Jiskom (Jurnal Sistem Komputer)

Volume 01, Nomor 01, November 2026
ISSN Online : xxxx-xxxx
DOI : -

Pengembangan Sistem Bel Sekolah Pintar Berbasis Aplikasi Mobile Dan Esp32 Untuk Mendukung Perubahan Jadwal Kegiatan Akademik

Tri Susilo Setiawan[1)*], Hendri Noviyanto[2)], Moh Abdul Kholik[3)]
[1*23)]Program Studi Sistem Komputer, Indonesia
tssetiawan3@gmail.com[1)*]

Submit : 15 September 2026 | Diterima : 30 Oktober 2026 | Terbit : 4 November 2026

ABSTRAK

SMK Muhammadiyah 3 Surakarta merupakan sekolah yang memiliki jadwal kegiatan akademik dinamis. Sekolah tersebut memiliki tiga model jadwal yaitu jadwal regular, jadwal hari jumat, dan jadwal 25 menit. Sistem bel SMK Muhammadiyah 3 Surakarta masih menggunakan bel otomatis konvensional yang bersifat statis, sehingga diperlukan pengaturan perangkat fisik bel atau membunyikan bel secara manual. Kondisi tersebut berpotensi menimbulkan keterlambatan bel dan adanya human error. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem bel sekolah pintar berbasis web/aplikasi mobile dan ESP32 yang dapat mendukung perubahan jadwal kegiatan akademik secara fleksibel. Penelitian ini menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) dengan model pengembangan prototipe. Penelitian dilaksanakan di SMK Muhammadiyah 3 Surakarta dengan objek berupa prototipe sistem yang terdiri atas perangkat keras (ESP32, RTC DS3231, modul audio PCM5102A, OLED, microSD, amplifier, dan speaker) serta perangkat lunak berupa dashboard web dan aplikasi mobile berbasis Expo/React Native. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem bel sekolah pintar berhasil dirancang dengan mengintegrasi web/aplikasi mobile dan ESP32 dan berdasarkan hasil pengujian black-box sistem bel yang dibangun dapat berfungsi dengan baik. Sistem mampu mendukung perubahan jadwal kegiatan akademik secara fleksibel tanpa pemrograman ulang perangkat keras, sehingga dapat meningkatkan efisiensi manajemen waktu serta mengurangi kesalahan akibat faktor manusia di SMK Muhammadiyah 3 Surakarta.

Kata Kunci : aplikasi mobile, bel sekolah pintar, ESP32, Internet of Things.

ABSTRACT

SMK Muhammadiyah 3 Surakarta is a school with a dynamic academic activity schedule. The school operates three schedule models, namely the regular schedule, the Friday schedule, and the 25-minute schedule. The school bell system at SMK Muhammadiyah 3 Surakarta still relies on a conventional automatic bell that is static in nature, requiring manual configuration of the physical bell device or manual activation of the bell. This condition has the potential to cause bell delays and human error. Based on these problems, this study aims to design and build a smart school bell system based on a web/mobile application and ESP32 that can flexibly support changes in academic activity schedules. This study employs a Research and Development (R&D) approach with a prototype development model. The research was conducted at SMK Muhammadiyah 3 Surakarta, with the research object being a system prototype consisting of hardware (ESP32, RTC DS3231, PCM5102A audio module, OLED, microSD, amplifier, and speaker) and software in the form of a web dashboard and a mobile application based on Expo/React Native. The results show that the smart school bell system was successfully designed by integrating a web/mobile application with ESP32, and based on black-box testing results, the developed bell system functions properly. The system is capable of flexibly supporting changes in academic activity schedules without requiring hardware

Jiskom (Jurnal Sistem Komputer)
Volume 01, Nomor 01, November 2026
ISSN Online : xxxx-xxxx
DOI : -

reprogramming, thereby improving time management efficiency and reducing errors caused by human factors at SMK Muhammadiyah 3 Surakarta.

Keyword : mobile application, smart school bell, ESP32, Internet of Things.

1. PENDAHULUAN

Sekolah merupakan lembaga pendidikan yang menaungi proses belajar mengajar, di mana kedisiplinan waktu menjadi komponen penting yang harus dikelola secara terstruktur dan sistematis. Dalam rangkaian kegiatan akademik, bel sekolah memiliki peranan penting sebagai indikator dimulai dan berakhirnya suatu kegiatan, seperti jam masuk, pergantian jam pelajaran, waktu istirahat, dan jam pulang (Aswin et al., 2020; Ikhwan et al., 2025). Oleh karena itu, sistem bel sekolah dituntut memiliki dua karakteristik utama, yaitu akurasi temporal (berbunyi tepat waktu) dan fleksibilitas konfigurasi (mudah disesuaikan dengan dinamika kegiatan akademik).

SMK Muhammadiyah 3 Surakarta pada praktiknya masih menggunakan perangkat bel otomatis konvensional yang bersifat statis, sehingga setiap kali terjadi perubahan jadwal, petugas harus mengubah pengaturan secara manual pada perangkat fisik bel atau melakukan bel manual. Kondisi ini menjadi krusial karena sekolah tidak hanya memiliki satu pola jadwal, melainkan tiga varian jadwal yang rutin diberlakukan, yaitu jadwal pembelajaran normal, jadwal hari Jumat, dan jadwal 25 menit, sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Jadwal Pelajaran SMK Muh 3 Surakarta

Jam ke-	Pembelajaran Normal	Jam ke-	Pembelajaran Hari Jum'at	Jam ke-	Pembelajaran 25'
1	07.15 - 07.55	1	07.15 - 07.55	1	07.15 - 07.40
2	07.55 - 08.35	2	07.55 - 08.35	2	07.40 - 08.05
3	08.35 - 09.15	3	08.35 - 09.15	3	08.05 - 08.30
4	09.15 - 09.55	4	09.15 - 09.55	4	08.30 - 08.55
	ISTIRAHAT 15'		ISTIRAHAT 15'	5	08.55 - 09.20
5	10.10 - 10.50	5	10.10 - 10.50	6	09.20 - 09.45
6	10.50 - 11.30	6	10.50 - 11.30		ISTIRAHAT 15'
	ISHOMA		SHOLAT JUMAT	7	10.00 - 10.25
7	12.00 - 12.40	7	12.00 - 12.40	8	10.25 - 10.50
8	12.40 - 13.20	8	12.40 - 13.20	9	10.50 - 11.15
9	13.20 - 13.55	9	13.20 - 14.00	10	11.15 - 11.40
10	13.55 - 14.30		Jam ke 8-9: pelaksanaan ekstrakurikuler wajib/pilihan untuk siswa kelas X dan XI	11	SHOLAT DHUHUR
11	14.30 - 15.05				Siswa melanjutkan belajar di rumah

Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui SMK Muhammadiyah 3 Surakarta memiliki tiga mode jadwal yang sering diberlakukan selama kegiatan akademik, yaitu jadwal pembelajaran normal, jadwal pembelajaran hari jumat, dan jadwal pembelajaran 25 menit. Jadwal pembelajaran normal mencakup 11 jam pelajaran, hari Jumat mencakup 9 jam pelajaran, dan pembelajaran 25 menit mencakup 11 jam pelajaran dengan durasi per jam pelajaran dipangkas menjadi 25 menit. Ketiga varian

tersebut membuktikan bahwa perubahan konfigurasi bel bukan kejadian insidental yang jarang terjadi, melainkan pola operasional rutin yang harus mampu diakomodasi oleh sistem bel sekolah.

Apabila kondisi tersebut terus dikelola secara manual atau melalui konfigurasi ulang perangkat keras, maka setiap pergantian mode jadwal, sebagai contoh apabila ada perubahan dari jadwal normal ke jadwal 25 menit pada saat harus ada rapat guru pada hari tersebut, dapat berpotensi menimbulkan keterlambatan bel, tumpang tindih waktu istirahat dengan waktu Sholat Dzuhur, serta faktor manusia dimana admin lupa menyalakan bel. Hal ini dapat berdampak langsung terhadap proses kegiatan akademik di sekolah.

Kendala ini dapat diberikan solusi dengan membangun sisem bel sekolah pintar (smart school bell) berbasis mikrokontroler ESP32 yeng memiliki modul Wi-Fi terintegrasi, memori memadai, dan harga terjangkau dapat dihubungkan dengan aplikasi mobile atau web sebagai pusat kendali. Harapannya dengan sistem ini setiap perubahan jadwal cukup dikonfigurasi melalui web browser atau smartphone, tanpa perlu mengubah pengaturan pada perangkat fisik bel.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengembangkan sistem bel otomatis, namun masing-masing masih memiliki keterbatasan yang dilakukan oleh Fadly et al., (2025) mengembangkan Smart Bell berbasis aplikasi Blynk yang rentan terganggu saat koneksi internet ke cloud server tidak stabil. Wohiduzzaman et al. (2024) dan Fahreza et al., (2023) masih mengharuskan konfigurasi ulang langsung pada perangkat keras bahkan melalui kabel USB apabila terjadi perubahan jadwal. Sementara itu, Seragih, (2025)telah memanfaatkan ESP32 sebagai web server lokal untuk mengubah jadwal secara nirkabel, tetapi data jadwal masih disimpan dalam berkas CSV statis yang mengharuskan petugas menyusun ulang baris jam satu per satu.

Secara akademis, karya skripsi ini dapat memberikan kontribusi berupa model integrasi aplikasi mobile berbasis Expo/React Native dengan mikrokontroler ESP32 yang memungkinkan sinkronisasi jadwal secara nirkabel tanpa pemrograman ulang firmware. Model ini melengkapi kekurangan penelitian sebelumnya yang masih menyimpan jadwal secara statis atau bergantung penuh pada layanan cloud pihak ketiga. Pengembangan sistem ini penting bagi SMK Muhammadiyah 3 Surakarta, bukan hanya untuk meningkatkan kualitas operasional sekolah, tetapi juga untuk menjawab kebutuhan fleksibilitas jadwal akademik dan mengurangi human error.

Jiskom (Jurnal Sistem Komputer)
Volume 01, Nomor 01, November 2026
ISSN Online : xxxx-xxxx
DOI : -

2. TINJAUAN PUSTAKA

Tabel 2. Penelitian Terdahulu

No	Jurnal	Fokus Penelitian	Kekurangan (Research Gap)	Kontribusi Penelitian
1	Penerapan IoT Dalam Mendukung Konsep *Smart School* Melalui Sistem Bel Sekolah Otomatis (2025)	Bel sekolah otomatis berbasis ESP32, NTP, *DFPlayer*	Berfokus pada otomatisasi bel, belum membahas perubahan jadwal akademik yang fleksibel	Menambahkan aplikasi *mobile* untuk mengubah jadwal tanpa konfigurasi ulang ESP32
2	*Internet of Things Technology in Designing School Bell System* (2024)	Konsep sistem bel IoT berbasis web/aplikasi	Masih berupa rancangan konseptual, belum menunjukkan prototipe lengkap dengan monitoring perangkat	Mengembangkan prototipe yang dapat diuji langsung
3	Sistem Bel dan Jadwal Pelajaran di Sekolah Berbasis IoT (2025)	Bel IoT dengan NodeMCU ESP32 dan aplikasi seluler	Jadwal telah diotomatisasi, tetapi belum berfokus pada manajemen perubahan jadwal akademik	Menyediakan pengelolaan jadwal akademik yang lebih fleksibel
4	Perancangan Bel Jam Otomatis Berbasis IoT Menggunakan ESP32 (2025)	Bel otomatis dengan ESP32, RTC, MIT *App Inventor*	Fokus pada aplikasi Android untuk administrasi guru piket, bukan pengelolaan jadwal akademik	Aplikasi *mobile* khusus pengelolaan jadwal akademik
5	*Design and Development of a Low Cost Smart Electronic School Bell* (2024)	PIC16F877A, RTC DS16F72, Speaker kabel, dan LCD	Fokus pada perangkat keras, belum menyediakan aplikasi administrasi jadwal	Mengintegrasikan aplikasi mobile sebagai pusat pengelolaan jadwal
6	Pengenalan dan Implementasi *Smart Bell Berbasis Internet of Things* (2025)	*Smart Bell* berbasis ESP32 dan *Blynk*	Berorientasi pada implementasi dan pelatihan, bergantung pada layanan *cloud* pihak ketiga, bukan pengembangan sistem manajemen jadwal mandiri	Menekankan pengembangan sistem manajemen jadwal yang tidak bergantung penuh pada layanan *cloud* pihak ketiga

Berdasarkan penelitian terdahulu yang disajikan dalam tabel 2, dapat diidentifikasi adanya pola kesenjangan (research gap) utama. Pertama, beberapa penelitian berfokus hanya pada otomatisasi bunyi bel dan belum menyediakan mekanisme pengelolaan jadwal kondisi operasional sekolah yang berubah-ubah, seperti jadwal normal, jadwal hari jumat, dan jadwal 25 menit dalam keadaan rapat/inisidental. Kedua, penelitian yang telah menggunakan

antarmuka digital sebagian besar masih bersifat konseptual atau berorientasi pada domain lain, sehingga belum menghadirkan solusi aplikasi mobile yang secara khusus dirancang untuk manajemen jadwal akademik.

3. METODE

Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) atau pengembangan, yaitu jenis metode penelitian di mana peneliti menghasilkan produk tertentu dan menguji efektivitas produk tersebut (Sugiyono, 2013). Pendekatan R&D dipilih oleh peneliti karena penelitian ini tidak hanya bertujuan mendeskripsikan suatu kejadian/fenomena, tetapi juga menghasilkan produk berupa prototipe sistem bel sekolah pintar berbasis web/aplikasi mobile dan ESP32 yang diuji fungsionalitasnya melalui black-box testing.

Metode Penelitian

Pengembangan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan model prototipe. Penelitian ini mengadopsi model Prototipe yang dikembangkan oleh (Pressman, 2015). Tahap-tahap dalam pengembangan sistem adalah sebagai berikut:

a. Communication, pada tahap ini dilakukan untuk memperoleh informasi kebutuhan sistem. Identifikasi kebutuhan sistem dilakukan melalui observasi, wawancara, dan studi literatur.
b. Quick Plan and Modeling Quick Design, pada tahap ini dilakukan perencanaan dan perancangan system dengan menyusun diagram blok (menggambarkan hubungan fungsional antar komponen perangkat keras), flowchart (menggambarkan alur logika proses kerja sistem), use case diagram (menggambarkan interaksi antara admin dengan aplikasi), serta activity diagram (menggambarkan alur aktivitas pengguna dalam mengelola jadwal kegiatan akademik pada dashboard aplikasi).
c. Contruction of Prototype, pada tahap ini dilakukan perakitan dan konfigurasi perangkat keras (ESP32, RTC DS3231, Modul audio PCM5102A, OLED, microSD, amplifier, dan speaker), penulisan program pengendali pada ESP32, web browser, serta pengembangan aplikasi di smartphone menggunakan Expo, sekaligus dilakukan integrasi antara ESP32 dan dashboard di web/aplikasi agar perubahan jadwal yang dilakukan admin dapat langsung diterapkan pada bunyi bel tanpa memerlukan pemrograman ulang perangkat keras.
d. Development, Delivery, & Feedback, pada tahap ini dilakukan proses evaluasi prototipe oleh pengguna, yaitu petugas di SMK Muhammadiyah 3 Surakarta, melalui pengujian fungsionalitas pada skala laboratorium (black box testing). Umpan balik yang diperoleh dari tahap ini digunakan untuk memperbaiki spesifikasi kebutuhan

sistem hingga prototipe dinyatakan sesuai kebutuhan dan disempurnakan menjadi produk akhir.

Kerangka Berpikir



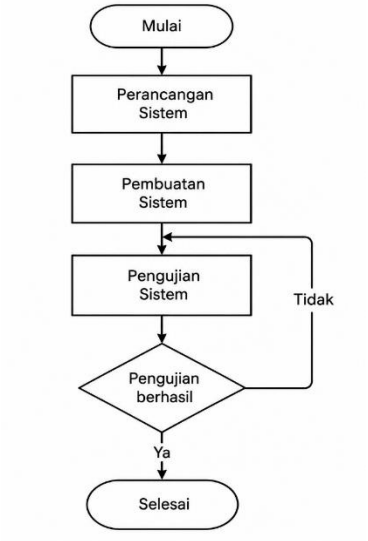
Gambar 1. Kerangka Berpikir

Gambar 1 menggambarkan kerangka berpikir dalam penelitian yang dilakukan. Penelitian dilakukan dimulai dengan melakukan observasi dan identifikasi masalah. Masalah krusial yang ditemukan di SMK Muhammadiyah 3 Surakarta adalah Jadwal yang dinamis dan konfigurasi statis/bel manual menjadi pokok masalah utama yang mendasari penelitian ini dilakukan. Kondisi tersebut rentan menimbulkan masalah human error dan inefisiensi waktu. Kedua kondisi tersebut dirumuskan menjadi kebutuhan sistem, yaitu sebuah sistem bel otomatis yang dapat dikonfigurasi secara nirkabel tanpa memprogram ulang perangkat keras.

Setelah mengidentifikasi masalah melakukan analisis terhadap kebutuhan hardware dan software kemudian mulai merancangnya dan mengintegrasi keduanya. Pengembangan sistem menggunakan model prototipe Pressman (2015) dimana perancangan sistem berupa diagram blok, flowchart, use case diagram, dan activity diagram yang menjadi acuan pengembangan integrasi antara ESP32 dan web/aplikasi mobile. Rancangan tersebut diimplementasikan menjadi prototipe fungsional yang kemudian diuji melalui black-box testing untuk memverifikasi akurasi waktu, kesesuaian audio, serta fungsi pengelolaan jadwal. Output berupa prototipe sistem bel sekolah pintar berbasis web/aplikasi mobile dan ESP32 yang fleksibel terhadap perubahan jadwal kegiatan akademik.

Perancangan

Diagram alir perancangan menggambarkan proses perancangan untuk mendapatkan sistem bel sekolah pintar. Diagram alir perancangan dapat dilihat pada Gambar 2.



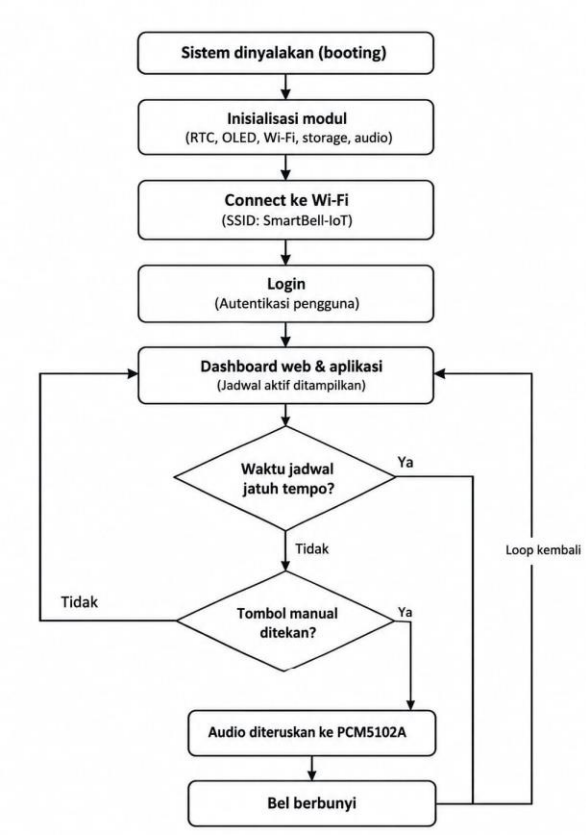
Gambar 2. Diagram Alir

Jiskom (Jurnal Sistem Komputer)
Volume 01, Nomor 01, November 2026
ISSN Online : xxxx-xxxx
DOI : -

Diagram alir perancangan dimulai dari perancangan sistem meliputi menganalisis dan merancang perangkat keras dan perangkat lunak. Perancangan yang telah selesai dilanjutkan dengan melakukan pin untuk menghubungkan antar komponen perangkat keras dan membuat aplikasi sebagai alat pengendali. Keduanya diintegrasikan agar mampu menjalankan sistem bel sekolah pintar.

Flowchart Sistem

Flowchart menggambarkan alur logika proses kerja sistem secara keseluruhan, mulai dari pembacaan waktu hingga bel dibunyikan.



Gambar 3. *Flowchart*

Flowchart pada Gambar 3 menggambarkan alur kerja sistem bel sekolah pintar, mulai dari perangkat dinyalakan hingga proses pembunyian bel berdasarkan jadwal yang telah ditentukan. Flowchart digunakan untuk memperlihatkan urutan proses, pengambilan keputusan, serta pengulangan proses yang berlangsung selama sistem bekerja. Proses kerja sistem dimulai ketika perangkat dinyalakan (boot). Pada kondisi ini, ESP32 melakukan proses awal untuk mempersiapkan perangkat agar dapat menjalankan fungsi sistem. Setelah proses boot selesai, sistem masuk ke tahap inisialisasi modul.

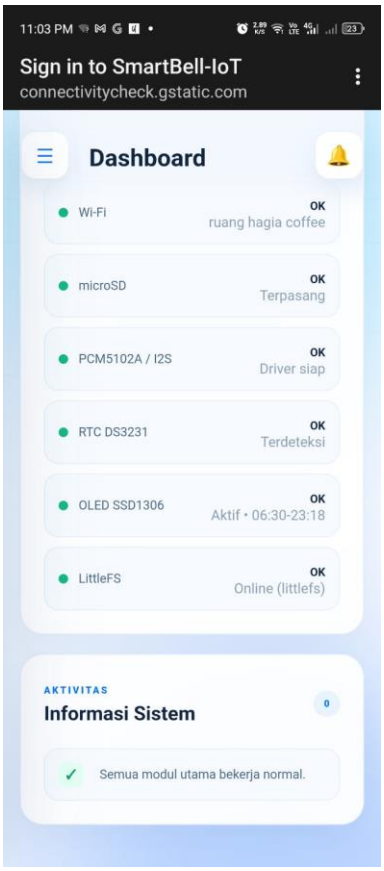
Proses booting selesai kemudian mempersiapkan sistem modul yang diperlukan seperti RTC, OLED, storage, Wi-Fi, dan sistem audio. RTC digunakan untuk memberikan informasi waktu aktual. OLED digunakan untuk melihat status sistem, dimana dipasang dalam prototipe. Storage digunakan untuk mengakses data yang diperlukan oleh sistem, termasuk berkas audio. Wi-Fi dipersiapkan sebagai media komunikasi untuk memungkinkan akses terhadap web server dan pengelolaan jadwal. Sistem audio dipersiapkan agar dapat digunakan ketika sistem menerima perintah pembunyian bel.

Setelah seluruh modul berhasil diinisialisasi, smartphone yang digunakan untuk menjalankan sistem hubungkan dengan Wi-Fi dengan nama SSID “SmartBell-IoT”. Setelah connect, admin diarahkan pada menu login. Login sistem dengan memasukkan nama admin dan password. login berhasil akan masuk ke

Jiskom (Jurnal Sistem Komputer)
Volume 01, Nomor 01, November 2026
ISSN Online : xxxx-xxxx
DOI : -

dashboard aplikasi. Dashboard tersebut akan memberikan tampilan jadwal aktif, modul aktif, dan menu-menu konfigurasi lainnya yang dapat dilakukan melalui aplikasi/web.

Jadwal yang telah tersimpan digunakan oleh ESP32 sebagai acuan dalam menentukan waktu pembunyian bel. Apabila jadwal aktif sudah jatuh tempo sistem akan mengirim audio ke PCM5102A diteruskan ke audio analog dan bel berbunyi. Saat bel berbunyi status bel juga dapat dilihat melalui OLED. Namun, apabila jadwal aktif yang sudah jatuh tempo tidak berbunyi, diperlukan perbaruan waktu dengan “refresh” melalui aplikasi atau klik bel manual “bunyikan sekarang” pada aplikasi. Audio akan diterukan ke PCM5102A diteruskan ke audio analog atau speaker dan bel berbunyi.



Gambar 4. Hasil Pengujian Perangkat Keras

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Perangkat Keras

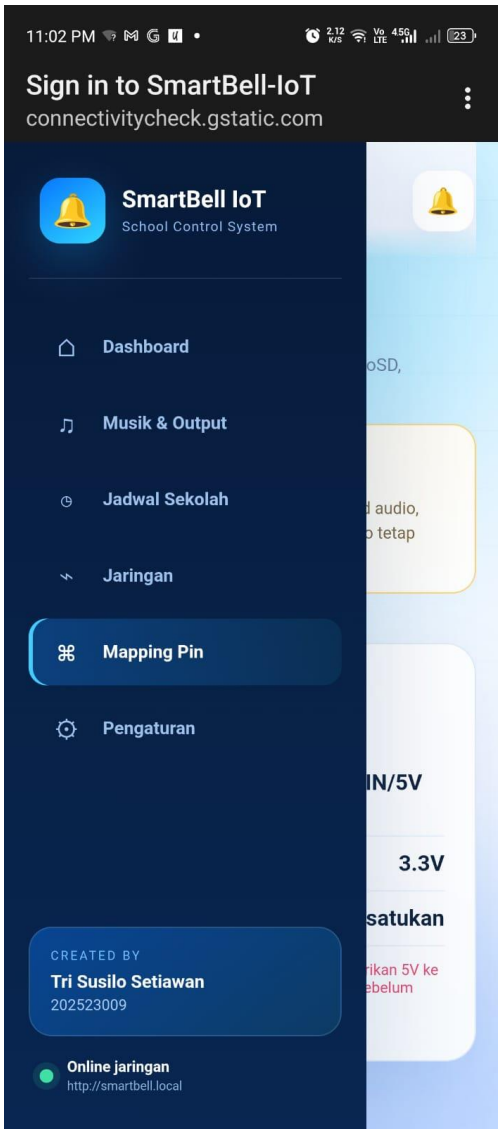
Pengujian perangkat keras dilakukan untuk mengetahui kesesuaian fungsi setiap komponen dengan rancangan sistem. Pengujian meliputi proses inisialisasi ESP32, pembacaan waktu RTC DS3231, tampilan informasi pada OLED SSD1306, proses baca dan tulis microSD, pengujian keluaran audio I2S melalui PCM5102A, serta penguatan suara menggunakan amplifier dan speaker.

Hasil Pengujian Aplikasi

Pengujian aplikasi dan dashboard web dilakukan untuk mengetahui kemampuan antarmuka dalam mendukung pengelolaan dan pemantauan sistem. Administrator mengakses sistem melalui jaringan Wi-Fi SmartBell-IoT menggunakan smartphone atau komputer. Setelah terhubung, administrator melakukan autentikasi menggunakan username dan password yang telah dikonfigurasi.

Dashboard menampilkan informasi mengenai status perangkat, konektivitas jaringan, jadwal aktif, serta fungsi pengendalian bel secara manual. Sistem juga menyediakan enam menu

utama, yaitu Dashboard, Musik dan Output, Jadwal Sekolah, Jaringan, Mapping Pin, dan Pengaturan.



Gambar 5. Hasil Pengujian Aplikasi

Hasil Pengujian Jadwal Bel

Pengujian jadwal bel dilakukan menggunakan tiga variasi jadwal yang diterapkan di SMK Muhammadiyah 3 Surakarta, yaitu jadwal reguler, jadwal hari Jumat, dan jadwal 25 menit untuk rapat atau kegiatan lainnya. Ketiga variasi tersebut digunakan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam menjalankan jadwal dengan jumlah sesi dan rentang waktu yang berbeda.

Tabel 3. Variasi Jadwal Pengujian Sistem Bel

No.	Jenis Jadwal	Rentang Waktu	Karakteristik
1	Jadwal Reguler	07.15–15.05	Sebelas jam pelajaran dengan waktu istirahat
2	Jadwal Hari Jumat	07.15–14.00	Sembilan jam pelajaran dengan penyesuaian waktu kegiatan Jumat
3	Jadwal 25 Menit	07.15–11.40	Sepuluh sesi dengan durasi 25 menit per sesi

Pengujian dilakukan dengan mengubah konfigurasi jadwal aktif melalui dashboard tanpa melakukan flashing ulang firmware. Waktu pelaksanaan bel kemudian diamati berdasarkan kesesuaian antara jadwal yang tersimpan dan waktu aktual yang dibaca oleh RTC DS3231.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat menggunakan ketiga variasi jadwal sesuai konfigurasi yang dipilih. Perubahan jadwal dapat dilakukan melalui antarmuka administrasi tanpa mengubah program utama pada ESP32. Hal tersebut menunjukkan bahwa pengelolaan jadwal telah dipisahkan dari kode program dan disimpan sebagai data konfigurasi yang dapat diperbarui.

Pembahasan

Bagian pembahasan berisi analisis dan interpretasi terhadap hasil penelitian yang

diperoleh. Pembahasan dilakukan dengan menghubungkan hasil penelitian dengan teori, penelitian terdahulu, maupun kondisi nyata di lapangan. Penulis diharapkan mampu menjelaskan makna dari temuan penelitian, kelebihan dan keterbatasan penelitian, serta kontribusi penelitian terhadap pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Pembahasan ditulis secara ilmiah, logis, dan terstruktur agar mudah dipahami oleh pembaca.

Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem bel sekolah pintar berbasis ESP32 berhasil mengintegrasikan fungsi pengendalian perangkat keras, pengelolaan jadwal, komunikasi jaringan, administrasi berbasis web, serta pemrosesan audio dalam satu sistem terpadu. Pemisahan firmware ke dalam beberapa modul memberikan struktur pengembangan yang lebih terorganisasi. Setiap modul memiliki tanggung jawab tertentu sehingga perubahan pada pengelolaan jadwal, jaringan, maupun audio dapat dilakukan tanpa harus mengubah keseluruhan program.

Salah satu karakteristik utama sistem adalah penggunaan pendekatan Access Point-first. Pendekatan ini memungkinkan administrator mengakses perangkat secara langsung melalui jaringan Wi-Fi yang disediakan ESP32. Dengan demikian, pengelolaan perangkat tidak sepenuhnya bergantung pada ketersediaan jaringan internet atau router sekolah. Penyediaan koneksi STA sebagai pilihan tambahan juga memungkinkan perangkat terhubung ke jaringan sekolah ketika diperlukan. Dipertahankannya SoftAP ketika koneksi STA mengalami gangguan memberikan jalur alternatif untuk mengakses dan mengonfigurasi perangkat.

Dari aspek pengelolaan jadwal, penggunaan format JSON pada LittleFS memberikan fleksibilitas dalam menyesuaikan waktu operasional bel. Jadwal tidak ditanamkan secara permanen pada kode program, tetapi disimpan sebagai data yang dapat diperbarui melalui dashboard. Mekanisme validasi juga berperan dalam menjaga konsistensi data, terutama dalam memeriksa format waktu, hari aktif, identitas jadwal, dan kemungkinan bentrok waktu. Pendekatan ini sesuai dengan kebutuhan sekolah yang memiliki variasi jadwal kegiatan akademik, seperti jadwal reguler, jadwal Jumat, dan jadwal khusus untuk rapat atau kegiatan lainnya.

Integrasi RTC DS3231 menjadi bagian penting dalam menjaga pelaksanaan jadwal secara lokal. Waktu yang dibaca dari RTC digunakan sebagai acuan oleh modul manajemen jadwal untuk menentukan kapan bel harus diaktifkan. Dukungan sinkronisasi NTP dapat digunakan ketika perangkat terhubung ke jaringan yang memiliki akses internet, sedangkan RTC tetap menyediakan acuan waktu ketika koneksi internet tidak tersedia. Kombinasi tersebut memungkinkan sistem menjalankan fungsi penjadwalan tanpa harus selalu bergantung pada layanan jaringan eksternal.

Pada aspek audio, penggunaan decoder perangkat lunak dan PCM5102A memberikan

kemampuan bagi sistem untuk menangani file WAV dan MP3. File audio dapat dikelola melalui penyimpanan LittleFS maupun microSD. Keberadaan mekanisme fallback audio juga meningkatkan kesiapan sistem ketika media penyimpanan tambahan tidak tersedia. Selain itu, fitur test tone 1 kHz membantu proses pemeriksaan jalur audio karena pengujian dapat dilakukan tanpa bergantung pada keberhasilan pembacaan dan decoding file audio.

Hasil pengujian perangkat keras memperlihatkan bahwa keenam komponen yang diuji telah berfungsi sesuai skenario yang ditentukan. Keberhasilan pembacaan RTC, penampilan informasi pada OLED, proses penyimpanan microSD, serta keluaran suara melalui I2S dan PCM5102A menunjukkan bahwa integrasi antarkomponen dapat dijalankan. Meskipun demikian, hasil tersebut masih menggambarkan keberhasilan fungsional berdasarkan skenario pengujian. Pengukuran lebih lanjut mengenai akurasi waktu, latensi respons, kualitas keluaran audio, dan kestabilan operasi dalam jangka panjang diperlukan untuk memperoleh gambaran kinerja sistem yang lebih kuantitatif.

Pengujian black box menghasilkan tingkat keberhasilan sebesar 100% dari 14 skenario yang dilakukan. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa seluruh fungsi yang diuji, mulai dari autentikasi, pengelolaan jadwal, upload audio, pengendalian bel manual, eksekusi jadwal otomatis, hingga mekanisme pemulihan penyimpanan, memberikan respons sesuai dengan hasil yang diharapkan. Pengujian terhadap masukan tidak valid, seperti login yang salah dan file audio rusak, juga menunjukkan bahwa sistem telah memiliki mekanisme penolakan terhadap masukan yang tidak sesuai.

Dari sisi antarmuka, tersedianya dashboard web dan aplikasi Android pendukung memberikan alternatif bagi administrator dalam mengelola perangkat. Kedua antarmuka memanfaatkan REST API yang sama sehingga proses pengelolaan konfigurasi dan jadwal dapat dilakukan melalui media yang berbeda tanpa mengubah mekanisme pengendalian pada ESP32. Hal ini mendukung kemudahan operasional karena administrator dapat melakukan pengelolaan melalui smartphone maupun komputer.

Pengujian terhadap tiga variasi jadwal juga memperlihatkan bahwa sistem mampu mengakomodasi kebutuhan waktu operasional sekolah yang berbeda. Perubahan konfigurasi dapat dilakukan melalui dashboard tanpa pemrograman ulang perangkat. Fleksibilitas tersebut menjadi salah satu keunggulan sistem dibandingkan pendekatan bel konvensional yang jadwalnya ditentukan secara tetap pada perangkat pengendali.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem bel sekolah pintar yang dikembangkan telah memenuhi fungsi utama yang dirancang, yaitu pengelolaan jadwal secara fleksibel, pengendalian bel otomatis dan

manual, pengelolaan file audio, serta pemantauan perangkat melalui antarmuka web dan aplikasi Android. Keberhasilan seluruh skenario black box dan pengujian perangkat keras memberikan bukti bahwa fungsi utama prototipe telah berjalan sesuai skenario pengujian. Namun, evaluasi lanjutan dengan pengukuran kuantitatif dan pengujian dalam periode operasional yang lebih panjang masih diperlukan untuk menilai keandalan sistem pada kondisi penggunaan sekolah sehari-hari.

5. KESIMPULAN

Kesimpulan ditulis secara singkat, padat, dan jelas berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan. Kesimpulan harus menjawab tujuan penelitian serta memuat temuan utama tanpa menambahkan pembahasan baru. Penulisan kesimpulan disusun dalam bentuk paragraf naratif dan menggambarkan kontribusi penelitian terhadap bidang ilmu yang dikaji. aran ditulis berdasarkan hasil penelitian dan ditujukan untuk pengembangan penelitian selanjutnya maupun penerapan praktis dari hasil penelitian. Saran harus relevan dengan temuan penelitian, disampaikan secara spesifik, serta dapat menjadi rekomendasi bagi peneliti, institusi, atau pihak terkait lainnya.

Berdasarkan analisa hasil yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

a. Sistem bel sekolah pintar dirancang dengan ESP32 sebagai pusat kendali, dashboard web dan aplikasi mobile sebagai antarmuka utama, RTC DS3231 sebagai sumber waktu lokal, LittleFS dan microSD sebagai media penyimpanan, serta PCM5102A/I2S sebagai jalur keluaran audio. Arsitektur tersebut memungkinkan pengelolaan sistem melalui jaringan lokal tanpa menjadikan layanan cloud sebagai syarat utama pengoperasian.
b. Integrasi dashboard, REST API, RTC, penyimpanan, dan modul audio memungkinkan admin mengelola jadwal serta berkas suara tanpa memprogram ulang ESP32. Jadwal disimpan dalam format JSON, sedangkan sistem menyediakan autentikasi, monitoring status, pengaturan waktu, pemindaian dan konfigurasi Wi-Fi, audio cadangan, serta bel manual.
c. Fungsionalitas bel sekolah pintar berdasarkan hasil pengujian black box dan pengujian bel sesuai jadwal yang telah disimpan di sistem. Dari hasil pengujian dapat diketahui sistem bekerja dengan baik dan mampu menyala tepat waktu sesuai jadwal.

6. REFERENSI

AbuAli, A. N. (2024). Using IoT to Smart Security Door System with Face Tracking Camera. *Intelligent Information Management*, *16*(04), 157–175. https://doi.org/10.4236/iim.2024.164010

Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, *17*(4), 2347–2376. https://doi.org/10.1109/COMST.2015.24440

95

Asoka, E., Rahmi, L., Hapsari, Y., & Sulistiyanto. (2024). Penggunaan Framework React Native Dalam Perancangan Aplikasi Penjualan Goodday Garden. *I-Robot Jurnal*, *8*(2).

Aswin, M., Setiawan, D., Anwar, B., & Syahputra, G. (2020). Perancangan Jam Digital Dan Sistem Bel Otomatis pada Sekolah dengan Teknik Counter Berbasis Mikrokontroler. *J-SISKO TECH (Jurnal Teknologi Sistem Informasi Dan Sistem Komputer TGD)*, *3*(2), 65–72.

Effendi, M. R., Ismail, N., & Evandi, N. R. (2025). SISTEM SMART HOME BERBASIS IoT DENGAN INTEGRASI PENGENDALIAN SUARA DAN APLIKASI SMARTPHONE. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, *27*(3), 176–184. https://doi.org/10.14710/transmisi.27.3.176-184

Expo. (2026). *Expo Documentation*. Expo. Https://Docs.Expo.Dev/. https://docs.expo.dev/agents/

Fadly, S., Rizkiawan, M. A., Avista, Z., Kurniawan, E., Witanto, Y., & Ajitomo, D. S. (2025). Pengenalan dan Implementasi Smart Bell Berbasis Internet of Things. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Nusantara (JPkMN)*, *6*(2), 1659–1667.

Fahreza, M. F., Suherdi, D., & Mahyuni, R. (2023). Rancang Bangun Bel Otomatis pada sekolah Menggunakan Modul RTC dan Modul Mp3. *Jurnal Sistem Komputer Triguna Dharma (JURSIK TGD)*, *2*(6), 307–315. https://doi.org/10.53513/jursik.v2i6.9153

Hartono, F. B. (2026). Systematic Literature Review Pengembangan Aplikasi Mobile Cross-Platform : *Indonesian Journal Computer Science*, *5*(1), 75–82.

Husni, A., & Sumaedi, A. (2025). Bel Jam Otomatis Berbasis Internet of Things Menggunakan Mikrokontroler ESP32 Di SMK Islam Cendikia. *Jurnal SISKOM-KB (Sistem Komputer Dan Kecerdasan Buatan)*, *9*(1), 116–123. https://doi.org/10.47970/siskom-kb.v9i1.881

Ikhwan, A., Alilmi, D., Mahayudi, I. P., Fadillah, M. R., & Febryani, N. (2025). Perancangan Sistem Informasi Akademik Berbasis Web Untuk Meningkatkan Efisiensi Pengelolaan Data Di Sma Swasta Yayasan Perguruan Keluarga Pematang Siantar. *Simtek : Jurnal Sistem Informasi Dan Teknik Komputer*, *10*(1), 47–52. https://doi.org/10.51876/simtek.v10i1.1466

Pressman, R. S. (2015). *Software Engineering : A Practitioner's Approach*.

Rahman, M. H., Shihab, M., Rahman, M. A., & Naderuzzaman, M. (2026). ESP32 Microcontroller: A Review of Architecture, Communication Protocols, Applications and Research Challenges. *Open Access Journal on Engineering Applications*, *2*(1), 19. https://doi.org/10.64886/oajea.0102.003

Sanap, P. V. C. (2025). Design and Implementation of Real Time Clock using RTC DS3231 and Arduino Uno. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, *13*(2), 1545–1551. https://doi.org/10.22214/ijraset.2025.67162

Sarasa, A. (2022). Development of a web application to share hobbies activities. *Computer Science and Information Technologies*, *3*(1), 39–50. https://doi.org/10.11591/csit.v3i1.p39-50

Seragih, T. H. (2025). *Jurnal Inovasi Global Implementasi Sistem Bel Sekolah Otomatis Berbasis Esp32*. *3*(7).

Sethi, P., & Sarangi, S. R. (2017). Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, *2017*. https://doi.org/10.1155/2017/9324035

Sugiyono. (2013). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R & D*.