

## Prototipe Sistem Komunikasi Data Text Wireless Topologi Mesh Untuk meningkatkan area Cakupan Berbasis ESP 32

Irmayani Irmayani<sup>\*</sup>; Fivit Marwita; Ibrahim Newton; Lukman Hakim

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik,

Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta

E\_mail: [ir.irmayani@gmail.com](mailto:ir.irmayani@gmail.com)

### Abstrak

Indonesia merupakan salah satu negara terbesar dengan wilayah yang sangat luas. Beberapa daerah pelosok dan pulau-pulau kecil yang ada belum sepenuhnya dijamah oleh teknologi telekomunikasi, dikarenakan lokasinya yang sulit diakses. Hal ini menyebabkan beberapa daerah dan pulau tersebut belum terjangkau oleh sinyal telekomunikasi. Untuk mengatasi permasalahan ini, dikembangkan prototipe sistem komunikasi nirkabel dengan topologi mesh menggunakan teknologi ESP32. Teknologi ESP32 memungkinkan pembangunan jaringan komunikasi yang dapat mengirimkan pesan teks di daerah pelosok yang belum terjangkau sinyal, sehingga memungkinkan antar pengguna untuk saling bertukar informasi. Selain itu, teknologi ini juga dapat meminimalisir kebutuhan pembangunan infrastruktur fisik, karena tidak memerlukan instalasi kabel untuk menghubungkan perangkat-perangkat, seperti pada sistem infrastruktur konvensional. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa perangkat ini berhasil dibangun dan berfungsi dengan baik dalam mode point-to-point hingga jarak 545 meter tanpa menggunakan relay. Dengan menggunakan empat modul ESP32, jaringan dapat mencakup jarak hingga 1270 meter. Jumlah maksimal karakter yang dapat dikirimkan adalah 244 byte per pesan. Sistem komunikasi nirkabel berbasis ESP32 ini dapat memberikan alternatif dalam pengembangan jaringan di daerah-daerah yang sulit dijangkau dan memiliki kinerja yang baik dengan latensi yang rendah, bahkan ketika digunakan secara bersamaan oleh beberapa pengguna.

**Kata kunci:** Topologi Mesh, komunikasi Wireless, ESPNow, MAC Address, Mikrokontroler ESP32

### Abstract

*Indonesia, as one of the largest countries with a vast territory, still has many remote areas and small islands that remain unreachable by telecommunication networks due to difficult geographical access. Consequently, several regions lack signal coverage. This study presents the development of a prototype wireless communication system using a mesh topology based on ESP32 technology. The ESP32 enables the creation of a network capable of transmitting text messages in areas without cellular signal coverage, allowing users to exchange information directly. Furthermore, this technology reduces the need for physical infrastructure, as it operates without cable installations, unlike conventional systems. The prototype demonstrated successful performance in point-to-point communication over distances up to 545 meters without relays. With four ESP32 modules, the network achieved a communication range of up to 1270 meters. Each message can carry a maximum of 244 bytes. This ESP32-based wireless communication system offers an alternative solution for network development in hard-to-reach areas and shows good performance with low latency, even when accessed concurrently by multiple users.*

**Keywords:** Mesh Topology, Wireless Communication, ESPNow, MAC Address, ESP32Microcontroller

## 1. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur untuk di daerah pelosok atau pedalaman di Indonesia, masih kurang di dukung dengan pembangunan infrastruktur telekomunikasi yang baik. Daerah pelosok juga membutuhkan infrastruktur untuk berkomunikasi apabila di daerah tersebut merupakan area yang mempunyai risiko tinggi. Seperti menyediakan komunikasi dua arah antara para pekerja untuk memantau kondisi dilapangan. infrastruktur komunikasi yang baik merupakan hal penting pada saat proses bekerja yang pada akhirnya dapat mengurangi dan meminimalisir dampak lingkungan, dan meningkatkan keselamatan para pekerja. Semua ini akan memberikan kontribusi pada pertumbuhan sektor industri.

Kominfo sedang giat melanjutkan lima program kerja penyediaan infrastruktur teknologi informasi dan komunikasi, serta program pengelolaan spektrum

frekuensi. Lalu program standar perangkat dan layanan publik, kemudian program pemanfaatan teknologi informasi dan komunikasi. Selanjutnya, program komunikasi publik dan program dukungan manajemen.

Salah satu faktor pendukung peningkatan pengguna internet itu adalah semakin gencarnya pemerintah dalam hal ini Kementerian Komunikasi dan Informatika (Kemkominfo) membangun sektor ini dalam tiga tahun terakhir. Misalnya, dalam membangun telekomunikasi Indonesia dari pelosok negeri seperti daerah terluar, terpencil, dan terdepan (3T) (Kominfo, 2023).

Pemerataan infrastruktur telekomunikasi di desa tertinggal menjadi tantangan yang tidak mudah, terutama sebagai negara yang terdiri dari ribuan pulau. Peran Pemerintah untuk melakukan Transformasi Digital di Desa Tertinggal sangat diperlukan untuk memenuhi dan mendapatkan informasi sesuai dengan keinginan dan

kebutuhan pencari informasi (Sohib, 2023). Oleh karena itu, peningkatan infrastruktur harus menjadi prioritas utama.

Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk tujuan ini adalah ESP-NOW, suatu protokol komunikasi nirkabel yang dikembangkan oleh Espressif Systems untuk modul ESP32. ESP-NOW menawarkan komunikasi yang cepat dengan latensi rendah dan konsumsi daya yang minimal, menjadikannya ideal untuk kondisi ini (Espressif, 2024)

Topologi jaringan yang digunakan juga memainkan peran penting dalam memastikan keandalan dan efisiensi komunikasi. Jaringan mesh merupakan salah satu pilihan topologi yang efektif karena setiap node dalam jaringan dapat berfungsi sebagai repeater, memperluas jangkauan dan memperkuat koneksi antar node (Effiong et al., 2022). Dengan menggunakan jaringan mesh, data dapat didistribusikan secara efisien di antara perangkat-perangkat yang terhubung, memastikan bahwa informasi penting dapat dikirimkan dengan cepat dan andal (Hamza & Yousif, 2021).

Dalam dunia teknologi, salah satu perangkat yang mendukung konsep ini adalah ESP32, sebuah mikrokontroler yang dikenalkan oleh Espressif Systems dan merupakan penerus dari ESP8266. Salah satu keunggulan utama dari ESP32 adalah integrasi Wifi dan Bluetooth, yang sangat penting dalam pengembangan sistem Internet of Things (IoT). Fasilitas koneksi nirkabel yang dimiliki ESP32 memungkinkan berbagai aplikasi teknologi canggih untuk terhubung dan beroperasi dalam jaringan yang efisien (Prasad & Ghosh, 2021).

Untuk meningkatkan komunikasi antar perangkat dalam jaringan, protokol ESP-NOW hadir sebagai solusi. Protokol ini dirancang khusus untuk modul ESP32 guna mendukung komunikasi peer-to-peer tanpa perlunya infrastruktur jaringan seperti router atau access point. Karakteristik utama dari ESP-NOW, termasuk latensi rendah, konsumsi daya minimal, dan dukungan komunikasi multicast, menjadikannya pilihan ideal untuk aplikasi yang memerlukan respons cepat dan efisien dalam distribusi informasi (Robles et al., 2022).

Cara lain untuk lebih meningkatkan efektivitas komunikasi adalah melalui penggunaan jaringan mesh. Jaringan mesh adalah topologi di mana setiap node dapat berkomunikasi langsung dengan node lain, berfungsi sebagai repeater, sehingga memperkuat jalur komunikasi (Pascale et al., 2018). Keunggulan jaringan mesh, seperti reliabilitas tinggi, cakupan yang lebih luas, dan distribusi beban yang efisien, membuatnya menjadi pilihan tepat untuk aplikasi yang membutuhkan stabilitas dalam komunikasi (Ripto et al., 2021). Dengan mengintegrasikan ESP-NOW ke dalam infrastruktur jaringan mesh, dapat diciptakan solusi komunikasi yang tidak hanya andal tetapi juga sangat efisien. Dalam implementasinya, modul ESP32 yang mendukung ESP-NOW berfungsi sebagai node dalam jaringan mesh,

memungkinkan setiap node berkomunikasi dengan node lainnya secara adaptif. Keuntungan dari pendekatan ini meliputi interoperabilitas tinggi antar perangkat, resiliensi terhadap gangguan komunikasi, efisiensi energi berkat konsumsi daya rendah dari ESPNOW, dan kemampuan skalabilitas yang memungkinkan penambahan node baru dengan mudah tanpa memerlukan konfigurasi yang rumit. Hal ini menunjukkan potensi besar gabungan ESP-NOW dan jaringan mesh dalam mendukung komunikasi untuk area yang lebih luas.

Berdasarkan hasil percobaan Rui & Sara, jarak komunikasi antara 2 perangkat adalah 300 m. Sedangkan evaluasi kinerja jaringan ini dalam hal jarak dan jumlah maksimal karakter (byte) yang dapat dikirimkan untuk menilai apakah solusi ini dapat memenuhi kebutuhan komunikasi (Santos & Santos, 2023).

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah sistem komunikasi wireless berbasis ESP-NOW dengan topologi jaringan mesh menggunakan modul ESP32. Alat ini diharapkan dapat mempermudah dalam berkomunikasi pada daerah yang tidak tercover sinyal dengan baik dikarenakan perangkat ini dihubungkan dalam bentuk jaringan mesh dimana masing-masing perangkat dapat saling terhubung tanpa harus membangun menara untuk sebuah antena. Disamping itu dengan menggunakan topologi mesh agar dapat meningkatkan jarak jangkauan/area cakupan system. Ujicoba perangkat dilakukan pada area terbuka (Line Of Sight), tanpa ada gedung bertingkat.

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1 Mikrokontroler ESP32

Mikrokontroler adalah suatu sistem komputer fungsional dalam satu chip. Di dalamnya terkandung prosesor, memori (sejumlah kecil RAM, memori program, atau keduanya), dan perlengkapan input output. Dengan kata lain, mikrokontroler adalah suatu alat elektronika digital yang mempunyai masukan dan keluaran serta kendali dengan program yang bisa ditulis dan dihapus dengan cara khusus, cara kerja mikrokontroler adalah membaca dan menulis data. Mikrokontroler merupakan komputer didalam chip yang digunakan untuk mengontrol peralatan elektronik.

ESP32 merupakan mikrokontroler yang dikenalkan oleh Espressif System, diproduksi oleh TSMC menggunakan proses 40 nm dan merupakan penerus dari mikrokontroler ESP8266. Kelebihan dari ESP32 tersebut yaitu, sudah terdapat Wifi dan Bluetooth didalamnya, yang akan sangat mempermudah pembuatan sistem IoT yang memerlukan koneksi wireless dalam pengoperasian nya (Espressif, 2024).(Hayat, 2020)

ESP 32 adalah serangkaian sistem berdaya rendah pada mikrokontroler chip dengan Wi-Fi terintegrasi dan Bluetooth mode ganda. Pada mikrokontroler ini sudah tersedia modul WiFi dalam chip sehingga sangat mendukung untuk membuat sistem aplikasi untuk Internet

of Things (Syaroni et al., 2025). Seri ESP 32 menggunakan mikroprosesor Tensilica Xtensa LX6 dalam variasi dual-core dan single-core dan termasuk switch antena built-in, RF balun, penguat daya, penguat penerima derau rendah, filter, dan modul manajemen daya (Davis, R. R., & Greene, 2018).

Keuntungan utama dari ESP32 adalah dukungannya terhadap dua protokol komunikasi nirkabel, yaitu Wi-Fi dan Bluetooth. Wi-Fi memungkinkan perangkat untuk terhubung ke internet, sehingga dapat berkomunikasi dengan server lain atau perangkat lain dalam jaringan. Sementara itu, Bluetooth memberikan kemampuan untuk berinteraksi dengan perangkat lain secara lokal tanpa memerlukan koneksi internet. Kombinasi fitur ini memberikan fleksibilitas yang tinggi dalam merancang sistem IoT, memungkinkan pengembang untuk memilih cara terbaik untuk komunikasi sesuai dengan kebutuhan aplikasi (Alhassan & Mohammed, 2021).

Radio ESP32 terdiri dari blok pemancar dan penerima. Penerima 2.4GHz mendemodulasi sinyal RF 2,4 GHz menjadi sinyal pita dasar kuadratur dan mengubahnya ke domain digital dengan dua resolusi tinggi, ADC berkecepatan tinggi. Untuk beradaptasi dengan berbagai kondisi saluran sinyal, Filter RF, Kontrol Penguatan Otomatis (AGC), sirkuit pembatalan offset DC, dan filter pita dasar terintegrasi dalam chip (Espressif, 2024)

Pemancar 2,4 GHz memodulasi sinyal pita dasar kuadratur ke sinyal RF 2,4 GHz, dan menggerakkan antenna dengan penguat daya Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS) bertena tinggi. penggunaan digital kalibrasi semakin meningkatkan linearitas penguat daya, memungkinkan kinerja dalam memberikan daya hingga +20.5 dBm untuk transmisi 802.11b dan +18 dBm untuk transmisi 802.11n (Wicaksono & Rahmatya, 2022).

Keberagaman jenis pin yang tersedia pada ESP32 juga menjadikannya sangat fleksibel untuk berbagai aplikasi. Dengan kemampuan untuk menghubungkan berbagai sensor dan perangkat lainnya, ESP32 dapat digunakan dalam beragam proyek mulai dari sistem automasi rumah, monitoring lingkungan, hingga aplikasi industri. Kemudahan ini didukung oleh berbagai pustaka perangkat lunak yang tersedia, seperti Arduino IDE dan PlatformIO, yang memungkinkan pengembang untuk dengan cepat mulai mengembangkan aplikasi tanpa harus memahami detail dalam pengoperasian mikrokontroler secara mendalam.

Aspek keamanan juga menjadi perhatian utama dalam pengembangan ESP32. Dengan adanya alat untuk enkripsi data dan otentikasi, mikrokontroler ini menjadi pilihan yang baik untuk aplikasi yang memerlukan keamanan tinggi, seperti sistem pengawasan dan pengendalian akses. Keberadaan fitur-fitur ini sangat penting mengingat semakin banyaknya perangkat IoT

yang terhubung ke jaringan global dan potensi risiko yang menyertainya (Gupta, N., & Sharma, 2021).

## 2.2 ESP NOW

ESP-NOW adalah protokol komunikasi tanpa koneksi yang dikembangkan oleh Espressif yang menampilkan transmisi paket pendek. ESP-NOW memungkinkan beberapa perangkat untuk berkomunikasi satu sama lain dengan cara yang mudah tanpa menggunakan Wi-Fi. Protokol ini mirip dengan konektivitas nirkabel 2.4GHz berdaya rendah (Robles et al., 2022) (Mardamsyah et al., 2024).

ESP NOW mendukung komunikasi jarak jauh, sehingga dapat digunakan dalam skenario aplikasi luar ruangan. Selain itu, komunikasi ini dapat juga memberikan koneksi yang stabil bahkan di antara perangkat yang dipisahkan oleh dinding tebal atau terletak di lantai yang berbeda. Berdasarkan eksperimen yang dilakukan oleh Departemen Riset dan Pengembangan Espressif, ditempatkan empat lampu di empat lokasi berbeda membentuk persegi dengan jarak tiap sudut 320 meter. Keempat perangkat ini masih dapat dikontrol sebelum akhirnya menghasilkan data yang kurang konsisten pada jarak diatas 500 meter (Espressif, 2024).

Protokol ESP-NOW memungkinkan komunikasi nirkabel peer-to-peer antar perangkat ESP tanpa memerlukan infrastruktur jaringan Wi-Fi tradisional seperti router atau access point. Protokol ini dikenal dengan latensi rendah dan konsumsi daya yang minimal, yang ideal untuk aplikasi taktis yang memerlukan respons cepat (Hayat, 2020).

Dengan karakteristik yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan aplikasi IoT (Internet of Things), ESP-NOW memiliki berbagai keunggulan yang menjadikannya pilihan menarik untuk berbagai proyek (Nguyen & Tran, 2021).

Penggunaan multicast dalam ESP-NOW memungkinkan satu perangkat mengirim pesan ke beberapa perangkat sekaligus, yang meningkatkan efisiensi distribusi informasi. ESP-NOW digunakan untuk menyebarkan informasi posisi dan situasi dari sensor secara real-time. Implementasinya dalam mesh network memperkuat komunikasi antar perangkat meskipun ada hambatan fisik atau jarak jauh.

Dalam banyak aplikasi, terutama yang berkaitan dengan sensor dan pengendalian perangkat, respon cepat sangat penting. Latensi rendah yang ditawarkan oleh ESP-NOW memungkinkan perangkat untuk berkomunikasi secara efisien, memastikan bahwa informasi penting dapat dikirim dan diterima hampir dalam waktu nyata. Hal ini ideal untuk sistem otomasi rumah, misalnya, di mana pengendalian lampu atau perangkat lainnya perlu dilakukan dengan cepat (Robles et al., 2022).

Selain itu, protokol ini dirancang dengan fokus pada konsumsi daya yang rendah. Dalam dunia IoT, di mana banyak perangkat beroperasi dengan tenaga baterai,

efisiensi energi adalah hal yang sangat penting. ESP-NOW berfungsi dengan baik dalam hal ini, memungkinkan perangkat untuk tetap terhubung dan berkomunikasi tanpa menghabiskan daya yang berlebihan (Espressif, 2022).

Implementasi protokol ESP-NOW tergolong sederhana. Pengembang dapat mengatur komunikasi antar perangkat dengan mudah menggunakan library yang disediakan oleh Espressif. Hal ini membuatnya sangat menarik untuk pengembangan prototipe dan produksi skala kecil hingga menengah. Dengan kemudahan akses ini, ESP-NOW memungkinkan para pembuat untuk mengeksplorasi berbagai ide inovatif dan mengembangkan solusi yang dapat berfungsi secara mandiri dalam jaringan IoT (Lestari & Yulianto, 2021).

Selain aplikasinya dalam otomasi rumah dan sensor, ESP-NOW juga dapat ditemukan dalam berbagai solusi industri dan skala besar, seperti pengelolaan sistem pertanian cerdas, pengawasan lingkungan, dan sistem lacak dan kontrol. Kesederhanaan dalam penerapan, efisiensi energi, latensi rendah, dan kemampuan multicast membuat protokol komunikasi ini relevan di banyak sektor (Prasad & Ghosh, 2021).

ESP-NOW adalah protocol komunikasi yang dapat digunakan untuk berkomunikasi pesan kecil (hingga 250 byte) antara pengguna, berbasis di frekuensi 2.4GHz. Namun berbeda dengan Wifi dan Bluetooth, ESP-NOW dapat dioperasikan tanpa harus melakukan login ke jaringan komunikasi. Untuk berkomunikasi melalui ESP-NOW, pengguna perlu mengetahui MAC Address dari penerima ESP32. Hal ini merupakan cara pengguna dapat mengetahui ke perangkat mana akan mengirim data (Santos & Santos, 2023).

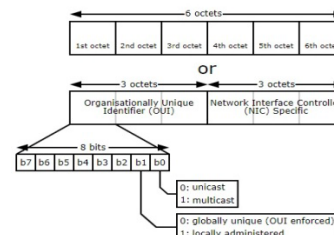
### 2.3 MAC Address

Media Access Control Address (MAC Address) merupakan pengidentifikasi unik perangkat keras yang mengidentifikasi setiap perangkat di jaringan. MAC Address terdiri dari enam kelompok dua digit heksadesimal, dipisahkan oleh titik dua, misalnya 30:AE:A4:07:0D:64 (Santos & Santos, 2023).

MAC Address ini ditetapkan oleh perusahaan pembuat atau produsen, dapat diubah atau memberikan MAC Address khusus untuk perangkat yang dimiliki. Tapi setiap kali perangkat di reset, maka akan kembali pada MAC address aslinya (default).

MAC Address adalah suatu alamat jaringan yang diimplementasikan pada lapisan taut data dalam model tujuh-lapisan OSI, yang merepresentasikan sebuah node tertentu dalam jaringan. Dalam suatu jaringan berbasis Ethernet, MAC Address merupakan alamat yang unik yang memiliki panjang 48 bit (6 bit) yang mengidentifikasi sebuah komputer, antarmuka dalam sebuah perute, atau node lainnya dalam jaringan, seperti yang ditunjukkan pada gambar 1. Setiap header dalam frame Ethernet berisi informasi mengenai alamat dari komputer sumber

(source) dan alamat dari komputer tujuan. Perangkat-perangkat tersebut pun kemudian menggunakan tabel yang baru dibuat untuk meneruskan frame yang diterima ke segmen jaringan tertentu di mana komputer atau node yang memiliki alamat tujuan berada.



Gambar 1. Pengalamatan

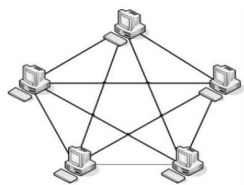
Dalam suatu komputer, alamat ditetapkan ke sebuah kartu jaeingan (*network interface card/NIC*) yang digunakan untuk menghubungkan komputer ke jaringan. Alamat umumnya tidak dapat diubah karena telah dimasukkan ke dalam ROM.

Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) mengalokasikan blok-blok dalam alamat. 24 bit pertama dari alamat merepresentasikan pembuat kartu, dan 24 bit sisanya merepresentasikan nomor kartu tersebut. Setiap kelompok 24 bit tersebut dapat direpresentasikan dengan menggunakan enam digit bilangan heksa, sehingga menjadikan total 12 digit bilangan heksadesimal yang merepresentasikan keseluruhan alamat.

Agar komputer dapat saling berkomunikasi dalam jaringan, setiap frame jaringan harus memiliki alamat Layer-2, yaitu alamat. Namun, untuk menyederhanakan komunikasi di jaringan yang lebih besar, digunakan alamat Layer-3, yaitu alamat IP (Internet Protocol), dalam protokol TCP/IP (Irmayani et al., 2024). Untuk menjembatani komunikasi antara alamat IP dan alamat, digunakan protokol ARP (Address Resolution Protocol). Protokol ini berfungsi untuk menerjemahkan alamat Layer-3 (IP) menjadi alamat Layer-2 (MAC), sehingga komputer dalam jaringan dapat saling menemukan dan berkomunikasi satu sama lain secara efisien (Irmayani & Pardede, 2024)

### 2.4 Topologi Mesh

Jaringan mesh adalah topologi jaringan di mana setiap node dapat berfungsi sebagai repeater untuk memperluas jangkauan dan memastikan reliabilitas jaringan (Effiong et al., 2022). Jaringan mesh memungkinkan komunikasi tetap berjalan meskipun salah satu node mengalami gangguan (Haseeb et al., 2020). Gambar 2 menggambarkan topologi jaringan mesh yang memperluas konektivitas antar node tanpa memerlukan sentralisasi, membuatnya lebih tangguh terhadap kegagalan (Hamza & Yousif, 2021) (Amani & Mahmud, 2020).



Gambar 2. Topologi Mesh

Jaringan mesh adalah jenis topologi jaringan di mana setiap node dapat berkomunikasi langsung dengan satu atau lebih node lainnya (Phing et al., 2019). Setiap node juga dapat berfungsi sebagai repeater untuk memfasilitasi komunikasi antar node yang tidak berada dalam jangkauan langsung (Berto et al., 2021).

Topologi jaringan berfungsi untuk mengetahui node atau host dalam jaringan dapat saling berkomunikasi satu sama lain. Topologi mesh adalah sebuah topologi yang bisa digunakan untuk rute yang banyak (Lin et al., 2015). Fungsi dari topologi jaringan mesh adalah menghubungkan secara langsung setiap perangkat yang ada dalam jaringan (Pascale et al., 2018). Sehingga di dalam topologi jaringan ini, seluruh perangkat dapat berkomunikasi secara langsung dengan perangkat yang menjadi tujuan (Ripto et al., 2021).

### 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Konsep Perancangan

Prototipe sistem komunikasi data teks *wireless* ini dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 dengan penerapan protokol ESP-NOW dan topologi *mesh*. Sistem ini bertujuan untuk meningkatkan cakupan area komunikasi antarperangkat dengan pendekatan *point-to-multipoint*.

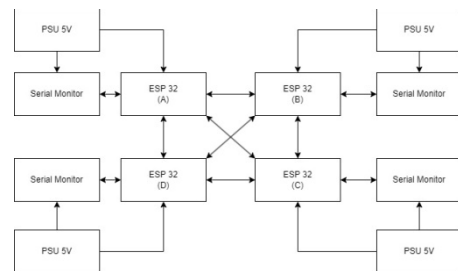
Setiap perangkat dirancang agar dapat berfungsi ganda, yaitu sebagai pengirim maupun penerima data. Pesan yang dikirimkan berupa data teks. Perangkat ini memiliki karakteristik konsumsi daya yang rendah, sehingga cocok digunakan dalam sistem komunikasi yang efisien dan hemat energi.

Untuk menampilkan pesan teks yang dikirim dan diterima, digunakan *serial monitor* sebagai perangkat pendukung. *Serial monitor* akan menampilkan data secara real-time, sehingga mempermudah proses pemantauan dan pengujian sistem.

Diagram blok sistem ditunjukkan pada Gambar 3. Setiap modul terdiri atas satu unit catu daya (PSU 5V DC), satu mikrokontroler ESP32, dan satu unit *serial monitor*.

Pada Gambar 3 ditampilkan diagram blok rancangan prototipe sistem komunikasi berbasis ESP32 yang terdiri dari 4 modul atau perangkat komunikasi yang digunakan untuk membentuk sistem komunikasi dengan topologi mesh. Agar proses komunikasi dapat berjalan, diperlukan 4 unit *power supply* sebagai sumber tegangan, 4 unit ESP32 yang berfungsi untuk mengirimkan data, menyimpan serta menjalankan program guna memproses

dan mengolah data, kemudian mengirimkan data yang telah diproses kepada pengguna yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32. Selain itu, digunakan pula 4 unit *serial monitor* sebagai alat bantu untuk menampilkan pesan atau instruksi dari ESP32.



Gambar 3. Diagram blok sistem komunikasi berbasis ESP 32

Komunikasi antar unit dimulai dengan mengaktifkan masing-masing perangkat (diberi daya atau dilakukan proses *restart*). Setelah itu, inialisasi perangkat yang meliputi persiapan protokol ESP-NOW, pengenalan alamat perangkat sendiri, serta pembukaan komunikasi serial untuk menampilkan data.

Selanjutnya, perangkat akan membaca perintah yang dikirimkan melalui *serial*. Jika terdapat perintah, maka sistem akan membuat *key* (kunci), dan bersama dengan perintah tersebut, membentuk sebuah struktur pesan. Setelah pesan tersusun, perangkat akan mengirimkannya.

Perangkat lain yang menerima pesan akan terlebih dahulu memeriksa isi dan alamat tujuan pesan tersebut. Jika pesan tersebut ditujukan kepada perangkat itu sendiri (alamat sesuai), maka isi pesan akan ditampilkan pada layar *serial* dan disimpan. Namun, jika pesan ditujukan untuk perangkat lain, maka pesan tersebut akan diteruskan kembali menggunakan metode *broadcast*, sehingga dapat mencapai perangkat tujuan melalui node lainnya dalam jaringan *mesh*.

#### 3.2 Identifikasi Perangkat

Sebelum melakukan pemasangan dan konfigurasi pada setiap perangkat, terlebih dahulu dilakukan proses inialisasi atau pengecekan *MAC address* pada masing-masing perangkat ESP32. Tujuan dari pengecekan ini adalah untuk mengetahui identitas dari setiap perangkat, sehingga proses pengiriman pesan dapat diarahkan ke alamat tujuan yang tepat sesuai dengan *MAC address* perangkat yang dituju.

Pada Gambar 4 ditampilkan salah satu hasil pengecekan *MAC address* dari perangkat ESP32. Teks yang ditandai dengan warna merah menunjukkan *MAC address* perangkat, sedangkan teks yang ditandai dengan warna biru menunjukkan nama atau label perangkat tersebut.

```

COM3
11:17:02.688 -> ets Jun  8 2016 00:22:57
11:17:02.688 ->
11:17:02.688 -> rst:0x1 (POWERON_RESET),boot:0x13 (SPI_FAST_FLASH_BOOT)
11:17:02.688 -> configsip: 0, SPIWP:0xee
11:17:02.688 -> clk_drv:0x00,q_drv:0x00,d_drv:0x00,cs0_drv:0x00,hd_drv:0x00,wp_drv:0x00
11:17:02.688 -> mode:DIO, clock div:1
11:17:02.688 -> load:0x3fff0030,len:1344
11:17:02.688 -> load:0x40078000,len:13516
11:17:02.688 -> load:0x40080400,len:3604
11:17:02.688 -> entry 0x400805f0
11:17:03.109 ->
11:17:03.109 -> ESP Board MAC Address : f0:08:d1:d2:70:00
11:17:03.109 -> My Device : a
11:17:03.109 -> 2 Messages are stored
    
```

Gambar 4. Pengecekan MAC Adress perangkat ESP32

### 3.3 Frame Data Pada ESP-NOW

Frame Data pada ESP-NOW memiliki format khusus vendor dan kemudian ditransmisikan dari satu perangkat Wi-Fi ke perangkat Wi-Fi lainnya tanpa harus terhubung sebelumnya.

Tabel 1 Frame pesan pada komunikasi ESP-NOW

Element ID	Length	Organization Identifier	Type	Version	Body
1 byte	1 byte	3 byte	1 byte	1 byte	0-250 byte

Frame pesan pada komunikasi ESPNOW ditunjukkan pada table 1. Element ID diatur kenilai (221), yang menunjukkan elemen khusus vendor. Length adalah panjang total Organization Identifier, Type, Version, dan Body (misal, nilai 200 untuk lebar pesan 200byte). Organization Identifier merupakan Pengidentifikasi Organisasi berisi identifikasi unik yang merupakan tiga byte pertama dari alamat yang diterapkan oleh Espressif (misal, F0:08:D1:XX:XX:XX dan CC:DB:A7:XX:XX:XX adalah alamat milik Espressif). Type menunjukkan Jenis komunikasi (misal, nilai 4 untuk tipe ESP-NOW). Versi protokol ESP-NOW dan Body berisi pesan.

Pada dasarnya ESP-NOW merupakan komunikasi peer to peer yang memiliki kekurangan tidak dapat mengirim pesan ke perangkat yang tidak dalam jangkauan pengirim. Kesulitan terjadi apabila perangkat berada jauh dari pengirim, karena berbagai hal. Untuk mengatasi hal itu, maka ditambahkan beberapa format dalam bagian body pesan dengan isi Body akan memiliki format seperti tabel 2.

Tabel 2. Format pada Body pesan

Key	Alamat Tujuan	Isi Pesan	Asal Pengirim
4 byte	17 byte	220 byte	3 byte

Pada tabel 2, Key adalah Angka yang diterbitkan oleh perangkat pengirim secara otomatis untuk membantu proses routing, supaya relay tidak perlu meneruskan pesan yang sama berkali-kali dan berlaku juga untuk penerima agar tidak menerima pesan yang sama dari relay atau perangkat lain.. Alamat tujuan berisi tujuan pesan yang dikirim. Bagian ini diperlukan agar relay mengetahui

tujuan akhir pesan. Penulisan tujuan menggunakan huruf a, b, c, dan d, sesuai dengan perangkat yang telah didaftarkan.

Isi pesan terdiri dari 220 karakter yang menggunakan format karakter ASCII yang berarti masing-masing karakter memiliki bobot sebesar 1 byte. Pada format pengirim ditambahkan secara otomatis oleh pengirim awal. Hal ini dibutuhkan karena perangkat penerima hanya dapat mengetahui perangkat terakhir yang menyampaikan pesan padahal terkadang pesan harus melewati relay terlebih dahulu. Dengan ditambahkan bagian ini, walaupun pesan teruskan oleh beberapa relay, perangkat penerima tetap akan mengetahui pengirim aslinya.

### 3.4 Proses Enkripsi

Pada saat masing-masing perangkat melakukan proses pengiriman pesan, perangkat tersebut akan menghasilkan sebuah angka unik yang berfungsi untuk melindungi isi pesan. Angka unik ini, yang disebut *key*, merupakan nomor seri pesan yang secara otomatis dibuat oleh perangkat pengirim saat pesan akan dikirimkan ke alamat perangkat tujuan.

Karena proses enkripsi ini, perangkat yang berfungsi sebagai *relay* tidak dapat membuka isi pesan yang diteruskan. Hal ini bertujuan untuk menjaga kerahasiaan pesan selama proses pengiriman berlangsung dalam jaringan *mesh*.

Sebagai contoh, jika Perangkat A (PA) bertindak sebagai pengirim pesan, maka PA akan secara otomatis menghasilkan angka acak (*key*) untuk setiap pesan yang dikirimkan. Dengan demikian, perangkat yang ditugaskan sebagai *relay* oleh PA tidak akan mengirimkan pesan yang sama secara berulang, dan tidak dapat membaca isi pesan tersebut. Mekanisme ini juga berlaku untuk semua perangkat lainnya di dalam jaringan selain PA.

Angka acak (*key*) yang diterbitkan oleh perangkat pengirim berfungsi untuk mendukung proses *routing*, agar perangkat *relay* tidak meneruskan pesan yang sama berkali-kali, dan agar penerima tidak menerima pesan duplikat dari perangkat *relay* atau perangkat lain. *Key* ini memiliki kemungkinan kombinasi hingga 2,417 miliar, sehingga tingkat keunikannya sangat tinggi dan sulit untuk diduplikasi.

### 3.5 Skema Peroutingan

*Routing* adalah proses pengiriman paket data atau pesan berupa informasi dengan meneruskannya dari satu perangkat ke perangkat lainnya dalam jaringan, berdasarkan protokol komunikasi ESP-NOW.

Agar proses *routing* dapat berjalan dengan baik, diperlukan beberapa langkah penting, yaitu:

1. Menentukan alamat tujuan (destination address). Perangkat harus mengetahui alamat tujuan berdasarkan *MAC address*.
2. Mengenali sumber informasi. Sistem mengenali alamat pengirim juga berdasarkan *MAC address*.

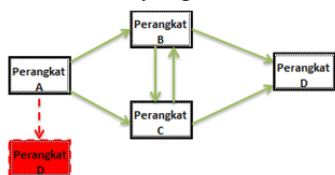
3. Menentukan rute pengiriman. Jalur pengiriman dipilih berdasarkan jarak terdekat dan kualitas sinyal terbaik dari perangkat tujuan, sehingga perangkat *relay* dapat meneruskan pesan dengan efisien dan tepat sasaran.
4. Menjaga kerahasiaan informasi selama proses routing. Pesan yang dikirimkan akan disertai *key* enkripsi agar hanya perangkat penerima yang sah dapat membaca isi pesan, sementara perangkat *relay* tidak dapat membuka pesan tersebut.

#### A. Skema Peroutingan 1 (SP1)

Skema 1 (gambar 3) digunakan saat pengirim dan penerima berada dalam satu area jangkauan, sehingga tidak memerlukan perangkat *relay*. Proses komunikasi dapat terjadi ketika semua perangkat masih berada dalam area jangkauan yang sama. Dalam kondisi ini, setiap perangkat dapat saling mengirimkan pesan secara langsung tanpa perantara. Karena tidak memerlukan perangkat *relay*, proses pengiriman pesan dalam skema ini berlangsung lebih cepat dan efisien, tapi area cakupannya tidak luas.

#### B. Skema Peroutingan 2 (SP2)

Pada skema 2 (SP2), penerima pesan berada di luar area jangkauan langsung dari pengirim, sehingga dibutuhkan perangkat *relay* untuk meneruskan pesan. Gambar 5 menunjukkan proses *routing* dalam SP2. PA sebagai pengirim, sedangkan PD sebagai penerima. Karena PD berada di luar jangkauan sinyal dari PA, maka diperlukan satu atau lebih perangkat lain yang berfungsi sebagai *relay* untuk meneruskan pesan. Semua perangkat dalam jaringan dapat berfungsi sebagai *relay*, asalkan berada dalam jangkauan pengirim dan penerima, serta memiliki rute komunikasi yang valid.



Gambar 5 Skema Peroutingan 2

Pada Gambar 5 ditampilkan proses *routing* yang terjadi ketika PA sebagai pengirim pesan, dan PD sebagai penerima pesan, namun posisi PD berada jauh di luar jangkauan sinyal langsung dari PA.

Dalam kondisi ini, PA akan mengirimkan pesan secara *broadcast* ke seluruh perangkat yang berada dalam area jangkauannya. PB dan PC, yang berada dalam jangkauan langsung PA, akan menerima pesan tersebut lebih cepat karena letaknya yang berdekatan. Namun demikian, PB dan PC tidak dapat membuka atau menampilkan isi pesan, karena pesan telah dienkripsi oleh PA. Perangkat yang hanya berfungsi sebagai *relay* tidak memiliki izin untuk membaca isi pesan, dan hanya bertugas meneruskan pesan

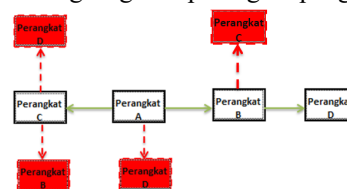
tersebut ke perangkat tujuan berdasarkan alamat yang ditentukan.

Sebelum meneruskan pesan, PB dan PC harus memeriksa *key* yang diterbitkan oleh PA pada saat awal pengiriman. *Key* ini berfungsi sebagai identitas unik pesan, untuk memastikan bahwa pesan tidak diteruskan atau ditampilkan lebih dari satu kali.

Pada akhirnya, PD akan menerima satu pesan yang valid meskipun ada dua perangkat *relay* (PB dan PC) yang meneruskannya. Jika *key* dari pesan yang dikirimkan oleh kedua *relay* tersebut sama, maka sistem akan mengenalinya sebagai pesan duplikat, dan hanya satu pesan yang akan ditampilkan di *serial monitor*. Hal ini mencegah terjadinya penggandaan informasi dan menjaga efisiensi komunikasi dalam jaringan.

#### C. Skema Peroutingan 3 (SP3)

Pada skema 3 yaitu pengiriman pesan menggunakan relay ganda, pengiriman pesan dilakukan melalui perangkat *relay* karena perangkat tujuan (PD) berada di luar jangkauan langsung dari perangkat pengirim (PC).



Gambar 6 Skema Peroutingan 4

Gambar 6 menunjukkan proses *routing* yang terjadi ketika PC sebagai pengirim pesan dan PD sebagai penerima pesan, namun posisi PD berada jauh dari PC sehingga berada di luar jangkauan langsung.

Dalam skema ini, PA dan PB berfungsi sebagai perangkat *relay* agar pesan dari PC dapat diteruskan ke PD. Saat PC melakukan pengiriman pesan dengan metode *broadcast*, PC gagal meneruskan pesan ke PB dan PD karena posisinya terlalu jauh dari PC, sehingga pesan tidak sampai ke perangkat yang dituju.

Sebaliknya, PA yang masih berada dalam jangkauan menerima pesan dan meneruskan pesan ke PB. Oleh karena itu, PA dan PB bertindak sebagai *relay* dalam skema ini.

Proses pengiriman dilakukan oleh PB dengan meneruskan pesan sesuai dengan alamat tujuan yang telah ditentukan, yaitu menuju PD. Dengan demikian, walaupun salah satu perangkat *relay* tidak berhasil meneruskan pesan, sistem tetap dapat bekerja dengan baik berkat adanya perangkat *relay* lain yang berada dalam jangkauan efektif.

#### D. Delivery Report

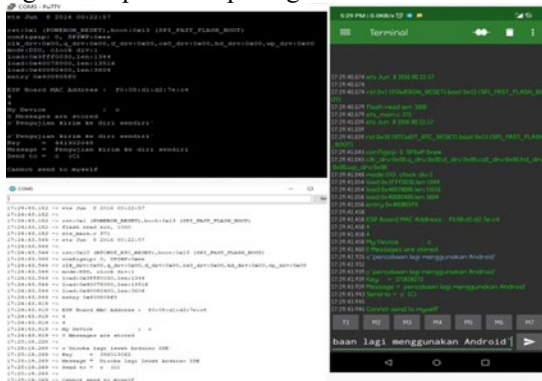
Laporan pengiriman adalah pesan dari setiap perangkat yang bertugas sebagai penerima yang memberi tahu perangkat pengirim bahwa pesan teks yang dikirim dari perangkat pengirim telah terkirim ke alamat yang dituju. Dengan laporan pengiriman setiap perangkat

pengirim dapat mengetahui apakah pesan yang disampaikan sudah sampai pada penerima. Laporan pengiriman ini tetap menunjukkan alamat perangkat pengirim awal walaupun menggunakan Perangkat Relay sebagai perangkat pembantu pada saat proses pengiriman yang dilakukan.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

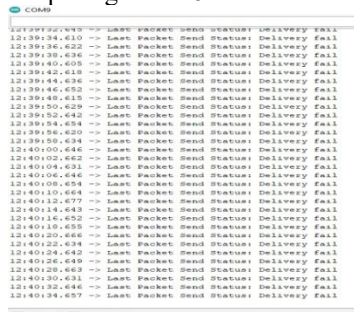
##### 4.1 Pengujian Pengiriman ke Diri Sendiri

Proses pengujian pengiriman kepada diri sendiri dilakukan untuk mengetahui respon perangkat ketika pengguna mengirim pesan ke perangkat yang dimilikinya. Pengujian ini dilakukan untuk menjaga agar perangkat tidak menerima kembali informasi yang sama dari perangkat lain pada saat perangkat tersebut broadcast.



Gambar 7 Perintah mengirim ke diri sendiri dilarang

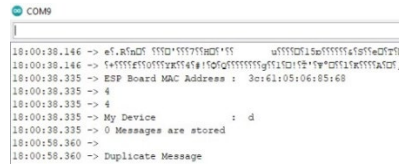
Gambar 7 menunjukkan perangkat melaporkan bahwa mengirim ke diri sendiri merupakan perintah yang dilarang pada program manapun. Hal ini tentu disengaja karena apabila diperbolehkan pengiriman akan gagal. Hasil pengiriman ke diri sendiri menggunakan program awal ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Hasil uji Mengirim ke perangkat yang sama

Setelah perangkat gagal mengirim pesan, langkah selanjutnya dan setelah itu akan menyebabkan error. Kejadian ini dapat terjadi karena setelah perangkat mengalami kegagalan kirim, perangkat akan meminta pengiriman melalui relay yang berarti relay akan mengirimkan pesan tersebut ke pengirim awal lalu pengirim awal akan menerima pesan dengan Key miliknya sendiri yang merupakan duplikat hasil uji dapat

dilihat pada gambar 9. Pada gambar 9 tertulis “Duplicate Message” bukan berarti pesan duplikat, namun perangkat mendeteksi adanya Key yang sama, jadi dianggap duplikat.



Gambar 9. Perangkat menerima pesan duplikat

##### 4.2 Hasil Pengukuran Jarak Tanpa Relay

Pengukuran merupakan suatu proses dimana alat yang dibuat dapat bekerja dengan baik pada daerah yang belum tercover sinyal dengan baik untuk berkomunikasi karena memang belum didukung dengan infrastruktur telekomunikasi. Ada beberapa pengujian alat yang dilakukan, yaitu: pengujian delay, jarak maksimal, topologi mesh, sistem komunikasi dua arah, dan broadcast.



Gambar 10. Peta lokasi Setu Babakan

Pengujian sistem dilakukan di danau setu babakan (gambar 10) dengan kondisi tanpa penghalang dengan masing-masing perangkat diletakan pada posisi yang berbeda. Pada proses pengujian untuk mengetahui jarak maksimal yang dapat di jangkau perangkat, pengujian hanya menggunakan dua perangkat yaitu PA dan PD. Untuk mengetahui jarak maksimal posisi PD diletakan pada kondisi tetap pada posisi yang sudah ditentukan, dan posisi PA yang bergerak. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 10.

Pada gambar 10 penunjukan teropong pengukur jarak yang digunakan untuk pada saat proses pengambilan data. Pengujian yang dilakukan sebelum PA mengirimkan pesan pada PD yang harus dilakukan mengukur masing-masing jarak setiap beberapa meter dilokasi pengambilan data sesuai dengan kondisi dilapangan. Percobaan yang dilakukan menggunakan alat teropong pengukur jarak

dimulai dari jarak 31.6 m, sebelum dilakukan pengiriman pesan yang dilakukan PA dari jarak awal dilakukan secara berulang sampai dengan PD tidak bisa lagi menerima pesan yang dikirimkan PA.



Gambar 10 Teropong pengukur jarak

Tabel 3. Hasil pengukuran jarak dan durasi pengiriman

No	Jarak (m)	Durasi kirim (ms)	Status terkirim	Pesan diterima
1	31.6	3	Sukses	Diterima
2	62.4	3	Sukses	Diterima
3	103.0	3	Sukses	Diterima
4	159.9	3	Sukses	Diterima
5	245.0	3	Sukses	Diterima
6	277.0	3	Sukses	Diterima
7	411	3	Sukses	Diterima
8	435	3	Sukses	Diterima
9	455	3	Sukses	Diterima
10	461	8	Sukses	Diterima
11	483	12	Sukses	Diterima
12	516	15	Sukses	Diterima
13	545	25	Sukses	Diterima
14	547	X	Gagal	Diterima
15	582	X	Gagal	Diterima
16	600	X	Gagal	Diterima

Pada tabel 3 menunjukkan data hasil pengukuran jarak untuk penggunaan dua buah perangkat. PA sebagai pengirim pesan dan PD sebagai penerima pesan dengan posisi PD tetap. Supaya diketahui berapa jarak maksimal Perangkat. Warna hijau pada tabel 3 menunjukkan proses pengiriman kondisi paling baik karena durasi pengiriman yang kecil hanya sebesar 3 ms. Untuk yang berwarna kuning menunjukkan proses pengiriman baik tetapi dengan durasi pengiriman yang bervariasi dari 8 – 25 ms sesuai dengan jarak dan kondisi lapangan. Warna merah menunjukkan proses pengiriman kurang baik karena pada jarak 547 - 600 m tidak diketahui berapa variasi delay namun pesan yang dikirimkan sampai pada penerima tetapi tidak direkomendasikan menggunakan perangkat pada jarak diatas 545 m. Pada saat proses pengiriman pesan yang dilakukan tidak mendapatkan status sukses yang berarti gagal namun pada perangkat penerima dapat menerima pesan dengan lengkap tanpa ada isi pesan yang hilang, tetapi durasi pengiriman tidak dapat diketahui.

### 4.3 Hasil Pengukuran Jarak Dengan Relay

Pengujian merupakan suatu proses dimana alat yang dibuat dapat bekerja dengan baik pada saat perangkat yang digunakan berada di tempat yang posisinya diluar jangkauan sehingga memanfaatkan perangkat yang berada disekitarnya untuk dijadikan relay (R). Percobaan yang dilakukan ketika perangkat yang diberikan perintah sebagai pengirim tidak mengetahui lokasi penerima berada diluar area jangkauan sehingga tidak bisa melakukan proses pengiriman secara point to point maka penerima akan menerima informasi yang disampaikan pengirim asal dari perangkat relay (PR), namun tidak merubah alamat pengirim asal.



Gambar 11. Peta lokasi percobaan jarak menggunakan relay

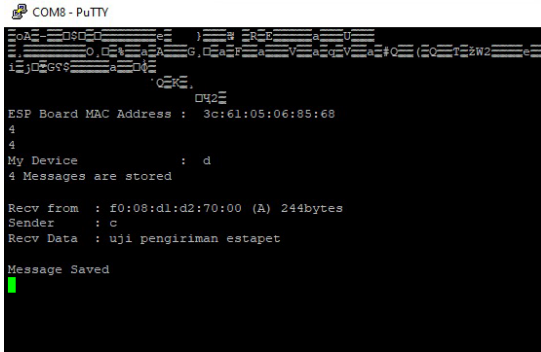
Pengujian dilakukan pada masing-masing perangkat untuk melihat sistem yang dibuat sudah sesuai dengan cara kerja dari topologi mesh dengan membuat skema percobaan dimana masing-masing perangkat dapat berkomunikasi ke semua perangkat baik secara point to point maupun dengan menggunakan relay, percobaan yang dilakukan mengirimkan informasi yang berupa pesan teks dan dilakukan sesuai dengan jarak yang sudah ditentukan sesuai dengan peta lokasi, pengambilan data dengan posisi dari tiap perangkat yang berbeda-beda.

Pada pengujian dengan topologi gambar 6, perangkat pengirim adalah PC diletakan pada titik awal 0 m, Relay 1 (PA) diletakan pada jarak 407 m dari Perangkat pengirim, Relay 2 (PB) diletakan pada jarak 424 m dari Relay 1, dan Perangkat Penerima (PD) pada jarak 439 m dari Relay II sehingga total keseluruhan jarak dari Perangkat Pengirim ke Perangkat Penerima berjarak 1270 m.

Saat proses broadcast yang dilakukan oleh PC, pesan diteruskan ke PA karena lokasinya masih dalam area cakupan dari PC. Statusnya sukses yang berarti pesan tersebut berhasil diterima oleh PA.

PB yang lokasinya masih berdekatan dengan PA sebagai penerima pesan yang disampaikan oleh PC, meneruskan pesan ke PD. Pada gambar 12 dapat dilihat bahwa isi pesan yang disampaikan PC yaitu Uji pengiriman estapet,

yang berarti pesan tersebut sukses diterima dan akan disimpan oleh PD.



Gambar 12. PD sebagai penerima

Hasil pengujian yang dilakukan menggunakan 4 Perangkat yang saling terhubung, dan masing-masing dari setiap perangkat sebagai pengirim dan penerima namun ada juga perangkat yang digunakan sebagai Relay (R) sehingga membuktikan bahwa Perangkat ini bisa bekerja sesuai dengan topologi mesh dimana masing-masing dari perangkat dapat saling terhubung.

Tabel 4. Data hasil pengujian jarak dengan relay

No	Jarak	Tx	R1	R2	Rx	Status
1	1270 m	A	C	D	B	Sukses
2	1270 m	A	D	B	C	Sukses
3	1270 m	A	B	C	D	Sukses
4	1270 m	B	C	D	A	Sukses
5	1270 m	B	D	A	C	Sukses
6	1270 m	B	A	C	D	Sukses
7	1270 m	C	D	B	A	Sukses
8	1270 m	C	D	A	B	Sukses
9	1270 m	C	A	B	D	Sukses

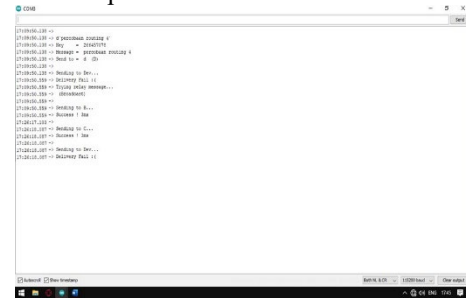
Untuk membuktikan bahwa perangkat sudah dapat saling terhubung dan dapat menyampaikan informasi berupa pesan teks kepada semua Perangkat dapat dilihat pada table 4. Pengujian ini menggunakan dua perangkat sebagai relay (R<sub>1</sub> dan R<sub>2</sub>), untuk menambah jarak pancar dari yang sebelumnya secara point to point hanya sejauh 545 m. Percobaan dengan dua relay ini mampu menambah jarak menjadi 1270 m dengan 4 perangkat pada saat pengujian dilakukan.

#### 4.4 Pengujian Skema Peroutingan 3

Pengujian SP3 bertujuan untuk membuktikan hasil routing dengan skema PA sebagai pengirim yang akan mengirimkan pesan pada PD yang berada diluar jangkauan (gambar 6), dan PC berada diluar jangkauan D. Pada proses PA mengirimkan pesan ke PD (Point to Point). Setelah mengirimkan pesan, PA tidak akan mendapat laporan status kirim sukses, karena D berada diluar jangkauan. Karena pesan yang dikirim gagal, maka

PA akan mengirimkan kembali pesan ke perangkat lain, dalam hal ini PB dan PC secara Point to Multipoint tanpa merubah bagian format “Tujuan” pada Body pesan. Saat PB dan PC menerima pesan dari A, bagian yang akan dilihat pertama adalah bagian format “Tujuan”. Oleh karena “Tujuan” bukan berisi B atau C, maka kedua perangkat ini akan meneruskan kembali pesan tersebut ke perangkat sesuai yang terdapat dalam pesan, yaitu PD. Dalam hal ini PB dan PC akan berperan sebagai Relay. Pada kasus ini setelah PC meneruskan pesan ke PB dan PD. Namun PC akan gagal meneruskan pesan karena PC dan PD diluar jangkauan.

Jika “Key” sesuai dengan yang di kirimkan PB, berarti pesan yang diterima tersebut sampai pada penerima yaitu PD, dan tidak akan diteruskan. PD akan menerima pesan dari PC dan menampilkan pada Serial Monitor dan menyimpan pesan tersebut ke memory dengan format yang telah ditetapkan.



Gambar 13. Hasil uji SP3 pada PA (pengirim)

Pada gambar 13 pada tampilan serial monitor dapat dilihat status My Device: a yang berarti PA. PA sebagai pengirim, mengirimkan pesan tersebut ke PD namun status Delivery fail, berarti bahwa pesan yang dikirimkan gagal. Kemudian PA kembali mencoba mengirimkan pesan tersebut dengan sistem broadcast, dan perangkat yang dapat dijangkau oleh PA yaitu PB dan PC dengan status pengiriman sukses yang dapat dilihat pada serial monitor.

PB dan PC sebagai relay, pada tampilan serial monitor dapat diketahui bahwa PB dan PC menerima Relay message (broadcast) yang berarti pesan tersebut akan diteruskan ke Perangkat yang dituju (PD).



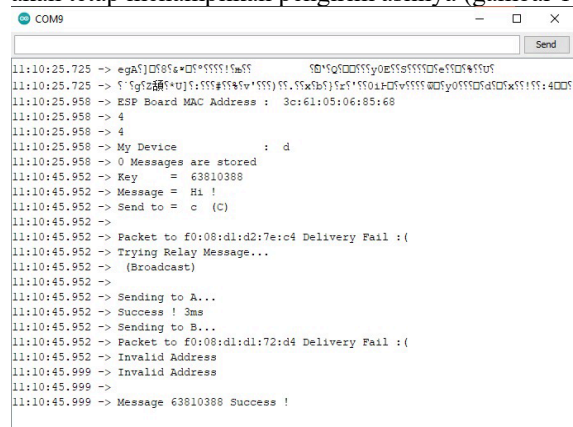
Gambar 14. Hasil uji SP3 pada PD (penerima)

Pada tampilan serial monitor (gambar 14) dapat dilihat status My Device: d yang berarti PD. PD sebagai penerima, pada tampilan serial monitor dapat dilihat terdapat beberapa status Recv Data, Sender dan Message Saved. Dari status dapat disimpulkan bahwa PA sebagai

pengirim asal, Recv Data isi pesan yang dikirimkan oleh PA dan Message Saved keterangan bahwa pesan tersebut akan disimpan.

#### 4.5 Pengujian Hasil Delivery Report

Delivery Report merupakan pesan yang disampaikan oleh perangkat penerima yang ditujukan untuk perangkat pengirim sehingga perangkat pengirim dapat mengetahui apakah Pesan yang disampaikan sudah berhasil. laporan pengiriman akan memberikan informasi dari perangkat mana pesan tersebut dikirimkan walaupun pesan tersebut disampaikan oleh perangkat Relay, laporan pengiriman akan tetap menampilkan pengirim aslinya (gambar 15).



Gambar 15. Tampilan serial monitor Delivery Report

#### V SIMPULAN

Dari beberapa percobaan yang telah dilakukan dapat disimpulkan yaitu:

Sistem komunikasi ini telah berhasil dibuat dengan penggunaan mikrokontroler Esp32 sebagai alat berkomunikasi untuk jarak jauh dengan rendah daya. Perangkat ini mampu bekerja dengan baik point to point sampai jarak 545 m tanpa relay. Untuk jarak diatas lebih dari jarak 545 m dapat memanfaatkan perangkat lain yang ada disekitarnya sebagai relay. Dengan menggunakan 4 perangkat dalam topologi mesh, jarak yang dapat dijangkau sejauh 1270 m. Jumlah maksimal karakter yang dapat dikirimkan adalah 244 byte per pesan. Sistem komunikasi nirkabel berbasis ESP32 ini dapat memberikan alternatif dalam pengembangan jaringan di daerah-daerah yang sulit dijangkau. Memiliki kinerja yang baik, bahkan ketika digunakan secara bersamaan oleh beberapa pengguna.

#### DAFTAR PUSTAKA

Alhassan, A. M., & Mohammed, A. (2021). ESP-NOW Protocol and Its Advantages for IoT Devices in Tactical Networks. *IEEE Communications Letters*, 25(5), 1513–1517.  
 Amani, A., & Mahmud, M. (2020). Communication

Protocols for Tactical Mesh Networks: A Comparative Analysis. *Journal of Wireless Communications*, 4, 127–144.  
<https://doi.org/10.17605/OSF.IO/ZD659>  
 Berto, R., Napoletano, P., & Savi, M. (2021). A LoRa-Based Mesh Network for Peer-to-Peer Long-Range Communication. *Sensors*, 21(13), 4314.  
<https://doi.org/10.3390/S21134314>  
 Davis, R. R., & Greene, M. A. (2018). The Role of ESP-NOW in Low-Power Communication Systems. *Journal of Low Power Electronics and Applications*, 8(2), 25–35.  
 Effiong, C., Sassetelli, G., & Gamatié, A. (2022). Combined Distributed SharedBuffered and Diagonally-Linked Mesh Topology for High-Performance Interconnect. *Micromachines*, 13(12).  
<https://doi.org/10.3390/mi13122246>  
 Espressif. (2022). ESP-NOW - ESP32 - ESP-IDF Programming Guide latest documentation. *Espressif Systems*.  
[https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/apireferen ce/network/esp\\_now.html](https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/apireferen ce/network/esp_now.html)  
 Espressif. (2024). ESP32-S2 Series Datasheet v1.6. *Espressif Systems*.  
[https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-s2\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-s2_datasheet_en.pdf)  
 Gupta, N., & Sharma, A. (2021). An Efficient Communication Framework Using ESP-NOW in Military Mesh Networks. *International Journal of Computer Networks & Communications*, 13(4), 51–65.  
 Hamza, B. J., & Yousif, T. H. (2021). Multiple transceivers based wimax mesh network to optimize routing algorithm. *J. Phys. Conf. Ser.*, 1973(1), 1–17. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1973/1/012062>  
 Haseeb, K., Din, I. U. D., & Member, S. (2020). RTS : A Robust and Trusted Scheme for IoT-Based Mobile Wireless Mesh Networks. *IEEE*, 8, 68379–68390.  
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2985851>  
 Hayat, L. (2020). *Pengiriman Peer to Peer MCU ESP menggunakan ESPNOW*.  
<http://latiful.hayat.web.id/tag/arduino/>  
 Irmayani, & Pardede, I. J. (2024). Implementasi Service Distribution Point Pada Jaringan MPLS Static Route Menggunakan Metode LDP Dan LSP. *Sinusoida: Jurnal Penelitian Dan Pengkajian Elektro*, 26(1), 31–39.  
<https://doi.org/10.37277/s.v26i2.2272>  
 Irmayani, Septiyanto, T., & Marwita, F. (2024). Perancangan Jaringan VPN Dalam MPLS IP Antar Perusahaan Menggunakan Virtual Routing Forwarding Pada Router. *Sinusoida: Jurnal Penelitian Dan Pengkajian Elektro*, 26(2), 10–17.  
<https://doi.org/10.37277/s.v26i2.2272>  
 Kominfo. (2023). *Lanjutkan lima program prioritas*.

- <https://www.kominfo.go.id/content/detail/44678/kominfo-lanjutkan-lima-program-prioritas-di-2023/0/artikel>
- Lestari, E., & Yulianto, R. (2021). Mesh Network as a Solution for Tactical Communications in Warfare. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 22(3), 2074–2080.
- Lin, H. H., Tsai, H. Y., Chan, T. C., Huang, Y. S., Chu, Y. S., Chen, Y. C., Liao, T. S., Fang, Y. M., Lee, B. J., & Lee, H. C. (2015). An open-source wireless mesh networking module for environmental monitoring. *Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2015-July*, 1002–1007. *Conference Record-IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, July*, 1002–1007. <https://doi.org/10.1109/I2MTC.2015.7151407>
- Mardamsyah, A., Saragih, G. W., Zhafran, A. F., Simanjuntak, I. R., & Riadi, M. F. (2024). Implementation of ESP-NOW Communication with Mesh Network Topology as a Form of Interoperability in the Network-Centric Warfare. *Journal of Education, Humaniora and Social Sciences (JEHSS)*, 7(2), 707–727. <https://doi.org/10.34007/jehss.v7i2.2374>
- Nguyen, T. D., & Tran, H. Q. (2021). Evaluating the Usability of ESP-NOW in IoT Tactical Communication. *Journal of Computer Networks and Communications*, 2, 1–10.
- Pascale, E. Di, Macaluso, I., Nag, A., Kelly, M., & Doyle, L. (2018). *The Network as a Computer : a Framework for Distributed Computing over IoT Mesh Networks*. 4662(c), 1–13. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2823978>
- Phing, N. Y., Warip, M. N. M., Ehkan, P., Ahmad, R. B., & Zulkefli, F. W. (2019). Performances analysis of reducing router in ring and mesh topology for network-on-chip (NoC) architecture. *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, 14(2), 802–809. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v14.i2>
- Prasad, A., & Ghosh, A. K. (2021). An Adaptive ESP-NOW Technique for Efficient Data Transmission in Mesh Networks. *International Journal of Computer Applications Technology and Research*, 10(5), 123–130.
- Ripto, M. F. N. P., Trisnawan, P. H., & Primananda, R. (2021). Implementasi Wireless Mesh Network berbasis Protokol Routing BATMAN untuk Video Live Streaming dengan menggunakan Fitur Network Coding. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 5(11), 4791–4798. <https://jptiik.ub.ac.id/index.php/jptiik/article/view/10106>
- Robles, E., Fernandez, P., & Liu, X. (2022). ESP-NOW Protocol in Peer-to-Peer Communication for IoT Networks: Low-Latency and Low-Power Solutions. *Journal of Internet of Things and Applications*, 25(4), 101–114. <https://doi.org/10.5678/jita.2022.254>
- Santos, R., & Santos, S. (2023). *ESP-NOW with ESP32: Send Data to Multiple Boards (one-to-many)*. <https://randomnerdtutorials.com/esp-now-one-to-many-esp32-esp8266/>
- Sohib. (2023). *Transformasi Digital di Desa Tertinggal*. <https://www.sohib.indonesiabaik.id/transformasi-digital>
- Syaroni, A., Abrianto, H., Sidik, A. D., & Irmayani. (2025). Rancang Bangun Pintu Gerbang Secara Otomatis Berbasis IoT Menggunakan Aplikasi Blynk. *Journal Scientific of Mandalika (JSM)*, 6(5), 1136–1158. <https://doi.org/10.36312/10.36312/vol6iss5pp1136-1158>
- Wicaksono, M. F. a, & Rahmatya, . D. (2022). Iot for residential monitoring using esp8266 and esp-now protocol. *Jurnal Ilmiah Teknik ElektroKomputer Dan Informatika (JITEKI)*, 8(1), 93–106.