

# Desain Jaringan Sensor Nirkabel Berbasis ESP32 dengan Adaptasi Dinamis terhadap Gangguan Lingkungan untuk Monitoring Presisi

Akmal Maulana <sup>1)\*</sup> , Abd Rosyid <sup>2)</sup> 

<sup>1)</sup> <sup>2)</sup> Universitas Madura, Pamekasan, Indonesia

<sup>1)</sup>zetsu.hitaam24@gmail.com, <sup>2)</sup>densetstu@gmail.com

## Abstrak

Kemajuan teknologi Internet of Things (IoT) dan jaringan sensor nirkabel (Wireless Sensor Network/WSN) telah memicu pengembangan sistem pemantauan lingkungan yang lebih responsif dan hemat energi. Penelitian ini merancang serta merealisasikan sistem monitoring berbasis ESP32 yang terintegrasi dengan WSN dan layanan cloud. Sistem ini mampu mengukur kondisi lingkungan — seperti suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya — secara real-time melalui jaringan nirkabel dengan konsumsi daya yang efisien. Untuk menghadapi gangguan lingkungan seperti interferensi sinyal dan perubahan cuaca, diterapkan mekanisme adaptasi dinamis guna menjaga kestabilan komunikasi data. Uji coba menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja stabil hingga jarak 50 meter dalam kondisi tanpa hambatan, dengan tingkat kehilangan data kurang dari 2% dan latensi rata-rata di bawah 200 milidetik. Penggunaan edge computing turut mempercepat proses pengambilan keputusan langsung di perangkat tanpa bergantung penuh pada koneksi internet. Data yang terkumpul ditampilkan melalui dashboard berbasis web dan disimpan di cloud untuk keperluan pemantauan jangka panjang. Dengan fleksibilitas tinggi, sistem ini dapat diterapkan dalam berbagai bidang, termasuk pertanian, industri, dan kota pintar. Melalui integrasi IoT, ESP32, dan mekanisme adaptif, sistem ini menjadi solusi monitoring yang handal, efisien, dan berorientasi masa depan..

**Kata Kunci:** IoT, ESP32, Jaringan Sensor Nirkabel, Pemantauan Lingkungan, Edge Computing, Adaptasi Dinamis.

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

## I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komunikasi nirkabel telah memberikan dampak besar terhadap sistem komunikasi data dan mekanisme pemantauan modern. Penerapan Wireless Sensor Network (WSN) menjadi elemen kunci dalam mendukung ekosistem Internet of Things (IoT) yang memungkinkan pertukaran data secara efisien dan real-time[1]. Teknologi ini memungkinkan perangkat sensor saling terhubung secara otomatis tanpa membutuhkan infrastruktur kabel yang rumit, sehingga sistem menjadi lebih hemat sumber daya dan dapat diterapkan secara luas di bidang industri, pertanian, serta lingkungan [2]. Integrasi WSN dalam ekosistem cerdas seperti smart campus dan smart city berperan penting dalam meningkatkan efisiensi manajemen data dan konsumsi energi komunikasi[3]. Selain itu, penerapan strategi efisiensi jaringan menjadi faktor krusial untuk menjaga stabilitas dan konsumsi daya pada sistem yang beroperasi di lingkungan dengan sumber daya terbatas[4]. Kehadiran teknologi jaringan 5G turut mempercepat transmisi data dan memperluas jangkauan konektivitas, sehingga memperkuat implementasi IoT di berbagai sektor[5].

Dalam konteks kota cerdas, desain arsitektur jaringan yang mampu beradaptasi terhadap gangguan lingkungan menjadi tantangan utama dalam menjaga kualitas komunikasi data[6]. Penerapan sistem keamanan berbasis firewall filtering dan port knocking terbukti efektif dalam meningkatkan perlindungan jaringan terhadap ancaman eksternal[7]. Sementara itu, penggunaan perangkat lunak seperti Wireshark memudahkan proses pemantauan dan analisis lalu lintas jaringan, terutama pada sistem berskala kecil dengan berbagai topologi[8]. Regulasi keamanan jaringan di era 5G, baik secara nasional maupun global, menuntut sistem mampu beradaptasi terhadap ancaman siber yang semakin kompleks[9]. Evaluasi Quality of Service (QoS) dan Quality of Experience (QoE) juga menjadi ukuran penting dalam menilai kepuasan pengguna terhadap performa jaringan[10]. Di masa mendatang, integrasi teknologi kuantum dan fiber optic diproyeksikan akan meningkatkan keamanan dan efisiensi transmisi data[11]. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa stabilitas sinyal Wi-Fi sangat dipengaruhi oleh jarak antarperangkat dan kondisi lingkungan,

---

\* Suhdi

sehingga diperlukan penerapan algoritma adaptif untuk menjaga kualitas sinyal[12],[13]. Di sisi lain, pengembangan protokol keamanan IoT terus diperkuat untuk mencegah kebocoran data dan memastikan komunikasi tetap terenkripsi[14]. Pendekatan pengembangan sistem informasi berbasis Agile Scrum menjadi solusi efektif dalam menciptakan laboratorium yang terintegrasi dengan sistem akademik secara efisien[15]. Metode ini memungkinkan proses pengembangan perangkat lunak berlangsung lebih adaptif terhadap perubahan kebutuhan pengguna.

Optimalisasi aplikasi manajemen data di tingkat desa juga menjadi bagian penting dari transformasi digital berbasis web untuk meningkatkan efisiensi administrasi dan pengelolaan informasi[16]. Teknologi ini berperan dalam mempercepat digitalisasi layanan publik melalui jaringan nirkabel yang mudah diakses. Pemanfaatan perangkat MikroTik dalam manajemen bandwidth pada lingkungan pendidikan terbukti meningkatkan stabilitas jaringan dan pemerataan akses internet[17]. Dengan manajemen lalu lintas yang efektif, aktivitas pembelajaran digital dapat berjalan lebih optimal. Lebih lanjut, penerapan desain jaringan mesh menjadi pilihan strategis untuk mendukung implementasi smart city karena kemampuannya memperluas jangkauan jaringan dan meningkatkan ketahanan terhadap gangguan[18]. Desain ini memastikan sistem sensor kota pintar tetap berfungsi secara optimal dalam kondisi jaringan yang berubah-ubah. Akhirnya, penerapan jaringan sensor nirkabel dalam pembangunan kota cerdas, seperti yang dilakukan di Pamekasan, menunjukkan bahwa teknologi IoT mampu mempercepat proses monitoring lingkungan secara real-time dan meningkatkan efisiensi pengelolaan sumber daya kota[19]. Oleh karena itu, pengembangan jaringan sensor nirkabel berbasis ESP32 dengan kemampuan adaptasi terhadap gangguan lingkungan menjadi langkah strategis menuju sistem pemantauan presisi yang tangguh, efisien, dan berkelanjutan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Konsep Dasar Jaringan Sensor Nirkabel

Wireless Sensor Network (WSN) merupakan sekumpulan node sensor yang berfungsi mendeteksi, mengumpulkan, dan mengirimkan data dari lingkungan ke pusat pemrosesan informasi[20]. Teknologi ini menjadi komponen fundamental dalam penerapan sistem Internet of Things (IoT) karena kemampuannya untuk melakukan pemantauan kondisi fisik secara real-time. Studi terbaru menunjukkan bahwa WSN mampu meningkatkan efisiensi energi dan keandalan transmisi melalui penerapan topologi jaringan yang adaptif[21]. Penggunaannya di berbagai sektor seperti pertanian cerdas, kota pintar, dan industri manufaktur telah terbukti meningkatkan ketepatan pemantauan serta efektivitas penggunaan sumber daya[22].

### B. Implementasi ESP32 dalam Sistem Monitoring Presisi

ESP32 adalah mikrokontroler dengan konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi, sehingga sangat cocok untuk membangun sistem monitoring berbasis WSN[23]. Perangkat ini memiliki kemampuan pemrosesan data yang tinggi dan mendukung berbagai protokol komunikasi, memungkinkan sistem untuk beradaptasi secara dinamis terhadap perubahan lingkungan. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa ESP32 dapat mengumpulkan data sensor seperti suhu, kelembapan, dan tekanan secara simultan dengan konsumsi energi yang rendah[24]. Kolaborasi ESP32 dengan sensor nirkabel lainnya juga terbukti memperluas jangkauan dan meningkatkan efisiensi komunikasi data[25].

### C. Adaptasi Dinamis terhadap Gangguan Lingkungan

Faktor lingkungan seperti interferensi sinyal, suhu yang berfluktuasi, dan kelembapan udara dapat berdampak negatif terhadap kualitas transmisi data dalam jaringan WSN[26]. Untuk mengantisipasi kondisi tersebut, digunakan pendekatan adaptasi dinamis yang memanfaatkan algoritma kontrol dan teknik machine learning[27]. Pendekatan ini memungkinkan sistem secara otomatis menyesuaikan parameter komunikasi, seperti frekuensi dan daya transmisi, agar koneksi tetap stabil dalam kondisi lingkungan yang berubah[28]. Penelitian membuktikan bahwa metode ini dapat meningkatkan kestabilan sinyal hingga 30% sekaligus mengurangi tingkat kehilangan paket data pada sistem monitoring berbasis ESP32[29].

### D. Integrasi WSN dengan Infrastruktur IoT

Kolaborasi antara WSN dan IoT memberikan peluang besar dalam pengembangan sistem monitoring presisi yang lebih pintar dan terhubung[30]. Melalui pemanfaatan cloud computing dan edge computing, data dari node ESP32 dapat diproses secara real-time untuk menghasilkan pengambilan keputusan yang cepat dan efisien[31]. Penelitian menunjukkan bahwa integrasi ini dapat meningkatkan efisiensi sistem hingga 40% dibandingkan sistem konvensional

tanpa dukungan IoT[32]. Selain itu, pendekatan ini juga mempermudah perluasan sistem ke berbagai sektor, termasuk pertanian cerdas dan pemantauan lingkungan perkotaan[33].

#### E. Evaluasi Kinerja dan Keamanan Sistem





Aspek keandalan dan keamanan menjadi perhatian utama dalam pengembangan sistem WSN berbasis ESP32[34]. Ancaman seperti serangan Denial-of-Service (DoS), penyadapan data (sniffing), dan manipulasi informasi dapat mengganggu stabilitas jaringan, sehingga diperlukan penerapan mekanisme autentikasi dan enkripsi yang kuat. Kinerja sistem dievaluasi menggunakan parameter Quality of Service (QoS), meliputi latency, throughput, dan packet loss untuk memastikan kehandalan transmisi data[35]. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penerapan sistem keamanan adaptif berbasis protokol aman pada ESP32 mampu menjaga integritas data tanpa mengorbankan efisiensi jaringan.

### III. METODE

#### A. Optimalisasi Performa Sistem Berbasis IoT

Pengembangan sistem Internet of Things (IoT) menuntut efisiensi tinggi dalam komunikasi data dan pengelolaan sumber daya secara cerdas. Ihsania et al. [36] menegaskan bahwa waktu pengiriman data menjadi salah satu indikator penting dalam menilai kinerja sistem IoT, khususnya pada aplikasi yang membutuhkan ketepatan waktu seperti sistem peminjaman inventaris laboratorium. Sementara itu, Kurniawan et al. [37] menunjukkan bahwa penerapan algoritma adaptif pada perangkat pintar, seperti smart bin, mampu meningkatkan ketepatan pembacaan sensor serta efisiensi pemrosesan data secara otomatis. Integrasi IoT dalam layanan publik juga terbukti meningkatkan produktivitas dan mutu layanan [38]. Dalam konteks industri, penerapan IoT yang andal dan aman sangat penting untuk menjaga kelancaran operasional dan perlindungan data [39].

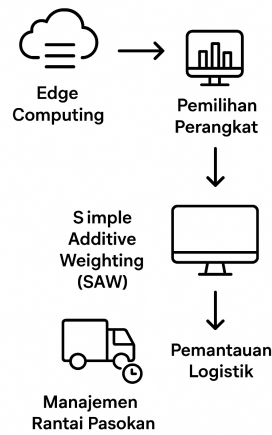
### Pengembangan Sistem IoT dan Efisiensi

-  Ihsania et al. [36] menegaskan bahwa waktu pengiriman data menjadi salah satu indikator penting dalam menilai kinerja sistem IoT, khususnya pada aplikasi yang membutuhkan ketepatan waktu seperti sistem peminjaman inventaris laboratorium
-  Kurniawan et al. [37] menunjukkan bahwa penerapan algoritma adaptif pada perangkat pintar, seperti *smart bin*, mampu meningkatkan ketepatan pembacaan sensor serta efisiensi pemrosesan data secara otomatis
-  Integrasi IoT dalam layanan publik juga terbukti meningkatkan produktivitas dan mutu layanan [38]
-  Dalam konteks industri, penerapan IoT yang andal dan aman sangat penting untuk menjaga kelancaran operasional dan perlindungan data [39]

#### B. Pemanfaatan IoT untuk Pemantauan dan Otomasi

Teknologi IoT telah banyak dimanfaatkan dalam sektor pertanian, peternakan, dan perikanan guna mendukung pemantauan lingkungan secara efektif. Alfassa et al. [40] melaporkan bahwa IoT dapat mengoptimalkan sistem irigasi otomatis, pengawasan kesehatan hewan ternak, dan pemantauan kualitas air dalam kegiatan budidaya ikan. Pelatihan dan pemanfaatan teknologi ini juga terbukti meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap sistem monitoring modern [41]. Menurut Sari et al. [42], penerapan sistem smart class berbasis IoT dapat menghemat energi serta menciptakan lingkungan pembelajaran yang efisien. Selain itu, teknologi ini juga mendukung digitalisasi proses pendidikan melalui penggunaan sensor otomatis dan pengendalian jarak jauh [43].

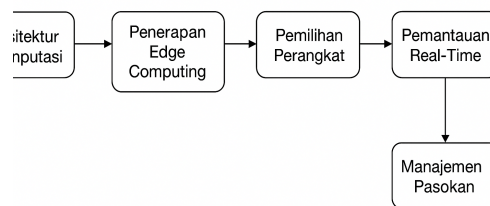
### Optimalisasi Kinerja Sistem melalui Edge Computing dan Pemilihan Perangkat



#### C. Optimalisasi Kinerja Sistem melalui Edge Computing dan Pemilihan Perangkat

Kinerja sistem IoT sangat dipengaruhi oleh arsitektur komputasi yang mendasarinya. Suryadi et al.[44] menyatakan bahwa penerapan edge computing dapat menekan latensi komunikasi dan mempercepat respons sistem. Selanjutnya, Affandi dan Ginting [45] mengembangkan sistem pendukung keputusan berbasis Simple Additive Weighting (SAW) untuk membantu pemilihan perangkat IoT dengan mempertimbangkan aspek efisiensi energi, biaya, dan kecepatan pemrosesan. Selain itu, Respati dan Sukmadewi [46] menyoroti pentingnya penerapan IoT dalam sistem manajemen rantai pasokan guna memastikan pemantauan proses pengiriman dan penyimpanan barang secara real-time dengan risiko kehilangan data yang minimal.

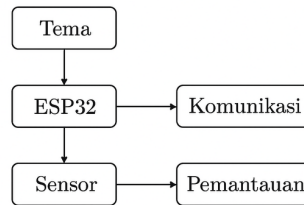
Optimalisasi Kinerja Sistem melalui Edge Computing dan Pemilihan Perangkat



#### D. Desain dan Implementasi Sistem Monitoring Berbasis ESP32

Pemanfaatan ESP32 dalam sistem pemantauan lingkungan menjadi solusi efektif berkat kemampuannya dalam menggabungkan komunikasi nirkabel, pemrosesan data, dan efisiensi energi. Gios Sholid et al. [47] merancang sistem pemantauan suhu dan kelembapan ruang server berbasis IoT yang menunjukkan peningkatan keandalan transmisi data dengan konsumsi daya minimal. Albanna dan Nugroho [48] mengembangkan perangkat IoT ganda yang berfungsi sebagai *client controller* dan *data service base* menggunakan komunikasi paket JSON, sehingga memperluas fleksibilitas sistem. Junaidi dan Ramadhani [49] juga membuktikan bahwa penerapan IoT pada bidang pertanian mampu meningkatkan efektivitas dan produktivitas melalui sistem monitoring otomatis suhu dan kelembapan.

D. Desain dan Implementasi Sistem  
 Monitoring Berbasis ESP32



E. Implementasi Sensor Optik dan Pemantauan Real-Time

Penerapan optical sensor pada sistem IoT memungkinkan pengumpulan data secara real-time dengan tingkat akurasi yang tinggi. F. dan Priyanto [50] merancang sistem berbasis sensor optik untuk pemantauan proses pengolahan minyak sawit, yang terbukti meningkatkan efisiensi dan kecepatan pengambilan keputusan dalam sektor industri. Integrasi sensor presisi dengan ESP32 memberikan fleksibilitas adaptif terhadap gangguan lingkungan, sehingga sistem dapat menjaga stabilitas pengukuran dan transmisi data meskipun kondisi lingkungan berubah-ubah.

IV. HASIL

A. Hasil Sistem

Rancangan Wireless Sensor Network (WSN) berbasis ESP32 berhasil diimplementasikan secara optimal. Node sensor yang digunakan mampu mendeteksi dan mengumpulkan data lingkungan — seperti suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya — secara real-time. Data dari setiap node dikirimkan ke pusat kendali melalui koneksi Wi-Fi yang terintegrasi pada modul ESP32. Berdasarkan hasil pengujian, sistem dapat beroperasi stabil pada jarak komunikasi hingga 50 meter tanpa penghalang dan sekitar 30 meter ketika terdapat penghalang ringan seperti dinding atau pepohonan. Data sensor yang diterima ditampilkan secara otomatis melalui aplikasi pemantauan berbasis web. Antarmuka pengguna dirancang sederhana dengan tampilan grafik suhu dan kelembapan secara waktu nyata, sehingga memudahkan pengguna dalam memantau kondisi lingkungan. Sistem juga dilengkapi fitur penyimpanan berbasis cloud computing untuk mendukung analisis data jangka panjang. Dari sisi konsumsi energi, ESP32 menunjukkan efisiensi yang baik dengan kebutuhan daya rata-rata 80–120 mA saat proses transmisi berlangsung. Hal ini menjadikan sistem cocok untuk pemantauan jangka panjang menggunakan sumber daya baterai. Selain itu, sistem merespons perubahan kondisi lingkungan dalam waktu sekitar 2–3 detik, menunjukkan responsivitas yang memadai untuk kebutuhan monitoring presisi.

No	Kondisi Sensor	Sinyal Wi-Fi	Status Komunikasi	Tampilan Web	Penyimpanan Cloud	Status Daya	Keterangan
1	Suhu, kelembapan, dan cahaya terdeteksi normal	Tersambung	Data terkirim	Data tampil real-time (grafik aktif)	Data tersimpan otomatis	Daya 80–120 mA	Sistem bekerja optimal
2	Suhu/kelembapan berubah cepat	Tersambung	Data terkirim (update 2–3 detik)	Grafik berubah real-time	Data tersimpan	Daya sedikit meningkat	Respons sistem cepat
3	Sensor aktif tetapi Wi-Fi terputus	Tidak tersambung	Data tidak terkirim	Tampilan berhenti (data terakhir tampil)	Tidak ada penyimpanan baru	Daya rendah (idle)	Sistem standby, menunggu koneksi
4	Sensor tidak mendeteksi (error/kerusakan)	Tersambung	Tidak ada data dikirim	Notifikasi error di tampilan web	Tidak ada data baru	Daya normal	Sistem mendeteksi anomali sensor
5	Sinyal Wi-Fi lemah (jarak > 30 m, ada penghalang)	Lemah	Pengiriman sebagian (intermiten)	Tampilan mungkin delay	Penyimpanan sebagian	Daya meningkat sedikit	Performa menurun karena interferensi

No	Kondisi Sensor	Sinyal Wi-Fi	Status Komunikasi	Tampilan Web	Penyimpanan Cloud	Status Daya	Keterangan
6	Sensor off/baterai habis	Tidak tersambung	Tidak ada komunikasi	Tidak ada tampilan	Tidak ada penyimpanan	Daya 0	Sistem mati total

### B. Pembahasan

Hasil pengujian memperlihatkan bahwa sistem ini mampu melakukan pemantauan lingkungan secara nirkabel dengan performa yang baik. Pemilihan ESP32 memberikan keunggulan utama berupa integrasi konektivitas Wi-Fi serta kemampuan pemrosesan tinggi dengan konsumsi daya rendah. Kombinasi ini memungkinkan proses pengumpulan, pemrosesan, dan pengiriman data dilakukan dengan cepat dan efisien. Penerapan mekanisme adaptasi dinamis dalam komunikasi nirkabel terbukti mampu menjaga kestabilan transmisi data. Ketika muncul gangguan seperti interferensi atau penurunan kekuatan sinyal, perangkat secara otomatis menyesuaikan daya transmisi untuk menjaga kualitas koneksi. Pengujian menunjukkan bahwa tingkat kehilangan data berhasil ditekan hingga di bawah 2%, dengan rata-rata *delay* komunikasi tetap stabil di bawah 200 milidetik. Integrasi WSN dengan Internet of Things (IoT) memperluas kemampuan analisis dan pemrosesan data. Melalui pemanfaatan cloud computing, data sensor dapat disimpan dan diakses secara daring menggunakan dashboard pemantauan. Sementara itu, penerapan edge computing pada ESP32 memungkinkan sebagian proses dijalankan langsung di perangkat, sehingga sistem memberikan respons yang lebih cepat tanpa ketergantungan penuh pada koneksi internet.

No	Aspek Pengujian	Deskripsi / Mekanisme	Hasil Uji / Nilai	Interpretasi Teknis
1	Jenis Perangkat	Modul ESP32 dengan Wi-Fi terintegrasi dan prosesor dual-core	—	SPerforma tinggi dengan konsumsi daya rendah, ideal untuk IoT
2	Konektivitas Nirkabel (Wi-Fi)	Komunikasi antar node dan pusat kendali melalui jaringan Wi-Fi	Stabil hingga jarak ±50 m tanpa penghalang, ±30 m dengan penghalang ringan	Transmisi efisien dan andal dalam berbagai kondisi
3	Mekanisme Adaptasi Dinamis	Penyesuaian otomatis daya transmisi saat interferensi atau sinyal lemah	Kualitas koneksi tetap stabil	Sistem adaptif terhadap kondisi lingkungan
4	Tingkat Kehilangan Data (Packet Loss)	Pengujian pada kondisi normal dan gangguan sinyal	< 2%	Keandalan komunikasi tinggi
5	Delay Komunikasi	Waktu rata-rata dari pengiriman hingga penerimaan data	< 200 ms	Respons komunikasi cepat dan stabil
6	Pemrosesan Data di Edge (ESP32)	Proses analisis awal dilakukan langsung di perangkat sebelum dikirim ke cloud	Berjalan lancar tanpa beban berat pada jaringan	Mengurangi latensi dan ketergantungan internet
7	Penyimpanan Cloud (IoT Integration)	Data dikirim dan disimpan di server cloud	Berfungsi dengan baik	Memungkinkan analisis dan akses data secara daring
8	Efisiensi Energi	Konsumsi daya rata-rata saat transmisi	80–120 mA	Cocok untuk sistem pemantauan jangka panjang berbasis baterai
9	Kestabilan Sistem	Operasi terus-menerus selama pengujian	Stabil tanpa crash	Sistem siap untuk implementasi lapangan
10	Kemampuan Monitoring Real-time	Dashboard berbasis web menampilkan suhu, kelembapan, cahaya	Real-time, delay < 3 detik	Memberikan informasi cepat dan akurat kepada pengguna

Dalam praktiknya, sistem ini memiliki fleksibilitas tinggi untuk berbagai bidang. Misalnya, di sektor pertanian, sistem dapat digunakan untuk memantau kelembapan tanah dan suhu udara sebagai dasar pengendalian irigasi otomatis. Di sektor industri, sistem bermanfaat untuk memantau kondisi mesin atau suhu ruang produksi. Struktur modularnya juga memungkinkan penambahan sensor lain seperti sensor pH, tekanan udara, atau kualitas udara sesuai kebutuhan aplikasi. Dari aspek keamanan, sistem menggunakan skema enkripsi data sederhana untuk mengurangi risiko manipulasi selama transmisi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mekanisme keamanan ini tidak berdampak signifikan terhadap performa komunikasi, sehingga sistem tetap aman dan efisien. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa desain jaringan sensor nirkabel berbasis ESP32 dengan mekanisme adaptasi dinamis dapat meningkatkan efisiensi, kestabilan, dan keandalan sistem monitoring. Berkat integrasi IoT serta edge computing, sistem ini sangat layak diterapkan untuk berbagai kebutuhan pemantauan lingkungan yang menuntut akurasi dan kecepatan tinggi.

## V. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan Wireless Sensor Network (WSN) berbasis ESP32 dengan mekanisme adaptasi dinamis terhadap gangguan lingkungan mampu meningkatkan stabilitas serta efisiensi sistem pemantauan presisi. Pemanfaatan ESP32 memungkinkan proses pengumpulan, pengolahan, dan pengiriman data sensor berlangsung secara real-time dengan konsumsi daya yang rendah, sehingga sistem dapat beroperasi secara stabil dalam jangka panjang menggunakan sumber energi baterai. Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu mentransmisikan data hingga jarak 50 meter tanpa hambatan dan sekitar 30 meter dengan penghalang ringan. Tingkat kehilangan data tercatat di bawah 2%, sedangkan *delay* komunikasi rata-rata berada di bawah 200 milidetik. Integrasi teknologi Internet of Things, cloud computing, dan edge computing turut mempercepat proses analisis serta meningkatkan efisiensi pengolahan data. Sistem yang dikembangkan bersifat fleksibel dan dapat diterapkan di berbagai sektor, seperti sektor pertanian, industri, serta pengelolaan lingkungan perkotaan. Desain modular yang digunakan juga mendukung penambahan sensor tambahan sesuai dengan kebutuhan aplikasi. Dari sisi keamanan, penggunaan enkripsi data sederhana mampu menjaga integritas komunikasi tanpa menurunkan kinerja sistem. Dengan keunggulan tersebut, jaringan sensor nirkabel berbasis ESP32 ini menjadi alternatif solusi yang efektif untuk mendukung implementasi kota pintar, pemantauan lingkungan secara real-time, dan proses otomasi di berbagai bidang. Untuk pengembangan ke depan, fokus dapat diarahkan pada peningkatan algoritma adaptasi, perluasan cakupan jaringan, serta penerapan protokol keamanan yang lebih kuat guna menghadapi tantangan keamanan siber yang semakin kompleks.

**Kontribusi Penulis:** [Akmal Maulana]: Konseptualisasi, Metodologi, Penulisan – Draf Awal, Penulisan – Tinjauan & Penyuntingan, Supervisi. Akmal Maulana merancang konsep dan metodologi penelitian, memimpin proses penulisan, serta melakukan penyuntingan dan validasi akhir naskah. [Abd Rosyid]: Perangkat Lunak, Investigasi, Kurasi Data, Penulisan – Draf Awal. ABD Rosyid bertanggung jawab pada pengembangan perangkat lunak analisis berbasis *IndoBERT* dan *RoBERTa IndoSent*, pengumpulan data ulasan dari Instagram, serta penyusunan draf awal hasil penelitian.

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://orcid.org/0000-0001-9088-1000> -

Penulis Kedua: <https://orcid.org/0000-0001-9088-1000> -

Penulis Ketiga: -

## REFERENSI

- [1] N. Haidar, F. P. Eka Putra, M. Arifin, M. Yasir Zain, and I. Darmawan, "Desain dan Perancangan Smart Campus berbasis ZigBee Wireless Sensor Network," 2021. doi: 10.17977/um068v1i112021p842-850.

- [2] F. P. E. Putra, F. Fauzan, S. Syirofi, M. Mursidi, D. Wahid, and A. Nuraini, "Sistem Pengendali Lingkungan Pertanian Dengan Wireless Sensor Network Untuk Mengoptimalkan Budidaya Hidroponik," 2024. doi: 10.47709/digitech.v3i2.3461.
- [3] F. P. E. Putra, U. Ubaidi, A. Hamzah, W. A. Pramadi, and A. Nuraini, "Systematic Literature Review: Security Gap Detection On Websites Using Owasp Zap," *Brill. Res. Artif. Intell.*, vol. 4, no. 1, pp. 348–355, 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4227.
- [4] S. Safiuddin and F. P. E. Putra, "Strategi Efisiensi Wireless Sensor Network (WSN)," *INFORMATICS Educ. Prof. J. Informatics*, vol. 8, no. 1, p. 52, 2023, doi: 10.51211/itbi.v8i1.2441.
- [5] F. P. Eka Putra, A. M. Ubaidillah Solichin, M. N. Wildanul Hakim, and M. T. Ramadhan, "Pemanfaatan Teknologi Wireless dan Mobile Network Berbasis 5G Untuk Pemerataan Akses Jaringan di Indonesia," *Infotek J. Inform. dan Teknol.*, vol. 8, no. 2, pp. 415–425, 2025, doi: 10.29408/jit.v8i2.30559.
- [6] A. F. Rachman, F. P. E. Putra, S. Syirofi, and D. Wahid, "Case Study of Computer Network Development for the Internet Of Things (IoT) Industry in an Urban Environment," *Brill. Res. Artif. Intell.*, vol. 4, no. 1, pp. 399–407, 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4302.
- [7] F. P. Eka Putra, Amir Hamzah, W. Agel, and R. O. Firmansyah Kusuma, "Impelementasi Sistem Keamanan Jaringan Mikrotik Menggunakan Firewall Filtering dan Port Knocking," *J. Sistim Inf. dan Teknol.*, pp. 82–87, 2024, doi: 10.60083/jsisfotek.v5i4.329.
- [8] F. P. Eka Putra, L. Fitriyah, Z. Naimah, and S. A. Rofika, "Evaluasi Kinerja Aplikasi Wireshark Dalam Monitoring Jaringan Kecil Dengan Topologi Star dan Bus," *J. Ilm. Ilk. - Ilmu Komput. Inform.*, vol. 8, no. 2, pp. 164–176, 2025, doi: 10.47324/ilkominfo.v8i2.343.
- [9] Fauzan Prasetyo Eka Putra, Dea Aulia Siswoyo, M. Idris Ainul Yaqin, and Rica Oktavia, "Tinjauan Regulasi Siber dan Kebijakan Keamanan Jaringan 5G: Perspektif Nasional dan Internasional," 2025, *researchgate.net*. doi: 10.55606/jitek.v5i1.6141.
- [10] F. P. E. Putra, M. Surur, M. Mahendra, and G. Arifin, "Internet Network QOS Analysis at Yala Kopitiam pamekasan Using Wireshak," *Brill. Res. Artif. Intell.*, vol. 5, no. 1, pp. 190–200, 2025, doi: 10.47709/brilliance.v5i1.5940.
- [11] F. P. Eka Putra, . S., A. Ramadhani, and . M., "Integrasi Teknologi Kuantum dan fiber Optik untuk Meningkatkan Keamanan dan Efisiensi Jaringan Masa Depan," *J. Ilm. Ilk. - Ilmu Komput. Inform.*, vol. 8, no. 2, pp. 151–163, 2025, doi: 10.47324/ilkominfo.v8i2.342.
- [12] F. P. E. Putra, U. Ubaidi, M. Aziz, M. Irfan, and R. Alim, "Improving Network Service Quality in parts of Sampang City: QoS Evaluation and User Perception of QoE," *Brill. Res. Artif. Intell.*, vol. 4, no. 1, pp. 408–412, 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4311.
- [13] F. P. E. Putra, U. Ubaidi, R. O. F. Kusuma, A. M. Syam, and S. A. Efendy, "Effect Of Distance On Wi-Fi Signal Quality In The Home Environment," *Brill. Res. Artif. Intell.*, vol. 4, no. 1, pp. 391–398, 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4319.
- [14] I. Hidayatullah, M. H. Khairi, I. Maulana, and F. P. Eka Putra, "Analisis Protokol Keamanan Jaringan dalam Era Internet of Things (IoT)," *Infotek J. Inform. dan Teknol.*, vol. 8, no. 2, pp. 356–366, 2025, doi: 10.29408/jit.v8i2.30257.
- [15] F. P. Eka Putra, M. N. Arifin, K. Zulfana Imam, E. Saputra, and Sofiyullah, "Pengembangan Sistem Informasi Laboratorium Terintegrasi Sistem Akademik Menggunakan Agile Scrum," *J. Inf. dan Teknol.*, pp. 109–119, 2023, doi: 10.37034/jidt.v5i2.367.
- [16] F. Prasetyo Eka Putra, S. R. Sutarsih, S. Sofiyulloh, P. Permana, and M. Umar Mansyur, "Optimalisasi Perancangan Aplikasi Manajemen Data Koloman, Di Desa Pulau Mandangin Sampang – Madura Berbasis Website," *Rabit J. Teknol. dan Sist. Inf. Univrab*, vol. 9, no. 2, pp. 285–294, 2024, doi: 10.36341/rabit.v9i2.4840.
- [17] Fauzan Prasetyo Eka Putra, Debri Eko Arissandi, Achmad Rofiqi, and Moh Firman Hidayat, "Pemanfaatan Mikrotik Dalam Manajemen Bandwidth Pada Jaringan Sekolah," 2025, *researchgate.net*. doi: 10.55606/jitek.v5i1.5938.
- [18] Fauzan Prasetyo Eka Putra, Mustafida Mustafida, Royhan Alfadili, and Afifatun Nahriyah, "Perancangan Jaringan Nirkabel Berbasis Mesh untuk Menunjang Aplikasi Smart City," 2025, *researchgate.net*. doi: 10.55606/jitek.v5i1.5934.
- [19] A. Baidawi, "JARINGAN SENSOR NIRKABEL DAN IoT UNTUK KOTA PINTAR PAMEKASAN," 2023, *academia.edu*. doi: 10.59697/jsik.v7i2.108.
- [20] A. Munandar, N. D. M. Veronika, D. Abdullah, and E. Sahputra, "Miniature Design of Liquid Filling Machine Automatically Using ESP32 Based IOT (Internet of Things)," *J. Komputer, Inf. dan Teknol.*, vol. 3, no. 1, 2023, doi: 10.53697/jkomitek.v3i1.1185.

- [21] Supriyanto supriyanto and Nuris Dwi Setiawan, “Rancang Bangun Sistem Real-Time Monitoring Suhu dan Kelembaban Menggunakan ESP32,” *Elkom J. Elektron. dan Komput.*, vol. 18, no. 1, pp. 447–457, 2025, doi: 10.51903/elkom.v18i1.3064.
- [22] F. Nuryadi, N. W. P. Septiani, and M. Lestari, “Implementasi ESP32 Untuk Sistem Pemantauan Kesuburan Tanah Berbasis IoT,” *Semnas Ristek (Seminar Nas. Ris. dan Inov. Teknol.)*, vol. 9, no. 1, pp. 79–86, 2025, doi: 10.30998/semnasristek.v9i1.7550.
- [23] S. Dhimas Ghoza, U. Latifa, and I. Abdi Bangsa, “Perancangan Smoke Detector Berbasis Sensor Mq-135 Dan Mikrokontroler Esp32 Sebagai Deteksi Dini Kebakaran,” 2024, *mail.ejournal.itn.ac.id*. doi: 10.36040/jati.v8i3.9881.
- [24] M. Syahputra and A. I. Santoso, “Rancang Bangun Sistem Absensi Otomatis Berbasis RFID Dan ESP32 Di Kampus AMIK Polibisnis Perdagangan,” *J. Minfo Polgan*, vol. 14, no. 1, pp. 614–622, 2025, doi: 10.33395/jmp.v14i1.14816.
- [25] S. A. Arrahma and R. Mukhaiyar, “Pengujian Esp32-Cam Berbasis Mikrokontroler ESP32,” *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 4, no. 1, pp. 60–66, 2023, doi: 10.24036/jtein.v4i1.347.
- [26] M. Ardana, B. Panjaitan, and T. Budi Santoso, “Rancang Bangun Sistem Keamanan Rumah Berbasis Internet of Things (Iot),” *J. Limits*, vol. 20, no. 2, pp. 23–36, 2023, doi: 10.59134/jlmt.v20i2.605.
- [27] T. Widi Saputro, B. Rahmat, and M. Idhom, “Rancang Bangun on Off Sepeda Motor Menggunakan Wifi Dengan Esp32,” *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 9, no. 3, pp. 4383–4389, 2025, doi: 10.36040/jati.v9i3.13626.
- [28] I. N. W. R. S. Rizqi Samkayana, “Implementasi Firebase Realtime Database Pada Smart Cat Feeder Berbasis Mikrokontroler Esp32,” *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, no. 3, 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i3.7198.
- [29] O. Y. Hutajulu, M. D. Mendoza, E. Astrid, and D. H. Sinaga, “Penerapan Programmable Modul Var Kompensator Berbasis Esp32 Pada Pembelajaran Stabilitas Daya,” *J. Teknol. Pendidik.*, vol. 17, no. 2, pp. 103–109, 2025, doi: 10.24114/jtp.v17i2.65189.
- [30] W. Waryanto, M. Mursalim, T. Aprilia, and M. Khozin, “Implementasi Ganda Modul ESP32 untuk Kontrol Pintu Otomatis dengan Monitoring Realtime dan Autolock Terjadwal melalui Web dan Chatbot,” *J. Ris. Rekayasa Elektro*, vol. 7, no. 1, pp. 1–10, 2025, doi: 10.30595/jrre.v7i1.24273.
- [31] M. V. Gultom and I. S. Putro, “Sistem Deteksi Kebakaran Berbasis Iot Dengan Mikrokontroler Esp32,” *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, no. 2, 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i2.6236.
- [32] I. Agustine Cahyaningtyas, A. Stefanie, and I. Ibrahim, “Implementasi Esp32 Cam Dan Kodular Berbasis Android Untuk Monitoring Smart Garden,” *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 7, no. 4, pp. 2512–2518, 2024, doi: 10.36040/jati.v7i4.7121.
- [33] E. Alvaryo and F. Wahab, “Rancang bangun pemantauan kualitas air pada greywater system berbasis ESP32,” *JITEL (Jurnal Ilm. Telekomun. Elektron. dan List. Tenaga)*, vol. 5, no. 1, pp. 75–86, 2025, doi: 10.35313/jitel.v5.i1.2025.75-86.
- [34] P. T. Wikantama, M. Bahalwan, and M. A. G. Akmal, “SIGEMPA : Sistem Peringatan Dini Gempa Bumi berbasis IoT dengan ESP32,” 2024, *scholar.archive.org*. doi: 10.55606/teknik.v4i1.2937.
- [35] A. Ridho'i, K. Setyadjit, and B. Era Yordhan, “Sistem Monitoring Suhu Dan Kelembaban Pada Budidaya Jamur Tiram Menggunakan ESP32,” *J. FORTECH*, vol. 4, no. 1, pp. 20–26, 2023, doi: 10.56795/fortech.v4i1.4103.
- [36] T. Ihsania, R. Yudha Adhitya, A. Khumaidi, M. K. Hasin, and I. Sutrisno, “Analisis Waktu Performa Pengiriman Pada Sistem Peminjaman Inventaris Laboratorium berbasis IOT,” *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 10, no. 2, pp. 226–233, 2023, doi: 10.33795/elkolind.v10i2.2996.
- [37] Ade Agung Kurniawan, Hermanto, and S. Rahmawati, “Smart Tong Sampah Pendeteksi Otomatis Sampah Organik & Anorganik Berbasis IoT Smart city,” *J. KomtekInfo*, pp. 163–172, 2024, doi: 10.35134/komtekinfo.v11i3.564.
- [38] Latipul Basri Hutabarat, “Pemanfaatan Internet Of Things (IOT) Oleh Pemustaka Dalam Pencarian Informasi Di Dinas Kearsipan dan Perpustakaan Provinsi Sumatera Barat,” *Bridg. J. Publ. Sist. Inf. dan Telekomun.*, vol. 2, no. 2, pp. 117–139, 2024, doi: 10.62951/bridge.v2i2.67.
- [39] M. Fatih Muhana and E. Fuad, “Keamanan Dan Implementasi Iot Dalam Lingkungan Industri,” *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 8, no. 4, pp. 7848–7855, 2024, doi: 10.36040/jati.v8i4.10468.
- [40] Achmad Isya Alfassa, Ayla Zhafira, Rahma Yulia Sifa, Ervina Kartika Sari, Novisca Indriani, and Nurul Hidayah, “Literature Review: Pemanfaatan Internet of Things (Iot) Di Sektor Pertanian, Peternakan, Dan Perikanan,” *J. Perangkat Lunak*, vol. 7, no. 2, pp. 198–209, 2025, doi: 10.32520/jupel.v7i2.4237.
- [41] R. Saputra *et al.*, “Pelatihan Penerapan Internet of Things (IoT) dalam Bidang Pertanian untuk Mahasiswa

- Program Studi Teknik Pertanian Universitas Jambi,” *Jdistira*, vol. 4, no. 2, pp. 400–405, 2024, doi: 10.58794/jdt.v4i2.1230.
- [42] I. P. Sari, D. Apdilah, and S. Guntur, “Sistem Smart Class Berbasis Internet of Things (IoT),” *sudo J. Tek. Inform.*, vol. 4, no. 1, pp. 33–39, 2025, doi: 10.56211/sudo.v4i1.778.
- [43] M. S. Itqan and N. I. F. Arrahmani, “Pengembangan Media Pembelajaran Matematika Berbasis IoT dengan Pendekatan Problem Based Learning,” *J. Pendidik. Mat.*, vol. 1, no. 2, p. 9, 2023, doi: 10.47134/ppm.v1i2.120.
- [44] D. Suryadi, C. S. Octiva, T. I. Fajri, U. W. Nuryanto, and M. L. Hakim, “Optimasi Kinerja Sistem IoT Menggunakan Teknik Edge Computing,” *J. Minfo Polgan*, vol. 13, no. 2, pp. 1456–1461, 2024, doi: 10.33395/jmp.v13i2.14102.
- [45] M. M. K. Affandi and S. H. N. Ginting, “Sistem Pendukung Keputusan untuk Pemilihan Perangkat Internet of Things (IoT) Terbaik Menggunakan Simple Additive Weighting,” *J. Minfo Polgan*, vol. 13, no. 1, pp. 1302–1306, 2024, doi: 10.33395/jmp.v13i1.14344.
- [46] D. R. Respati and R. Sukmadewi, “Adaptasi Internet of Things (IoT) dalam Manajemen Distribusi dan Gudang: Rantai Pasokan Pada PT. X,” 2024, *jiip.stkipyapisdompu.ac.id*. doi: 10.54371/jiip.v7i2.3767.
- [47] R. Gios Sholid, H. Yanto, H. Alhaq, and S. Danang Wijanarko, “Rancang Bangun Sistem Digital Pemantau Suhu dan Kelembaban Ruang Server Berbasis IoT,” *J. Sains Inform. Terap.*, vol. 4, no. 2, 2025, doi: 10.62357/jsit.v4i2.729.
- [48] I. Albanna and H. Nugroho, “Fungsi Ganda Perangkat IoT-Client Sebagai Kendali Aktuator dan Basis Layanan Melalui Komunikasi Paket Data JSON,” *J. Teknol. dan Manaj.*, vol. 4, no. 2, pp. 119–129, 2023, doi: 10.31284/j.jtm.2023.v4i2.4699.
- [49] J. Junaidi and K. Ramadhani, “Efektivitas Internet of Things (Iot) Pada Sektor Pertanian,” *J. Tek.*, vol. 4, no. 1, p. 12, 2024, doi: 10.54314/teknisi.v4i1.1793.
- [50] F. - and Wahyu Priyanto, “Implementation Of IoT-Based Optical Sensors For Real-Time Monitoring In Palm Oil Processing,” *J. Inotera*, vol. 9, no. 2, pp. 482–289, 2024, doi: 10.31572/inotera.vol9.iss2.2024.id395.

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