

IMPLEMENTASI PROTOKOL AODV MENGGUNAKAN ESP-NOW PADA WIRELESS SENSOR NETWORK BERBASIS ESP32

Nanda Amaliatus Sholicha¹, Agung Setia Budi^{*2}

^{1,2}Universitas Brawijaya, Malang
Email: ¹nandasholicha3@gmail.com, ²agungsetiabudi@ub.ac.id
^{*}Penulis Korespondensi

(Naskah masuk: 28 Mei 2024, diterima untuk diterbitkan: 09 Agustus 2024)

Abstrak

Di era *Internet of Things* (IoT) yang semakin berkembang, *Wireless Sensor Network* (WSN) berperan penting dalam menghubungkan perangkat, memfasilitasi pertukaran data, dan menghemat sumber daya. Namun, WSN masih menghadapi tantangan operasional, seperti pengumpulan data sensor yang luas, operasional dengan energi terbatas, dan adaptasi dengan dinamika lingkungan yang berubah. Penelitian ini mengkaji implementasi protokol *Ad hoc On-Demand Distance Vector* (AODV) bersama *ESP-NOW* pada mikrokontroler ESP32, dengan tujuan utama meningkatkan efisiensi operasional WSN. Metode pengujian yang digunakan melibatkan pengujian dalam berbagai kondisi WSN, baik untuk *node* statis maupun dinamis, di lingkungan dengan dan tanpa hambatan fisik, untuk mengevaluasi kinerja AODV secara menyeluruh. Hasil pengujian menunjukkan tingkat keberhasilan komunikasi antar-*node* sebesar 86,6%, menandakan potensi signifikan dari integrasi ESP32 dan *ESP-NOW* dalam implementasi AODV di WSN. Penelitian ini penting karena membantu dalam mengatasi tantangan operasional dalam *Wireless Sensor Network* (WSN) yang merupakan bagian integral dari IoT, dan kontribusinya terletak pada pengembangan dan implementasi protokol AODV dengan *ESP-NOW* pada ESP32, yang berpotensi meningkatkan efisiensi dan adaptabilitas WSN, sehingga mendukung perkembangan dan peningkatan aplikasi IoT di masa depan.

Kata kunci: AODV, ESP-NOW, ESP32, Internet of Things, Wireless Sensor Network.

IMPLEMENTATION OF AODV PROTOCOL USING ESP-NOW ON ESP32 BASED WIRELESS SENSOR NETWORK

Abstract

In the rapidly evolving era of the Internet of Things (IoT), Wireless Sensor Networks (WSN) play a crucial role in connecting devices, facilitating data exchange, and conserving resources. However, WSNs continue to face operational challenges, such as extensive sensor data collection, limited energy operation, and adaptation to changing environmental dynamics. This study examines the implementation of the Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) protocol in conjunction with ESP-NOW on the ESP32 microcontroller, primarily aiming to enhance the operational efficiency of WSNs. The testing methodology employed involves trials under various WSN conditions, for both static and dynamic nodes, in environments with and without physical obstacles, to comprehensively evaluate the performance of AODV. The results show a successful inter-node communication rate of 86.6%, indicating the significant potential of integrating ESP32 and ESP-NOW in the AODV implementation within WSNs. This research is important as it helps in addressing the operational challenges in Wireless Sensor Networks (WSN), which are an integral part of IoT, and its contribution lies in the development and implementation of the AODV protocol with ESP-NOW on ESP32, which has the potential to enhance the efficiency and adaptability of WSNs, thereby supporting the development and improvement of IoT applications in the future.

Keywords: AODV, ESP-NOW, ESP32, Internet of Things, Wireless Sensor Network.

1. PENDAHULUAN

Di tengah perkembangan teknologi yang pesat, pemahaman mendalam tentang jaringan dan aliran informasi menjadi sangat penting. Ini bukan hanya penting bagi para profesional teknologi, tetapi juga bagi masyarakat umum. Perubahan paradigma dalam

komunikasi global telah membawa kita ke era di mana kita terhubung tidak hanya melalui perangkat individual, tetapi juga melalui ekosistem perangkat yang saling berinteraksi. Ini mengarah pada lahirnya konsep *Internet of Things* (IoT), yang merupakan sebuah visi di mana setiap objek dapat terkoneksi dan berkomunikasi satu sama lain (Gubbi et al., 2013).

Di Indonesia, industri IoT mengalami perkembangan yang signifikan, khususnya di sektor industri (ASIOTI, 2023). Dalam konteks *Internet of Things* (IoT), Jaringan Sensor Nirkabel (WSN) memegang peranan penting. Pertama, WSN memungkinkan pengumpulan data skala besar melalui penyebaran sensor yang luas (Dogra, Babbar, & Rani, 2022). Kedua, operasi hemat energi sensor dalam WSN memungkinkan mereka berfungsi secara efektif dengan daya terbatas, yang krusial untuk aplikasi di lokasi terpencil (Thangarasu et al., 2019). Selain itu, WSN menawarkan skalabilitas dan fleksibilitas yang tinggi, dan dengan kemampuan pemrosesan data di pinggiran jaringan (*edge computing*), mengurangi kebutuhan mengirim data mentah ke pusat data (Sharma et al., 2020).

Namun, dengan meningkatnya jumlah perangkat yang terintegrasi, tantangan utama bukan hanya pada pengiriman dan penerimaan data, tetapi juga dalam pengelolaan dan prioritas data dalam jaringan yang sangat dinamis (Gulati et al., 2022). Kondisi idealnya adalah memiliki sistem yang dapat menangani kompleksitas WSN. Integrasi Protokol *Ad-hoc On-Demand Distance Vector* (AODV) dengan *ESP-NOW* pada platform ESP32 dalam penelitian ini merupakan sebuah pendekatan inovatif.

AODV dipilih karena keunggulan utamanya dalam menyediakan *routing* yang responsif dan adaptif terhadap perubahan dinamis dalam topologi jaringan, yang sangat penting dalam aplikasi IoT (Verma, Singh, & Pathak, 2014; Yu & Yao, 2012). Sementara itu, studi oleh Roberto et.al (2021) menyoroti keunggulan protokol komunikasi *ESP-NOW* dalam penggunaan dengan papan pengembangan ESP32 dari Espressif, terutama dalam mengatasi masalah pengambilan data dari node sensor di lingkungan yang tidak memiliki akses ke jaringan nirkabel lokal.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang lebih berfokus pada penggunaan AODV atau *ESP-NOW* secara terpisah, penelitian ini mencoba mengintegrasikan kedua teknologi tersebut dalam satu platform, yaitu ESP32. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan solusi untuk tantangan yang ada dalam WSN, tetapi juga menawarkan peningkatan signifikan dalam hal efisiensi dan adaptabilitas WSN. Ini menunjukkan bagaimana penelitian ini membedakan dirinya dan menawarkan peningkatan atas solusi yang ada.

Sistem yang direncanakan dalam penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan jaringan sensor nirkabel dalam IoT, yang sedang mengalami pertumbuhan pesat. Dengan fokus pada implementasi protokol AODV menggunakan *ESP-NOW* pada ESP32, penelitian ini berupaya mengevaluasi mekanisme *Route Request* (RREQ) dan *Route Reply* (RREP) dalam mengidentifikasi dan menetapkan rute di jaringan WSN. RREQ adalah mekanisme yang digunakan oleh node sumber untuk mencari rute ke node tujuan pada masa Fase *Discovery*, sementara

RREP adalah balasan yang diterima dari node tujuan atau node lain yang memiliki rute ke tujuan. Selain itu, sistem ini dirancang untuk dapat menampilkan tabel *routing* pasca Fase *Discovery*, memastikan jalur terpendek dapat ditetapkan dengan jelas, dan mengevaluasi kinerja sistem dalam berbagai kondisi jaringan.

Namun, penelitian ini juga memiliki beberapa batasan dan tantangan. Misalnya, implementasi protokol AODV dan *ESP-NOW* pada ESP32 memerlukan pemahaman mendalam tentang kedua teknologi tersebut dan bagaimana mereka dapat bekerja sama secara efektif. Selain itu, evaluasi kinerja sistem dalam berbagai kondisi jaringan memerlukan pengujian yang cermat dan analisis hasil yang teliti. Untuk mengatasi tantangan ini, penelitian ini menggunakan berbagai metode pengujian dan analisis data untuk memastikan hasil yang akurat.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini berfokus pada pengembangan dan implementasi modifikasi protokol *Ad hoc On-Demand Distance Vector* (AODV) yang diintegrasikan dengan teknologi *ESP-NOW* pada mikrokontroler ESP32. Modifikasi protokol AODV diarahkan untuk memanfaatkan fitur *ESP-NOW*, bertujuan untuk menciptakan sistem yang responsif dan adaptif terhadap perubahan topologi dan kondisi dalam jaringan *Wireless Sensor Network* (WSN).



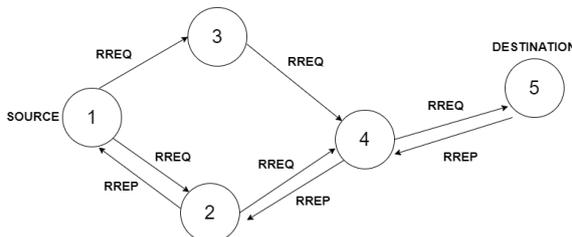
Gambar 1. Perancangan perangkat keras

Perancangan perangkat keras dalam penelitian yang ditunjukkan oleh gambar 1, melibatkan penggunaan ESP32 sebagai mikrokontroler utama, didukung oleh powerbank sebagai sumber daya. Desain ini dikembangkan untuk menawarkan fleksibilitas dan mobilitas dalam pengaturan WSN, mampu memenuhi kebutuhan aplikasi yang beragam. Gambar perancangan perangkat keras menggambarkan secara detail konfigurasi fisik dan hubungan antar komponen.

Pada tahap implementasi, ESP32 disiapkan sebagai pusat pemrosesan data, terhubung dengan powerbank yang menjamin suplai daya yang konsisten. Gambar 2 menunjukkan perangkat keras sistem ketika diimplementasikan.



Gambar 2. Perangkat keras sistem

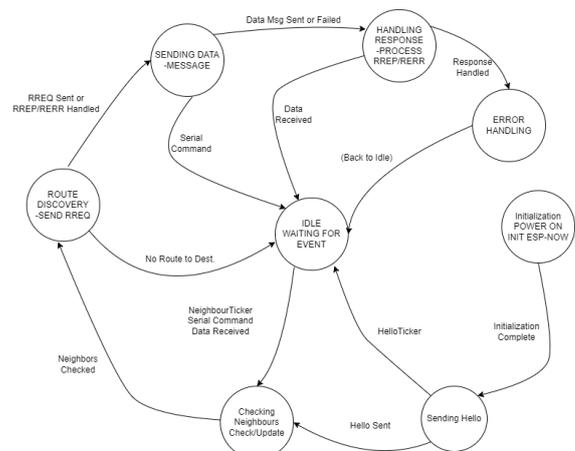


Gambar 3. Perancangan protokol AODV

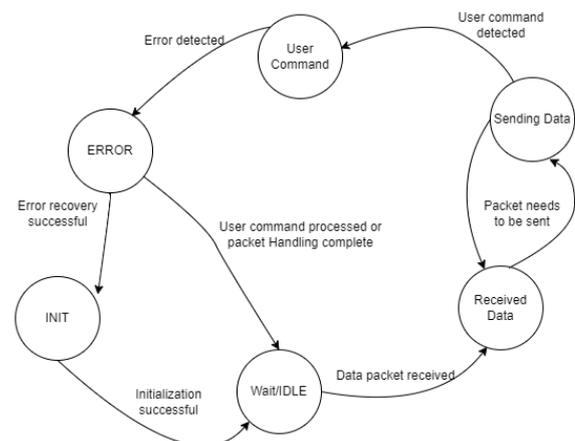
Protokol *Ad hoc On-Demand Distance Vector* (AODV) yang dirancang dalam penelitian ini ditujukan untuk mengoptimalkan efisiensi dalam komunikasi antar-node yang menggunakan ESP32, berfokus pada menyediakan informasi *routing* yang spesifik untuk *path* dan *host* yang aktif. Gambar 3 menggambarkan bagaimana protokol AODV bekerja pada jaringan WSN. Pada dasarnya, setiap node ESP32 dalam jaringan ini menyimpan tabel *routing next-hop*, yang vital dalam menentukan jalur terbaik untuk mengirimkan data. Dalam situasi di mana node sumber perlu mengirim paket data namun tidak memiliki rute yang tersedia, ia akan memulai proses *Route Discovery* dengan melakukan *broadcast Route Request* (RREQ), lengkap dengan nomor *sequence* tujuan. Ketika RREQ diterima oleh node tujuan atau node lain yang memiliki rute ke tujuan, mereka akan membalas dengan *Route Reply* (RREP) berdasarkan nomor *sequence* yang sesuai, yang dicatat dalam paket. Protokol AODV yang dikembangkan ini memanfaatkan *link* yang bersifat simetris, memastikan bahwa komunikasi antara node sumber dan tujuan efisien dan handal. Setiap node dalam jalur dari sumber ke tujuan akan memperbarui tabel *routing next-hop* mereka dengan informasi yang diperoleh dari RREP. Akhirnya, node sumber akan memilih rute dengan jumlah hop paling sedikit berdasarkan RREP yang diterima untuk mengirimkan paketnya. Dalam penelitian ini, dilakukan jeda waktu sekitar 15 detik antara pengiriman paket data pertama dan selanjutnya, hal ini dilakukan untuk memastikan keandalan dan efisiensi dalam komunikasi antar-node dalam jaringan.

Dalam penelitian ini, perancangan sistem komunikasi antar-node berbasis protokol *Ad hoc On-Demand Distance Vector* (AODV) telah disesuaikan

untuk bekerja dengan ESP-NOW, teknologi komunikasi eksklusif dari Espressif yang beroperasi pada perangkat ESP32. Adaptasi ini dirancang untuk memaksimalkan efisiensi dalam konteks pembatasan sumber daya dan karakteristik unik *ESP-NOW*. Gambar 4 menggambarkan perancangan pengiriman dan penerimaan data pada *source node*. Di tingkat *source node*, sistem dimulai dengan inisialisasi yang meliputi pengaktifan *ESP-NOW* dan konfigurasi parameter komunikasi awal, termasuk penyesuaian *baud rate* untuk komunikasi *serial*. Saat dalam keadaan siaga, node menunggu pemicu untuk beraksi, baik itu menerima data, instruksi dari *Serial*, atau event dari *timer*. Secara berkala, node mengirim paket *Hello* untuk mengumumkan keberadaannya kepada *node* tetangga, menjaga jaringan aktif. Selain itu, *node* secara periodik memeriksa status tetangga untuk mengidentifikasi dan mengelola *node* yang aktif atau tidak aktif dalam tabel rute. Proses penting lainnya adalah *Route Discovery*, yang terjadi ketika *node* perlu mengirim data namun tidak memiliki rute yang valid; *node* akan mengirim *Route Request* (RREQ) untuk menemukan rute yang tersedia. Setelah mendapatkan konfirmasi rute atau memperoleh rute melalui *Route Discovery*, *node* mengirimkan pesan data ke *node* tujuan.



Gambar 4. State diagram source node



Gambar 5. State diagram client node

Di sisi *client node* seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 5, inisialisasi melibatkan konfigurasi *ESP-NOW*, mode *WiFi*, dan inisialisasi EEPROM jika diperlukan. Dalam keadaan menunggu, *node client* siaga menunggu paket data atau komando dari *Serial*. Saat menerima paket data, *node* memprosesnya berdasarkan jenisnya: memperbarui tabel tetangga untuk paket *Hello*, memproses dan meneruskan *Route Error* (RERR) atau permintaan rute (RREQ), memperbarui tabel *routing* dan meneruskan *Route Reply* (RREP), atau meneruskan pesan jika bukan untuk *node* tersebut. *Node* juga memiliki kemampuan untuk mengirimkan data sebagai respon atau secara periodik, serta mengeksekusi komando pengguna, seperti membaca atau membersihkan EEPROM, atau menampilkan tabel *routing*. Dalam keadaan error, *node* mencatat kesalahan dan mencoba memulihkan sistem. Selama proses ini, *node client* secara aktif mengelola tabel *routing* dan tetangga, berperan sebagai agen aktif dalam jaringan yang berkomunikasi dan memelihara integritas data serta keberlangsungan jaringan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bagian ini, hasil dari serangkaian pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini disajikan untuk menunjukkan efektivitas dan keandalan implementasi protokol *Ad hoc On-Demand Distance Vector* (AODV) yang telah disesuaikan untuk *ESP-NOW* pada perangkat ESP32. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk memverifikasi kemampuan *node-node* dalam jaringan *Wireless Sensor Network* (WSN) untuk saling mengenali dan berkomunikasi secara efisien menggunakan mekanisme RREQ (*Route Request*) dan RREP (*Route Reply*). Pengujian ini mencakup proses *Discovery*, pengiriman dan penerimaan RREQ dan RREP, visualisasi tabel *routing*, dan evaluasi kinerja sistem dalam berbagai skenario operasional, termasuk kondisi statis dan dinamis serta dengan adanya hambatan fisik.

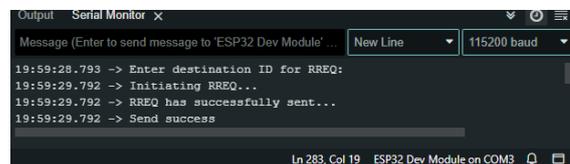
3.1 Pengujian Pengiriman RREQ dan RREP

Pengujian pengiriman RREQ dan RREP bertujuan untuk memastikan bahwa setiap *node* tetangga dapat saling mengenali dan bahwa mekanisme RREQ (*Route Request*) dan RREP (*Route Reply*) beroperasi dengan efektif. Pengujian ini merupakan bagian dari Fase *Discovery* yang mencakup proses broadcast, RREQ, dan RREP.

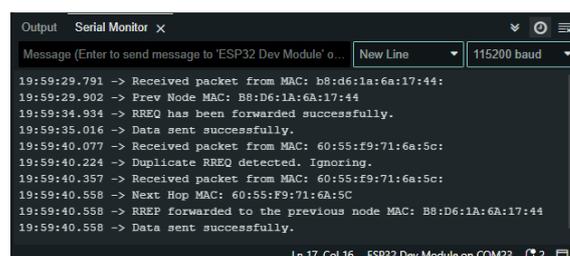
Prosedur pengujian dimulai dengan mengaktifkan empat *node* klien yang berkoordinasi dengan sebuah *node* sumber melalui modul komunikasi *ESP-NOW*. Langkah awal dari pengujian dimulai dengan menghidupkan *node* sumber dan keempat *node* klien. Setelah semua *node* menyala, pengguna memasukkan instruksi "r" ke dalam Serial Monitor setiap *node* untuk memulai Fase *Discovery*.

Selama Fase *Discovery*, setiap *node* melakukan pertukaran paket dengan header "R" untuk

mengidentifikasi keberadaan *node* tetangga. *Node* yang mendeteksi paket yang ditujukan untuk mereka akan merespons dengan mengirimkan paket dengan header "P". Jika tidak, paket akan diteruskan ke *node* yang sesuai.

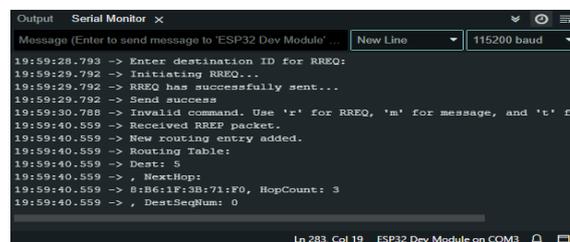


Gambar 5. Tampilan Source *Node* ketika RREQ dikirim



Gambar 6. Log *Node* klien 2, 3, dan 4 ketika meneruskan RREQ dan RREP.

Selama pengujian, *Node Source* mengirimkan RREQ ke *Node Klien* 2, 3, 4, dan 5, di mana masing-masing *Node Klien* merespons dengan mengirimkan paket RREP kembali ke *Node Source*. *Node Klien* 2, 3, 4, dan 5 juga bertindak sebagai relay untuk meneruskan RREP, membantu membentuk rute efisien di dalam jaringan ad-hoc.



Gambar 7. Tampilan source *node* menerima RREP

Hasil pengujian menunjukkan bahwa implementasi AODV menggunakan *ESP-NOW* berhasil dalam pembentukan rute dinamis antar *node* dalam jaringan ad-hoc. *Node-node* tetangga dapat saling berkomunikasi melalui proses *Discovery* Phase, membuktikan bahwa protokol AODV yang diimplementasikan dengan *ESP-NOW* dapat diandalkan untuk aplikasi jaringan nirkabel yang memerlukan pembentukan rute dinamis dan efisien.

3.2 Pengujian Menampilkan Tabel *Routing*

Uji coba menampilkan tabel *routing* dirancang untuk memvisualisasikan tabel *routing* yang telah terbentuk setelah menyelesaikan Fase *Discovery*. Pengguna dapat memulai tampilan tabel *routing* dengan memasukkan perintah "t" pada Serial Monitor setelah menyelesaikan Fase *Discovery*, yang akan menunjukkan jalur terpendek yang telah ditetapkan menuju tujuan.

Gambar 8. Source *Node* menampilkan table *routing*.

Seusai semua *node* terkoneksi dan dapat mengidentifikasi *node* tetangga, pengguna dapat memeriksa jalur terpendek yang tersedia dengan mengetik "t" pada Serial Monitor. Gambar 8 menunjukkan contoh tampilan dari tabel *routing* yang telah terkonfigurasi.

3.3 Pengujian Kinerja Sistem

Pengujian kinerja sistem dilakukan untuk mengukur kemampuan *node* dalam berbagai skenario, termasuk *node* statis, *node* dinamis tanpa hambatan, dan *node* dinamis dengan hambatan, dalam mengirim paket data ke *node* yang dituju. Pengujian dilakukan berurutan dengan tiga skenario:

Pengujian *Node* Statis: Pada pengujian ini, semua *node* ditempatkan dalam ruangan yang sama tanpa hambatan fisik. Hasilnya menunjukkan bahwa semua *node* berhasil mengirim dan menerima data dengan sempurna, mencapai keberhasilan 100%.

Tabel 1. *Node* Statis Tanpa Hambatan

No	Pengujian	Hasil
1	Pengujian ke 1	Berhasil
2	Pengujian ke 2	Berhasil
3	Pengujian ke 3	Berhasil
4	Pengujian ke 4	Berhasil
5	Pengujian ke 5	Berhasil

Pengujian *Node* Dinamis Tanpa Hambatan: Skenario ini melibatkan *node* yang bergerak secara dinamis tanpa adanya hambatan fisik. Hasilnya juga menunjukkan keberhasilan 100%.

Tabel 2. *Node* Dinamis Tanpa Hambatan

No	Pengujian	Hasil
1	Pengujian ke 1	Berhasil
2	Pengujian ke 2	Berhasil
3	Pengujian ke 3	Berhasil
4	Pengujian ke 4	Berhasil
5	Pengujian ke 5	Berhasil

Pengujian *Node* Dinamis Dengan Hambatan: Dalam skenario ini, *node* bergerak secara dinamis dengan adanya hambatan fisik seperti pintu, dinding, dan kaca. Hasilnya menunjukkan bahwa ada kegagalan pada pengujian pertama dan keempat karena *node* klien tidak terdeteksi oleh *node* base. Persentase keberhasilan untuk skenario ini adalah 60%.

Dengan rata-rata keberhasilan 86.6% dari 15 kali skenario pengujian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem yang diimplementasikan mampu berkinerja baik dalam kondisi *node* statis dan dinamis tanpa hambatan, meskipun ada kendala saat *node* bergerak dengan hambatan fisik.

Tabel 3. *Node* Dinamis Dengan Hambatan

No	Pengujian	Hasil
1	Pengujian ke 1	Gagal
2	Pengujian ke 2	Berhasil
3	Pengujian ke 3	Gagal
4	Pengujian ke 4	Berhasil
5	Pengujian ke 5	Berhasil

4. KESIMPULAN

Berdasarkan seluruh tahapan perancangan, implementasi, pengujian, dan analisis hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan penting. Implementasi protokol AODV untuk *routing* antar-*node* pada lingkungan *ESP-NOW* berhasil dilaksanakan, dan semua *node* klien serta *node* sumber mampu mengirim pesan dengan sukses sesuai prosedur pengujian. Selama pengujian sistem, terbukti bahwa seluruh *node* dapat saling terhubung dan berkomunikasi dengan baik, mengirim pesan pengguna, dan menjalankan jaringan sensor nirkabel (WSN) menggunakan protokol AODV pada perangkat ESP32 dengan ESP-NOW. Dalam 15 kali pengujian kinerja sistem yang mencakup kondisi *node* yang statis tanpa hambatan, *node* dinamis tanpa hambatan, dan *node* dinamis dengan hambatan fisik seperti pintu, dinding, atau kaca, seluruh *node* berhasil melakukan pengiriman dan penerimaan data dengan tingkat keberhasilan mencapai 86,6%. Hasil ini mengindikasikan bahwa uji kinerja sistem dapat dianggap sukses, baik dalam kondisi ada atau tidak adanya hambatan fisik.

DAFTAR PUSTAKA

- DOGRA, R., BABBAR, H., & RANI, S., 2022. Integration of WSN and IoT: Its Applications and Technologies. In IoT and WSN based Smart Cities: A Machine Learning Perspective, pp.243-256. Cham: Springer International Publishing.
- GUBBI, J., BUYYA, R., MARUSIC, S., & PALANISWAMI, M., 2013. *Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions*. Future generation computer systems, 29(7), pp.1645-1660.
- GULATI, K., BODDU, R. S. K., KAPILA, D., BANGARE, S. L., CHANDNANI, N., & SARAVANAN, G., 2022. A review paper on wireless sensor network techniques in *Internet of Things (IoT)*. Materials Today: Proceedings, 51, pp.161-165.
- KOMPAS.COM., 2023. Pasar IoT di Indonesia Diprediksi Capai Rp 572,7 Triliun pada 2025. Tersedia melalui: Kompas <<https://money.kompas.com/read/2023/03/19/140000026/pasar-iot-di-indonesia-diprediksi-capai-rp-572-7-triliun-pada-2025>> [Diakses 18 November 2023]
- PASIC, R., KUZMANOV, I., & ATANASOVSKI, K., 2021. *ESP-NOW* communication protocol with ESP32. Journal of Universal Excellence, 6(1), pp.53-60.

- SHARMA, R., PRAKASH, S., & ROY, P., 2020. Methodology, applications, and challenges of WSN-IoT. In 2020 International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICE3), pp.502-507. IEEE.
- THANGARASU, G., DOMINIC, P. D. D., BIN OTHMAN, M., SOKKALINGAM, R., & SUBRAMANIAN, K., 2019. An efficient energy consumption technique in integrated WSN-IoT environment operations. In 2019 IEEE Student Conference on Research and Development (SCORED) pp.45-48. IEEE.
- VERMA, V. K., SINGH, S., & PATHAK, N. P., 2014. Analysis of scalability for AODV *routing* protocol in wireless sensor networks. *Optik*, 125(2), pp.748-750.
- YU, Y., & YAO, Y., 2012. Improved AODV *routing* protocol for wireless sensor networks and implementation using OPNET. In 2012 Third International Conference on Intelligent Control and Information Processing, pp.709-713. IEEE.