

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terkait

Untuk memperkuat landasan konseptual dan posisi penelitian ini, dilakukan kajian terhadap sejumlah penelitian terdahulu yang relevan dengan topik sistem audio masjid, *Internet of Things* (IoT), protokol MQTT, pengembangan aplikasi *mobile* Android, serta konsep *Cyber-Physical System* (CPS). Kajian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pendekatan yang telah digunakan, capaian yang diperoleh, serta keterbatasan yang masih terdapat pada penelitian sebelumnya.

Ringkasan penelitian-penelitian tersebut disajikan pada Tabel 2.1, yang memuat informasi mengenai fokus penelitian, metode yang digunakan, serta gap yang masih terbuka. Melalui analisis komparatif tersebut, dapat diketahui posisi penelitian ini sekaligus menegaskan kontribusi dan kebaruan yang ditawarkan dibandingkan penelitian terdahulu.

Tabel 2.1 Rangkuman Penelitian Terdahulu

No.	Penulis (Tahun)	Keterangan
(1)	(2)	(3)
1	Rosad, Yudhana, et al., 2025b	Judul: <i>Zoned Audio Distribution: Systematic Review and Optimization Framework in Mosque</i> Metode: SLR, Survei Empiris, Simulasi Akustik Tools: ODEON, Ease Focus, Digital Signal Processing (DSP) Hasil: Sistem multi-zona meningkatkan <i>Speech Transmission Index</i> (STI)>0,6 dan kualitas suara lebih jelas.
2	Rosad, Irkhamudin, et al., 2025	Judul: <i>Edge-Based IoT EndPoint Performance Optimization for Smart Mosques</i> Metode: Eksperimental (<i>polling</i> vs <i>push</i>) Tools: ESP32, Raspberry Pi, WebSocket, SSE Hasil: Latensi turun dari 180 ms ke 50 ms dan tingkat ketersediaan sistem meningkat menjadi 99,3%.
3	Ariyanto et al., 2025	Judul: Perancangan Aplikasi <i>Mobile</i> Berbasis Flutter untuk Pemantauan Data Sensor IoT: Solusi bagi Manajemen Suhu dan Kelembapan Metode: <i>User acceptance Testing</i> (UAT) dengan 20 responden, SDLC Tools: Flutter, sensor DHT22, ESP32, protokol MQTT, database MySQL Hasil: Aplikasi Flutter berhasil melakukan <i>monitoring</i> data sensor IoT secara <i>real-time</i> melalui MQTT dengan pembaruan data yang stabil serta mendukung notifikasi kondisi sensor secara langsung.

No.	Penulis (Tahun)	Keterangan
(1)	(2)	(3)
4	Saiqul Umam et al., 2023	Judul: Implementasi Protokol MQTT Pada Aplikasi Smart Garden Berbasis Internet of Things Metode: Aplikasi smart garden berbasis IoT dengan protokol MQTT Tools: Protokol MQTT, mikrokontroler, sensor, MQTT broker, WiFi, web interface Hasil: Server MQTT berhasil menangkap data sensor dengan baik dan akurat, transmisi data stabil
5	Pratama & Irianto, 2026	Judul: Rancang Bangun Aplikasi Parkir Masjid Berbasis Android dan Firebase Metode: Model <i>Waterfall</i> Tools: Android Studio, Kotlin, Firebase Realtime Database Hasil: Aplikasi berhasil melakukan sinkronisasi data secara <i>real-time</i> dan seluruh fungsi sistem berjalan sesuai kebutuhan berdasarkan pengujian <i>Black-box Testing</i>.
6	Zainuddin Lapi et al., 2023	Judul: Rancang Bangun Purwarupa Aplikasi Masjid Pintar Menggunakan Platform Kodular Berbasis Internet di Masjid Metode: Pengembangan <i>prototype</i> Tools: NodeMCU Esp8266, relay, sensor LDR, Arduino IDE, Firebase, platform Kodular Hasil: Sistem berhasil mengontrol lampu dan memonitor intensitas cahaya dari jarak jauh
7	Thantawi et al., 2023	Judul: <i>Utilization and development of Smart Mosque Applications</i> Metode: Survei dan wawancara pengurus masjid Tools: G-Forms Hasil: Digitalisasi layanan masjid melalui aplikasi <i>mobile</i> membantu meningkatkan efektivitas pengelolaan operasional masjid dan akses informasi bagi pengguna.
8	Sanjaya et al., 2021	Judul: Penerapan <i>Internet of Things</i> Untuk Sistem <i>monitoring</i> Jemaah Masjid Sesuai Protokol Kesehatan Terhadap Virus Covid-19 Berbasis Arduino Metode: Simulasi dan pengujian akurasi sensor Tools: Arduino, sensor suhu, sensor jarak, LCD, web interface, bilik disinfektan Hasil: Sensor suhu akurasi 98,82%, sensor jarak akurasi 93,33%, <i>monitoring real-time</i> berhasil
9	Abdulfathah & Santoso, 2024	Judul: Pemanfaatan IoT (<i>Internet of Things</i>) Dalam <i>monitoring</i> Kadar Kepekatan Asap dan Kendali <i>Camera Tracking</i> Metode: Pengujian integrasi sistem dan pengujian fungsional

No.	Penulis (Tahun)	Keterangan
(1)	(2)	(3)
		Tools: Sensor MQ-2, Arduino Uno, ESP8266, motor servo, ponsel Android Hasil: Sistem berhasil terintegrasi, deteksi asap dan kontrol kamera berfungsi baik
10	Saputra et al., 2025	Judul: IoT-MQTT <i>Protocol-Based Water Sensor System</i> to Monitor Citarum River Water Quality Using Arduino Uno R4 WiFi Metode: Metode eksperimen IoT Tools: Arduino Uno R4 WiFi, sensor kualitas air, dan protokol MQTT Hasil: Sistem berhasil memonitor kualitas air secara <i>real-time</i> menggunakan MQTT dengan komunikasi data stabil, latensi rendah, dan efisien
11	Sosmita & Salam, 2024	Judul: Rancang Bangun Aplikasi <i>Mobile</i> Untuk Pemantauan Dan Kontrol Sistem Keamanan Pintu Rumah Berbasis IoT Metode: Pengujian sistem dan pengujian fungsional Tools: NodeMCU/ESP32, sensor PIR, solenoid door lock, relay, Kodular, Firebase Hasil: <i>monitoring</i> status pintu akurat, deteksi gerakan berhasil, notifikasi <i>real-time</i> tinggi
12	Habibi & Zaky, 2025	Judul: Sistem <i>monitoring</i> Tingkat Kualitas Udara Dan Optimasi Sensor Menggunakan <i>Internet of Things</i> Berbasis Android Metode: Kalibrasi ADC, optimasi sensor, pengujian stabilitas Tools: ESP32, sensor MQ135, sensor DHT11, RESTful API PHP, aplikasi Android Kotlin Hasil: Pembacaan sensor stabil dan presisi, <i>monitoring</i> berkelanjutan berhasil, respons cepat
13	Ahdan & Susanto, 2021	Judul: Implementasi Dashboard <i>Smart Energy</i> Untuk Pengontrolan Rumah Pintar pada Perangkat Bergerak Berbasis <i>Internet of Things</i> Metode: Pengujian sistem IoT dan evaluasi performa perangkat Tools: Sensor IoT, aplikasi Android, sistem smart home Hasil: Sistem <i>monitoring</i> dan kontrol perangkat IoT berjalan dengan baik serta penggunaan CPU dan memori tetap stabil selama operasi.
14	Ihsan et al., 2023	Judul: <i>Smart Home</i> Berbasis <i>Internet of Things</i> dan <i>Mobile Application</i> pada Pustaka Galeri Mandiri Padang Metode: Metodologi eksperimental dengan pendekatan <i>prototype</i> , pengujian akses intranet dan internet

No.	Penulis (Tahun)	Keterangan
(1)	(2)	(3)
		Tools: Aplikasi Blynk, <i>NodeMCU</i> v2, sistem relay, koneksi internet Hasil: Sistem berhasil diakses dari dalam rumah melalui koneksi intranet langsung ke <i>NodeMCU</i> v2, akses dari luar rumah berhasil melalui aplikasi Android Blynk via internet, kontrol perangkat lampu dan pagar/pintu sliding berfungsi optimal, sistem mendukung akses multiple platform
15	Muslim et al., 2022	Judul: Implementasi <i>Framework</i> Flutter Pada Sistem Informasi Perpustakaan Masjid Metode: Pengujian fungsional sistem, evaluasi performa aplikasi, dan kompatibilitas cross-platform Tools: <i>Framework</i> Flutter, Laravel, database Hasil: Sistem berhasil dipublikasikan pada platform Android dan iOS serta mendukung pengelolaan data perpustakaan masjid secara digital.
16	Hendrastuty & Ihza, 2021	Judul: Rancang Bangun Aplikasi <i>monitoring</i> Santri Berbasis Android Metode: Observasi langsung, perancangan sistem dengan UML, pendekatan OOP Tools: Platform Android, UML, database Hasil: Aplikasi berhasil memungkinkan orang tua mengakses informasi perkembangan santri menggunakan NISN dan tanggal lahir
17	Dillah et al., 2024	Judul: Rancang Bangun Aplikasi <i>monitoring</i> Operasi P2TL Pengukuran Tidak Langsung 2 Phasa di PT. PLN (PERSERO) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Metro Metode: <i>Waterfall</i> dan <i>Black-box Testing</i> Tools: Android Studio, <i>Smartphone</i> Android Hasil: Aplikasi <i>monitoring</i> berjalan stabil dan seluruh fungsi utama sistem dapat digunakan dengan baik.
18	Dewi & Fikri, 2023	Judul: Optimalisasi Keamanan Rumah dengan Implementasi Sistem Notifikasi Gerbang Cerdas Berbasis <i>Internet of Things</i> (IoT) Metode: Uji coba lapangan selama 10 hari, pengujian sinkronisasi perangkat, evaluasi efektivitas protokol MQTT Tools: <i>Smartphone</i> Android, ESP8266, MQTT, sensor magnet, buzzer, telegram Hasil: <i>monitoring</i> dan notifikasi <i>real-time</i> berhasil
19	Anggoro & Widiasari, 2021	Judul: Perancangan dan Penerapan Kendali Lampu Ruangan Berbasis IoT (<i>Internet of Things</i>) Android

No.	Penulis (Tahun)	Keterangan
(1)	(2)	(3)
		Metode: Metode <i>Prototype</i> , pengujian fungsionalitas sistem, evaluasi performa kontrol jarak jauh Tools: <i>NodeMCU</i> , Bot Telegram Hasil: Kontrol jarak jauh berhasil
20	Rahmadi et al., 2023	Judul: Rancangan Aplikasi Kuis Anggota Kelompok Penyelenggara Pemungutan Suara (KPPS) Berbasis Android Metode: Metode <i>prototype</i> dan <i>blackbox testing</i> Tools: Platform Android, <i>Smartphone</i> berbagai versi Android untuk testing kompatibilitas, tools pengembangan <i>mobile</i> Hasil: Aplikasi memiliki tingkat kompatibilitas yang baik pada berbagai perangkat Android dan seluruh fitur berjalan sesuai rancangan.
21	Yulisman et al., 2021	Judul: Penerapan <i>Internet of Things</i> (IoT) Kontrol Lampu Menggunakan <i>NodeMCU</i> ESP8266 dan <i>Smartphone</i> Metode: Metode <i>Prototype</i> , pengujian fungsional kontrol jarak jauh, evaluasi efisiensi energi Tools: <i>NodeMCU</i> ESP8266, modul Relay 5V, <i>smartphone</i> , bahasa pemrograman C, Arduino IDE. Hasil: Kontrol lampu berhasil <i>real-time</i>
22	Rosad, Yudhana, et al., 2025a	Judul: <i>Initial Study of Public Address Usage in Mosque Audio Systems</i> Metode: Deskriptif kualitatif Tools: Kuesioner dan analisis statistik deskriptif terhadap 200 masjid di Indonesia Hasil: 93,1% masjid menggunakan sistem PA konvensional, tingkat kepuasan pengguna hanya 47,2%, dan 60% pengelola masjid hanya berperan sebagai pengguna tanpa kemampuan teknis dalam pengelolaan sistem audio.

Berdasarkan analisis terhadap penelitian-penelitian terdahulu yang telah dirangkum pada Tabel 2.1, selanjutnya dilakukan identifikasi kesenjangan penelitian serta perumusan kebaruan yang ditawarkan dalam penelitian ini. Identifikasi tersebut dilakukan dengan membandingkan fokus, metode, dan hasil penelitian sebelumnya terhadap kebutuhan pengembangan sistem distribusi audio masjid berbasis IoT.

Hasil analisis tersebut disajikan pada Tabel 2.2 yang memuat ringkasan gap penelitian dan novelty penelitian. Tabel ini menunjukkan secara sistematis perbedaan dan kontribusi yang diberikan penelitian ini dibandingkan dengan penelitian sebelumnya.

Tabel 2.2 Rangkuman Gap Penelitian dan Novelty

No	Penelitian	Fokus	Gap Penelitian	Novelty
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	Rosad, Yudhana, et al., 2025b	Optimasi distribusi audio multi-zona masjid menggunakan DSP dan simulasi akustik	Belum menyediakan aplikasi <i>mobile</i> untuk <i>monitoring</i> dan kontrol sistem audio secara <i>real-time</i>	Pengembangan aplikasi Android berbasis MQTT untuk <i>monitoring</i> SPL dan kontrol audio multi-zona secara <i>real-time</i>
2	Rosad, Irkhamudin, et al., 2025	Optimasi performa endpoint IoT berbasis <i>edge</i> pada <i>Smart Mosque</i>	Fokus pada optimasi endpoint IoT dan belum menyediakan antarmuka kontrol audio bagi pengguna	Integrasi aplikasi Android dengan MQTT dan <i>backend</i> untuk <i>monitoring</i> serta kontrol sistem audio masjid
3	Ariyanto et al., 2025	Aplikasi <i>mobile monitoring</i> sensor IoT berbasis MQTT	Hanya berfokus pada <i>monitoring</i> sensor dan tidak mendukung kontrol perangkat maupun sistem audio multi-zona	Implementasi <i>monitoring</i> dan kontrol sistem audio masjid berbasis MQTT dalam aplikasi Android
4	Saiqul Umam et al., 2023	Implementasi MQTT pada smart garden	Tidak diterapkan pada sistem audio dan tidak mendukung pengelolaan multi-zona	Penerapan MQTT untuk <i>monitoring</i> SPL dan kontrol audio masjid multi-zona
5	Pratama & Irianto, 2026	Aplikasi parkir masjid berbasis Android dan Firebase	Tidak berkaitan dengan sistem audio maupun komunikasi MQTT	Pengembangan aplikasi Android untuk <i>monitoring</i> dan kontrol sistem audio masjid berbasis MQTT
6	Zainuddin Lapi et al., 2023	<i>Smart Mosque</i> untuk kontrol lampu berbasis IoT	Belum mendukung <i>monitoring</i> dan kontrol sistem distribusi audio	Implementasi aplikasi <i>mobile</i> untuk <i>monitoring</i> dan kontrol sistem audio masjid berbasis IoT
7	Thantawi et al., 2023	Pemanfaatan aplikasi <i>Smart Mosque</i>	Tidak mengembangkan sistem kontrol audio maupun integrasi MQTT <i>real-time</i>	Pengembangan aplikasi Android yang terintegrasi dengan sistem audio masjid berbasis MQTT

No	Penelitian	Fokus	Gap Penelitian	Novelty
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
8	Sanjaya et al., 2021	<i>monitoring</i> protokol kesehatan masjid berbasis IoT	Tidak membahas distribusi audio dan pengelolaan zona audio	Implementasi <i>monitoring</i> dan kontrol sistem audio multi-zona berbasis Android
9	Abdulfathah & Santoso, 2024	<i>monitoring</i> asap dan kontrol kamera berbasis IoT	Tidak diterapkan pada sistem distribusi audio	Implementasi <i>monitoring</i> SPL dan kontrol audio berbasis MQTT
10	Saputra et al., 2025	<i>monitoring</i> kualitas air menggunakan MQTT	Berfokus pada <i>monitoring</i> sensor dan tidak menyediakan aplikasi kontrol audio	Integrasi MQTT dengan aplikasi Android untuk <i>monitoring</i> dan kontrol audio masjid
11	Sosmita & Salam, 2024	<i>monitoring</i> dan kontrol pintu berbasis IoT	Tidak mendukung pengelolaan audio multi-zona	Implementasi <i>monitoring</i> dan kontrol sistem audio masjid multi-zona berbasis MQTT
12	Habibi & Zaky, 2025	<i>monitoring</i> kualitas udara berbasis Android dan IoT	Fokus pada <i>monitoring</i> sensor, bukan kontrol sistem audio	Pengembangan aplikasi Android untuk <i>monitoring</i> SPL dan kontrol audio secara <i>real-time</i> audio multi-zona
13	Ahdan & Susanto, 2021	Dashboard <i>smart home</i> berbasis IoT	Tidak diterapkan pada sistem audio masjid dan tidak mendukung multi-zona	Pengembangan dashboard Android untuk <i>monitoring</i> dan kontrol audio masjid berbasis MQTT
14	Ihsan et al., 2023	<i>Smart home</i> berbasis IoT dan <i>mobile application</i>	Tidak mendukung distribusi audio dan pengelolaan zona audio	Implementasi aplikasi Android untuk <i>monitoring</i> dan kontrol sistem audio multi-zona
15	Muslim et al., 2022	Sistem informasi perpustakaan masjid berbasis Flutter	Tidak membahas komunikasi MQTT maupun sistem audio	Pemanfaatan Flutter untuk aplikasi <i>monitoring</i> dan kontrol sistem audio masjid

No	Penelitian	Fokus	Gap Penelitian	Novelty
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
16	Hendrastuty & Ihza, 2021	Aplikasi <i>monitoring</i> berbasis Android	Tidak mengintegrasikan MQTT dan perangkat IoT	Integrasi Android, MQTT, dan <i>backend</i> untuk <i>monitoring</i> sistem audio masjid
17	Dillah et al., 2024	Aplikasi <i>monitoring</i> berbasis Android	Tidak menggunakan MQTT dan tidak mendukung kontrol perangkat audio	Implementasi komunikasi MQTT <i>real-time</i> pada aplikasi <i>monitoring</i> dan kontrol audio
18	Dewi & Fikri, 2023	Sistem notifikasi berbasis MQTT	Tidak diterapkan pada sistem distribusi audio multi-zona	Pemanfaatan MQTT untuk <i>monitoring</i> dan kontrol sistem audio masjid
19	Anggoro & Widiyastuti, 2021	Kontrol lampu berbasis IoT Android	Tidak mendukung <i>monitoring</i> SPL dan pengelolaan multi-zona	I Implementasi <i>monitoring</i> SPL dan kontrol audio multi-zona berbasis Android
20	Rahmadi et al., 2023	Aplikasi Android berbasis <i>prototype</i>	Tidak terintegrasi dengan IoT dan MQTT	Pengembangan aplikasi Android berbasis Flutter yang terintegrasi dengan MQTT untuk sistem audio masjid
21	Yulisman et al., 2021	Kontrol lampu berbasis IoT	Tidak mendukung distribusi audio multi-zona	Implementasi <i>monitoring</i> dan kontrol audio masjid berbasis MQTT
22	Rosad, Yudhana, et al., 2025a	Studi penggunaan sistem PA masjid	Tidak mengembangkan sistem kontrol digital atau aplikasi <i>mobile</i>	Pengembangan sistem distribusi audio digital berbasis MQTT dan Android

Berdasarkan analisis gap penelitian pada Tabel 2.2, dapat disimpulkan bahwa meskipun berbagai penelitian telah membahas penerapan IoT, aplikasi Android, dan protokol MQTT untuk sistem *monitoring* dan kontrol, belum terdapat penelitian yang mengintegrasikan sistem distribusi audio masjid berbasis multi-zona dengan komunikasi *real-time* melalui aplikasi *mobile*. Sebagian besar penelitian masih

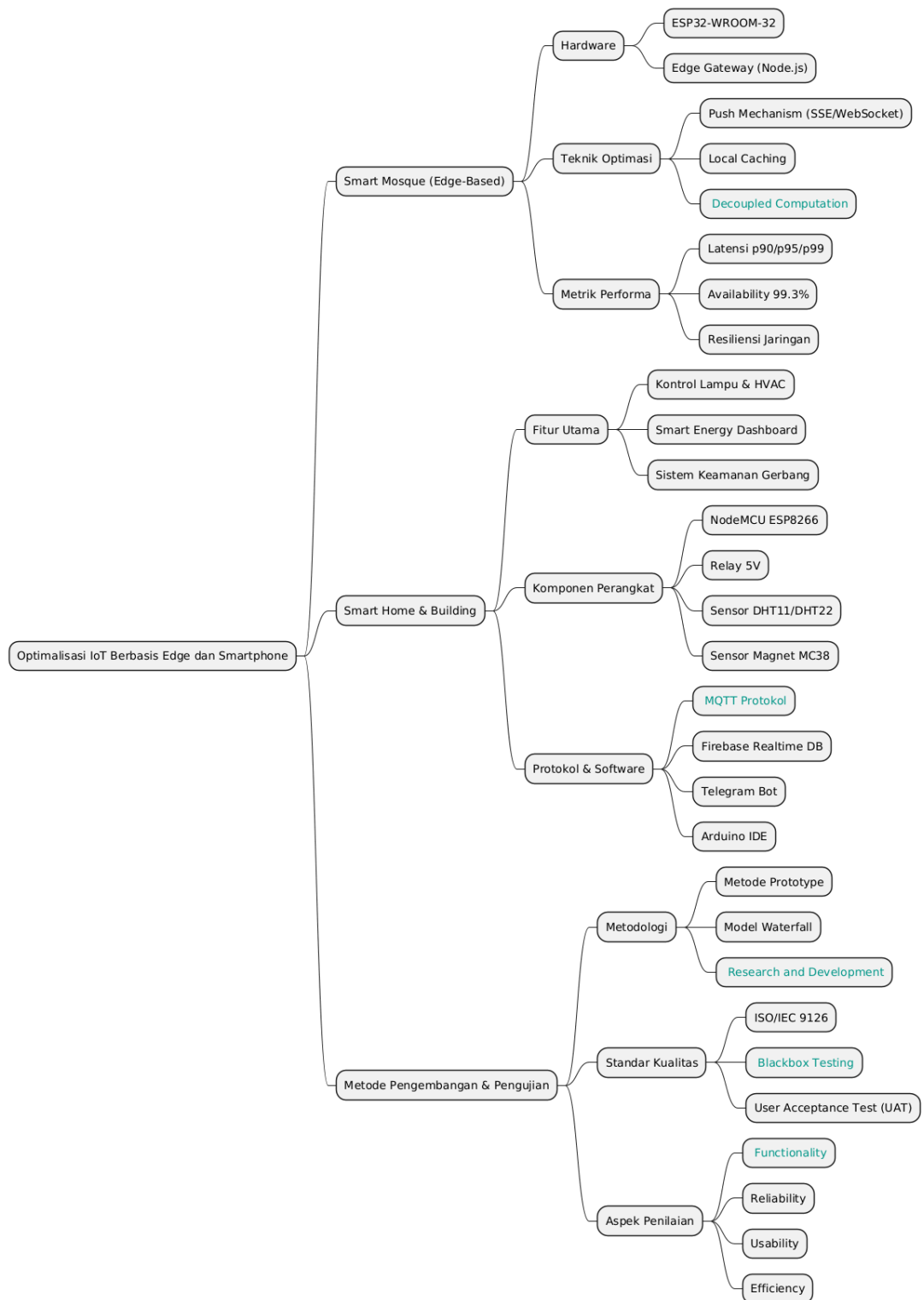
berfokus pada *monitoring* atau kontrol perangkat secara terpisah tanpa menggabungkan aspek distribusi audio dan arsitektur terdistribusi.

Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan kebaruan berupa pengembangan sistem distribusi audio masjid berbasis IoT yang mengintegrasikan konsep *Cyber-Physical System* (CPS), komunikasi MQTT berbasis *publish-subscribe*, serta aplikasi Android sebagai antarmuka *monitoring* dan kontrol secara *real-time*. Integrasi ini dirancang untuk mendukung pengelolaan audio multi-zona yang lebih fleksibel, responsif, dan mudah digunakan oleh pengguna, sehingga memberikan kontribusi terhadap pengembangan sistem audio masjid yang lebih adaptif.

Berdasarkan gap dan kebaruan tersebut, penelitian ini tidak hanya mengadopsi teknologi IoT dan MQTT, tetapi juga mengintegrasikannya secara komprehensif dalam sistem distribusi audio multi-zona berbasis aplikasi *mobile*. Untuk memperjelas kerangka konseptual penelitian, berikut disajikan *mind map* penelitian dan Taksonomi Bloom.



Gambar 2.1 *Mind Map* Penelitian



Gambar 2.2 Taksonomi Bloom

B. Landasan Teori

Landasan teori yang digunakan pada penelitian “Aplikasi *Mobile* Android Berbasis MQTT Untuk *Monitoring* dan Kontrol Sistem Audio Multi-Zona Masjid” sebagai berikut :

1. Sistem Audio Masjid

Sistem audio masjid memiliki peran penting dalam mendukung komunikasi selama kegiatan ibadah, seperti adzan, khotbah, dan ceramah. Sistem audio ini bertujuan agar suara dapat didengar dengan jelas oleh jamaah di ruang utama maupun area lain seperti serambi atau luar masjid. Dalam praktiknya, tantangan utama meliputi geometri ruang, penempatan speaker, *reverberasi*, dan pemerataan distribusi suara[2], [9]. Perkembangan teknologi digital juga memungkinkan sistem audio diintegrasikan dengan mekanisme *monitoring* sehingga kondisi perangkat dapat dipantau secara *real-time* untuk mendukung keandalan operasional sistem[11].

Sistem audio masjid umumnya melibatkan rantai perangkat *input–proses–output* (misalnya mikrofon, penguat, dan speaker) yang perlu dikalibrasi sesuai karakter ruang[2], [12]. Pendekatan PA terpusat yang masih dominan sering menimbulkan ketidakmerataan cakupan suara pada ruang dengan kondisi akustik kompleks. Oleh karena itu, sistem distribusi audio multi-zona menjadi pendekatan yang lebih tepat untuk meningkatkan *intelligibility* dan kenyamanan dengar[1], [2].

Penelitian oleh Rosad, Yudhana, et al. (2025) menunjukkan bahwa penerapan sistem distribusi audio multi-zona pada masjid mampu meningkatkan pemerataan suara dan nilai *Speech Transmission Index* (STI) sehingga informasi yang disampaikan dapat diterima jamaah dengan lebih jelas[2]. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pengelolaan audio berdasarkan zona merupakan pendekatan yang efektif untuk mengatasi perbedaan karakteristik akustik pada setiap area masjid. Seiring bertambahnya jumlah zona yang dikelola, diperlukan mekanisme *monitoring* data serta kontrol yang mampu menampilkan kondisi setiap zona serta memudahkan pengelolaan logika sistem secara *real-time*. Oleh karena itu, pemanfaatan aplikasi *mobile* yang terintegrasi dengan infrastruktur *backend* IoT menjadi salah satu solusi untuk mendukung proses *monitoring* dan simulasi manajemen data sistem audio multi-zona secara lebih efektif, fleksibel, dan *real-time*.

2. Cyber-Physical Systems (CPS)

CPS merupakan integrasi komputasi, komunikasi jaringan, dan proses fisik untuk *monitoring* serta kontrol *real-time*[1], [2]. Pada konteks audio masjid, prinsip CPS relevan untuk pengendalian terdistribusi antarzona

sehingga keputusan kontrol tidak bertumpu pada satu titik pusat[1], [2]. Implementasi CPS juga didukung oleh sistem *monitoring* berbasis IoT yang mampu mengintegrasikan sensor dan perangkat kontrol sehingga respons sistem terhadap perubahan kondisi menjadi lebih cepat dan terkoordinasi[13].

Implementasi berbasis *edge* dan arsitektur terdistribusi juga meningkatkan respons sistem saat kondisi jaringan berubah, termasuk ketika koneksi internet tidak stabil[1]. Dengan demikian, CPS menjadi fondasi teknis bagi transisi dari model terpusat menuju model multi-zona yang lebih adaptif[1], [2].

Konsep CPS tidak hanya menghubungkan dunia fisik dan digital, tetapi juga memungkinkan terjadinya pertukaran data secara kontinu antara perangkat lapangan dan sistem komputasi. Dalam arsitektur *Smart Mosque*, data dari perangkat audio dapat dikirim menuju *backend system* untuk diproses dan selanjutnya digunakan sebagai dasar *monitoring* kondisi sistem maupun pengelolaan logika parameter perangkat. Selain itu, penerapan CPS berbasis arsitektur terdistribusi memungkinkan setiap *node* tetap beroperasi dan mempertahankan komunikasi meskipun terjadi gangguan pada *node* lain, sehingga meningkatkan keandalan sistem dibandingkan pendekatan terpusat. Pendekatan ini mendukung pengelolaan sistem audio multi-zona yang lebih responsif, terukur, dan terintegrasi.

3. *Internet of Things* (IoT) dalam Sistem Audio

IoT adalah konsep di mana perangkat fisik dilengkapi dengan sensor, aktuator, dan kemampuan komunikasi sehingga dapat berinteraksi dengan sistem lainnya melalui internet. IoT memungkinkan perangkat fisik terhubung dan bertukar data untuk *monitoring* serta kontrol jarak jauh secara *real-time*[4]. Dalam berbagai implementasi, pendekatan ini digunakan untuk kendali perangkat, sinkronisasi data aplikasi *mobile*, dan pemantauan status sistem[7], [14]. Penelitian menunjukkan bahwa sistem *monitoring* berbasis IoT mampu menghasilkan pembacaan sensor yang stabil dan presisi serta mendukung pemantauan kondisi sistem secara berkelanjutan melalui aplikasi *mobile*[15].

Dalam sistem audio masjid, konsep IoT dapat diterapkan untuk memantau status perangkat audio per zona dan mengirim perintah kontrol melalui aplikasi *mobile* pengguna[1], [16]. Pendekatan ini mendukung pengelolaan operasional yang lebih cepat, terukur, dan fleksibel[2], [8]. Selain itu, penerapan IoT pada sistem perangkat terhubung menunjukkan bahwa visualisasi data dapat dipantau secara jarak jauh melalui aplikasi *mobile* dengan koneksi jaringan yang stabil dan mendukung pengelolaan multi-*node* secara terintegrasi[17].

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa teknologi IoT telah banyak digunakan untuk mendukung sistem *monitoring* dan transmisi data berbasis aplikasi *mobile*. Dengan memanfaatkan komunikasi data secara *real-time*,

sistem dapat memperoleh informasi kondisi perangkat serta melakukan pengendalian logika dari lokasi yang berbeda. Kemampuan ini menjadikan IoT sebagai fondasi utama dalam pengembangan sistem *monitoring* dan kontrol audio masjid yang terintegrasi dengan aplikasi Android.

4. MQTT sebagai Protokol Komunikasi

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) merupakan protokol ringan berbasis *publish-subscribe* yang banyak dipakai pada implementasi IoT untuk telemetri dan kontrol[7], [8]. Dalam studi implementatif, MQTT mendukung pengiriman data sensor secara stabil serta kendali perangkat jarak jauh dengan beban komunikasi yang efisien[5], [8]. Pada berbagai sistem kendali perangkat berbasis IoT, komunikasi antara perangkat dan aplikasi *mobile* terbukti mampu berjalan dengan baik melalui jaringan internet sehingga memungkinkan pengendalian perangkat secara *real-time* dengan respons yang stabil[18].

Untuk sistem distribusi audio masjid, MQTT sesuai untuk kanal perintah (misalnya kontrol volume/*mute* per zona) dan publikasi status perangkat secara *real-time*. Karakteristik ini mendukung kebutuhan latensi rendah dan kontinuitas layanan pada sistem audio berbasis IoT[1], [8]. Keunggulan MQTT terletak pada penggunaan bandwidth yang efisien, dukungan untuk komunikasi *real-time*, dan kemampuan untuk mengirimkan pesan meskipun terjadi gangguan atau pemutusan sementara pada jaringan.

MQTT banyak digunakan pada sistem IoT karena menerapkan mekanisme *publish-subscribe* yang memungkinkan pengiriman data berlangsung secara ringan dan efisien. Karakteristik tersebut menjadikan MQTT cocok digunakan pada aplikasi *monitoring* dan kontrol yang membutuhkan pembaruan data secara *real-time* dengan latensi rendah. Pada penelitian ini, MQTT digunakan sebagai media pertukaran data antara aplikasi Android dan *backend system* sehingga perubahan status kontrol maupun data *monitoring* dapat diterima secara cepat dan sinkron.

5. Pemrograman Dart dan *Framework* Flutter

Dart merupakan bahasa pemrograman yang dikembangkan untuk membangun aplikasi modern berbasis client, khususnya dalam pengembangan aplikasi *mobile*. Dart digunakan secara luas dalam *framework* Flutter yang menyediakan pustaka pengembangan aplikasi Android dengan efisiensi kompilasi kode yang optimal[19].

Flutter merupakan *framework* yang mendukung pengembangan antarmuka pengguna berbasis komponen-komponen visual (*widget*), sehingga memudahkan pengembang dalam membangun aplikasi yang responsif dan

konsisten. Pengembangan aplikasi menggunakan Flutter memberikan performa rendering UI yang tinggi karena menggunakan mesin grafis mandiri, sehingga transisi antarmuka berjalan mulus.

Selain itu, Flutter juga telah digunakan dalam pengembangan aplikasi *monitoring* berbasis IoT yang terintegrasi dengan protokol MQTT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi *mobile* berbasis Flutter mampu menampilkan data secara *real-time* dengan manajemen *state* antarmuka yang stabil[5]. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi Dart dan Flutter sangat sesuai untuk pengembangan aplikasi *mobile* berbasis IoT yang membutuhkan respons data cepat dan antarmuka yang interaktif. Dalam konteks penelitian ini, penggunaan Dart dan Flutter mendukung pengembangan aplikasi Android yang mampu melakukan *monitoring* dan kontrol sistem audio masjid secara *real-time* dengan tampilan yang intuitif dan performa yang optimal.

6. *Model-View-ViewModel (MVVM)*

Model-View-ViewModel (MVVM) merupakan pola arsitektur perangkat lunak yang memisahkan aplikasi ke dalam tiga komponen utama, yaitu Model, View, dan ViewModel. Model bertanggung jawab terhadap pengelolaan data dan logika bisnis, View berfungsi menampilkan antarmuka pengguna, sedangkan ViewModel menjadi penghubung antara Model dan View. Melalui pemisahan tersebut, perubahan data dapat dikelola secara lebih terstruktur tanpa menyebabkan ketergantungan langsung antara antarmuka pengguna dan logika aplikasi. Penerapan MVVM juga memungkinkan proses pengembangan, pengujian, dan pemeliharaan aplikasi dilakukan dengan lebih mudah karena setiap komponen memiliki tanggung jawab yang jelas[20].

Penelitian Riyadhhi, Purnamasari, dan Prihandani (2023) menunjukkan bahwa penerapan MVVM pada aplikasi Android mampu memisahkan proses bisnis dengan antarmuka pengguna sehingga struktur kode menjadi lebih rapi, mudah dikembangkan, dan lebih mudah dipelihara. Selain itu, MVVM memanfaatkan mekanisme *state management* yang membantu sinkronisasi data antara View dan ViewModel secara lebih efektif[20].

Pada penelitian ini, arsitektur MVVM digunakan untuk memisahkan komponen antarmuka pengguna, logika aplikasi, dan pengelolaan data MQTT sehingga proses *monitoring* status *node*, *monitoring* nilai *Sound Pressure Level* (SPL), serta kontrol volume dan *mute* dapat dikelola secara terstruktur dan mudah dikembangkan.

7. *Black-box Testing*

Black-box Testing merupakan metode pengujian perangkat lunak yang dilakukan dengan mengevaluasi fungsionalitas sistem berdasarkan masukan

(*input*) dan keluaran (*output*) tanpa memperhatikan struktur atau kode program. Tujuan pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa setiap fitur aplikasi telah berjalan sesuai dengan spesifikasi kebutuhan yang telah ditentukan serta mendeteksi adanya kesalahan pada fungsi, antarmuka, maupun proses pengolahan data[21].

Pada pengembangan aplikasi Android, *Black-box Testing* banyak digunakan untuk memverifikasi fungsi-fungsi utama aplikasi seperti proses autentikasi, navigasi antarmuka, pengolahan data, hingga komunikasi dengan *backend system*. Pengujian dilakukan dengan memberikan berbagai skenario masukan pada setiap fitur, kemudian membandingkan keluaran yang dihasilkan dengan hasil yang diharapkan sehingga dapat diketahui apakah fungsi aplikasi telah berjalan dengan benar[22].

Penelitian oleh Dillah et al. (2024) menerapkan *Black-box Testing* untuk menguji aplikasi *monitoring* berbasis Android yang dikembangkan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh fungsi aplikasi dapat berjalan sesuai rancangan tanpa ditemukan kesalahan yang mengganggu operasional sistem. Demikian pula penelitian Rahmadi et al. (2023) menggunakan *Black-box Testing* untuk mengevaluasi aplikasi Android berbasis *prototype*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh fungsi aplikasi berjalan dengan baik dan memenuhi kebutuhan fungsional yang telah ditetapkan.

Pada penelitian ini, *Black-box Testing* digunakan untuk memverifikasi seluruh fitur utama aplikasi Android, meliputi proses *Login*, koneksi MQTT, *monitoring* status *node* dan nilai *Sound Pressure Level* (SPL), kontrol volume dan *mute*, notifikasi kondisi perangkat, mekanisme *auto reconnect*, serta sinkronisasi data setelah koneksi kembali normal. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil yang diperoleh terhadap hasil yang diharapkan sehingga dapat dipastikan bahwa seluruh fungsi aplikasi bekerja sesuai kebutuhan sistem.

8. *Response time* MQTT

Response time merupakan parameter performa yang menunjukkan waktu yang dibutuhkan sistem untuk memberikan respons terhadap suatu permintaan atau instruksi yang diberikan pengguna. Pada sistem *monitoring* dan kontrol berbasis IoT, *response time* digunakan untuk mengevaluasi kecepatan komunikasi data dan tingkat responsivitas sistem dalam mendukung layanan *real-time*[23].

Pengukuran *response time* umumnya dilakukan dengan menghitung selisih waktu (*timestamp*) antara saat pesan dikirim (*publish*) dan saat pesan diterima pada sistem tujuan. Penelitian Dizdarevic, Michalke, dan Jukan (2023) menggunakan pendekatan tersebut untuk melakukan *benchmarking*

performa berbagai implementasi MQTT broker. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai *response time* dipengaruhi oleh kapasitas broker, kondisi jaringan, ukuran *payload*, dan jumlah koneksi yang dilayani secara bersamaan[23].

Penelitian oleh Rosad, Irkhamudin, et al. (2025) menunjukkan bahwa optimasi endpoint IoT berbasis *edge* pada lingkungan *Smart Mosque* mampu menurunkan latensi komunikasi dari 180 ms menjadi 50 ms, sedangkan Saputra et al. (2025) menunjukkan bahwa komunikasi berbasis MQTT mampu mempertahankan latensi yang rendah dan stabil pada sistem *monitoring* IoT[1], [10]. Hasil kedua penelitian tersebut menunjukkan bahwa *response time* merupakan salah satu indikator penting dalam mengevaluasi performa sistem *monitoring* dan kontrol berbasis IoT.

Pada penelitian ini, pengukuran *response time* mengacu pada metode yang digunakan oleh Dizdarevic et al. (2023), yaitu menghitung selisih *timestamp* antara saat instruksi kontrol dikirim dari aplikasi Android dan saat pesan diterima oleh *backend system* melalui MQTT broker. Untuk memperoleh nilai tersebut, penelitian ini menambahkan fitur pencatatan *timestamp* pada aplikasi sehingga pengukuran dapat dilakukan secara langsung terhadap proses komunikasi yang berlangsung pada sistem.

9. Metode *Research and Development* (R&D)

Metode *Research and Development* (R&D) merupakan pendekatan penelitian yang berorientasi pada proses menghasilkan suatu produk sekaligus mengevaluasi produk tersebut agar sesuai dengan kebutuhan pengguna dan tujuan penelitian. Produk yang dihasilkan dalam penelitian R&D tidak terbatas pada perangkat pembelajaran, tetapi juga dapat berupa perangkat lunak, sistem informasi, aplikasi *mobile*, maupun produk teknologi lainnya. Oleh karena itu, karakteristik utama metode R&D meliputi tahapan analisis kebutuhan, perancangan, pengembangan, implementasi, dan evaluasi terhadap produk yang dikembangkan sehingga produk yang dihasilkan memiliki tingkat kelayakan sesuai dengan tujuan penelitian[24].

Perkembangan penelitian terkini menunjukkan bahwa metode R&D tidak hanya digunakan pada bidang pendidikan, tetapi juga banyak diterapkan dalam pengembangan sistem dan perangkat lunak karena mampu mengintegrasikan proses penelitian dengan proses pengembangan produk secara sistematis. Dalam pengembangan perangkat lunak, tahapan penelitian R&D sering mengadopsi pendekatan *Software Development Life Cycle* (SDLC) sebagai acuan teknis dalam proses analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, hingga pengujian sistem. Namun demikian, SDLC berfungsi sebagai pendekatan teknis dalam pengembangan perangkat lunak, sedangkan R&D

merupakan metode penelitian yang berorientasi pada pengembangan, validasi, dan evaluasi produk yang dihasilkan[25].

Berdasarkan karakteristik tersebut, metode R&D dipilih pada penelitian ini karena tujuan penelitian tidak hanya menganalisis permasalahan pada sistem audio multi-zona masjid, tetapi juga menghasilkan produk berupa aplikasi *mobile* Android berbasis MQTT yang mampu mendukung proses *monitoring* dan kontrol sistem. Selain menghasilkan produk, penelitian ini juga melakukan implementasi serta evaluasi terhadap aplikasi melalui pengujian fungsionalitas menggunakan *Black-box Testing* dan pengukuran performa komunikasi menggunakan parameter *response time* MQTT. Dengan demikian, penggunaan metode R&D dinilai sesuai dengan tujuan penelitian yang berorientasi pada pengembangan dan evaluasi produk, sedangkan tahapan pengembangan perangkat lunak yang diterapkan merupakan pendekatan teknis untuk merealisasikan aplikasi yang dikembangkan[25].

C. Studi Terkait

Berbagai penelitian sebelumnya telah membahas pengembangan sistem audio masjid berbasis teknologi modern. Penelitian oleh Al-Oudat menunjukkan bahwa penerapan *Internet of Things* (IoT) pada sistem kontrol level suara dapat membantu mengatasi permasalahan distribusi suara yang tidak merata pada pengeras suara masjid melalui mekanisme pengaturan volume yang lebih adaptif dan terukur[26]. Selain itu, penelitian oleh Rosad, Yudhana, dan Sutikno mengungkapkan bahwa sistem audio terpusat masih rentan menimbulkan *dead zone*, *reverberasi*, dan penurunan *speech intelligibility*, sehingga pendekatan distribusi audio berbasis zonasi direkomendasikan untuk meningkatkan kualitas distribusi suara di lingkungan masjid[2].

Penelitian lain oleh Supriyadi et al. menunjukkan bahwa penerapan zonasi speaker dan pengelolaan distribusi sinyal audio yang tepat mampu menghasilkan kualitas suara yang lebih merata dan jelas pada berbagai area masjid[27]. Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada aspek akustik dan perangkat keras sistem audio, serta belum mengintegrasikan aplikasi *mobile* untuk *monitoring* dan kontrol secara *real-time*. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan aplikasi Android yang terintegrasi dengan sistem audio berbasis IoT dan komunikasi MQTT untuk mendukung *monitoring* serta kontrol audio multi-zona secara *real-time*.