

PROPOSAL PENELITIAN

Sistem Radio Dua Arah Menggunakan Protokol ESP-NOW Pada Platform ESP32 Dengan Pemrosesan Audio Real Time Serta Retransmisi dan Error Handling

Disusun dan diajukan oleh:

M. GHOZI FARHAN RIVAI

D041 20 1097



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sistem komunikasi Radio	5
2.1.1 Duplex.....	5
A. Half-duplex	5
B. Full-duplex	6
2.2 ESP32	6
2.3 Protokol ESP-NOW	8
2.4 Microphone (GY-MAX4466)	9
2.5 Speaker dan Amplifier.....	10
2.6 Visual Studio Code (VScode)	11
2.7 PlatformIO Extension	12
2.8 Pemrosesan Audio Real-Time	13
2.9 Teknik Retransmisi dan Error Handling	14
2.10 Kompresi ADPCM	14
2.11 Penelitian Relevan	15
BAB III METODE PENELITIAN	20
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	20
3.2 Variabel Penelitian	20
3.3 Bahan Uji dan Alat.....	20
3.4 Skema Sistem Kerja	21

3.5 Teknik Pengumpulan Data.....	25
3.6 Teknik Analisis	27
DAFTAR PUSTAKA	28

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Spesifikasi ESP32	7
Tabel 2 Perangkat Keras	20
Tabel 3 Perangkat Lunak	21

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 ESP 32	6
Gambar 2 Pinout ESP32Gambar Pinout ESP32	7
Gambar 3 Logo ESP-NOWGambar Logo ESP-NOW	8
Gambar 4 Modul Mic gy-max4466.....	9
Gambar 5 Amplifier PAM8403 6WGambar Amplifier PAM8403 6W.....	10
Gambar 6 Logo VScodeGambar Logo VScode.....	11
Gambar 7 Logo PlatformIO Extension	12
Gambar 8 Diagram Alir Penelitian	22
Gambar 9 Blok Sistem Alat	23
Gambar 10 Skematik perancangan Sistem.....	23
Gambar 11 Diagram Alir Sistem.....	24

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem komunikasi radio telah menjadi salah satu pilar utama dalam teknologi komunikasi modern, memungkinkan transmisi informasi melalui gelombang elektromagnetik tanpa memerlukan koneksi fisik. Sejak penemuannya, radio telah digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari siaran radio, komunikasi militer, hingga teknologi nirkabel modern seperti Wi-Fi dan Bluetooth. Namun, tantangan seperti latensi tinggi, kehilangan paket data, interferensi sinyal, dan konsumsi daya yang tinggi masih menjadi kendala utama yang perlu diatasi dalam sistem komunikasi radio, terutama dalam konteks komunikasi dua arah yang efisien dan andal.

Dalam upaya mengatasi tantangan-tantangan tersebut, penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem komunikasi radio dua arah menggunakan teknologi modern seperti ESP32 dan protokol ESP-NOW. Teknologi ini dipilih karena potensinya untuk memberikan solusi yang lebih baik dalam hal efisiensi, keandalan, dan kualitas komunikasi.

ESP32, yang dikembangkan oleh Espressif Systems, adalah mikrokontroler yang sangat populer karena fitur-fiturnya yang kaya dan kemampuannya untuk menjalankan aplikasi yang kompleks. Dilengkapi dengan prosesor dual-core, Wi-Fi, Bluetooth, dan banyak GPIO (General Purpose Input/Output), ESP32 menjadi pilihan ideal untuk berbagai aplikasi komunikasi dan IoT (Internet of Things). Salah satu fitur unggulan ESP32 adalah dukungannya terhadap protokol ESP-NOW.

ESP-NOW adalah protokol komunikasi nirkabel yang memungkinkan perangkat ESP32 untuk berkomunikasi langsung satu sama lain tanpa perlu melalui jaringan Wi-Fi tradisional. Protokol ini menawarkan latensi yang sangat rendah dan efisiensi energi yang tinggi, membuatnya ideal untuk aplikasi real-time yang memerlukan komunikasi cepat dan andal. Dalam penelitian ini, kami memanfaatkan ESP-NOW untuk mengembangkan sistem komunikasi radio dua arah yang mampu menangani pemrosesan audio secara real-time dengan latensi minimal. Penggunaan ESP32 dan ESP-NOW diharapkan dapat mengatasi masalah latensi, kualitas audio, dan keandalan transmisi yang sering terjadi dalam sistem komunikasi radio tradisional.

Pemrosesan audio real-time adalah komponen penting dalam sistem komunikasi suara dua arah. Proses ini mencakup konversi sinyal audio dari bentuk analog ke digital, pemrosesan sinyal digital untuk meningkatkan kualitas suara atau menghilangkan noise, dan konversi kembali ke sinyal analog untuk output audio. Proses ini harus dilakukan dengan latensi yang sangat rendah untuk memastikan komunikasi yang lancar dan bebas dari keterlambatan yang mengganggu.

Dengan kemampuan pemrosesan yang kuat dan dukungan untuk berbagai periferal audio, ESP32 merupakan platform yang ideal untuk pemrosesan audio real-time. Dalam penelitian ini, kami menggunakan ADC (Analog-to-Digital Converter) dan DAC (Digital-to-Analog Converter) bawaan ESP32 untuk menangani konversi sinyal audio. Selain itu, kami menerapkan algoritma pemrosesan sinyal digital untuk meningkatkan kualitas audio dan mengurangi noise. Dengan memanfaatkan kekuatan pemrosesan ESP32, kami dapat melakukan pemrosesan audio secara real-time dengan latensi yang sangat rendah, memungkinkan komunikasi suara dua arah yang jernih dan andal.

Salah satu tantangan utama dalam komunikasi nirkabel adalah keandalan transmisi data. Kehilangan paket data dan kesalahan dalam transmisi dapat menyebabkan putus-putusnya komunikasi dan penurunan kualitas layanan. Untuk mengatasi masalah ini, kami mengimplementasikan mekanisme retransmisi dan error handling yang canggih dalam sistem komunikasi kami.

Mekanisme retransmisi melibatkan pengiriman ulang paket data yang tidak diterima dengan benar oleh penerima. Dalam protokol ESP-NOW, ini dapat dilakukan dengan mengkonfigurasi perangkat untuk mengirim ulang paket data yang tidak diakui oleh penerima. Teknik ini membantu memastikan bahwa semua data audio yang penting sampai ke tujuan dengan benar, mengurangi kehilangan paket, dan meningkatkan keandalan sistem.

Error handling mencakup metode untuk mendeteksi dan memperbaiki kesalahan dalam data yang diterima. Dalam sistem kami, kami menggunakan teknik seperti CRC (Cyclic Redundancy Check) untuk mendeteksi kesalahan dalam paket data dan mekanisme koreksi kesalahan untuk memperbaiki data yang rusak. Dengan mengimplementasikan teknik-teknik ini, kami dapat meningkatkan integritas dan keandalan data audio yang dikirimkan antar perangkat, memastikan komunikasi yang lebih stabil dan berkualitas tinggi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem komunikasi radio dua arah yang lebih efisien dan andal dengan menggunakan teknologi ESP32 dan protokol ESP-NOW. Dengan memanfaatkan kemampuan pemrosesan ESP32 untuk pemrosesan audio real-time

dan menerapkan mekanisme retransmisi dan error handling, peneliti berharap dapat mengatasi tantangan-tantangan utama dalam sistem komunikasi nirkabel dengan protocol ESP-NOW berbasis ESP32 ini. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi yang lebih baik untuk berbagai sistem komunikasi nirkabel, baik dalam pengaplikasian pribadi, industri, maupun aplikasi darurat.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana rancang bangun sistem komunikasi radio dua arah dengan menggunakan protokol ESP-NOW di platform ESP32?
2. Bagaimana analisis kinerja sistem yang baik?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Merancang dan membangun sebuah prototype sistem radio dua arah menggunakan protokol ESP-NOW pada platform ESP32.
2. Mengevaluasi kehandalan sistem dalam mentransmisikan data secara dua arah antara dua perangkat ESP32 menggunakan protokol ESP-NOW.

1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan

1. Memfasilitasi pengembangan aplikasi IoT yang membutuhkan komunikasi cepat dan dapat diandalkan antar perangkat.
2. Penelitian ini dapat Menjadi referensi dan dasar bagi pengembangan lebih lanjut dalam bidang komunikasi nirkabel menggunakan ESP32 dan protocol ESP-NOW.

1.5 Batasan Masalah

1. Penelitian ini berfokus pada penggunaan protokol ESP-NOW untuk mengirim informasi antara dua perangkat ESP32.
2. Penelitian ini tidak mencakup integrasi dengan jaringan Wi-Fi atau Bluetooth, meskipun ESP32 memiliki kemampuan tersebut.
3. Pengujian dilakukan dalam lingkungan yang terbatas dan tidak mencakup semua kondisi lingkungan yang mungkin dihadapi dalam penggunaan lapangan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada penelitian ini secara garis besar dapat diuraikan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini memberikan Latar Belakang, Rumusan Masalah, Tujuan Penelitian, Manfaat Penelitian, Batasan Masalah serta Sistematika Penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan teori dasar dan pendukung yang digunakan pada rancang bangun penelitian ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi pembahasan mengenai perancangan dan lokasi penelitian, alat dan bahan serta tahapan penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem komunikasi Radio

Sistem komunikasi radio adalah teknologi yang memungkinkan transmisi dan penerimaan informasi melalui gelombang radio. Sistem ini menjadi dasar bagi banyak teknologi modern, mulai dari komunikasi suara, data, hingga video. Sistem komunikasi radio terdiri dari tiga komponen utama yaitu pemancar, penerima, dan media transmisi. Pemancar mengkonversi informasi menjadi sinyal radio yang kemudian ditransmisikan melalui udara atau ruang hampa menggunakan antena. Penerima kemudian menangkap sinyal ini dan mengonversi sinyal tersebut ke bentuk awalnya.

Komunikasi radio dapat dibagi menjadi beberapa kategori berdasarkan jenis modulasi yang digunakan, seperti modulasi amplitudo (AM), modulasi frekuensi (FM), dan modulasi fasa (PM). Modulasi digital juga banyak digunakan dalam komunikasi radio modern, termasuk teknik seperti QAM (Quadrature Amplitude Modulation) dan PSK (Phase Shift Keying).

Penggunaan gelombang radio dalam sistem komunikasi memungkinkan mobilitas dan fleksibilitas yang tinggi sehingga membuatnya menjadi sangat penting dalam pengaplikasian seperti komunikasi mobile, jaringan sensor nirkabel, dan sistem komunikasi satelit. Sistem komunikasi radio juga mencakup berbagai protokol dan standar seperti Wi-Fi, Bluetooth, dan Zigbee, yang digunakan untuk berbagai aplikasi IoT (Internet of Things).

2.1.1 Duplex

Komunikasi duplex merujuk pada kemampuan sistem untuk mengirim dan menerima data secara bersamaan. Terdapat dua jenis utama komunikasi duplex: half-duplex dan full-duplex.

A. Half-duplex

Dalam sistem half-duplex, transmisi data hanya dapat terjadi dalam satu arah pada satu waktu. Artinya, perangkat dapat bergantian mengirim atau menerima data, tetapi tidak dapat melakukannya secara bersamaan. Contoh umum dari sistem half-

duplex adalah walkie-talkie, di mana pengguna harus menekan tombol untuk berbicara dan melepaskannya untuk mendengarkan.

B. Full-duplex

Sistem full-duplex memungkinkan transmisi data dalam kedua arah secara bersamaan, dimana perangkat dapat mengirim dan menerima data pada saat yang sama. Contoh dari sistem full-duplex adalah telepon, di mana kedua pihak dapat berbicara dan mendengar secara bersamaan tanpa perlu bergantian.

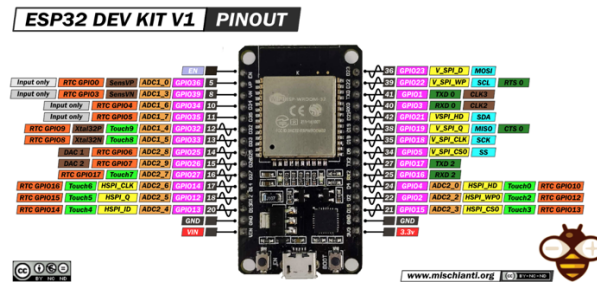
2.2 ESP32



Gambar 1 ESP 32

Sumber: <https://student-activity.binus.ac.id/himtek/2022/07/27/esp32/>

ESP32 adalah modul microcontroller yang dikembangkan oleh Espressif Systems, yang dilengkapi dengan kemampuan Wi-Fi dan Bluetooth. Modul ini sangat populer di kalangan pengembang IoT karena fleksibilitasnya, konsumsi daya rendah, dan harga yang terjangkau. ESP32 memiliki prosesor dual-core dan berbagai fitur termasuk sensor internal, GPIO (General Purpose Input Output), dan kemampuan komunikasi yang luas. Modul ini mendukung berbagai protokol komunikasi, seperti Wi-Fi, Bluetooth, dan ESP-NOW, yang membuatnya ideal untuk berbagai aplikasi.



Gambar 2 Pinout ESP32

Sumber: <https://student-activity.binus.ac.id/himtek/2022/07/27/esp32/>

Board ini memiliki dua versi, yaitu 30 GPIO dan 36 GPIO. Keduanya memiliki fungsi yang sama tetapi versi yang 30 GPIO dipilih karena memiliki dua pin GND. Semua pin diberi label dibagian atas board sehingga mudah untuk dikenali. Board ini memiliki interface USB to UART Yang mudah diprogram dengan program pengembangan aplikasi seperti Arduino IDE. Sumber daya board bisa diberikan melalui konektor micro USB. (Nizam et al, 2022)

Tabel 1 Spesifikasi ESP32

Spesifikasi	Detail
Operating Voltage	3.3V
Input Voltage	7-12V (Vin)
Digital IO Pin	25
Analog Input Pin (ADC)	6
Analog Output Pin (DAC)	2
Flash Memory	4 MB
SRAM	520 kB
Clock Speed	240 Mhz

Fitur utama ESP32 meliputi:

- Wi-Fi: Mendukung standar 802.11 b/g/n, memungkinkan konektivitas jaringan yang cepat dan andal.
- Bluetooth: Mendukung Bluetooth 4.2 dan BLE (Bluetooth Low Energy), memungkinkan komunikasi dengan berbagai perangkat Bluetooth.

- Prosesor: Prosesor dual-core yang kuat dengan kecepatan hingga 240 MHz, memungkinkan pemrosesan tugas yang berat.
- GPIO: Banyak pin GPIO yang dapat digunakan untuk menghubungkan sensor, aktuator, dan perangkat lainnya.

2.3 Protokol ESP-NOW



Gambar 3 Logo ESP-NOW

Sumber: <https://randomnerdtutorials.com/esp-now-logo/>

ESP-NOW adalah protokol komunikasi nirkabel yang dikembangkan oleh Espressif untuk perangkat ESP32 dan ESP8266. Protokol ini memungkinkan perangkat untuk berkomunikasi secara langsung tanpa memerlukan jaringan Wi-Fi. ESP-NOW menawarkan latensi rendah dan konsumsi daya yang rendah, sehingga ideal untuk aplikasi real-time dan IoT.

Protokol ini dirancang untuk komunikasi jarak pendek dengan latensi rendah dan konsumsi daya minimal, sehingga sangat cocok untuk aplikasi Internet of Things (IoT) yang memerlukan transmisi data cepat dan efisien. ESP-Now menggunakan alamat MAC untuk mengirim dan menerima data, memungkinkan komunikasi peer-to-peer antara perangkat yang telah mengetahui alamat MAC satu sama lain. Berdasarkan penelitian, protokol ini mampu mencapai jarak hingga 130 meter secara horizontal dalam kondisi ideal. Dalam topologi komunikasi ESP-Now, setidaknya dibutuhkan dua perangkat, yaitu perangkat master dan slave, yang dapat berfungsi sebagai pengirim dan penerima data. Keunggulan dari ESP-Now termasuk tidak memerlukan infrastruktur jaringan tambahan, konsumsi daya rendah, latensi rendah, dan fleksibilitas dalam konfigurasi jaringan, baik dalam mode master-slave maupun mesh. Namun, ada beberapa keterbatasan, seperti jangkauan yang dapat dipengaruhi oleh interferensi dan hambatan fisik, serta kompleksitas dalam pengaturan alamat MAC antar perangkat. Meskipun begitu,

ESP-Now tetap merupakan solusi komunikasi yang efektif untuk berbagai proyek IoT yang memerlukan komunikasi cepat, efisien, dan andal tanpa jaringan yang kompleks. (Muhamad et al, 2024)

Fitur utama ESP-NOW meliputi:

- Komunikasi Peer-to-Peer: Memungkinkan komunikasi langsung antara perangkat ESP tanpa perantara.
- Latensi Rendah: Waktu respons yang sangat cepat, ideal untuk aplikasi yang memerlukan waktu nyata.
- Konsumsi Daya Rendah: Dirancang untuk efisiensi energi, membuatnya cocok untuk perangkat yang ditenagai baterai.
- Keamanan: Mendukung enkripsi untuk memastikan bahwa data yang dikirim aman dari intersepsi dan modifikasi.

2.4 Microphone (GY-MAX4466)



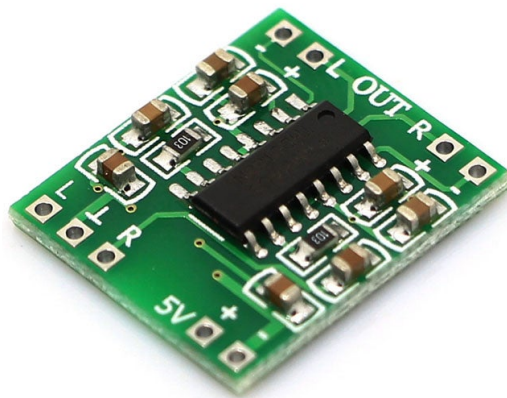
Gambar 4 Modul Mic gy-max4466

Sumber: <https://digiwarestore.com/id/audio-video-module/gy-max4466-electret-microphone-amplifier-adjustable-gain-987072.html>

Sensor suara adalah sensor yang cara kerjanya merubah besaran suara menjadi besaran listrik, dan di pasaran begitu luas penggunaannya. Komponen yang termasuk dalam sensor yaitu electric condenser microphone atau mic kondenser. Ada beberapa jenis sensor suara yang umum digunakan, tetapi rata-rata sensor suara

berupa modul yang menggunakan chipset LM393. Alat yang 3 digunakan pada penelitian ini menggunakan sensor suara yang dilengkapi chip MAX4466. Pemilihan sensor suara berbasis chip MAX4466 dibandingkan sensor suara yang lain seperti chip LM393 memiliki alasan yaitu karena MAX4466 adalah sebuah chip op-amp, mempunyai amplifier dan chip op-amp MAX4466 ini adalah chip yang dioptimalisasi untuk digunakan dalam microphone amplifier. Sedangkan LM393 adalah sebuah chip dual different comparator, tidak mempunyai amplifier dan chip LM393 secara teori hanya dapat digunakan untuk mendeteksi suara yang keras saja. (Wilani, L. 2023)

2.5 Speaker dan Amplifier



Gambar 5 Amplifier PAM8403 6W

Sumber: <https://www.instructables.com/PAM8403-6W-stereo-amplifier-tutorial/>

Amplifier adalah komponen yang memperkuat sinyal audio agar dapat diproses atau diputar dengan volume yang cukup. Amplifier digunakan untuk memastikan bahwa sinyal yang dihasilkan oleh mikrofon atau yang akan diputar melalui speaker cukup kuat untuk didengar dengan jelas.

PAM8403 adalah penguat audio kelas-D yang kecil, efisien, dan kuat yang mampu memberikan daya output 3 watt ke beban 4Ω . Didesain untuk penggunaan berdaya rendah, amplifier ini sangat diminati karena kemampuannya menghasilkan output suara berkualitas tinggi dengan konsumsi daya yang rendah, sehingga sangat cocok digunakan untuk perangkat audio portabel. Fitur utamanya meliputi efisiensi tinggi, Total Harmonic Distortion plus Noise (THD+N) yang rendah, dan kontrol volume

terintegrasi pada berbagai versi. PAM8403 mendukung input diferensial, yang mengurangi noise dan meningkatkan kualitas sinyal audio, serta menyertakan circuit protection seperti over-temperature protection, short-circuit protection, dan under-voltage lockout. (Perng et al, 2021)

Speaker adalah komponen yang mengubah sinyal listrik kembali menjadi gelombang suara. Speaker digunakan untuk memutar suara yang diterima atau diproses oleh sistem. Kualitas speaker sangat mempengaruhi kualitas suara yang dihasilkan, sehingga pemilihan speaker yang tepat sangat penting dalam sistem komunikasi audio.

2.6 Visual Studio Code (VSCode)



Gambar 6 Logo VSCode

Sumber: <https://github.com/topics/visual-studio-logo>

Visual studio code yang biasa disingkat dengan VSCode adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menuliskan kode-kode atau coding yang dapat diakses pada berbagai sistem operasi seperti Windows, Linux, maupun macOS. VSCode dikembangkan oleh Microsoft yang diperkenalkan pertama kali pada tanggal 29 April 2015 di konferensi Build 2015. VSCode mendukung berbagai macam bahasa pemrograman seperti Java, JavaScript, C, C++, Java, Python, dan lain-lain. (Salendah et al, 2022)

VS Code sangat populer di kalangan pengembang karena fitur-fiturnya yang banyak, dukungan untuk berbagai bahasa pemrograman, dan ekosistem ekstensi yang luas. Editor ini juga ringan dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan developer melalui ekstensi yang tersedia di marketplace. VSCode sering digunakan dalam

pengembangan proyek perangkat keras tertanam karena kemampuannya untuk mengintegrasikan berbagai alat dan ekstensi yang relevan.

Fitur utama VS Code meliputi:

- **Code Completion:** Fitur auto-completion yang cerdas untuk mempercepat penulisan kode.
- **Debugging:** Alat debugging terintegrasi yang kuat untuk mengidentifikasi dan memperbaiki kesalahan dalam kode.
- **Integrated Terminal:** Terminal terintegrasi yang memungkinkan pengembang menjalankan perintah tanpa meninggalkan editor.
- **Extensions:** Dukungan untuk ribuan ekstensi yang dapat menambahkan fungsionalitas baru atau mendukung bahasa pemrograman tertentu.

2.7 PlatformIO Extension



Gambar 7 Logo PlatformIO Extension

Sumber: <https://platformio.org/>

PlatformIO adalah ekosistem pengembangan untuk perangkat tertanam yang menawarkan alat dan layanan untuk pengembangan, debugging, dan manajemen proyek. PlatformIO Extension untuk Visual Studio Code memungkinkan pengembang untuk memanfaatkan fitur-fitur VS Code bersama dengan alat-alat khusus untuk pengembangan perangkat keras.

Fitur utama PlatformIO Extension meliputi:

- **Project Management:** Alat untuk mengelola proyek, dependensi, dan konfigurasi build.

- **Library Management:** Akses ke ribuan pustaka perangkat keras yang dapat dengan mudah diintegrasikan ke dalam proyek.
- **Unified Debugger:** Alat debugging yang mendukung berbagai platform dan papan pengembangan.
- **Intelligent Code Completion:** Fitur auto-completion yang mendukung berbagai platform dan perangkat keras tertanam.

Dengan menggunakan PlatformIO Extension, pengembangan perangkat keras menjadi lebih efisien dan terorganisir, memungkinkan pengembang untuk fokus pada penulisan kode dan penyelesaian masalah tanpa terganggu oleh konfigurasi yang kompleks.

2.8 Pemrosesan Audio Real-Time

Pemrosesan audio real-time mengacu pada kemampuan sistem untuk menangani sinyal audio secara langsung saat sinyal tersebut diterima. Ini mencakup proses seperti perekaman, pengolahan, kompresi, dan pemutaran audio dengan latensi yang sangat rendah, yang penting untuk aplikasi seperti komunikasi suara, pengenalan suara, dan sistem musik interaktif.

Pada platform seperti ESP32, pemrosesan audio real-time melibatkan beberapa komponen utama:

1. **ADC (Analog-to-Digital Converter):** Mengubah sinyal audio analog menjadi sinyal digital.
2. **DSP (Digital Signal Processing):** Memproses sinyal digital untuk meningkatkan kualitas suara, mengurangi noise, atau mengimplementasikan efek audio.
3. **DAC (Digital-to-Analog Converter):** Mengubah sinyal digital kembali menjadi sinyal analog untuk pemutaran melalui speaker.

Teknik pemrosesan audio real-time juga mencakup algoritma untuk pengenalan suara, deteksi pitch, filtering, dan echo cancellation. Algoritma ini harus diimplementasikan secara efisien untuk memastikan bahwa pemrosesan terjadi dalam waktu yang cukup singkat untuk mempertahankan kualitas audio yang tinggi.

2.9 Teknik Retransmisi dan Error Handling

Dalam sistem komunikasi data, kehilangan paket atau kesalahan data merupakan hal yang umum terjadi, terutama dalam jaringan nirkabel. Untuk mengatasi masalah ini, teknik retransmisi dan error handling digunakan.

Retransmisi: adalah proses mengirim ulang data yang tidak diterima dengan benar oleh penerima. Protokol seperti TCP (Transmission Control Protocol) menggunakan teknik ini untuk memastikan bahwa semua data dikirim dengan benar. Jika penerima mendeteksi paket yang hilang atau rusak, ia akan meminta pengirim untuk mengirim ulang paket tersebut.

Error Handling: Teknik ini mencakup deteksi dan koreksi kesalahan dalam data yang ditransmisikan. Metode yang umum digunakan meliputi:

- **Checksums:** Teknik sederhana di mana pengirim menambahkan nilai checksum ke data yang dikirim, dan penerima menghitung ulang checksum untuk memverifikasi integritas data.
- **CRC (Cyclic Redundancy Check):** Teknik yang lebih canggih untuk mendeteksi kesalahan dengan menghitung nilai hash dari data yang dikirim.
- **FEC (Forward Error Correction):** Teknik yang memungkinkan penerima untuk memperbaiki kesalahan tanpa memerlukan retransmisi. Contohnya adalah kode Reed-Solomon dan kode Hamming.

Retransmisi dan error handling sangat penting untuk memastikan keandalan dan integritas data dalam sistem komunikasi, terutama dalam aplikasi yang membutuhkan ketepatan tinggi seperti transmisi audio dan video real-time.

2.10 Kompresi ADPCM

Adaptive Differential Pulse Code Modulation (ADPCM) adalah teknik kompresi digital yang digunakan terutama untuk kompresi speech di telekomunikasi. ADPCM adalah codec bentuk gelombang yang juga dapat digunakan untuk kode sinyal lain selain speech, seperti halnya musik atau efek suara. ADPCM lebih sederhana dibandingkan teknik pengkodean yang lain karena tidak memerlukan perhitungan yang berat, yang berarti peng-enkode-an dan peng-dekode-an dapat dilakukan dalam waktu yang relatif singkat. ADPCM biasanya digunakan untuk

kompresi sebuah sinyal dengan frekuensi pencuplikan 8 kHz dengan panjang 8 bit sehingga menghasilkan sinyal PCM standar dengan bitrate 64 Kbps. Ketika dikodekan pada rasio kompresi tertinggi, yang digunakan hanya 2 bit untuk kode sinyal ADPCM, bitrate berkurang menjadi 16 Kbps yaitu 25% dari sinyal PCM standar. Untuk pengkodean dengan 4 bit, bitrate menjadi 32 Kbps yaitu 50% dari aslinya dengan kualitas sinyal yang baik untuk kebanyakan aplikasi. (Dani, M. 2011)

2.11 Penelitian Relevan

Judul	Pembahasan
Pasic et al. ESP-NOW Communication Protocol with ESP32 (2021)	Jurnal ini membahas penggunaan protokol komunikasi ESP-NOW pada pengembangan board ESP32 dari Espressif untuk mengatasi masalah akuisisi data dari node sensor di lingkungan tanpa akses jaringan nirkabel lokal. Metode penelitian menggunakan tiga modul komunikasi nirkabel yang bertukar informasi dari tiga node sensor yang berbeda dengan pendekatan kuantitatif. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem tersebut dapat mengambil data dari node sensor dalam kondisi tanpa jaringan internet lokal dengan jarak komunikasi yang memuaskan hingga 190 meter di lapangan terbuka. Jurnal menyoroti keterbatasan teknologi ESP-NOW seperti tidak mendukung siaran, jumlah terbatas peer terenkripsi, dan payload terbatas hingga 250 byte, namun memiliki kemampuan pertukaran data antara beberapa papan ESP32 yang diprogram dengan Arduino IDE. Protokol ini mendukung komunikasi satu arah dan dua arah, serta uji jangkauan komunikasi hingga 190 meter. Pentingnya mengetahui alamat MAC penerima ESP32 untuk berkomunikasi antara beberapa papan ESP32 melalui ESP-NOW disoroti. Jurnal menegaskan bahwa protokol ini

	akan meringankan masalah pengambilan data dari node sensor di lingkungan tanpa akses jaringan nirkabel local.
Triwibowo, A.S. Perancangan Sistem Transmisi Isyarat Audio Dengan Protokol ESP-NOW (2023).	Penggunaan protokol ESP-NOW pada perangkat ESP32 disorot sebagai solusi yang menarik, memungkinkan pengiriman data efisien dengan jarak yang jauh menggunakan gelombang elektromagnetik pada frekuensi 2,4 GHz. Dengan sistem berbasis ESP-NOW ini, komunikasi jarak jauh dapat dilakukan tanpa infrastruktur jaringan tambahan seperti router Wi-Fi atau perangkat Bluetooth, cocok untuk situasi di mana akses Wi-Fi terbatas atau tidak tersedia, seperti daerah terpencil atau bencana. Penelitian ini bertujuan merancang sistem push-to-talk untuk mengirimkan isyarat audio menggunakan protokol ESP-NOW. Sistem ini terdiri dari peranti komunikasi audio nirkabel berbasis ESP32 yang dapat berkomunikasi half duplex. Antarmuka Inter-Integrated Circuit Sound (I2S) digunakan untuk akuisisi isyarat audio digital, sementara ESP-NOW digunakan untuk komunikasi nirkabel. Isyarat audio dikonversi menjadi representasi digitalnya oleh mikrofon I2S, kemudian ditransmisikan antar ESP32 menggunakan ESP-NOW. ESP32 penerima kemudian mengolah dan meneruskan isyarat ke amplifier I2S untuk dikonversi kembali menjadi isyarat audio dan dipancarkan melalui speaker yang terhubung. Penelitian juga menguji performa transmisi isyarat audio dalam hal jarak, delay, throughput, dan konsumsi daya.
Kviesis et al. Bee Colony Remote Monitoring Based on IoT Using ESP-NOW Protoco (2023).	Artikel ini membahas tentang pengembangan sistem monitoring koloni lebah berbasis IoT dengan menggunakan protokol ESP-NOW. Sistem ini dirancang untuk memantau

	<p>suhu dan berat koloni lebah secara real time, dengan tujuan menerapkan teknologi informasi dan komunikasi (ICT) dan IoT pada operasional peternakan lebah. Protokol ESP-NOW dipilih karena kemampuannya dalam pertukaran data jarak jauh, konsumsi daya yang efisien, dan kecepatan respon yang tinggi. Sistem pemantauan mencakup node pengukuran lokal dengan microchip ESP8266, node master dengan microchip ESP32 dan antarmuka GSM/GPRS eksternal. Data yang dikumpulkan meliputi fluktuasi berat koloni selama periode pengumpulan nektar, suhu di dalam sarang, dan konsumsi daya pada titik pengukuran. Artikel ini juga mencakup pengujian jarak dan waktu koneksi antar node menggunakan protokol ESP-NOW, serta memperkirakan biaya dan prosedur instalasi sistem. Singkatnya, penerapan solusi IoT dalam peternakan lebah dapat mempermudah peternakan lebah, meningkatkan efisiensi, dan mengurangi tekanan pada koloni lebah. Sistem ini juga dapat digunakan untuk memantau koloni lebah di perkotaan.</p>
<p>Eridani et al. Comparative Performance Study of ESP-NOW, Wi-Fi, Bluetooth Protocols Based on Range, Transmission Speed, Latency, Energy Usage and Barrier Resistance (2021)</p>	<p>Artikel ini membahas dan memberikan hasil perbandingan antara ESP-NOW, Wi-Fi dan Bluetooth sebagai protokol LAN nirkabel. Protokol-protokol ini telah diterapkan di banyak perangkat IoT. Penggunaan protokol ini yang tidak tepat di area yang tidak sesuai dengan karakteristiknya dapat menyebabkan masalah seperti baterai cepat habis, kecepatan transmisi terlalu tinggi untuk data kecil yang dikirim, dll. Artikel ini membandingkan setiap protokol dari perspektif transmisi point-to-point menggunakan metrik kinerja utama seperti jangkauan maksimum, kecepatan transmisi, latensi, konsumsi</p>

	daya, dan ketahanan kemacetan oleh antena internal dan eksternal.
Kumar, V. Enabling Collaborative Environments: one-to-many Audio Transmission via ESP-NOW (2023).	Jurnal ini membahas ESP-NOW, sebuah protokol komunikasi nirkabel hemat daya yang dikembangkan oleh Espressif Systems. ESP-NOW menawarkan cara yang andal dan efisien untuk komunikasi langsung antar perangkat, menghindari kompleksitas jaringan Wi-Fi konvensional. Artikel ini menguraikan prinsip-prinsip dasar ESP-NOW, menyoroti kelebihan, batasan, dan aplikasi nyata. Sinopsis juga membicarakan potensi penggunaannya dalam berbagai bidang, termasuk penerapan Internet of Things (IoT), otomatisasi rumah, dan jaringan sensor. Dengan memeriksa kemampuan dan keterbatasan ESP-NOW, ringkasan ini memberikan wawasan tentang kegunaannya sebagai solusi komunikasi nirkabel untuk berbagai situasi. Dalam tulisan ini, kami mempersembahkan implementasi proyek kami yang menggunakan protokol ESP-NOW untuk mencapai transmisi musik dan audio yang bagus.
Anjasromo et al. Perancangan dan Implementasi Sistem Pemantauan Kotak Benih terhadap Ruang menggunakan Protokol ESP-NOW (2024).	Penelitian ini melibatkan lima alat, dua di antaranya sebagai purwarupa kotak benih dan tiga sebagai purwarupa ruangan. Pengujian dilakukan untuk mengukur waktu dan jarak antara client dan server menggunakan ESP-NOW. Hasil pengujian menunjukkan bahwa protokol ESP-NOW mampu beroperasi pada jarak hingga 50 meter dengan delay waktu rata-rata di bawah 150 ms, yang memenuhi standar kualitas. Dengan demikian, implementasi ESP-NOW sebagai sistem komunikasi data terbukti efektif dalam memantau kotak benih terhadap ruangan.
Prabowo et al. Rancang Bangun Sistem Kontrol Dan Monitoring Budidaya Jangkrik Menggunakan Protokol Esp-	Penelitian ini membahas penggunaan protokol Esp-Now dalam pemantauan jarak jauh terhadap budidaya belalang

<p>Now Berbasis Internet Of Things (2024).</p>	<p>di Indonesia. Protokol tersebut berfungsi sebagai sarana transmisi data antar mikrokontroler, terbagi dalam tiga bagian: Node Sensor, Gateway, dan Aplikasi Pengguna. Node sensor ESP8266-12F berperan sebagai slave yang terhubung dengan sensor DHT21 untuk memperoleh data suhu dan kelembaban. Node sensor mengirimkan data ke master ESP32 dan Gateway, yang kemudian meneruskan data ke server dan aplikasi Blynk sebagai antarmuka.</p>
<p>Dani, M. Kompresor dan Dekompresor Data Menggunakan Algoritma ADPCM Berbasis Mikrokontroler ATMEGA8535 (2011).</p>	<p>Studi ini menganalisis kejernihan (inteligibilitas) rekaman suara untuk sistem Interactive Voice Response (IVR) menggunakan metode kompresi Linear PCM dan ADPCM, dengan mikrofon pita dan karbon. Hasilnya menunjukkan bahwa kejernihan terbaik dicapai dengan metode A-law dan mu-law pada frekuensi sampling 11 kHz, terutama menggunakan mikrofon pita (nilai MOS masing-masing 4 dan 3.89) dengan Kompresi tertinggi dengan ADPCM pada 6 kHz (19.34%), terendah dengan A-law dan mu-law pada 11 kHz (68.16%).</p>

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Perangkat Lunak. Penelitian ini akan dilaksanakan mulai Juli 2024 sampai dengan Desember 2024, sedangkan penulisan tugas akhir dimulai pada Juni 2024 sampai dengan Desember 2024

3.2 Variabel Penelitian

1. Variable Dependent (Terikat)

Variabel dependen dalam penelitian ini adalah performa sistem pemrosesan audio real-time menggunakan ESP32. Performa ini diukur melalui beberapa metrik, termasuk latensi sistem, throughput data audio, packet loss selama transmisi, kualitas audio yang diterima, dan keandalan transmisi.

2. Variabel Independent (Bebas)

Variabel independen meliputi metode pemrosesan audio yang diterapkan (seperti kompresi audio), pengaturan jaringan ESP-NOW, serta penggunaan algoritma retransmisi dan error handling dalam pengiriman data.

3.3 Bahan Uji dan Alat

Alat dan bahan uji dibagi menjadi perangkat keras dan perangkat lunak.

a. Perangkat Keras

Tabel 2 Perangkat Keras

Alat	Fungsi
ESP32	Mikrocontroller yang berfungsi untuk memproses, menerima dan mentransmisikan data.
Modul Microphone	Digunakan untuk menangkap gelombang suara
Speaker	Digunakan untuk menghasilkan suara

Amplifier	Menguatkan sinyal yang diterima dari ESP32 sebelum diteruskan ke speaker
Breadboard	Digunakan untuk menghubungkan komponen-komponen dalam prototyping
Kabel Jumper	Digunakan untuk menghubungkan komponen
Power Supply (5v, 9v)	Sumber daya dari komponen-komponen
Kabel Micro USB	Digunakan untuk mengupload program ke ESP32

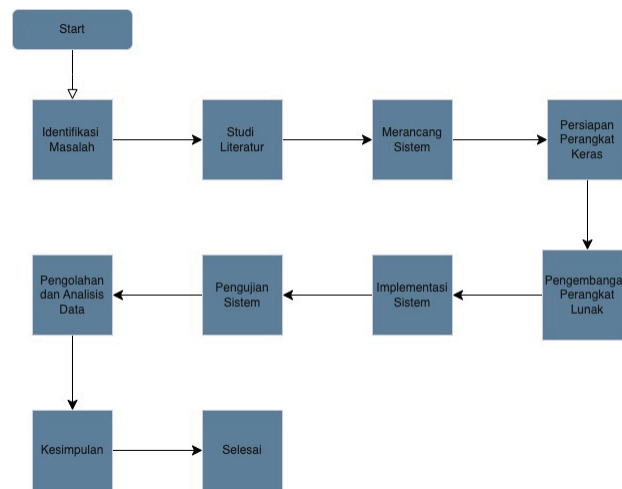
b. Perangkat Lunak

Tabel 3 Perangkat Lunak

Software	Fungsi
VScode	Software yang digunakan untuk menulis dan mengcompile program
PlatformIO Extension	Ekstensi pada VScode yang berfungsi sebagai interface antara VScode dan ESP32
ESP-NOW	Protokol komunikasi antar perangkat ESP

3.4 Skema Sistem Kerja

Sistem ini dirancang dengan mempertimbangkan berbagai aspek dimana proses perancangan meliputi serangkaian Langkah sistematis sebagai berikut:



Gambar 8 Diagram Alir Penelitian

1. Identifikasi Masalah

Dalam penelitian ini, masalah yang diidentifikasi adalah kebutuhan akan sistem transmisi audio real-time yang efisien dan andal melalui jaringan ESP-NOW. Sistem harus mampu menangani kompresi data audio, retransmisi data yang hilang, dan penanganan kesalahan untuk memastikan kualitas transmisi yang tinggi.

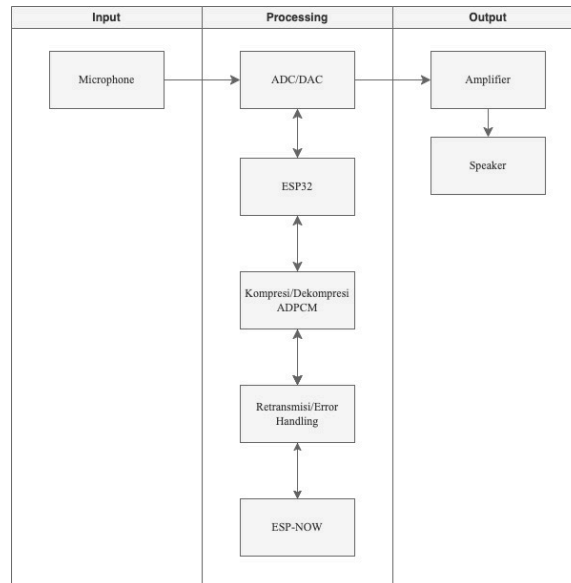
2. Studi Literatur

Setelah mengidentifikasi masalah, langkah berikutnya adalah melakukan studi literatur. Peneliti mengumpulkan informasi dari berbagai sumber, seperti jurnal ilmiah, buku, dan artikel, yang relevan dengan topik pemrosesan audio, kompresi ADPCM, mekanisme retransmisi, error handling, dan jaringan ESP-NOW. Studi literatur ini membantu peneliti memahami perkembangan terkini dan teknologi yang tersedia serta metode terbaik yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah yang diidentifikasi.

3. Merancang Sistem

Berdasarkan hasil studi literatur, peneliti kemudian merancang sistem pemrosesan audio yang akan dikembangkan. Desain sistem mencakup arsitektur keseluruhan, spesifikasi perangkat keras dan perangkat lunak yang akan digunakan, serta alur kerja sistem. Desain ini juga mencakup

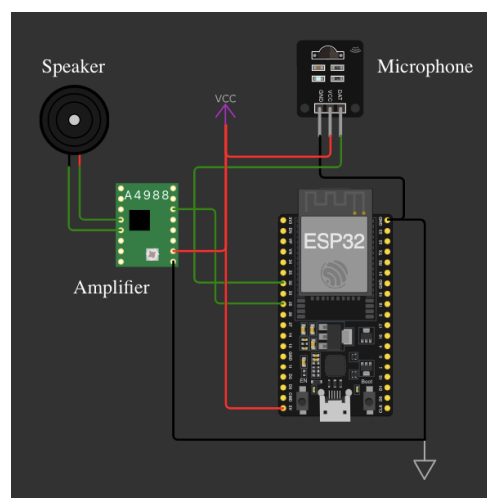
diagram alir yang menggambarkan bagaimana sistem akan bekerja, mulai dari pengambilan sampel audio hingga pemutaran audio kembali.



Gambar 9 Blok Sistem Alat

4. Persiapan Perangkat Keras

Selanjutnya menyiapkan semua perangkat keras yang diperlukan untuk implementasi sistem. Perangkat keras yang disiapkan meliputi modul ESP32, mikrofon, speaker, power supply, kabel USB, dan router Wi-Fi. Setiap perangkat keras diuji untuk memastikan berfungsi dengan baik sebelum diintegrasikan ke dalam sistem.



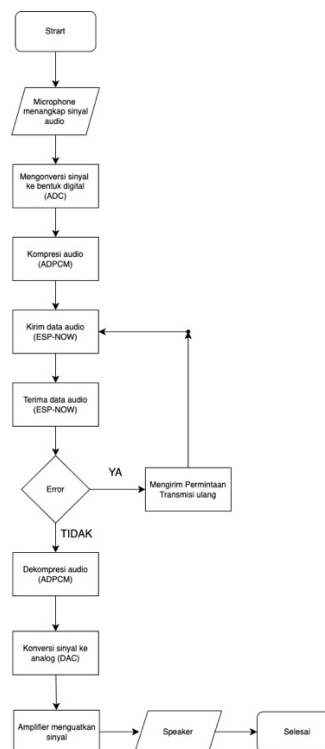
Gambar 10 Skematik perancangan Sistem

5. Pengembangan Perangkat Lunak

Berikutnya adalah mengembangkan perangkat lunak yang diperlukan untuk menjalankan sistem. Pengembangan perangkat lunak mencakup penulisan kode untuk firmware ESP32, kompresi ADPCM, mekanisme retransmisi, dan error handling. Perangkat lunak dikembangkan menggunakan berbagai alat dan platform, termasuk Arduino IDE untuk firmware dan perpustakaan ADPCM untuk kompresi audio.

6. Implementasi Sistem

Pada tahap ini, perangkat keras dan perangkat lunak yang telah dikembangkan diintegrasikan menjadi satu sistem yang utuh. ESP32 diprogram untuk menangkap data audio dari mikrofon, mengompresi data menggunakan ADPCM, dan mengirimkannya melalui ESP-NOW. ESP32 penerima menerima data, melakukan error handling, mendekompresi data, dan memutar kembali audio melalui speaker.



Gambar 11 Diagram Alir Sistem

7. Pengujian Sistem

Setelah sistem diimplementasikan, langkah berikutnya adalah menguji sistem untuk memastikan bahwa semua komponen bekerja dengan baik dan sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem, termasuk delay, throughput, packet loss, error rate, dan kualitas audio. Pengujian dilakukan dalam berbagai kondisi untuk memastikan sistem bekerja dengan baik dan dapat diandalkan.

8. Analisis Data dan Evaluasi

Data yang diperoleh selama pengujian dianalisis untuk mengevaluasi kinerja sistem. Parameter yang dianalisis meliputi delay atau latensi, throughput, packet loss, paket diterima dengan kesalahan (error), keandalan transmisi, dan kualitas audio. Hasil analisis digunakan untuk mengevaluasi efektivitas teknik kompresi, mekanisme retransmisi, dan error handling.

9. Kesimpulan

Merumuskan kesimpulan setelah data diperoleh dan dianalisis.

3.5 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap yang melibatkan pengukuran parameter kinerja sistem audio, seperti delay, throughput, packet loss, error rate, dan kualitas audio. Berikut adalah penjelasan langkah-langkah pengumpulan data:

1. Studi Literatur

Mengidentifikasi dan menganalisis sumber informasi yang relevan, seperti buku, jurnal ilmiah, dan artikel terkait dengan pemrosesan audio, kompresi ADPCM, retransmisi data, dan jaringan ESP-NOW.

2. Persiapan Perangkat Keras

Mengatur perangkat keras yang diperlukan, termasuk modul ESP32, mikrofon, dan speaker. Menguji setiap komponen untuk memastikan berfungsi dengan baik sebelum diintegrasikan ke dalam sistem.

3. Pengembangan Perangkat Lunak

Mengembangkan kode untuk firmware ESP32, termasuk kompresi ADPCM, mekanisme retransmisi, dan error handling. Menggunakan Arduino IDE untuk pengembangan firmware dan perpustakaan ADPCM untuk kompresi audio.

4. Implementasi Sistem

Mengintegrasikan perangkat keras dan perangkat lunak menjadi satu sistem yang utuh. Memprogram ESP32 untuk menangkap data audio dari mikrofon, mengompresi data, dan mengirimkan data terkompresi melalui ESP-NOW. ESP32 penerima akan menerima data, melakukan error handling, mendekompresi data, dan memutar kembali audio.

5. Pengujian Sistem

Menguji sistem untuk memastikan semua komponen bekerja dengan baik dan sesuai dengan spesifikasi. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem, termasuk delay, throughput, packet loss, error rate, dan kualitas audio. Pengujian dilakukan dalam berbagai kondisi untuk memastikan sistem robust dan dapat diandalkan.

6. Analisis Data

Menganalisis data yang diperoleh selama pengujian untuk mengevaluasi kinerja sistem. Parameter yang dianalisis meliputi:

- Delay atau Latensi: Waktu yang dibutuhkan untuk data mencapai penerima dari pengirim.
- Throughput: Jumlah data yang berhasil ditransmisikan dalam waktu tertentu.
- Packet Loss: Jumlah paket yang hilang selama transmisi.
- Error Rate: Jumlah paket yang diterima dengan kesalahan.

7. Kesimpulan

Merumuskan kesimpulan berdasarkan hasil analisis data untuk mengevaluasi efektivitas teknik kompresi, mekanisme retransmisi, dan error handling pada sistem pemrosesan audio real-time menggunakan ESP32 dan ESP-NOW.

3.6 Teknik Analisis

Teknik analisis yang digunakan dalam penelitian ini mencakup beberapa pendekatan untuk mengevaluasi performa sistem pemrosesan audio real-time menggunakan ESP32 secara holistik. Pertama, analisis latency (delay) dilakukan untuk mengukur waktu respons sistem dari input audio hingga output audio. Pengukuran ini penting untuk memastikan bahwa waktu penundaan sistem tidak mengganggu pengalaman audio real-time. Selanjutnya, analisis throughput digunakan untuk mengukur jumlah data audio yang berhasil diproses dan ditransmisikan dalam satu periode waktu tertentu. Pengukuran throughput membantu menilai efisiensi sistem dalam menangani dan mengirimkan data audio dalam berbagai kondisi penggunaan. Analisis packet loss dilakukan untuk mengidentifikasi jumlah paket data audio yang hilang selama proses transmisi melalui jaringan ESP-NOW atau protokol komunikasi lainnya. Pengurangan packet loss menjadi hal yang penting untuk memastikan integritas data audio yang dikirimkan antar perangkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Anjasgoro, R., Ichsan, M. H. H., & Syauqy, D. (2024). Perancangan dan Implementasi Sistem Pemantauan Kotak Benih terhadap Ruangan menggunakan Protokol ESP-NOW. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 8(1), 63-74.
- Dani, M. (2011). Kompresor dan Dekompresor Data Menggunakan Algoritma ADPCM Berbasis Mikrokontroler ATMEGA8535. *Proceeding: Konferensi Nasional ICT-M Politeknik Telkom (KNIP)*.
- Eridani, D., Rochim, A. F., & Cesara, F. N. (2021). Comparative performance study of ESP-NOW, Wi-Fi, bluetooth protocols based on range, transmission speed, latency, energy usage and barrier resistance. In *2021 international seminar on application for technology of information and communication (iSemantic)* (pp. 322-328). IEEE.
- Fabregat, G., Belloch, J. A., Badía, J. M., & Cobos, M. (2020). Design and implementation of acoustic source localization on a low-cost IoT edge platform. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 67(12), 3547-3551.
- Nasrulloh, M. D. (2019). Perancangan Sistem Audio Crossover Berbasis Digital Filter Menggunakan STM32L4. *Journal of Telecommunication Network (Jurnal Jaringan Telekomunikasi)*, 9(4), 13-18. <https://doi.org/10.33795/jartel.v9i4.141>
- Nizam, M. N., Yuana, H., & Wulansari, Z. (2022). Mikrokontroler Esp 32 Sebagai Alat Monitoring Pintu Berbasis Web. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 6(2), 767-772. <https://doi.org/10.36040/jati.v6i2.5713>
- Kristalina, P. (2007). Analisa Tingkat Inteligibilitas Suara pada Layanan Interactive Voice Response dengan Perekaman Berbasis Metode Companding PCM dan ADPCM. In *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI)*.
- Kumar, V. (2023). Enabling Collaborative Environments: one-to-many Audio Transmission via ESP-NOW. *Authorea Preprints*.
- Kviesis, A., Komasilovs, V., Ozols, N., & Zacepins, A. (2023). Bee colony remote monitoring based on IoT using ESP-NOW protocol. *PeerJ Computer Science*, 9, e1363.

- Pasic, R., Kuzmanov, I., & Atanasovski, K. (2021). ESP-NOW communication protocol with ESP32. *Journal of Universal Excellence*, 6(1), 53-60.
- Perng, J. W., Hsieh, T. L., & Guo, C. Y. (2021). A novel dentary bone conduction device equipped with laser communication in DSP. *Sensors*, 21(12), 4229.
- Prabowo, M. C. A., Kusumastuti, S., Busono, F. A., & Wardani, E. P. (2024). RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL DAN MONITORING BUDIDAYA JANGKRIK MENGGUNAKAN PROTOKOL ESP-NOW BERBASIS INTERNET OF THINGS. *Orbith: Majalah Ilmiah Pengembangan Rekayasa dan Sosial*, 20(1), 52-59.
- Salendah, J., Kalele, P., Tulenan, A., & Reynaldo Joshua, J. S. (2022). Penentuan Beasiswa Dengan Metode Fuzzy Tsukamoto Berbasis Web Scholarship Determination Using Web Based Fuzzy Tsukamoto Method. *Seminar Nasional Ilmu Komputer (SNASIKOM)*, 2(1), 81–90. Retrieved from <https://proceeding.unived.ac.id/index.php/snasikom/article/view/80>
- Triwibowo, A. S. (2023). Perancangan Sistem Transmisi Isyarat Audio dengan Protokol ESP-NOW (Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada).
- Wilani, L. (2023). Rancang Bangun Sistem Monitoring Kebisingan pada Ruangan dengan Sensor Suara GY-MAX4466 Berbasis Internet of Things (IoT). *STRING (Satuan Tulisan Riset dan Inovasi Teknologi)*.