

Smart Medicine Box Berbasis IoT dengan Integrasi Firebase untuk Pengelolaan Jadwal Minum Obat

Novi Indah Pradasari ^{1,*}, and Eka Wahyudi ²

^{1,2} Program Studi Teknologi Informasi, Politeknik Negeri Ketapang; novi.ip@politap.ac.id;
eka.wahyudi@politap.ac.id;

* Korespondensi: novi.ip@politap.ac.id

Info Artikel:

Dikirim: 23 Agustus 2025

Direvisi: 08 September 2025

Diterima: 28 November 2025

Abstract: This study develops an Internet of Things (IoT)-based smart medicine box to assist medication schedule management through automatic reminders and web-based schedule monitoring. The system was developed using the Waterfall model and integrates a NodeMCU ESP8266, RTC DS3231, TCRT5000 infrared sensor, buzzer, LED, Firebase Realtime Database, and a web interface. Testing was conducted using Black Box Testing to evaluate registration, login, schedule management, alarm, sensor, and long-term scheduling functions, complemented by a User Acceptance Test (UAT). All registration, login, schedule addition/deletion, alarm activation, and long-term scheduling scenarios operated as expected. The opening/closing detection test using the TCRT5000 sensor was successful in 4 out of 5 trials (80%). The UAT conducted by two evaluators yielded a score of 48 out of 50, or 96%, indicating a very high level of user acceptance of the system's functionality. These results demonstrate that the prototype can functionally integrate cloud-based scheduling with physical medication reminders, although the reliability of sensor detection still needs to be improved.

Keywords: smart medicine box; Internet of Things; ESP8266; Firebase; medication reminder; User Acceptance Test

Intisari: Penelitian ini mengembangkan kotak obat cerdas berbasis Internet of Things (IoT) untuk membantu pengelolaan jadwal minum obat melalui pengingat otomatis dan pemantauan jadwal berbasis web. Sistem dikembangkan dengan model Waterfall dan mengintegrasikan NodeMCU ESP8266, RTC DS3231, sensor inframerah TCRT5000, buzzer, LED, Firebase Realtime Database, serta antarmuka web. Pengujian dilakukan menggunakan Black Box Testing pada fungsi pendaftaran, login, manajemen jadwal, alarm, sensor, dan penjadwalan jangka panjang, disertai User Acceptance Test (UAT). Seluruh skenario pendaftaran, login, tambah/hapus jadwal, aktivasi alarm, serta penjadwalan jangka panjang berjalan sesuai hasil yang diharapkan. Pengujian buka/tutup dengan TCRT5000 berhasil pada 4 dari 5 percobaan (80%). UAT oleh dua penguji menghasilkan skor 48 dari 50 atau 96%, yang menunjukkan penerimaan sangat baik terhadap fungsi sistem. Hasil tersebut menunjukkan bahwa prototipe mampu mengintegrasikan penjadwalan berbasis cloud dengan pengingat fisik secara fungsional, meskipun reliabilitas deteksi sensor masih perlu ditingkatkan.

Kata Kunci: kotak obat cerdas; Internet of Things; ESP8266; Firebase; pengingat obat; User Acceptance Test

1. Pendahuluan

Kepatuhan terhadap jadwal minum obat merupakan bagian penting dalam keberhasilan terapi, khususnya pada pengguna yang menjalani pengobatan berulang atau jangka panjang. Dalam praktik sehari-hari, keterlambatan atau terlewatnya jadwal konsumsi dapat terjadi karena pengguna lupa terhadap waktu yang telah ditentukan. Teknologi kotak obat cerdas dikembangkan untuk memberikan pengingat terjadwal dan membantu pengguna mengelola waktu konsumsi obat secara lebih terstruktur.

Pemanfaatan Internet of Things (IoT) pada kotak obat memungkinkan perangkat fisik diintegrasikan dengan aplikasi dan basis data sehingga jadwal dapat dikelola secara terpusat. Alisya dkk. mengembangkan smart medicine

box berbasis IoT sebagai pengingat jadwal minum obat [1]. Susanto dkk. menerapkan IoT pada kotak obat pintar untuk lansia dengan dukungan komponen waktu, indikator, dan konektivitas [2]. Penelitian Vavhal dkk. juga menunjukkan pemanfaatan alarm suara dan cahaya pada smart medicine box [3], sedangkan Rosli dan Husaini mengembangkan kotak obat yang mengintegrasikan aplikasi IoT dan berbagai sensor [4].

Penelitian ini mengembangkan prototipe kotak obat cerdas yang mengintegrasikan NodeMCU ESP8266, modul Real-Time Clock (RTC) DS3231, sensor TCRT5000, buzzer, LED, Firebase Realtime Database, dan aplikasi web. NodeMCU ESP8266 dipilih karena menyediakan kemampuan pemrosesan mikrokontroler sekaligus konektivitas Wi-Fi yang relevan untuk sistem IoT [5]. Berbeda dari sistem yang hanya memberikan alarm lokal, rancangan ini menempatkan aplikasi web dan basis data cloud sebagai bagian dari alur pengelolaan jadwal, sementara sensor pada kotak digunakan untuk merespons tindakan buka/tutup perangkat.

Tujuan penelitian adalah merancang, mengimplementasikan, dan menguji sistem kotak obat cerdas berbasis IoT yang mampu mengelola jadwal minum obat melalui aplikasi web, menyalakan buzzer dan LED pada waktu yang ditentukan, serta menonaktifkan alarm ketika kotak dibuka. Evaluasi dilakukan pada aspek fungsional perangkat lunak, perangkat keras, penjadwalan jangka panjang, dan penerimaan pengguna.

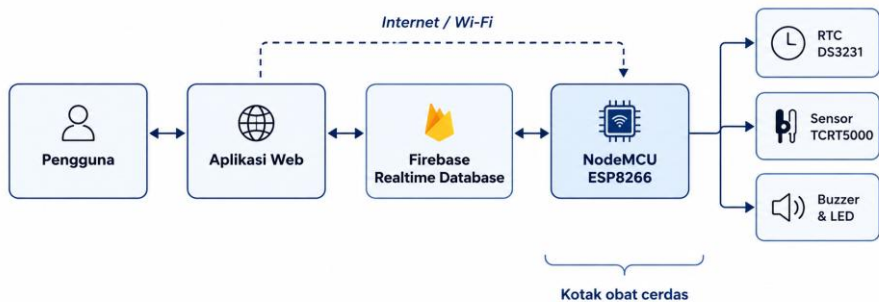
2. Metode Penelitian

2.1. Model Pengembangan Sistem

Pengembangan sistem menggunakan model Waterfall karena kebutuhan utama sistem telah ditentukan sejak awal dan setiap tahap dapat dikerjakan secara berurutan. Tahapan meliputi analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, pengujian, dan dokumentasi. Model Waterfall menekankan penyelesaian tahap sebelumnya sebelum berpindah ke tahap berikutnya sehingga proses pengembangan terdokumentasi secara sistematis [6].

2.2. Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem menghubungkan pengguna, aplikasi web, Firebase Realtime Database, dan perangkat keras kotak obat cerdas. Pengguna melakukan pendaftaran atau login, kemudian menambah atau menghapus jadwal melalui aplikasi web. Data jadwal disimpan pada Firebase dan disinkronkan ke NodeMCU ESP8266 melalui jaringan Wi-Fi. RTC DS3231 menjadi acuan waktu, sedangkan TCRT5000 mendeteksi kondisi buka/tutup kotak. Ketika waktu RTC sesuai jadwal, NodeMCU mengaktifkan buzzer dan LED; alarm dinonaktifkan ketika sensor mendeteksi kotak dibuka. Alur arsitektur ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Arsitektur kotak obat cerdas berbasis IoT

2.3. Komponen Sistem

Komponen utama yang digunakan terdiri atas perangkat keras dan perangkat lunak. NodeMCU ESP8266 berfungsi sebagai pengendali utama, RTC DS3231 menjaga acuan waktu, sensor TCRT5000 mendeteksi kondisi kotak, sedangkan buzzer dan LED menjadi indikator pengingat. Pada sisi perangkat lunak, Arduino IDE dan C++ digunakan untuk pemrograman perangkat, Firebase Realtime Database untuk penyimpanan data jadwal, dan aplikasi web sebagai antarmuka pengguna. Ringkasan komponen ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komponen utama sistem

Komponen	Fungsi
NodeMCU ESP8266	Pusat kendali, pemrosesan logika, dan komunikasi Wi-Fi.

RTC DS3231	Menjaga waktu real-time sebagai acuan penjadwalan alarm.
Sensor TCRT5000	Mendeteksi kondisi buka/tutup kotak obat.
Buzzer dan LED	Memberikan pengingat suara dan visual.
Firebase Realtime Database	Menyimpan dan menyinkronkan data jadwal secara real-time.
Aplikasi web	Pendaftaran, login, tambah jadwal, hapus jadwal, dan logout.
Arduino IDE dan C++	Pengembangan program untuk NodeMCU ESP8266.

2.3.1. Perancangan Basis Data dan Sinkronisasi Jadwal

Firebase Realtime Database digunakan sebagai penyimpanan data jadwal yang menghubungkan aplikasi web dengan perangkat kotak obat. Identitas pengguna dikelola melalui mekanisme autentikasi, sedangkan data jadwal disusun berdasarkan pengguna agar setiap akun memiliki kelompok jadwalnya sendiri. Data inti jadwal terdiri atas nama jadwal dan waktu alarm dalam format jam dan menit. Ketika pengguna menambahkan jadwal melalui aplikasi web, data tersebut disimpan pada Firebase dan selanjutnya dapat dibaca oleh NodeMCU ESP8266 melalui jaringan Wi-Fi. Mekanisme ini membuat perubahan jadwal dapat dilakukan tanpa memprogram ulang mikrokontroler secara langsung.

Sinkronisasi data dirancang agar penambahan maupun penghapusan jadwal pada aplikasi menjadi acuan yang sama bagi perangkat keras. RTC DS3231 tetap digunakan sebagai sumber waktu real-time pada perangkat, sehingga NodeMCU membandingkan waktu aktual dari RTC dengan waktu yang tersimpan pada basis data. Apabila sebuah jadwal dihapus dari Firebase, jadwal tersebut tidak lagi digunakan sebagai pemicu alarm pada periode berikutnya. Rancangan ini memisahkan fungsi penyimpanan jadwal di cloud dari fungsi eksekusi pengingat pada perangkat, sehingga setiap komponen memiliki peran yang jelas dalam alur sistem.

2.3.2. Alur Operasional Sistem

Alur operasional dimulai ketika pengguna melakukan pendaftaran atau login melalui aplikasi web. Setelah autentikasi berhasil, pengguna dapat menambahkan nama jadwal dan waktu minum obat atau menghapus jadwal yang tidak lagi digunakan. Data yang disimpan pada Firebase kemudian menjadi referensi bagi NodeMCU ESP8266. Selama perangkat aktif, NodeMCU membaca waktu dari RTC DS3231 dan mencocokkannya dengan jadwal yang tersedia. Ketika waktu yang dibaca sama dengan waktu jadwal, buzzer dan LED diaktifkan sebagai pengingat audio dan visual kepada pengguna.

Saat alarm aktif, pembukaan kotak dideteksi oleh sensor inframerah TCRT5000. Sinyal sensor digunakan oleh NodeMCU untuk menonaktifkan buzzer dan LED, kemudian sistem menunggu jadwal berikutnya. Dengan alur tersebut, aplikasi web bertugas sebagai antarmuka pengelolaan, Firebase sebagai media penyimpanan dan sinkronisasi, NodeMCU sebagai pusat kendali, RTC sebagai acuan waktu, sedangkan sensor, buzzer, dan LED menangani interaksi fisik pada kotak obat. Sesuai batasan penelitian, sistem berfokus pada pengelolaan jadwal dan pengingat; sistem tidak melakukan pengukuran dosis obat maupun pemantauan kondisi kesehatan pengguna.

2.3.3. Konfigurasi Perangkat Keras

Konfigurasi koneksi antar komponen mengikuti rancangan rangkaian pada laporan penelitian. RTC DS3231 menggunakan jalur I2C melalui pin D1 dan D2, sensor TCRT5000 memberikan keluaran digital ke pin D6, buzzer dikendalikan melalui pin D5, dan LED menggunakan pin D8. Catu daya komponen menggunakan jalur 3V3, Vout, dan GND sesuai kebutuhan masing-masing perangkat. Ringkasan koneksi ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Konfigurasi koneksi perangkat keras

Komponen	Koneksi dengan NodeMCU ESP8266
RTC DS3231	VCC→3V3; GND→GND; SCL→D1; SDA→D2.
Sensor TCRT5000	VCC→3V3; GND→GND; D0→D6.
Buzzer	I/O→D5; positif (+)→Vout; negatif (-)→GND.
LED	Anoda (+)→D8; katoda (-)→GND.

2.4. Pengujian Sistem

Pengujian fungsional menggunakan Black Box Testing, yaitu pengujian berdasarkan masukan dan keluaran tanpa meninjau struktur internal kode [7]. Skenario perangkat lunak mencakup pendaftaran pengguna, login,

penambahan jadwal, dan penghapusan jadwal. Skenario perangkat keras mencakup aktivasi alarm, respons sensor saat kotak dibuka, serta kondisi alarm setelah kotak ditutup kembali. Selain itu, dilakukan pengujian penjadwalan jangka panjang dan User Acceptance Test (UAT) kepada dua penguji [8], [9].

Persentase UAT dihitung dari perbandingan total skor yang diperoleh terhadap skor maksimum. Dengan lima item penilaian, dua penguji, dan skor maksimum 5 per item, skor maksimum adalah 50. Persentase UAT dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$\text{Persentase UAT} = (\text{Total Skor} / \text{Skor Maksimum}) \times 100\% \quad (1)$$

Skenario Black Box pada aplikasi mencakup pendaftaran dengan data valid, penolakan email yang telah terdaftar, login dengan kredensial benar dan salah, penambahan jadwal, serta penghapusan jadwal. Pada perangkat keras, kriteria keberhasilan ditetapkan berdasarkan kemampuan alarm aktif pada waktu yang dijadwalkan, kemampuan sensor mematikan alarm ketika kotak dibuka, dan kondisi alarm tetap tidak aktif setelah kotak ditutup kembali sampai jadwal berikutnya. Pendekatan ini digunakan untuk menilai fungsi dari sudut pandang masukan dan keluaran sistem.

Pengujian penjadwalan jangka panjang mencakup enam kondisi, yaitu pengoperasian perangkat hingga daya habis, pengulangan jadwal pada hari berikutnya tanpa penjadwalan ulang, perbandingan waktu RTC dengan waktu aktual dan aplikasi, penghapusan jadwal setelah pernah aktif, aktivasi buzzer dan LED secara bersamaan ketika waktu tercapai, serta pengujian kembali jadwal setelah perangkat dinyalakan ulang. Rangkaian skenario tersebut digunakan untuk menilai konsistensi fungsi pengingat pada kondisi operasional yang berbeda.

UAT menggunakan lima fungsi yang sama dengan fungsi utama pada aplikasi: pendaftaran, login, tambah jadwal, hapus jadwal, dan logout. Dua penguji memberikan skor menggunakan Skala Likert 1 sampai 5, dengan 1 menunjukkan penilaian sangat kurang dan 5 menunjukkan penilaian sangat baik. Karena jumlah penguji terbatas, UAT pada penelitian ini ditempatkan sebagai evaluasi penerimaan awal prototipe, bukan sebagai pengukuran yang dapat digeneralisasikan ke populasi pengguna yang lebih luas.

2.5. Prosedur Pengumpulan Data dan Lingkup Evaluasi

Data penelitian diperoleh melalui studi literatur, observasi terhadap alur sistem yang sejenis, dokumentasi proses pengembangan, serta hasil pengujian prototipe. Studi literatur digunakan untuk menetapkan landasan konsep IoT, mikrokontroler, RTC, sensor, Firebase, pengembangan Waterfall, dan Black Box Testing. Observasi digunakan untuk memahami alur interaksi pengguna dengan sistem, sedangkan data pengujian diperoleh dari pelaksanaan skenario yang telah ditetapkan pada tahap perancangan.

Unit yang dievaluasi dalam penelitian adalah satu prototipe fungsional kotak obat cerdas. Oleh sebab itu, fokus penelitian berada pada kelayakan teknis dan keberfungsian prototipe, bukan pada generalisasi statistik terhadap populasi pasien. Data numerik yang disajikan pada artikel berasal dari pengujian yang dilaporkan, yaitu lima kali uji buka/tutup sensor, enam skenario penjadwalan jangka panjang, dan UAT terhadap dua penguji. Batasan ini digunakan untuk menjaga interpretasi hasil tetap sesuai dengan ruang lingkup penelitian.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Implementasi Sistem

Hasil implementasi berupa satu unit prototipe kotak obat cerdas dan aplikasi web untuk mengelola jadwal. Perangkat keras mengintegrasikan NodeMCU ESP8266, RTC DS3231, sensor TCRT5000, buzzer, dan LED dalam satu rangkaian. Aplikasi web menyediakan halaman pendaftaran, login, dashboard jadwal, fungsi tambah jadwal, fungsi hapus jadwal, dan logout. Data jadwal yang dibuat pada aplikasi disimpan di Firebase dan digunakan perangkat sebagai acuan aktivasi alarm.

Pada sisi perangkat keras, seluruh komponen dirakit menjadi satu unit prototipe. NodeMCU menerima data jadwal dari Firebase melalui Wi-Fi, RTC menyediakan informasi waktu, dan sensor TCRT5000 memberikan masukan mengenai kondisi buka/tutup. Pada sisi perangkat lunak, aplikasi web menyediakan halaman pendaftaran, halaman login, dan dashboard untuk pengelolaan jadwal. Integrasi kedua sisi tersebut menghasilkan alur kerja dari input jadwal pengguna sampai keluaran berupa alarm suara dan cahaya pada perangkat.

Pemisahan antarmuka web dan perangkat fisik memungkinkan pengguna mengelola jadwal tanpa berinteraksi langsung dengan kode pada NodeMCU. Jadwal yang telah disimpan dapat dipakai kembali setiap

hari selama data tetap tersedia. Ketika pengguna menghapus jadwal melalui aplikasi, perubahan tersebut menjadi dasar bagi perangkat untuk tidak menjalankan alarm pada jadwal yang telah dihapus. Implementasi ini menunjukkan keterhubungan antara proses autentikasi, manajemen data jadwal, komunikasi berbasis Wi-Fi, dan kontrol aktuator.

3.2. Hasil Pengujian Perangkat Lunak

Pengujian fungsi pendaftaran, login, dan manajemen jadwal menunjukkan seluruh skenario utama berjalan sesuai hasil yang diharapkan. Hasil pengujian dirangkum pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian perangkat lunak

No.	Skenario Pengujian	Hasil
1	Pendaftaran dengan data valid dan lengkap.	Berhasil
2	Pendaftaran menggunakan email yang sudah terdaftar.	Berhasil
3	Login menggunakan email/password yang salah.	Berhasil
4	Login menggunakan email/password yang benar.	Berhasil
5	Menambah jadwal obat dan menyimpan ke Firebase.	Berhasil
6	Menghapus jadwal dari antarmuka dan Firebase.	Berhasil

Keberhasilan seluruh skenario menunjukkan bahwa alur autentikasi dan pengelolaan data jadwal pada aplikasi web telah terintegrasi dengan basis data. Fitur tambah dan hapus jadwal menjadi fungsi inti karena perubahan data pada Firebase menentukan jadwal yang digunakan oleh perangkat keras.

3.3. Hasil Pengujian Perangkat Keras

Pengujian fungsional perangkat keras meliputi aktivasi buzzer dan LED pada waktu terjadwal serta deaktivasi alarm berdasarkan kondisi sensor. Hasil pengujian utama ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian perangkat keras

No.	Fitur	Hasil yang Diharapkan	Hasil
1	Aktivasi alarm	Buzzer berbunyi dan LED berkedip pada waktu yang ditentukan.	Berhasil
2	Kotak dibuka saat alarm aktif	Buzzer dan LED langsung mati.	Berhasil
3	Kotak ditutup kembali	Alarm tetap mati hingga jadwal berikutnya.	Berhasil
4	Uji buka/tutup TCRT5000 sebanyak 5 kali	Sensor mendeteksi setiap kondisi buka/tutup.	4 berhasil; 1 gagal

Pada pengujian sensor TCRT5000, empat dari lima percobaan berhasil sehingga tingkat keberhasilan deteksi pada rangkaian pengujian tersebut adalah 80%. Satu kegagalan deteksi menunjukkan bahwa fungsi alarm secara umum telah berjalan, tetapi reliabilitas pembacaan kondisi buka/tutup masih perlu ditingkatkan, misalnya melalui penyesuaian posisi sensor, jarak objek, dan nilai ambang pembacaan.

3.4. Hasil Pengujian Penjadwalan Jangka Panjang

Pengujian jangka panjang dilakukan untuk menilai konsistensi jadwal berulang, sinkronisasi waktu, respons indikator, dan kemampuan sistem mempertahankan jadwal setelah perangkat dinyalakan ulang. Enam skenario yang dilaporkan seluruhnya berhasil seperti ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil pengujian penjadwalan jangka panjang

No.	Skenario	Hasil
1	Perangkat dijalankan nonstop hingga daya habis; target kurang lebih 24 jam.	Berhasil
2	Jadwal pada satu waktu diuji kembali pada hari berikutnya tanpa penjadwalan ulang.	Berhasil
3	Waktu RTC dibandingkan dengan waktu aktual dan waktu aplikasi.	Berhasil
4	Jadwal dihapus setelah pernah aktif, lalu diamati pada periode berikutnya.	Berhasil

5	Buzzer dan LED diamati ketika waktu RTC sama dengan jadwal.	Berhasil
6	Perangkat dinyalakan ulang sebelum waktu jadwal yang tersimpan.	Berhasil

Hasil tersebut menunjukkan bahwa jadwal yang tersimpan dapat digunakan kembali secara berulang dan tetap tersedia setelah perangkat dinyalakan ulang. Sinkronisasi antara RTC, data jadwal, dan aktuator merupakan bagian penting dalam sistem karena alarm harus dipicu pada waktu yang sama dengan data yang dikelola pengguna melalui aplikasi.

3.5. Hasil User Acceptance Test

UAT dilakukan kepada dua penguji yang mencoba lima fungsi aplikasi, yaitu pendaftaran, login, tambah jadwal, hapus jadwal, dan logout. Skor menggunakan rentang 1 sampai 5. Hasil penilaian ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil User Acceptance Test

No.	Nama Pengujian	Penguji 1	Penguji 2
1	Pendaftaran pengguna	5	4
2	Login pengguna	5	5
3	Tambah jadwal obat	4	5
4	Hapus jadwal obat	5	5
5	Logout pengguna	5	5

Total skor UAT adalah 48 dari skor maksimum 50 sehingga Persentase UAT = $(48/50) \times 100\% = 96\%$. Nilai ini menunjukkan bahwa kedua penguji memberikan penilaian sangat baik terhadap fungsi yang diuji. Namun, karena jumlah penguji hanya dua orang, hasil UAT lebih tepat dipandang sebagai evaluasi awal penerimaan prototipe dan belum mewakili populasi pengguna yang luas.

3.6. Pembahasan

Integrasi aplikasi web, Firebase, dan NodeMCU memungkinkan perubahan jadwal dari antarmuka pengguna diteruskan ke perangkat secara terpusat. Karakteristik ini sejalan dengan konsep smart medicine box berbasis IoT pada penelitian sebelumnya yang menghubungkan mekanisme pengingat dengan perangkat digital [1]-[4]. Pada prototipe ini, RTC tetap menjadi komponen penting untuk menjaga acuan waktu perangkat, sedangkan konektivitas Wi-Fi digunakan untuk sinkronisasi jadwal.

Dari sisi fungsionalitas, hasil Black Box menunjukkan seluruh fungsi perangkat lunak utama berhasil. Pengujian jangka panjang juga memperlihatkan seluruh skenario yang dirancang dapat dijalankan. Temuan yang masih memerlukan perhatian adalah sensor TCRT5000 yang gagal pada satu dari lima pengujian buka/tutup. Dengan tingkat keberhasilan 80% pada pengujian tersebut, peningkatan reliabilitas sensor menjadi prioritas sebelum sistem diterapkan pada penggunaan yang menuntut deteksi lebih konsisten. UAT 96% memberikan indikasi awal bahwa antarmuka mudah digunakan, tetapi evaluasi selanjutnya perlu melibatkan lebih banyak pengguna dan skenario penggunaan nyata.

Jika dibandingkan dengan penelitian smart medicine box sebelumnya, rancangan ini memiliki kesamaan pada penggunaan pengingat terjadwal dan integrasi komponen elektronik untuk membantu pengguna mengingat waktu minum obat [1]-[4]. Kontribusi utama pada prototipe yang dibangun terletak pada penggabungan aplikasi web, Firebase Realtime Database, pengendali ESP8266, RTC, serta deteksi kondisi kotak dalam satu alur. Pengguna tidak hanya memperoleh pengingat lokal melalui buzzer dan LED, tetapi juga memiliki mekanisme pengelolaan jadwal melalui antarmuka yang terhubung dengan penyimpanan berbasis cloud.

Keberhasilan seluruh skenario perangkat lunak memperlihatkan bahwa fungsi autentikasi dan manajemen jadwal dapat berjalan sesuai rancangan. Namun, hasil tersebut harus dibaca sebagai keberhasilan fungsional pada skenario yang diuji. Penelitian belum mengukur beban akses simultan, waktu tunda komunikasi Firebase secara kuantitatif, atau ketahanan aplikasi ketika kualitas jaringan berubah. Oleh karena itu, hasil Black Box

membuktikan fungsi utama sistem, tetapi belum cukup untuk menyimpulkan kinerja jaringan pada berbagai kondisi operasional.

Pengujian jangka panjang memberikan hasil berhasil pada seluruh enam skenario yang dirancang. Hal ini menunjukkan bahwa jadwal dapat digunakan kembali, penghapusan jadwal berpengaruh terhadap alarm berikutnya, indikator aktif pada waktu yang ditentukan, dan jadwal tetap dapat dijalankan setelah perangkat dinyalakan ulang. Meskipun demikian, laporan pengujian belum menyajikan besaran selisih waktu RTC terhadap waktu referensi dalam satuan detik atau menit. Dengan demikian, istilah ketepatan waktu pada penelitian ini didasarkan pada kesesuaian fungsional terhadap jadwal pengujian, bukan pada analisis error waktu beresolusi tinggi.

Sensor TCRT5000 merupakan bagian yang menunjukkan hasil paling bervariasi. Dari lima pengujian buka/tutup, empat berhasil dan satu gagal, sehingga tingkat keberhasilan pada rangkaian uji tersebut adalah 80%. Hasil ini memperlihatkan bahwa mekanisme deteksi dapat digunakan untuk mematikan alarm, tetapi belum memiliki konsistensi sempurna. Penyesuaian posisi sensor, jarak pantul, dan ambang pembacaan merupakan aspek yang perlu diperhatikan pada penyempurnaan prototipe. Penelitian lanjutan juga perlu menggunakan jumlah pengulangan yang lebih banyak agar reliabilitas sensor dapat dinilai dengan dasar data yang lebih kuat.

Nilai UAT sebesar 96% menunjukkan respons sangat baik dari dua penguji terhadap lima fungsi aplikasi. Skor tersebut mendukung bahwa fitur-fitur dasar dapat dipahami dan digunakan pada evaluasi awal. Akan tetapi, dua responden belum memadai untuk mewakili keragaman karakteristik pengguna, khususnya bila sistem diarahkan kepada lansia atau pasien dengan kebutuhan pengobatan jangka panjang. Evaluasi berikutnya perlu melibatkan lebih banyak pengguna, mempertimbangkan variasi usia dan kemampuan menggunakan perangkat digital, serta menilai aspek seperti kemudahan membaca tampilan, kejelasan alarm, dan kemudahan mengubah jadwal.

Hal lain yang perlu diperhatikan adalah makna deteksi pembukaan kotak. Pada sistem ini, pembukaan kotak digunakan sebagai kondisi untuk mematikan alarm, tetapi kondisi tersebut tidak secara langsung membuktikan bahwa obat benar-benar telah dikonsumsi. Karena penelitian memang membatasi sistem pada pengelolaan jadwal tanpa mendeteksi dosis atau kondisi kesehatan, hasil penelitian sebaiknya dipahami sebagai keberhasilan prototipe pengingat dan pengelola jadwal, bukan sebagai sistem verifikasi kepatuhan medis secara penuh.

3.7. Keterbatasan Penelitian dan Arah Pengembangan

Keterbatasan penelitian meliputi jumlah pengulangan sensor yang masih sedikit, jumlah penguji UAT yang hanya dua orang, dan belum adanya pengukuran kuantitatif terhadap keterlambatan sinkronisasi data maupun deviasi waktu RTC. Selain itu, pengujian berfokus pada prototipe dan skenario fungsi yang telah dirancang, sehingga belum mencakup penggunaan dalam lingkungan nyata dengan variasi jaringan, intensitas penggunaan, dan perilaku pengguna yang lebih beragam.

Pengembangan berikutnya dapat diarahkan pada peningkatan konstruksi fisik kotak agar posisi sensor lebih stabil, pengujian sensor dengan jumlah siklus yang lebih besar, dan perluasan evaluasi pengguna. Desain casing khusus, termasuk pendekatan pencetakan 3D sebagaimana disarankan dalam laporan pengembangan, juga dapat digunakan agar perangkat lebih ringkas dan kokoh. Dari sisi perangkat lunak, evaluasi lebih lanjut dapat menambahkan pencatatan riwayat kejadian alarm dan status pembukaan kotak sepanjang fitur tersebut diuji secara aktual pada penelitian lanjutan.

3.8. Implikasi dan Potensi Pengembangan Sistem

Secara praktis, prototipe menunjukkan bahwa pengelolaan jadwal melalui aplikasi web dapat dihubungkan dengan perangkat fisik tanpa memerlukan perubahan program setiap kali jadwal diubah. Model ini relevan untuk skenario penggunaan yang membutuhkan jadwal berulang karena pengguna cukup melakukan pengaturan melalui antarmuka, sedangkan perangkat menjalankan pengingat berdasarkan data yang tersimpan. Penggunaan Firebase juga menyediakan satu titik penyimpanan jadwal yang dapat diakses oleh aplikasi dan perangkat selama konektivitas tersedia.

Dari sudut pandang rekayasa sistem, hasil penelitian memperlihatkan pentingnya pemisahan fungsi antar komponen. RTC menjaga informasi waktu, Firebase mengelola data jadwal, NodeMCU mengeksekusi logika, dan sensor memberikan umpan balik dari kondisi fisik kotak. Pemisahan tersebut memudahkan identifikasi titik yang perlu ditingkatkan. Pada penelitian ini, bagian yang paling jelas membutuhkan perbaikan adalah mekanisme deteksi buka/tutup karena satu dari lima percobaan tidak terdeteksi. Dengan menambah jumlah

pengulangan, melakukan kalibrasi sensor secara lebih sistematis, dan memperbaiki penempatan sensor, pengembangan berikutnya dapat menilai apakah reliabilitas deteksi meningkat secara konsisten.

Potensi pengembangan tidak hanya berada pada perangkat keras. Aplikasi web dapat dievaluasi lebih lanjut dari sisi pengalaman pengguna, terutama apabila sasaran penggunaan mencakup lansia. Ukuran teks, kontras tampilan, kejelasan label jadwal, dan kesederhanaan proses tambah atau hapus jadwal perlu diuji melalui responden yang lebih beragam. Penelitian lanjutan juga dapat mencatat riwayat waktu alarm dan waktu pembukaan kotak untuk menyediakan data penggunaan yang lebih lengkap. Namun, setiap fitur tambahan tetap perlu dibedakan dari verifikasi konsumsi obat, karena pembukaan kotak saja tidak membuktikan bahwa obat benar-benar diminum.

4. Kesimpulan

Penelitian berhasil mengembangkan prototipe kotak obat cerdas berbasis IoT yang mengintegrasikan NodeMCU ESP8266, RTC DS3231, sensor TCRT5000, buzzer, LED, Firebase Realtime Database, dan aplikasi web untuk pengelolaan jadwal minum obat. Seluruh skenario pendaftaran, login, tambah/hapus jadwal, aktivasi alarm, serta enam skenario penjadwalan jangka panjang berhasil sesuai hasil yang diharapkan. Pengujian sensor buka/tutup berhasil pada 4 dari 5 percobaan atau 80%, sedangkan UAT oleh dua penguji memperoleh skor 96%. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem telah berfungsi sebagai prototipe pengingat jadwal yang terintegrasi dengan cloud. Pengembangan selanjutnya perlu meningkatkan reliabilitas sensor, memperluas jumlah pengguna pada evaluasi UAT, dan menguji sistem dalam periode serta kondisi penggunaan yang lebih beragam.

Daftar Pustaka

- [1] C. A. Alisya, A. Nurdin, and I. Salamah, "Rancang Bangun Smart Medicine Box Sebagai Pengingat Jadwal Minum Obat Berbasis Internet Of Things," *Jurnal Teknologi Elektroika*, vol. 5, no. 2, p. 50, 2021, doi: 10.31963/elektroika.v5i2.2771.
- [2] Y. Y. S. G. Susanto, Restyandito, and L. K. P. Saputra, "Implementation of Internet of Things (IoT) in Smart Medicine Box for the Elderly," *JOINCS (Journal of Informatics, Network, and Computer Science)*, vol. 6, no. 1, 2023, doi: 10.21070/joincs.v6i1.1614.
- [3] S. Vavhal, N. Palave, H. Panchal, and U. Darekar, "Smart Medicine Box," *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, vol. 12, no. 4, 2024, doi: 10.15680/IJIRCCE.2024.1204108.
- [4] E. Rosli and Y. Husaini, "Design and Development of Smart Medicine Box," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 341, Art. no. 012004, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/341/1/012004.
- [5] D. Saputra and V. Arinal, "Perancangan Home Automation dalam Mengontrol Lampu dan Kipas Menggunakan Blynk Berbasis NodeMCU," *Jurnal Sosial Teknologi*, vol. 1, no. 7, pp. 597–606, 2021, doi: 10.59188/jurnalsostech.v1i7.133.
- [6] A. A. Wahid, "Analisis Metode Waterfall untuk Pengembangan Sistem Informasi," *Jurnal Ilmu-ilmu Informatika dan Manajemen STMIK*, 2020.
- [7] H. Nurfauziah and I. Jamaliyah, "Perbandingan Metode Testing Antara Blackbox Dengan Whitebox Pada Sebuah Sistem Informasi," *Jurnal Visualika*, vol. 8, no. 2, pp. 105–113, 2022.
- [8] R. Mardhiyyah, S. Nuryadi, Zulkhairi, R. G. A. Habibie, and A. A. Machfud, "IoT-Enabled Medication Reminder System with Alarm Delay Function," *Fidelity: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 6, no. 3, pp. 188–197, 2024, doi: 10.52005/fidelity.v6i3.234. Referensi Indonesia ini sangat sesuai untuk pembahasan alarm/pengingat minum obat berbasis IoT
- [9] S. Faisal, J. Ivo, and T. Patel, "A review of features and characteristics of smart medication adherence products," *Canadian Pharmacists Journal*, vol. 154, no. 5, pp. 312–323, 2021, doi: 10.1177/17151635211034198. Referensi ini bagus untuk memperkuat latar belakang tentang perangkat pintar untuk meningkatkan kepatuhan penggunaan obat.