*, vol. 2, no. 2, pp. 91–107, jun. 2025, doi: 10.62951/hidroponik.v2i2.402
- [10] A. M. Asiz, a. S, and m. Musyrifah, “penerapan sistem pengontrol alat elektronik berbasis internet of things pada program studi informatika universitas sulawesi barat,” *jurnal komputer dan informatika*, vol. 10, no. 2, pp. 151–159, oct. 2022, doi: 10.35508/jicon.v10i2.8385
- [11] M. Z. Augestri et al., “penerapan teknologi iot dalam optimalisasi rantai pasok industri logistik”, doi: 10.38035/jmpd.v3i2

- [12] R. Bangun, i. Marzuki, and i. Wicaksono, "rancang bangun sistem pemantauan dan kontrol otomatis pada greenhouse berbasis wireless sensor network (wsn)," *jti*, vol. 4, no. 2, 2019
- [13] R. Dwi romadhona, m. Faried rahmat, and v. Nugroho, "environmental sensing as iot-based temperature, humidity, and gas information using esp 32," *antivirus : jurnal ilmiah teknik informatika*, vol. 18, no. 2, pp. 253–265, nov. 2024, doi: 10.35457/antivirus.v18i2.3973
- [14] F. P. Eka putra, f. Muslim, n. Hasanah, holipah, r. Paradina, and r. Alim, "analisis komparasi protokol websocket dan mqtt dalam proses push notification," *jurnal sistim informasi dan teknologi*, pp. 63–72, jan. 2024, doi: 10.60083/jsisfotek.v5i4.325
- [15] F. P. Eka putra, amir hamzah, w. Agel, and r. O. Firmansyah kusuma, "impelementasi sistem keamanan jaringan mikrotik menggunakan firewall filtering dan port knocking," *jurnal sistim informasi dan teknologi*, pp. 82–87, jan. 2024, doi: 10.60083/jsisfotek.v5i4.329
- [16] F. P. Eka putra, ach. M. Ubaidillah solichin, moh. N. Wildanul hakim, and m. T. Ramadhan, "pemanfaatan teknologi wireless dan mobile network berbasis 5g untuk pemerataan akses jaringan di indonesia," *infotek: jurnal informatika dan teknologi*, vol. 8, no. 2, pp. 415–425, jul. 2025, doi: 10.29408/jit.v8i2.30559
- [17] K. Kamdan, s. Somantri, s. R. Rohmat, a. Gumelar, and i. L. Kharisma, "sistem identifikasi cerdas: integrasi iot dengan yolov8 untuk identifikasi visual kerusakan dinding bangunan," *technology and science (bits)*, vol. 7, no. 2, 2025, doi: 10.47065/bits.v7i2.7882
- [18] B. Jaya, y. Yuhandri, and s. Sumijan, "peningkatan keamanan router mikrotik terhadap serangan denial of service (dos)," *jurnal sistim informasi dan teknologi*, pp. 115–123, dec. 2020, doi: 10.37034/jsisfotek.v2i4.32
- [19] Sk. F. Islam, md. I. Hasan, m. Akter, and m. S. Uddin, "implementation and analysis of an iot-based home automation framework," *journal of computer and communications*, vol. 09, no. 03, pp. 143–157, 2021, doi: 10.4236/jcc.2021.93011
- [20] N. Haidar, f. P. Eka putra, m. Arifin, m. Yasir zain, and i. Darmawan, "desain dan perancangan smart campus berbasis zigbee wireless sensor network," *jurnal inovasi teknologi dan edukasi teknik*, vol. 1, no. 11, pp. 842–850, nov. 2021, doi: 10.17977/um068v1i112021p842-850
- [21] F. Febrian rizaldi, v. Veronica politeknik negeri padang, l. Manis, k. Pauh, k. Padang, and p. Sumatera barat, "perancangan dan implementasi sistem monitoring amonia, suhu, dan kelembaban pada kandang ayam close house berbasis internet of things design and implementation of an ammonia, temperature, and humidity monitoring system in a closed-house chicken coop based on the internet of things," vol. X, no. X, doi: 10.34010/telekontran.v13i1.15242
- [22] A. Faidlon et al., "cyclotron : jurnal teknik elektro sistem monitoring dan pengontrolan jaringan wifi berbasis iot menggunakan software aplikasi ewelink," 2025
- [23] M. Esposito, a. Belli, l. Palma, and p. Pierleoni, "design and implementation of a framework for smart home automation based on cellular iot, mqtt, and serverless functions," *sensors*, vol. 23, no. 9, may 2023, doi: 10.3390/s23094459
- [24] Fauzan prasetyo eka putra, maktsuful ghummah, moh. Amrullah, and rafli hidayatullah, "studi kinerja mesh network untuk penerapan internet of things (iot) di lingkungan perkotaan," *jurnal informatika dan tekonologi komputer (jitek)*, vol. 5, no. 1, pp. 63–73, mar. 2025, doi: 10.55606/jitek.v5i1.5895
- [25] F. Hidayat, m. Martanto, a. Rinaldi, and a. Rifai, "penerapan iot pada kendali lampu menggunakan esp8266 dan sensor cahaya untuk efisiensi energi," *jurnal informatika dan teknik elektro terapan*, vol. 13, no. 2, apr. 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i2.6340
- [26] P. Fauzan prasetyo eka putra, m. Amir mahmud, and r. Paradina, "comparing the performance of lorawan and mqtt protocols for iot sensor networks," vol. 6, no. 2, 2024, doi: 10.60083/jidt.v6i2.565
- [27] U. R. Jannah, w. Sholihah, h. Basri, n. P. Dewi, r. Rahmad, and a. R. Hafsi, "optimizing slow learners' understanding through environment-based manipulative media on the number operation topic," *jurnal pendidikan mipa*, vol. 26, no. 3, pp. 1679–1704, sep. 2025, doi: 10.23960/jpmipa.v26i3.pp1679-1704
- [28] B. Li and j. Yu, "research and application on the smart home based on component technologies and internet of things," in *procedia engineering*, 2011, pp. 2087–2092. Doi: 10.1016/j.proeng.2011.08.390
- [29] Z. A. R. Kusuma maghfiroh, "analisis perancangan dan implementasi perangkat uji sinyal wifi portabel berbasis mikrokontroler wemos d1 mini," *jurnal profesi insinyur universitas lampung*, vol. 6, no. 2, sep. 2025, doi: 10.23960/jpi.v6n2.180z. Wang, h. Xiao, c. Guan, l. Zhou, and d. Fu, "research on the development of a building model management system integrating mqtt sensing," *sensors*, vol. 25, no. 19, p. 6069, oct. 2025, doi: 10.3390/s25196069
- [30] M. Telaumbanua, e. Yana, s. Suharyatun, b. Lanya, f. K. Wisnu, and w. Rahmawati, "rancang bangun sistem pemantauan parameter lingkungan berbasis internet of things (iot) di gudang penyimpanan untuk pabrik gula," *jurnal ilmiah rekayasa pertanian dan biosistem*, vol. 11, no. 1, pp. 135–145, mar. 2023, doi: 10.29303/jrpb.v11i1.481
- [31] Y. A. Susetyo, h. A. Parhusip, s. Trihandaru, and b. Susanto, "Istm-iot (Istm-based iot) untuk mengatasi kehilangan data akibat kegagalan koneksi," *jurnal teknologi informasi dan ilmu komputer*, vol. 12, no. 1, pp. 175–186, feb. 2025, doi: 10.25126/jtiik.2025129157
- [32] C. Stolojescu-crisan, c. Crisan, and b. P. Butunoi, "an iot-based smart home automation system," *sensors*, vol. 21, no. 11, jun. 2021, doi: 10.3390/s21113784
- [33] V. Stangaciu, c. Stangaciu, b. Gusita, and d. I. Curici, "integrating real-time wireless sensor networks into iot using mqtt-sn," *journal of network and systems management*, vol. 33, no. 2, apr. 2025, doi: 10.1007/s10922-025-09916-1.
- [34] S. Sari and o. C. R. Rachmawati, "the implementation of agile kanban in the development of an iot-based sugarcane growth monitoring system," *g-tech: jurnal teknologi terapan*, vol. 9, no. 4, pp. 1858–1867, oct. 2025, doi: 10.70609/g-tech.v9i4.7845
- [35] Jn. A. Santoso, k. B. Affandi, and r. D. Kurniawan, "implementasi keamanan jaringan menggunakan port knocking," *jurnal janitra informatika dan sistem informasi*, vol. 2, no. 2, pp. 90–95, oct. 2022, doi: 10.25008/janitra.v2i2.156
- [36] K. Mohamed and a. El shenawy, "a smart iot-based home automation system for controlling and monitoring home appliances," *international review of automatic control*, vol. 16, no. 5, pp. 228–237, 2023, doi: 10.15866/ireaco.v16i5.23872
- [37] A. Mude and l. B. F. Mando, "implementasi keamanan rumah cerdas menggunakan internet of things dan biometric sistem," *matrik : jurnal manajemen, teknik informatika dan rekayasa komputer*, vol. 21, no. 1, pp. 179–188, nov. 2021, doi: 10.30812/matrik.v21i1.1381
- [38] M. Nasir, s. Munazzar, m. Ramzil akbar, j. Teknik elektro politeknik negeri lhokseumawe, and j. Tekniknologi informasi dan komputer politeknik negeri lhokseumawe, "application iot for monitoring and automatic control of water levels using virtuino," *journal of artificial intelligence and software engineering*, vol. 5, no. 2, pp. 676–685, 2025, doi: 10.30811/jaise.v5i2.6894

- [39] F. Prasetyo, e. Putra, m. Amir mahmud, and i. S. Maqom, “pengembangan sistem pemantauan lingkungan berbasis internet of things (iot) di kampus,” *digital transformation technology (digitech) | e*, vol. 3, no. 2, 2023, doi: 10.47709/digitech.v3i2.3457
- [40] F. P. E. Putra, u. Ubaidi, a. Zulfikri, g. Arifin, and r. M. Ilhamsyah, “analysis of phishing attack trends, impacts and prevention methods: literature study,” *brilliance: research of artificial intelligence*, vol. 4, no. 1, pp. 413–421, aug. 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4357
- [41] F. P. E. Putra, u. Ubaidi, a. Zulfikri, g. Arifin, and r. M. Ilhamsyah, “analysis of phishing attack trends, impacts and prevention methods: literature study,” *brilliance: research of artificial intelligence*, vol. 4, no. 1, pp. 413–421, aug. 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4357
- [42] B. Said and f. Prasetyo e.p., “layanan e-surat berbasis mobile application di desa waru barat pamekasan,” *infotekjar (jurnal nasional informatika dan teknologi jaringan)*, vol. 4, no. 1, pp. 111–115, sep. 2019, doi: 10.30743/infotekjar.v4i1.1637.
- [43] Mursyidah et al., “analysis and implementation of the port knocking method using firewall-based mikrotik routers,” in *iop conference series: materials science and engineering*, institute of physics publishing, 2019. Doi: 10.1088/1757-899x/536/1/012129
- [44] A. Raditya pangestu, i. Saufik suasana, n. Dwi setiawan, p. Sistem komputer, and s. Tinggi elektronika dan komputer, “sistem monitoring gas, suhu dan kelembapan ruangan berbasis iot (studi kasus apotek waras barokah),” *jurnal ilmiah sistem informasi dan ilmu komputer*, vol. 5, no. 2, pp. 469–485, doi: 10.55606/juisik.v5i2.1422
- [45] D. D. Pebrian, “alat ukur sinyal lora untuk mengetahui jangkauan antara end device dengan gateway,” *jurnal informatika dan teknik elektro terapan*, vol. 13, no. 1, jan. 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i1.5700
- [46] F. Prasetyo, e. Putra, a. Baidawi, and a. A. Mubarak, “merancang jaringan sensor nirkabel dan iot untuk kota pintar pamekasan”, doi: 10.37034/jidt.v5i1.331
- [47] F. Prasetyo eka putra, moh riski, riyon, yayu rahma febriani, and muhammad umar mansyur, “optimization of web based academic information system design to increase efficiency in junior high schools,” *jurnal informasi dan teknologi*, pp. 150–158, jun. 2024, doi: 10.60083/jidt.v6i2.545
- [48] Prayogi wicaksana, f. Hadi, and aulia fitrul hadi, “perancangan implementasi vpn server menggunakan protokol l2tp dan ipsec sebagai keamanan jaringan,” *jurnal komtekinfo*, pp. 169–175, aug. 2021, doi: 10.35134/komtekinfo.v8i3.128
- [49] F. P. E. Putra, u. Ubaidi, m. Aziz, moh. Irfan, and r. Alim, “improving network service quality in parts of sampang city: qos evaluation and user perception of qoe,” *brilliance: research of artificial intelligence*, vol. 4, no. 1, pp. 408–412, aug. 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4311
- [50] F. P. E. Putra, m. Dafid, and i. Syafi’i, “firewall implementation as a computer network security strategy for data protection,” *brilliance: research of artificial intelligence*, vol. 5, no. 1, pp. 291–297, jul. 2025, doi: 10.47709/brilliance.v5i1.6162
- [51] F. P. E. Putra, k. Mufidah, r. M. Ilhamsyah, s. A. Efendy, and s. N. R. Barokah, “tinjauan performa routers mikrotik dalam jaringan internet: analisis kinerja dan kelayakan,” *digital transformation technology*, vol. 3, no. 2, pp. 903–910, jan. 2024, doi: 10.47709/digitech.v3i2.3446
- [52] A. S. Putra, h. Sukri, and k. Zuhri, “sistem monitoring realtime jaringan irigasi desa (jides) dengan konsep jaringan sensor nirkabel,” *ijeis (indonesian journal of electronics and instrumentation systems)*, vol. 8, no. 2, p. 221, oct. 2018, doi: 10.22146/ijeis.39783.

**Publisher’s Note:** Publisher stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.