

Rancangan Bangun Sistem Bel Sekolah Otomatis Berbasis Mikrokontroller dengan Integrasi Audio MP3 dan Pengaturan Jarak Jauh di SDN 2 Lenek

Yunita Kurniati¹, Muh Fahrurrozi² dan Khairunnazri³

¹ STMIK Syaikh Zainuddin Nahdatul Wathan Anjani; yunitakurniati@gmail.com

² STMIK Syaikh Zainuddin Nahdatul Wathan Anjani; muhfahrurrozi@gmail.com

³ STMIK Syaikh Zainuddin Nahdatul Wathan Anjani; khairunnazri@gmail.com

* Korespondensi: yunitakurniati@gmail.com

Abstract: This study was motivated by the need at SDN 2 Lenek to improve the accuracy and efficiency of school bell operations, which have traditionally been manual, often resulting in delays and irregular scheduling. The objective of this research was to design and develop an automatic school bell system based on an ESP32 microcontroller, integrated with a DFPlayer Mini audio module and a web server for remote configuration without external internet connectivity. The system was developed using a Research and Development (R&D) approach, encompassing needs analysis, hardware and software design, implementation, and system testing. Key components include the DS3231 RTC module for real-time timekeeping and an I2C LCD for status display. Results demonstrate that the system operates with high precision, showing an average time deviation of only one second. The ESP32-based web interface allows effective wireless management of schedules via smartphone, with a stable WiFi range of 2–8 meters. Power consumption testing indicates low energy usage, ensuring safety for continuous daily operation. Overall, the system effectively replaces manual methods, enhancing discipline and time management efficiency at SDN 2 Lenek.

Keywords: Automatic School Bell, ESP32 Microcontroller, Web Server Control, RTC DS3231

Abstrak: Penelitian ini dilatarbelakangi oleh kebutuhan di SDN 2 Lenek untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi operasional bel sekolah yang selama ini dilakukan secara manual, sehingga sering menyebabkan keterlambatan dan jadwal yang tidak teratur. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan mengembangkan sistem bel sekolah otomatis berbasis mikrokontroler ESP32, yang terintegrasi dengan modul audio DFPlayer Mini dan web server untuk konfigurasi jarak jauh tanpa konektivitas internet eksternal. Sistem ini dikembangkan menggunakan pendekatan Research and Development (R&D), yang mencakup tahapan analisis kebutuhan, perancangan perangkat keras dan lunak, implementasi, serta pengujian sistem. Komponen utama yang digunakan meliputi modul RTC DS3231 untuk ketepatan waktu real-time dan LCD I2C untuk tampilan status sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem beroperasi dengan presisi tinggi, dengan rata-rata deviasi waktu hanya satu detik. Antarmuka web berbasis ESP32 memungkinkan pengelolaan jadwal secara nirkabel yang efektif melalui smartphone, dengan jangkauan WiFi stabil antara 2–8 meter. Pengujian konsumsi daya menunjukkan penggunaan energi yang rendah, sehingga menjamin keamanan untuk operasional harian yang berkelanjutan. Secara keseluruhan, sistem yang diusulkan efektif menggantikan metode manual serta meningkatkan kedisiplinan dan efisiensi manajemen waktu di SDN 2 Lenek.

Kata kunci: Bel Sekolah Otomatis, Mikrokontroler ESP32, Kontrol Web Server, RTC DS3231.



Copyright: © 2025 oleh para penulis.
Karya ini dilisensikan di bawah
Creative Commons Attribution-
ShareAlike 4.0 International License.
(<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

1. Pendahuluan

Pengaturan waktu merupakan aspek fundamental dalam penyelenggaraan proses pembelajaran di sekolah, karena berkaitan langsung dengan efektivitas kegiatan belajar mengajar dan kedisiplinan warga sekolah. Bel sekolah berfungsi sebagai penanda waktu untuk mengatur transisi antar-aktivitas, seperti masuk kelas, pergantian pelajaran, waktu istirahat, dan jam pulang. Sistem bel manual yang masih banyak digunakan pada sekolah dasar sering menimbulkan permasalahan seperti keterlambatan pembunyian dan ketergantungan pada petugas tertentu, sehingga dapat mengurangi alokasi waktu belajar yang ideal. Kondisi tersebut tercermin pada operasional SDN 2 Lenek, yang hingga kini mengandalkan bel listrik dan lonceng manual yang dioperasikan oleh guru atau operator sekolah. Ketidakefisienan ini menunjukkan perlunya inovasi yang mampu menjamin ketepatan waktu dan konsistensi pembunyian bel.

Perkembangan teknologi embedded system dan Internet of Things (IoT) membuka peluang pemanfaatan perangkat mikrokontroler sebagai solusi otomasi yang lebih cerdas, efisien, serta mudah diakses. Berbagai studi menunjukkan bahwa sistem bel otomatis berbasis mikrokontroler dan RTC dapat meningkatkan akurasi dan stabilitas waktu, sekaligus mengurangi keterlibatan manusia dalam operasi rutin (As'ad dkk., 2021; Putra dkk., 2020). Penelitian lain telah mengintegrasikan mikrokontroler dengan pengendalian jarak jauh berbasis IoT, seperti penggunaan ESP8266 pada sistem penjadwalan bel (Imran dkk., 2024) atau penggunaan aplikasi Android untuk kontrol nirkabel (Sani & Ferdiansyah, 2020). Namun, sebagian sistem tersebut masih memiliki keterbatasan, seperti belum tersedianya antarmuka web mandiri tanpa internet, tidak adanya integrasi modul audio MP3, atau pengaturan yang masih memerlukan pemrograman ulang perangkat.

Perbedaan utama penelitian ini dibandingkan dengan penelitian terdahulu terletak pada kemandirian sistem dan fleksibilitas konfigurasinya. Jika penelitian sebelumnya sering kali membutuhkan konektivitas internet (Cloud) atau aplikasi pihak ketiga, penelitian ini menawarkan solusi melalui pembuatan web server lokal yang tertanam langsung pada ESP32 dalam mode Access Point. Kontribusi penelitian ini adalah penyediaan sistem yang memungkinkan operator sekolah mengubah jadwal bel secara nirkabel hanya melalui browser pada smartphone tanpa memerlukan kuota internet atau keahlian pemrograman khusus. Selain itu, integrasi modul DFPlayer Mini memberikan keunggulan dalam penyampaian informasi melalui audio MP3 yang lebih informatif dibandingkan sekadar bunyi alarm piezoelektrik konvensional.

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang sebuah sistem bel sekolah otomatis yang memiliki tingkat akurasi tinggi, mampu memutar audio MP3 sesuai jadwal, dan dapat dikonfigurasi secara mudah tanpa bergantung pada jaringan internet eksternal. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang, mengimplementasikan, dan menguji keandalan sistem bel sekolah berbasis ESP32, RTC DS3231, dan DFPlayer Mini, serta mengevaluasi efektivitas antarmuka web server lokal dalam memudahkan manajemen jadwal di SDN 2 Lenek.

Berdasarkan celah penelitian tersebut, studi ini mengembangkan sebuah sistem bel sekolah otomatis berbasis mikrokontroler ESP32 yang diintegrasikan dengan modul DFPlayer Mini untuk pemutaran audio serta modul RTC DS3231 untuk memastikan akurasi waktu. Sistem ini dilengkapi antarmuka web server yang berjalan langsung pada ESP32 dalam mode *Access Point*, sehingga pengguna dapat mengatur jadwal bel hanya melalui smartphone tanpa membutuhkan koneksi internet eksternal. Dengan desain ini, sistem diharapkan menjadi solusi yang lebih fleksibel, hemat daya, mudah dioperasikan, serta sesuai dengan kebutuhan sekolah dasar yang memiliki keterbatasan sumber daya. (Hendriawan et al., 2024)

Tujuan utama penelitian ini adalah merancang, mengimplementasikan, dan menguji kinerja sistem bel otomatis berbasis IoT di SDN 2 Lenek, serta mengevaluasi

reliabilitasnya dalam kondisi operasional nyata. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja dengan akurat, stabil, dan mendapat respons positif dari pihak sekolah. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi otomasi pendidikan yang dapat diterapkan secara praktis pada sekolah-sekolah dasar, sekaligus memperkaya literatur mengenai pemanfaatan mikrokontroler ESP32 dan modul audio dalam sistem otomatisasi.(Hafizulloh et al., 2024)

2. Bahan dan Metode

Material dan Perangkat Sistem

Penelitian ini menggunakan seperangkat komponen elektronik yang diintegrasikan untuk membangun sistem bel sekolah otomatis berbasis IoT. Perangkat keras utama meliputi:

- Mikrokontroler ESP32 DevKit V1, digunakan sebagai pusat pengendali sistem, penyedia koneksi WiFi *Access Point*, sekaligus server untuk antarmuka berbasis web.
- Modul RTC DS3231, berfungsi sebagai sumber waktu real-time dengan akurasi tinggi.
- Modul DFPlayer Mini / MP3-TF-16P, digunakan untuk memutar file audio MP3 yang disimpan pada microSD.
- LCD I2C 16x2, menampilkan SSID, alamat IP server, waktu, dan status bel.
- Speaker mini, sebagai keluaran audio.
- Perangkat pendukung, seperti breadboard, kabel jumper, adaptor daya 5V, serta solder untuk perakitan prototipe.

Perangkat lunak yang digunakan meliputi Arduino IDE untuk pemrograman mikrokontroler, serta pustaka standar seperti *Wire.h*, *LiquidCrystal_I2C.h*, *DFRobotDFPlayerMini.h*, dan *WiFi.h*. Semua *source code* dikembangkan sendiri berdasarkan desain penelitian dan dapat dibagikan kepada pembaca apabila diperlukan.

Seluruh data keluaran sistem, termasuk hasil pengujian tegangan, arus, konsumsi daya, jangkauan WiFi, serta file konfigurasi perangkat lunak, direkam dan didokumentasikan selama proses pengujian. Tidak terdapat batasan akses terhadap material non-sensitif tersebut, dan file program tersedia atas permintaan peninjau maupun pembaca.

Lokasi, Waktu, dan Desain Penelitian

Penelitian dilaksanakan di SDN 2 Lenek, Lombok Timur, sebagai lokasi uji coba implementasi sistem. Penelitian berlangsung pada Mei–Juni 2025 dengan pendekatan Research and Development (R&D) berdasarkan model pengembangan Sukmadinata yang mencakup tiga tahapan yaitu studi pendahuluan, desain dan pengembangan, dan pengujian sistem. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan pengembangan produk teknologi yang dapat diuji, direvisi, dan diimplementasikan secara langsung.

Tidak terdapat intervensi biomedis atau subjek manusia yang memerlukan persetujuan etik, karena penelitian hanya melibatkan perangkat elektronik dan wawancara informal untuk identifikasi kebutuhan. Oleh sebab itu, studi ini tidak memerlukan persetujuan etik institusional.

Prosedur Pengumpulan Data

Tiga teknik pengumpulan data digunakan untuk mendapatkan analisis kebutuhan sistem:

- Observasi langsung, dilakukan untuk mengidentifikasi proses pembunyian bel manual di sekolah, keterbatasannya, serta kebutuhan operasional lapangan.
- Wawancara, dilakukan dengan kepala sekolah dan guru terkait penggunaan bel serta harapan terhadap sistem otomatis.

- c. Kajian literatur, mencakup referensi mengenai mikrokontroler, IoT, sistem bel otomatis, serta penelitian terdahulu (mis. As'ad dkk., 2021; Imran dkk., 2024; Dinda, 2022; Putra dkk., 2020).

Data tersebut dijadikan dasar dalam menentukan kebutuhan teknis perangkat keras dan perangkat lunak.

Perancangan Sistem

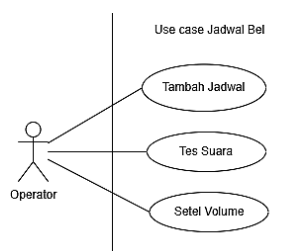
Perancangan sistem dilakukan melalui beberapa tahap:

- Analisis Kebutuhan**
Kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak ditentukan berdasarkan fungsi sistem, yaitu penjadwalan otomatis, pemutaran audio, penampilan informasi, dan kontrol jarak jauh melalui smartphone.
- Perancangan Blok Sistem**
Komponen dirancang dalam satu alur terintegrasi: ESP32 menerima jadwal dari web server → waktu dibandingkan dengan RTC DS3231 → jika waktu sesuai, ESP32 mengirim perintah pemutaran audio ke DFPlayer → speaker menyalurkan suara → LCD menampilkan status bel.
- Perancangan Antarmuka Web**
Antarmuka berbasis HTML/CSS sederhana berjalan di atas web server internal ESP32. Fitur utama meliputi: penambahan dan penghapusan jadwal; pengaturan volume DFPlayer; dan pengujian file suara. Semua jadwal disimpan dalam memori EEPROM ESP32.

3. Hasil

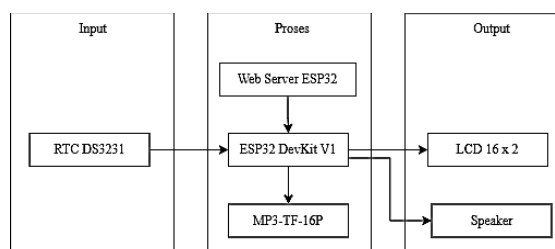
Desain Sistem

Pada tahap ini dilakukan perancangan sistem berdasarkan kebutuhan yang telah dianalisis sebelumnya dengan tujuan untuk memberikan gambaran teknis mengenai cara kerja bel otomatis berbasis mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan audio MP3 dan dapat diatur melalui smartphone. Perancangan ini mencakup beberapa aspek penting, seperti use case diagram, diagram blok sistem, diagram alir (flowchart), dan antarmuka penjadwalan bel.



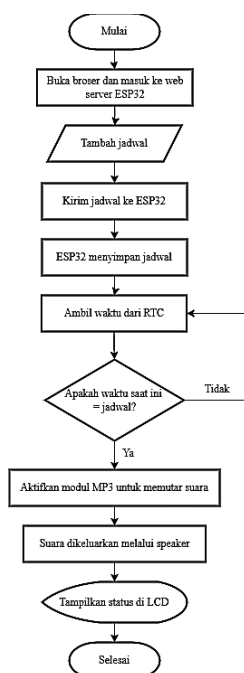
Gambar 1 Use Case Aplikasi

Diagram diatas menggambarkan interaksi antara aktor, yaitu Operator dengan sistem



Gambar 2 Diagram Blok Hubungan Sistem

Hubungan antarkomponen dalam sistem bel otomatis berjalan secara terintegrasi melalui ESP32 sebagai pusat kendali. Pengguna terlebih dahulu mengakses web server internal ESP32 untuk memasukkan atau mengubah jadwal bel. Data jadwal yang diterima kemudian disimpan dan diproses oleh ESP32 dengan mengacu pada waktu real-time yang diperoleh dari modul RTC. Ketika waktu sistem sesuai dengan jadwal yang telah ditetapkan, ESP32 mengirimkan perintah pemutaran audio ke modul MP3, yang selanjutnya membaca file suara dari microSD dan mengeluarkannya melalui speaker. Selama proses berlangsung, informasi status sistem, termasuk waktu dan jadwal aktif, ditampilkan melalui LCD. Struktur ini memastikan bahwa seluruh komponen bekerja sinkron untuk menghasilkan pembunyian bel otomatis yang akurat dan konsisten.

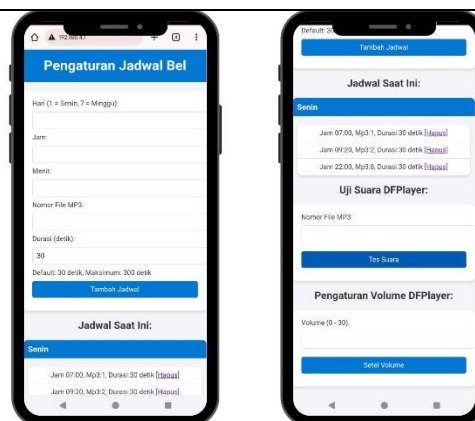


Gambar 3. Flowchart Alur Kerja Sistem

Alur kerja sistem bel otomatis dimulai ketika pengguna menetapkan jadwal melalui web server, kemudian data jadwal disimpan dan diproses oleh ESP32. Mikrokontroler secara kontinu membaca waktu aktual dari modul RTC dan membandingkannya dengan jadwal yang tersimpan. Jika terjadi kecocokan waktu, ESP32 mengaktifkan modul MP3 untuk memutar suara bel melalui speaker; jika tidak, sistem kembali melakukan pemantauan waktu secara berkala. Selama proses tersebut, informasi jadwal aktif dan status sistem ditampilkan melalui LCD, sehingga memastikan operasi yang terkontrol dan terpantau dengan baik.

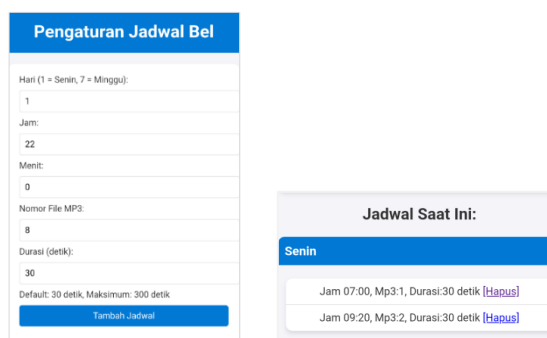
Desain Antarmuka Penjadwalan Bel

Antarmuka penjadwalan yang ditunjukkan pada Gambar 4 dirancang agar sederhana, mudah dipahami, dan efisien digunakan. Melalui antarmuka ini, pengguna dapat menetapkan waktu bel, memilih file audio, serta melakukan kontrol manual jika diperlukan. Fitur utama yang disediakan meliputi formulir input untuk pengaturan hari, jam, menit, nomor file MP3, dan durasi bel; tombol untuk menambahkan jadwal baru; daftar jadwal yang telah tersimpan beserta opsi penghapusannya; fitur uji suara untuk memastikan file audio sesuai; serta pengaturan volume DFPlayer. Desain ini memungkinkan proses konfigurasi berjalan cepat dan akurat dalam mendukung operasi sistem bel otomatis.



Gambar 4 Antarmuka Penjadwalan Bel

Pengguna dapat mengisi form untuk menambahkan jadwal baru. Setelah pengguna menginput data dan menekan tombol Tambah Jadwal, sistem akan memberikan respon berupa notifikasi bahwa jadwal berhasil ditambahkan kemudian jadwal tersebut ditampilkan pada Jadwal Saat Ini.

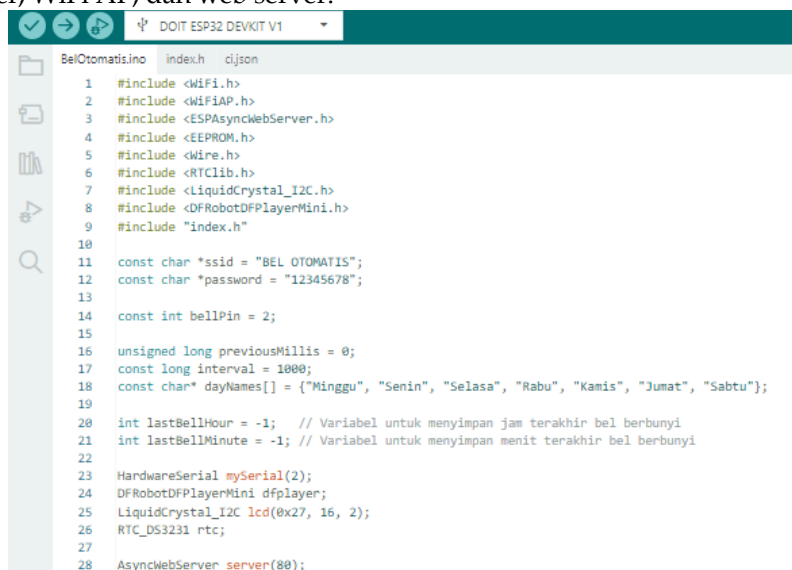


Gambar 5 Tampilan Saat Input Jadwal

Proses Implementasi dan Pemrograman

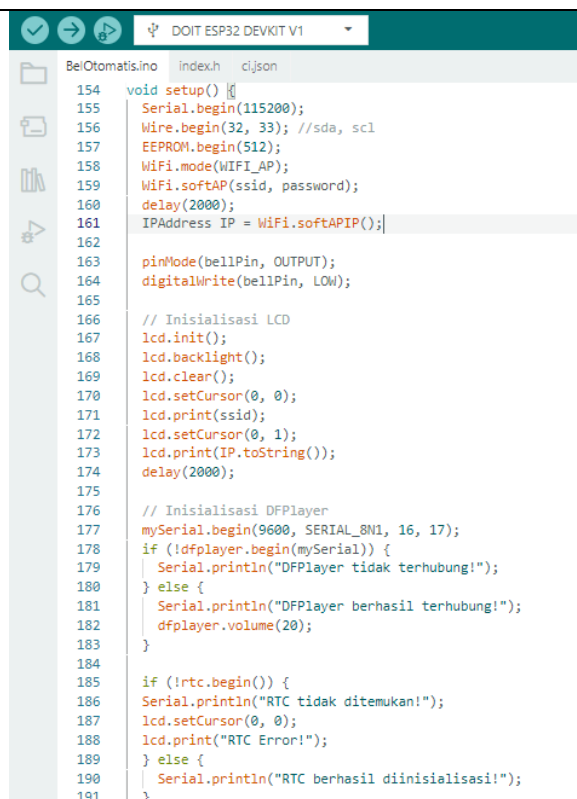
Pemrograman dilakukan menggunakan Arduino IDE dengan struktur sebagai berikut:

- Inisialisasi:** pemanggilan pustaka, konfigurasi pin ESP32, inisialisasi RTC, LCD, DFPlayer, WiFi AP, dan web server.



Gambar 6 Potongan Pemrograman Inisiasi

- Fungsi setup():** pengaktifan LCD, inisialisasi DFPlayer, penyetelan SSID dan IP static, serta memulai web server.



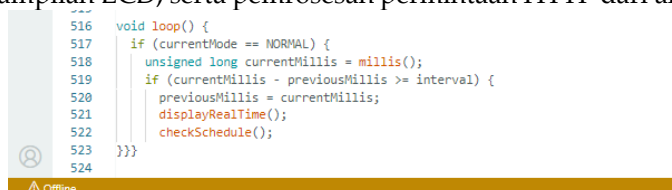
```

154 void setup() {
155   Serial.begin(115200);
156   Wire.begin(32, 33); //sda, scl
157   EEPROM.begin(512);
158   WiFi.mode(WIFI_AP);
159   WiFi.softAP(ssid, password);
160   delay(2000);
161   IPAddress IP = WiFi.softAPIP();
162
163   pinMode(bellPin, OUTPUT);
164   digitalWrite(bellPin, LOW);
165
166   // Inisialisasi LCD
167   lcd.init();
168   lcd.backlight();
169   lcd.clear();
170   lcd.setCursor(0, 0);
171   lcd.print(ssid);
172   lcd.setCursor(0, 1);
173   lcd.print(IP.toString());
174   delay(2000);
175
176   // Inisialisasi DFPlayer
177   mySerial.begin(9600, SERIAL_8N1, 16, 17);
178   if (!dfplayer.begin(mySerial)) {
179     Serial.println("DFPlayer tidak terhubung!");
180   } else {
181     Serial.println("DFPlayer berhasil terhubung!");
182     dfplayer.volume(20);
183   }
184
185   if (!rtc.begin()) {
186     Serial.println("RTC tidak ditemukan!");
187     lcd.setCursor(0, 0);
188     lcd.print("RTC Error!");
189   } else {
190     Serial.println("RTC berhasil diinisialisasi!");
191   }

```

Gambar 7 Potongan Pemrograman Fungsi Setup

- c. **Fungsi loop()**: pembacaan waktu real-time, pencocokan jadwal, pemanggilan audio, pembaruan tampilan LCD, serta pemrosesan permintaan HTTP dari antarmuka web.



```

516 void loop() {
517   if (currentMode == NORMAL) {
518     unsigned long currentMillis = millis();
519     if (currentMillis - previousMillis >= interval) {
520       previousMillis = currentMillis;
521       displayRealTime();
522       checkSchedule();
523     }
524   }

```

Gambar 8 Potongan Pemrograman Fungsi Loop

Kode program diuji dalam beberapa iterasi sampai seluruh komponen bekerja stabil. Tidak ada perangkat lunak pihak ketiga selain pustaka Arduino standar.

Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan terhadap beberapa aspek:

- Pengujian Tegangan, Arus, dan Konsumsi Daya**
Semua komponen diuji menggunakan multimeter digital untuk memastikan bekerja dalam rentang aman. Konsumsi daya dihitung berdasarkan hasil tegangan dan arus rata-rata.
- Pengujian Fungsi Perangkat Lunak**
Meliputi verifikasi jadwal otomatis, validasi pemutaran file audio, dan tampilan LCD.
- Pengujian Antarmuka Web Server**
Menguji koneksi WiFi AP, kestabilan akses, fungsi input jadwal, penghapusan jadwal, tes suara, dan pengaturan volume.
- Pengujian Jangkauan WiFi**
Dilakukan dengan aplikasi WiFi Analyzer dalam interval 2 meter untuk menentukan jangkauan efektif akses web server.

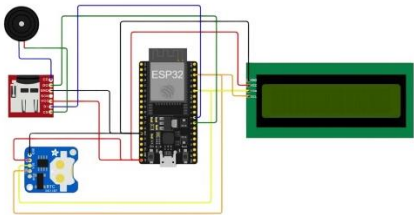
Tabel 1 Hasil Pengujian Keseluruhan Komponen

No	Fungsi Yang Diuji	Langkah Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Status
1	Inisialisasi komponen	Menyalakan alat	LCD menyala, tidak ada pesan error	Berhasil
2	RTC DS3231	Menyesuaikan waktu RTC dan membaca data	Waktu tampil sesuai dan stabil	Berhasil
3	DFPlayer Mini	Menjalankan perintah play(1)	Suara bel (file 001.mp3) terdengar	Berhasil
4	LCD I2C 16x2	Menampilkan pesan saat bel aktif	Pesan tampil diLCD dengan jelas	Berhasil
5	Web server ESP32	Menyalakan WiFi dan membaca halaman kontrol	Halaman web dapat diakses di browser	Berhasil
6	Pencocokan jadwal	Mensimulasikan waktu sesuai jadwal bel	DFPlayer aktif, LCD menampilkan pesan	Berhasil

Seluruh metode pengujian dirancang agar sistem dapat direplikasi oleh peneliti lain menggunakan perangkat dan skrip pemrograman yang sama.

Perancangan Perangkat Keras

Rangkaian sistem bel otomatis dirakit pada breadboard untuk mempermudah proses pengujian dan modifikasi selama pengembangan. Gambar 5 menunjukkan konfigurasi rangkaian yang terdiri dari ESP32 sebagai pusat kendali, RTC DS3231 sebagai sumber waktu, DFPlayer Mini sebagai pemutar audio, LCD I2C sebagai penampil informasi, serta speaker sebagai keluaran suara.



Gambar 9 Rangkaian Sistem

Integrasi antarkomponen dilakukan melalui koneksi pin yang ditetapkan pada Tabel 1, di mana modul RTC dan LCD dihubungkan melalui jalur I2C, sementara DFPlayer Mini berkomunikasi dengan ESP32 melalui antarmuka UART. Struktur sambungan ini memastikan setiap komponen dapat beroperasi secara sinkron sehingga sistem mampu menjalankan fungsi pembunyian bel otomatis secara stabil dan akurat.

Tabel 2 Komponen PIN yang Terhubung

Komponen	Pin	Terhubung ke
ESP32 Devkit V1	VCC => VCC	Semua komponen
	GND => GND	
	SDA => SDA	LCD I2C 16x2 dan RTC DS3231
	SCL => SCL	
	RX(GPIO16) => TX TX(GPIO17) => RX	DFPlayer Mini
RTC DS3231	VCC => VCC	ESP32 Devkit V1
	GND => GND	
	SDA => SDA	
	SCL => SCL	
DFPlayer Mini	VCC => VCC	ESP32 Devkit V1
	GND => GND	
	RX => TX(GPIO17) TX => RX(GPIO16)	
	SPK_1 => Positif (+)	Speaker
	SPK_2 => Negatif (-)	
LCD I2C 16x2	VCC => VCC	ESP32 Devkit V1
	GND => GND	
	SDA => SDA	
	SCL => SCL	
Speaker	Positif (+) => SPK_1	DFPlayer Mini
	Negatif (-) => SPK_2	

Hasil Pengujian Konsumsi Daya

Pengujian menunjukkan bahwa seluruh komponen bekerja dalam rentang tegangan aman. Hasil pengukuran arus dan tegangan menunjukkan bahwa sistem memiliki konsumsi daya total sekitar **0,12 watt**, sehingga layak sebagai perangkat elektronik beroperasi harian di sekolah.

Tabel 3. Hasil Pengujian Konsumsi Daya

Komponen	Tegangan	
	Minimum	Maksimum
ESP32 Devkit V1	3.3V	5V
RTC DS3231	3.3V	5V
DFPlayer Mini	3.2V	5V
LCD I2C 16x2	3.3V	5V
Buzzer	3.3V	5V

Hasil Pengujian Jangkauan WiFi

Pengujian jangkauan WiFi dilakukan menggunakan aplikasi *WiFi Analyzer* dengan jarak bertahap dari 2 hingga lebih dari 8 meter. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sinyal tetap stabil hingga jarak sekitar 8 meter.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Kekuatan Sinyal Wifi

No	Jarak (m)	Sinyal (dBm)	Status Koneksi	Akses Web	Ket.
1	2	-40	Terhubung stabil	Bisa	Sinyal sangat kuat
2	4	-50	Terhubung stabil	Bisa	Sinyal sangat kuat
3	6	-60	Terhubung stabil	Bisa	Sinyal sangat kuat
4	8	-67	Terhubung stabil	Bisa	Sinyal sangat kuat
5	10	-72	Terhubung kadang putus	Bisa kadang	Mulai tidak stabil
6	12	-80	Terputus-putus	Tidak bisa	Sinyal lemah
7	14	-85	Tidak terhubung	Tiak bisa	Sinyal hilang

Hasil Pengujian Jadwal Bel Otomatis

Pengujian jadwal menunjukkan bahwa sistem mampu memicu audio secara otomatis sesuai waktu yang ditentukan. Selisih waktu pemutaran bel sangat kecil dan tidak berpengaruh pada fungsionalitas.

4. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem bel otomatis berbasis ESP32 dapat berfungsi secara efektif dan stabil pada seluruh tahap pengujian. Pengujian konektivitas web server memperlihatkan bahwa ESP32 berhasil memancarkan *Access Point* secara mandiri dan dapat diakses oleh perangkat pengguna tanpa memerlukan jaringan internet eksternal. Tampilan pada pengujian server (Gambar 10) menunjukkan bahwa fitur ini bekerja sesuai rancangan, sekaligus mendukung temuan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa ESP32 memiliki kemampuan *standalone web hosting* yang andal untuk aplikasi IoT sederhana.



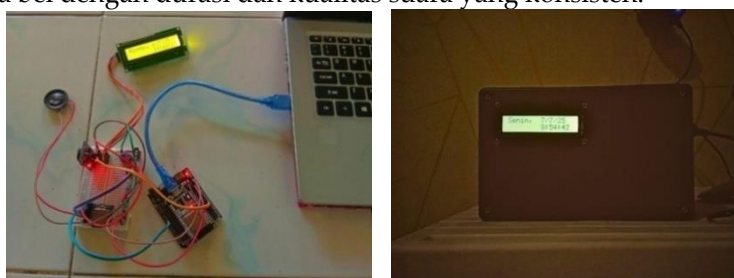
Gambar 10 Hasil Pengujian Koneksi Server

Pengujian tampilan waktu melalui LCD (Gambar 11) menunjukkan bahwa RTC DS3231 dapat menyediakan waktu real-time secara akurat dan konsisten. Keandalan modul ini memperkuat laporan literatur yang menyebutkan bahwa DS3231 memiliki deviasi waktu sangat rendah dan cocok untuk sistem penjadwalan otomatis. Akurasi ini juga mendukung hipotesis bahwa sistem bel otomatis membutuhkan referensi waktu stabil agar kejadian pemicuan audio tidak mengalami keterlambatan.



Gambar 11 Pengujian Tampilan LCD RTC

Hasil pengujian DFPlayer Mini (Gambar 12) menunjukkan bahwa modul dapat memutar file audio secara lancar tanpa distorsi walaupun diakses berulang kali. Pengujian ini sejalan dengan studi Dinda (2022) yang menyatakan bahwa DFPlayer Mini merupakan modul audio yang optimal untuk aplikasi mikrokontroler karena kemampuannya membaca file MP3 secara cepat dengan konsumsi daya rendah. Dalam konteks sistem bel otomatis, hal ini memastikan setiap jadwal yang terpenuhi dapat memicu suara bel dengan durasi dan kualitas suara yang konsisten.



Gambar 12 Pengujian Modul DFPlayer Mini

Pengujian jangkauan WiFi (Tabel 5) memperlihatkan bahwa sinyal tetap stabil pada jarak 2–8 meter, yang cukup untuk kebutuhan ruang operator sekolah. Namun, penurunan kekuatan sinyal terjadi pada jarak lebih dari 8 meter. Keterbatasan ini sejalan dengan karakteristik antena internal ESP32 yang memiliki daya pancar standar. Temuan ini memberikan ruang bagi penelitian lanjutan, misalnya penggunaan antena eksternal atau *range extender* untuk memperluas jangkauan sinyal pada bangunan sekolah lebih besar.

Tabel 5 Hasil Pengujian Jangkauan Wifi

No	Jarak (meter)	Sinyal (dBm)	Status Koneksi	Akses Web	Ket
1	2	-40	Terhubung stabil	Bisa	Sinyal sangat kuat
2	4	-50	Terhubung stabil	Bisa	Sinyal sangat kuat
3	6	-60	Terhubung stabil	Bisa	Sinyal sangat kuat
4	8	-67	Terhubung stabil	Bisa	Sinyal sangat kuat
5	10	-72	Terhubung kadang putus	Bisa kadang	Mulai tidak stabil
6	12	-80	Terputus-putus	Tidak bisa	Sinyal lemah
7	14	-85	Tidak terhubung	Tidak bisa	Sinyal hilang

Secara keseluruhan, temuan penelitian ini mendukung hipotesis kerja bahwa integrasi ESP32, RTC DS3231, dan DFPlayer Mini mampu menghasilkan sistem bel otomatis yang akurat, efisien, dan responsif. Implementasi mode *Access Point* memberi nilai tambah berupa kemandirian jaringan, sementara integrasi antarmodul memungkinkan operasi sistem yang sinkron dan reliabel. Sistem ini memiliki implikasi praktis bagi sekolah yang membutuhkan otomatisasi jadwal dengan biaya rendah dan tampilan antarmuka yang mudah dioperasikan.

Arah Pengembangan

Beberapa arah penelitian masa depan yang dapat dipertimbangkan meliputi:

- a. Peningkatan jangkauan WiFi dengan antena eksternal.
- b. Integrasi basis data untuk penyimpanan riwayat penjadwalan.
- c. Penambahan fitur autentikasi pengguna pada web server.
- d. Pengembangan aplikasi mobile sebagai antarmuka alternatif.
- e. Integrasi NTP untuk sinkronisasi waktu otomatis ketika jaringan tersedia.

5. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem bel sekolah otomatis berbasis mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan modul RTC DS3231 dan DFPlayer Mini serta dilengkapi antarmuka pengaturan jarak jauh melalui web server internal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara otomatis dan konsisten sesuai jadwal yang telah ditetapkan dengan tingkat akurasi waktu yang tinggi dan konsumsi daya yang relatif rendah. Integrasi web server dalam mode Access Point memungkinkan pengelolaan jadwal bel dilakukan secara fleksibel menggunakan smartphone tanpa memerlukan koneksi internet eksternal.

Pengujian fungsional menunjukkan bahwa seluruh komponen sistem—mulai dari pembacaan waktu real-time, pemutaran audio MP3, tampilan informasi pada LCD, hingga konektivitas WiFi—berjalan dengan stabil dalam kondisi operasional sekolah. Jangkauan WiFi efektif hingga sekitar 8 meter dinilai memadai untuk kebutuhan ruang operator sekolah, meskipun masih memiliki keterbatasan untuk area yang lebih luas. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan terbukti mampu meningkatkan efisiensi pengelolaan waktu sekolah dan mengurangi ketergantungan pada pengoperasian bel secara manual.

Dengan demikian, sistem bel otomatis ini dapat menjadi solusi praktis dan ekonomis bagi sekolah dasar dalam meningkatkan kedisiplinan dan efektivitas manajemen waktu. Penelitian ini juga membuka peluang pengembangan lanjutan, seperti perluasan jangkauan jaringan, integrasi basis data, serta peningkatan fitur keamanan dan antarmuka pengguna.

Ucapan Terima Kasih: Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak SDN 2 Lenek yang telah memberikan izin dan dukungan selama proses observasi, implementasi, dan pengujian sistem. Apresiasi juga disampaikan kepada kepala sekolah dan para guru yang telah memberikan masukan serta informasi terkait kebutuhan operasional bel sekolah. Selain itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan teknis dan administratif sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

Referensi

- [1] Adinda, R. A. (2022). Perancangan Prototype Bel Sekolah Otomatis Berbasis Arduino. Skripsi. Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
- [2] Arduino. *Getting Started with Arduino IDE 2*. Arduino.cc. (2024). <https://docs.arduino.cc/software/ide-v2/tutorials/getting-started-ide-v2/>. Diakses 20 Februari 2025.
- [3] Arduino Forum, *MP3-TF-16P MP3 Player Module Information and Usage*. Arduino.cc (2018). <https://forum.arduino.cc/t/mp3-tf-16p-mp3-player-module/536040>. Diakses 2 Juni 2025.
- [4] As'ad, A., Hikmah, N., & Izzuddin, A. (2021). Rancang Bangun Bel Sekolah Otomatis Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno Menggunakan DfPlayer. *Energy: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik*, 1191), 58-68. Universitas Panca Marga.
- [5] 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. STMIK Triguna Dharma.
- [6] Azizi, K. A., Sembiring, A., & Arfisyari, M. (2022). Design and Build an Automated School Bell System Using Voice-Based IoT. *International Journal of Health Engineering and Technology (IJHET)*, 1(3), 383-392. STMIK Kaputama Binjai, Indonesia.

- [7] Blynk Inc. *Blynk.Documentation*. Blynk.io. (2024). [https://docs.blynk.io/en/get-ting-started/what-do-i-need-to-blynk?_gl=1*85Qvdg*_ga*NDE5NjgxMjMyLjE3MzMzMzMyNjY3NDY.*_ga_E376ZQ635Y*MTc0MDQ5NzU5MC41LjEuMTc0MDQ5NzY5OC4wLjAuMA..*_ga_gaj0GP1NPNB7*MTc0MDQ5NzU5MC41LjEuMTc0MDQ5NzY5OC4wLjAuMA..](https://docs.blynk.io/en/get-ting-started/what-do-i-need-to-blynk?_gl=1*85Qvdg*_ga*NDE5NjgxMjMyLjE3MzMzMyNjY3NDY.*_ga_E376ZQ635Y*MTc0MDQ5NzU5MC41LjEuMTc0MDQ5NzY5OC4wLjAuMA..*_ga_gaj0GP1NPNB7*MTc0MDQ5NzU5MC41LjEuMTc0MDQ5NzY5OC4wLjAuMA..) Diakses 20 Februari 2025.
- [8] Borg, W. R., & Gall, M. D. (1983). *Educational Research: An Introduction*. London: Longman Inc.
- [9] Danuarteu, M. D., Nurtsania, S. R., Fatihah, L. A., Saputri, G., Ridhwan, D. M., Rossanti, S. A., Ginanjar, G. G., Ash Shiddiq, R. N., & Setyowati, E. (2024). Penerapan Smart School Bell Berbasis Internet of Things di SDIT Cendekia Purwakarta. *Dulang: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 4(1), 78-86. Universitas Pendidikan Indonesia, Purwakarta.
- [10] Espressif. *modul ESP|system espressif*. Espressif.com. (2024). <https://www.espressif.com/en/product/modules>. Diakses 20 Februari 2025.
- [11] Fahreza, M. F., Suherdi, D., & Mahyuni, R. (2023). Rancang Bangun Bel Otomatis di Sekolah Menggunakan Modul RTC dan Modul MP3. *Jurnal Sistem Komputer Triguna Dharma (JURSIK TGD)*, 2(6), 307-315. STMIK Triguna Dharma.
- [12] Imran, M. A., Fauzi, A., & Khair, H. (2024). Rancang Bangun Kontrol Bel Otomatis Berdasarkan Jadwal Perkuliahan Menggunakan Internet of Things (IoT). *Modem: Jurnal Informatika dan Sains Teknologi*, 2(4), 21-32. STMIK Kaputama Binjai, Indonesia.
- [13] Jamilatulain, (2024, September 17). Pengertian Blok Diagram Sistem. *RedaSamudra.id*. <https://redasamudra.id/pengertian-blok-diagram-sistem/>
- [14] Pauzan, M., Yanti, I. (2021). Bel Sekolah Otomatis Berbasis Arduino yang Dikontrol Menggunakan Aplikasi Mobile. *Jurnal Nasional Teknik Electro dan Teknologi Informasi*, 10(2), 163-169. Universitas Wiralodra.
- [15] Putra, R. R., Hamdani, H., Aryza, S., & Manik, N. A. (2020). Sistem Penjadwalan Bel Sekolah Otomatis Berbasis RTC Menggunakan Mikrokontroler. *Jurnal Media INformatika Budidarma*, 4(2), 386-395. Universitas Pembangunan Panca Budi, Medan Indonesia.
- [16] Ramdany, S. W., Kaidar, S. A., Aguchino, C. A. A., Anggie, R. (2024). Penerapan UML Class Diagram dalam Perancangan Sistem Informasi Perpustakaan Berbasis Web. *Journal of Industrial and Engineering System (JIES)*, 5(1), 30-41. Universitas Bhayangkara Jakarta Baya, Bekasi Indonesia.
- [17] Republik Indonesia. (2003). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional*. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2003 Nomor 78.
- [18] Risal, Z., Hakim, R., & Abdullah, A. R. (2022). *Metode Penelitian dan Pengembangan: Research and Development (R&D): Konsep, Teori-Teori dan Desain Penelitian*. Malang: CV. Literasi Nusantara Abadi.
- [19] Sa'adah, R. N., & Wahyu. (2022). *Metode Peneitian R&D (Research and Development): Kajian Teoritis dan Aplikatif*. Malang: CV. Literasi Nusantara Abadi.
- [20] Sani, T. M. C. F., & Ferdiansyah, F. (2020). Perancangan Otomatis Bel Sekolah dengan Autopower Menggunakan Interface Berbasis Android. *SKANIKA: Sistem Komputer dan Teknik Informatika*, 3(4), 35-40. Universitas Budi Luhur.
- [21] Subianto, M. (2015). Sistem Bel Otomatis Terprogram Berbasis Raspberry Pi. *SMATIKA Jurnal*, 5(1), 5-12. Universitas Ma Chung, Malang.
- [22] Sugiyono. (2011). *Metode Penelitian dan Pengembangan: Research and Development*. Bandung: Alfabeta.
- [23] Sukmadinata, N. S. (2008). *Metode Penelitian Pendidikan*. Bandung: Remaja Rosdakarya.
- [24] Vimal Raj, S., Srivasan, K., Vijay, R., Vel Prasanth, K., & Srath Pranav, B. (2023). Real Time Clock Using Arduino. *Dogo Rangsang Research Journal*, 13(5), 82-87. UGC Care Group I Journal.
- [25] WatElectronics. *Apa itu LCD 16x2: Pin Konfigurasi & Kerjanya*. watelectronics. com. (2021). https://www.watelectronics.com/lcd-16x2/#google_vign_ette. Diakses 20 Februari 2025.
- [26] WatElectronics. *DS3231 RTC Module: Pin Configuration, Specifications, Interfacing with Microcontroller & Its Applications*. watelectronics.com. (2023). https://www.watelectronics.com/ds3231-rtcmodule/#google_vign_ette. Diakses 20 Februari 2025.
- [27] Zalukhu, A., Purba, S., Darma, D. (2023). Perangkat Lunak Aplikasi Pembelajaran Flowchart. *Jurnal Teknologi Informasi dan Industri*, 4(1), 61-70. Institut Sains dan Teknologi TD Pardele.

-
- [29] Hafizulloh, M., Indra Kharisma, L. P., Syuhada, N., & Aini, Q. (2024). Language Learning Media Through Reading Speech for the Deaf Based on Android. *JATISKOM : Jurnal Aplikasi Teknologi Informasi Dan Sains Komputer*, 1(1), 50–77. <https://doi.org/10.20414/jatiskom.v1i1.11910>
- [30] Hendriawan, E., Indra Kharisma, L. P., Ramadhan, W., & Fauziah, R. H. (2024). Android Based 7 Summit Sembalun E-Ticket Application. *JATISKOM : Jurnal Aplikasi Teknologi Informasi Dan Sains Komputer*, 1(1), 1–17. <https://doi.org/10.20414/jatiskom.v1i1.11729>