

Implementasi Finite State Machine pada Smart Sajadah Berbasis Sensor Ultrasonik HC-SR04 untuk Mitigasi Input Ganda serta Integrasi Kearifan Lokal

Surya Dwi Agus Novianto^{1*}, Bonanza Cahya Daniswara², Candra Wahyu Kenshi Aji³, Rudi Susanto⁴

¹Teknik Informatika/Fakultas Ilmu Komputer

Universitas Duta Bangsa Surakarta

^{1*}250103086@mhs.udb.ac.id

²Teknik Informatika/Fakultas Ilmu Komputer

Universitas Duta Bangsa Surakarta

²250103066@mhs.udb.ac.id

³Teknik Informatika/Fakultas Ilmu Komputer

Universitas Duta Bangsa Surakarta

³250103067@mhs.udb.ac.id

⁴Teknik Komputer/Fakultas Ilmu Komputer

Universitas Duta Bangsa Surakarta

⁴rudi_susanto@udb.ac.id

Abstrak— Hilangnya fokus saat sholat sering memicu kesalahan hitungan rakaat. Meski telah ada alat penghitung otomatis, permasalahan Input Ganda akibat jatuhnya mukena yang menutupi sensor saat sujud, serta gangguan eksternal lain seperti juntaian rambut panjang, serangga, hingga anak kecil yang melintas, masih sering diabaikan. Penelitian ini bertujuan mengembangkan inovasi Smart Sajadah untuk memitigasi Input Ganda. Metodologi mencakup tahapan analisis kebutuhan, desain konsep, pembuatan prototype, dan pengujian. Sistem dibangun menggunakan Arduino Uno, Sensor Ultrasonik HC-SR04, rangkaian Voltage Divider untuk pemantauan kapasitas baterai real-time, serta Sistem Indikator Audio Ganda yang memisahkan fungsi Passive Buzzer dan Active Buzzer. Aspek fisik mengintegrasikan kearifan lokal melalui Fabrikasi Manual casing dari Karton Yellow Board berornamen Batik Megamendung. Hasil pengujian menunjukkan bahwa implementasi FSM dengan parameter Cooldown selama 2000 milidetik dan T_Bangkit selama 1200 milidetik secara efektif mencegah Input Ganda. Kalibrasi sensor menunjukkan keandalan yang sangat tinggi dengan rata-rata persentase error pembacaan jarak sebesar 6,26 persen. Disimpulkan bahwa perangkat ini terbukti mampu mengotomatisasi penghitungan rakaat secara akurat dan reliabel tanpa mengorbankan nilai artistik dan kultural.

Kata kunci— Smart Sajadah, Sensor Ultrasonik HC-SR04, Finite State Machine, Input Ganda, Kearifan Lokal

Abstract— Loss of focus during prayer often leads to errors in counting rak'ahs. Although automatic counting devices exist, the problem of Double Counting caused by a falling mukena covering the sensor during prostration, as well as other external disturbances such as long hanging hair, insects, or passing children, is often overlooked. This research aims to develop a Smart Sajadah innovation to mitigate Double Counting. The research methodology includes the stages of needs analysis, concept design, prototype development, and testing. The system is built using an Arduino Uno, an HC-SR04 Ultrasonic Sensor, a Voltage Divider circuit for real-time battery capacity monitoring, and a Dual Audio Indicator System separating the Passive Buzzer and Active Buzzer functions. The physical aspect integrates local wisdom through the manual fabrication of a casing made of Yellow Board cardboard adorned with the Batik Megamendung motif. Test results show that the FSM implementation with a Cooldown parameter of 2000 milliseconds and a T_Bangkit parameter of 1200 milliseconds effectively prevents Double Counting. Furthermore, sensor calibration demonstrates a very high reliability level with an average distance reading error percentage of 6.26 percent. In conclusion, this device is proven capable of automating rak'ah counting accurately and reliably without compromising artistic and cultural values.

Keywords— Smart Sajadah, HC-SR04 Ultrasonic Sensor, Finite State Machine, Double Counting, Local Wisdom

I. PENDAHULUAN

Sholat merupakan ibadah fundamental dalam Islam yang menuntut kekhusyukan dan ketepatan dalam pelaksanaannya. Namun, hilangnya fokus atau khusyuk saat sholat masih menjadi permasalahan yang signifikan di masyarakat. Izzah [1] menjelaskan bahwa praktik sholat khusyuk memiliki korelasi positif dan signifikan terhadap kemampuan konsentrasi seseorang. Kendati

demikian, gangguan kognitif dan faktor eksternal kerap membuat jamaah lupa akan jumlah rakaat yang telah dilakukan. Untuk mengatasi hal ini, berbagai inovasi alat penghitung rakaat otomatis telah dikembangkan, seperti yang memanfaatkan sensor piezoelektrik [2], sistem sajadah pintar terintegrasi *Internet of Things* [3], hingga penggunaan sensor ultrasonik [4]. Selain itu, sistem penghitung rakaat dan penunjuk arah kiblat juga telah diadaptasi khusus untuk membantu penyandang tunanetra [5].

Meskipun berbagai teknologi penghitung rakaat telah ada, terdapat celah teknis yang sering diabaikan, yakni permasalahan Input Ganda akibat jatuhnya mukena yang menutupi sensor saat sujud, serta gangguan eksternal lain seperti juntaian rambut panjang, serangga, hingga anak kecil yang melintas. Fenomena ini menyebabkan sensor mendeteksi objek secara keliru. Sebagai contoh, penggunaan sensor ultrasonik HC-SR04 yang akurasi sangat bergantung pada geometri pemantulan, sudut datang, dan karakteristik material [6] dapat dengan mudah terkecoh oleh material mukena yang terjatuh menutupi area baca sensor, sehingga sistem keliru mengira pengguna sedang dalam posisi sujud. Permasalahan ini diperparah jika sistem tidak memiliki logika kontrol sekuensial yang ketat, seperti halnya sistem otomasi pintu yang hanya memicu aksi berdasarkan ambang batas jarak tunggal tanpa validasi *state* lanjutan [7]. Oleh karena itu, diperlukan sebuah sistem logika yang terstruktur dan deterministik, seperti *Finite State Machine* (FSM), yang terbukti efektif dalam mengelola transisi *state* pada sistem kontrol berbasis Arduino [8].

Sebagai solusi atas permasalahan tersebut, penelitian ini memperkenalkan inovasi Smart Sajadah berbasis Arduino Uno dan sensor ultrasonik HC-SR04. Perangkat ini menerapkan logika sekuensial yang ketat menggunakan FSM untuk memvalidasi setiap gerakan sholat. Dengan implementasi FSM, perangkat tidak hanya sekadar mendeteksi jarak objek, melainkan memastikan bahwa deteksi tersebut mengikuti urutan *state* gerakan sholat yang sah. Pendekatan ini secara efektif mengeliminasi masalah Input Ganda akibat jatuhnya mukena yang menutupi sensor saat sujud, karena jatuhnya kain tidak akan memenuhi transisi *state* yang valid dalam alur sholat.

Secara teknis, perangkat Smart Sajadah ini mengusung dua kebaruan utama. Pertama, perangkat ini dilengkapi dengan rangkaian *Voltage Divider* khusus yang berfungsi memantau kapasitas baterai 9V secara *real-time* tanpa memerlukan modul eksternal tambahan. Rangkaian ini secara proaktif mencegah terjadinya sistem *brownout* yang berpotensi menyebabkan kegagalan perhitungan rakaat saat tegangan suplai menurun. Kedua, perangkat ini mengimplementasikan Sistem

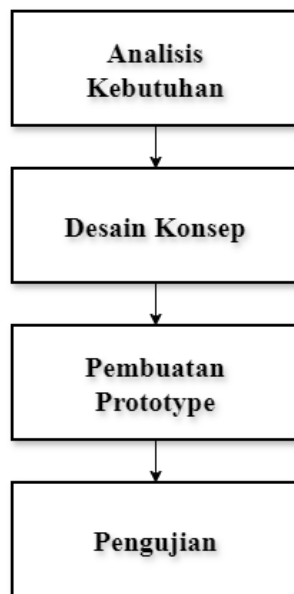
Indikator Audio Ganda yang secara tegas memisahkan fungsi *Passive Buzzer* dan *Active Buzzer*. *Passive Buzzer* difungsikan khusus untuk umpan balik akustik antarmuka pengguna, seperti notifikasi penghitung rakaat dan peringatan lembut terkait deteksi awal Input Ganda. Sementara itu, *Active Buzzer* diisolasi secara ketat dan hanya diaktifkan untuk alarm perangkat keras yang kritis, khususnya peringatan baterai lemah.

Selain aspek rekayasa teknis, inovasi ini juga mengintegrasikan nilai kearifan lokal secara fisik. Casing perangkat Smart Sajadah tidak dicetak menggunakan teknologi 3D printing, melainkan dirakit melalui Fabrikasi Manual menggunakan Karton Yellow Board. Casing tersebut dibentuk menyerupai Awan Batik Megamendung dan dilapisi dengan stiker bertema untuk menonjolkan identitas visual lokal. Integrasi motif Megamendung ini bukan sekadar elemen estetika, melainkan representasi pelestarian budaya yang relevan diterapkan pada produk teknologi modern, sejalan dengan pemanfaatan motif tersebut sebagai identitas visual produk lokal [9] dan inspirasi kearifan lokal dalam desain produk fungsional [10]. Pendekatan ini juga menjadi solusi efisiensi biaya fabrikasi casing tanpa mengorbankan nilai artistik dan kultural.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dimulai dengan tahap analisis kebutuhan untuk mengidentifikasi kebutuhan fungsional dan teknis perangkat. Tahap selanjutnya adalah desain konsep, yang meliputi perancangan diagram blok perangkat keras dan algoritma perangkat lunak. Setelah desain divalidasi melalui simulasi, tahap pembuatan prototype dilakukan dengan merakit komponen fisik pada breadboard serta pengembangan kode secara iteratif untuk menyesuaikan logika pembacaan sensor dengan durasi empiris gerakan sholat. Tahap terakhir meliputi pengujian fungsional sistem, kalibrasi sensor jarak, dan integrasi casing fisik yang merepresentasikan kearifan lokal. Tahapan penelitian divisualisasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok tahapan penelitian pada prototype Smart Sajadah.

B. Analisis

Permasalahan inti yang dianalisis dalam penelitian ini adalah terjadinya fenomena Input Ganda pada sistem deteksi gerakan sujud. Secara umum, Input Ganda dipicu oleh beberapa faktor utama, yaitu jatuhnya kain mukena yang menutupi permukaan sensor pada saat pengguna melakukan gerakan sujud, gangguan eksternal lain seperti juntaian rambut panjang, serangga kecil, maupun anak-anak yang tanpa sengaja melintas di area jangkauan sensor, serta fluktuasi tegangan pada baterai yang menyebabkan pembacaan analog menjadi tidak stabil sehingga memicu terjadinya deteksi palsu (*false detection*). Berdasarkan hasil kajian literatur yang telah dilakukan, sensor ultrasonik HC-SR04 diketahui memiliki kelemahan yang cukup signifikan ketika berinteraksi dengan material bertekstur lunak atau material yang bersifat menyerap gelombang akustik, seperti kain, di mana pantulan gelombang ultrasonik akan mengalami reduksi dan hamburan (*scattering*) sehingga menimbulkan noise pada sinyal atau menghasilkan pembacaan jarak yang tidak akurat [6]. Dari hasil analisis tersebut, dapat disimpulkan bahwa pendekatan deteksi yang hanya mengandalkan satu ambang batas jarak tunggal (*single distance threshold*) tidak lagi memadai untuk menjamin akurasi sistem. Oleh karena itu, diperlukan adanya mekanisme validasi tambahan berupa validasi durasi

waktu serta validasi urutan *state* (*state sequence*) yang lebih ketat, guna memastikan bahwa hanya gerakan sujud yang benar-benar sah dan sempurna secara temporal maupun struktural yang akan tercatat sebagai satu rakaat.

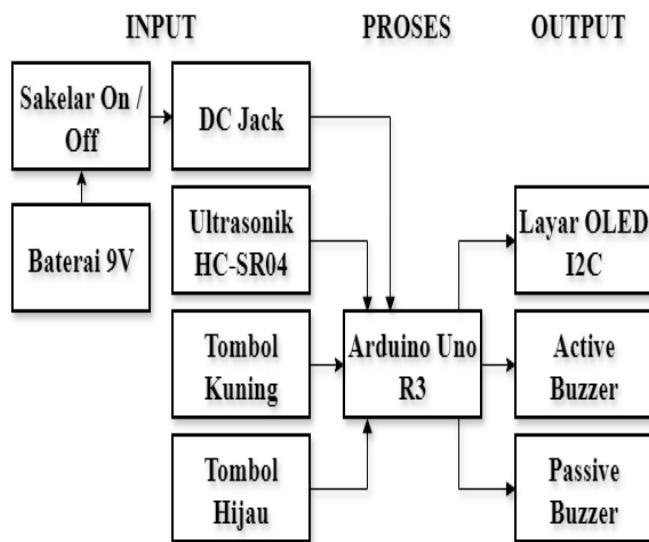
C. Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras sistem ini berpusat pada mikrokontroler Arduino Uno R3 *clone* berbasis chip ATmega328p sebagai unit pemrosesan utama. Sistem catu daya memanfaatkan baterai 9V *rechargeable* yang terhubung melalui DC jack dan saklar 2 kaki sebagai pemutus arus utama. Tegangan masukan 9V tersebut melewati dioda proteksi internal Arduino, sehingga mengalami penurunan menjadi tegangan kerja sebesar 8.0V-8.4V pada pin Vin. Untuk pemantauan kondisi baterai secara *real-time*, digunakan rangkaian pembagi tegangan yang terdiri dari dua resistor 10K Ohm, menghubungkan pin Vin ke pin analog A0. Pembacaan ini memanfaatkan fitur ADC 10-bit milik Arduino untuk memetakan nilai tegangan analog ke dalam rentang nilai digital 0-1023, sehingga persentase kapasitas baterai dapat dihitung secara akurat tanpa membebani kinerja mikrokontroler secara signifikan.

Arsitektur masukan dan keluaran perangkat dikonfigurasi secara presisi untuk mendukung fungsi utama sistem. Sebagai sensor jarak utama, digunakan modul ultrasonik HC-SR04 4 pin yang berfungsi mendeteksi gerakan prostrasi pengguna, dengan pin Trigger dihubungkan ke pin digital 4 dan pin Echo ke pin digital 5. Penempatan sensor HC-SR04 pada rakitan perangkat mempertimbangkan karakteristik sudut pengukuran alami sebesar 15 derajat, sehingga posisi sensor diatur sedemikian rupa agar fokus menyorot area kepala pengguna saat sujud, tanpa mengambil cakupan (*span*) deteksi yang terlalu lebar yang berpotensi memicu kondisi Input Ganda. Interaksi pengguna diakomodasi melalui dua buah *push button no-lock* 2 kaki yang masing-masing berfungsi sebagai navigasi dan pengubah mode, dipetakan ke pin digital 2 dan pin digital 3.

Sistem keluaran audio dirancang dengan konsep Sistem Indikator Audio Ganda guna memastikan pemisahan fungsi secara ketat antara kedua jenis notifikasi. *Active buzzer* yang terhubung pada pin 7 diisolasi secara khusus untuk membunyikan alarm kritis peringatan kondisi baterai lemah, sementara

Passive buzzer pada pin 6 didedikasikan sepenuhnya untuk memberikan umpan balik akustik pada antarmuka pengguna. Untuk kebutuhan visualisasi data, sistem ini menggunakan layar OLED berukuran 0.96 inch dengan protokol komunikasi I2C. Perakitan fisik seluruh komponen diamankan menggunakan mur dan baut nylon berukuran M2 dan M3, serta diperkuat dengan *hot glue gun* pada titik-titik tertentu. Gambar 2 merupakan diagram blok perancangan perangkat keras sistem Smart Sajadah yang menggambarkan alur input, proses, dan output perangkat secara menyeluruh.



Gambar 2. Diagram blok perancangan perangkat keras sistem Smart Sajadah.

D. Perancangan Perangkat Lunak

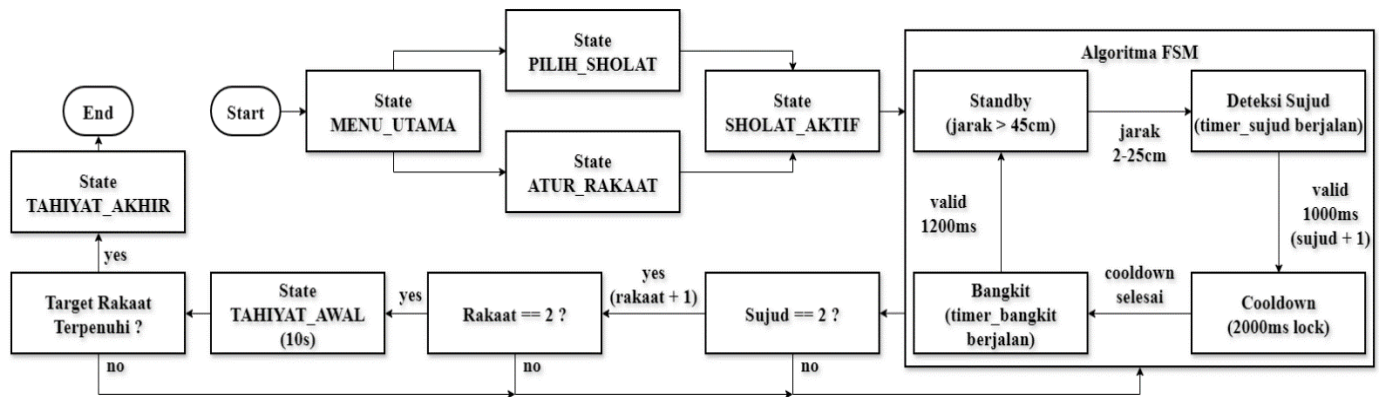
Perancangan perangkat lunak sistem menerapkan arsitektur *non-blocking multitasking* berbasis fungsi `millis()` guna menjaga responsivitas *real-time* tanpa menghentikan eksekusi program utama selama proses pengukuran berlangsung. Algoritma *Finite State Machine* (FSM) yang diterapkan mengatur dua lapis logika secara hierarkis, yaitu makro-*state* pada level antarmuka pengguna dan mikro-*state* pada level deteksi gerakan sujud yang bersarang di dalam salah satu makro-*state* tersebut.

Pada lapisan makro-*state*, sistem terdiri atas *State* MENU_UTAMA sebagai titik awal navigasi yang bercabang menuju *State* PILIH_SHOLAT dan *State* ATUR_RAKAAT, kemudian berlanjut ke *State* SHOLAT_AKTIF sebagai *state* inti tempat proses

penghitungan rakaat berlangsung. Selanjutnya sistem melalui *State* TAHIYAT_AWAL dengan durasi tunggu 10 detik apabila jumlah rakaat telah mencapai dua, dilanjutkan pemeriksaan Target Rakaat Terpenuhi; apabila terpenuhi maka sistem berpindah ke *State* TAHIYAT_AKHIR sebelum berakhir di *state End*, dan apabila belum terpenuhi maka sistem kembali ke *State* SHOLAT_AKTIF untuk melanjutkan siklus rakaat berikutnya. Transisi antar makro-*state* ini dipicu oleh input tombol Kuning dan Hijau, dengan logika *debouncing* 20 milidetik pada level tombol untuk mencegah pembacaan ganda akibat noise mekanis kontak saklar.

Pada lapisan mikro-*state* yang bersarang di dalam *State* SHOLAT_AKTIF, algoritma FSM mengatur empat kondisi, yaitu *Standby*, Deteksi Sujud, *Cooldown*, dan Bangkit, berdasarkan pembacaan sensor ultrasonik HC-SR04. Sistem berada pada *state Standby* ketika jarak terbaca lebih dari 45 cm. Ketika jarak terbaca pada rentang 2–25 cm, sistem berpindah ke *state* Deteksi Sujud dan timer_sujud mulai berjalan; posisi sujud dinyatakan valid apabila kondisi tersebut bertahan selama 1000 milidetik, yang kemudian menambah nilai variabel sujud sebanyak satu.

Validasi sujud membawa sistem masuk ke *state Cooldown* selama 2000 milidetik sebagai *dead time* yang berfungsi mencegah input ganda akibat jatuhnya mukna yang menutupi sensor saat posisi sujud, maupun gangguan eksternal lain seperti juntaian rambut panjang, serangga, atau anak kecil yang melintas di depan sensor. Setelah durasi *cooldown* selesai, sistem berpindah ke *state* Bangkit dan menunggu pembacaan jarak kembali melebihi 45 cm secara stabil selama 1200 milidetik sebagai validasi gerakan berdiri. Apabila variabel sujud telah mencapai nilai dua, sistem memeriksa kondisi Rakaat == 2; apabila belum, siklus mikro-*state* kembali ke *Standby* untuk mendeteksi sujud berikutnya dalam rakaat yang sama, dan apabila rakaat telah mencapai dua maka sistem kembali ke lapisan makro-*state* menuju *State* TAHIYAT_AWAL. Parameter durasi *Cooldown* dan validasi Bangkit ditetapkan berdasarkan estimasi durasi tumaninah dalam gerakan sholat. Alur logika FSM makro dan mikro divisualisasikan pada Gambar 3.

Gambar 3. Flowchart algoritma *Finite State Machine* (FSM) sistem Smart Sajadah

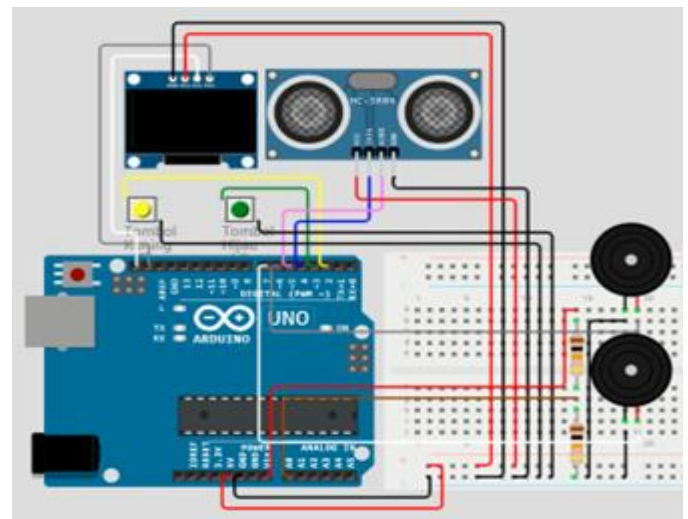
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini sejalan dengan penelitian terdahulu mengenai penggunaan sensor ultrasonik [4] dan piezoelektrik [2] untuk mendeteksi gerakan sujud secara otomatis. Sistem juga sepakat dengan integrasi fitur monitoring ibadah terhubung seperti yang ditawarkan oleh penelitian sebelumnya [3]. Namun, penelitian ini memberikan pembaruan signifikan dibandingkan sistem yang hanya mengandalkan deteksi jarak tunggal [7] atau sistem IoT [3] yang belum mengimplementasikan validasi alur gerakan ketat. Dengan menerapkan logika FSM [8], penelitian ini berhasil mengatasi celah teknis berupa Input Ganda yang belum ditangani secara mendalam pada penelitian sebelumnya. Selain itu, integrasi elemen kearifan lokal [9], [10] memberikan nilai tambah yang tidak hanya berfokus pada fungsionalitas teknis semata.

A. Implementasi

Implementasi sistem diawali dengan tahap simulasi pengkabelan dan verifikasi logika *Finite State Machine* (FSM) melalui platform Wokwi, dengan tujuan mencegah terjadinya kesalahan logika program maupun risiko hubungan singkat (*short circuit*) sebelum perakitan perangkat keras dilakukan secara fisik. Rangkaian simulasi ini melibatkan beberapa modul utama, yaitu sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai pendeteksi jarak, layar OLED SSD1306 berukuran 0,96 inci yang terhubung melalui protokol I2C sebagai antarmuka tampilan, dua buah *push button* sebagai input pengguna, serta buzzer pasif dan aktif yang berfungsi sebagai indikator suara. Seluruh komponen tersebut diintegrasikan dengan

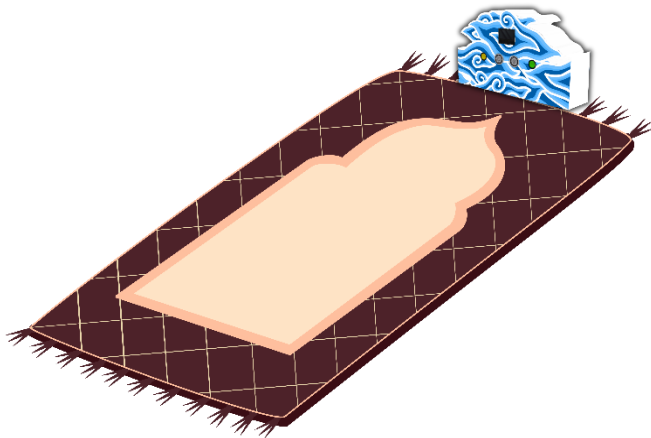
mikrokontroler Arduino Uno R3 dan disusun pada full breadboard menggunakan konfigurasi *voltage divider* dua buah resistor 10k Ω untuk menstabilkan pembacaan sinyal digital. Kode sumber lengkap beserta diagram sistem (file *nyobo.ino* dan *diagram.json*) dapat diakses secara terbuka pada repositori <https://github.com/srydw02>. Visualisasi hasil simulasi ini ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Simulasi pengkabelan dan logika sistem menggunakan platform Wokwi.

Setelah tahapan validasi simulasi sistem elektronik dinyatakan berhasil tanpa adanya kendala fungsional, proses penelitian dilanjutkan pada tahap perancangan dimensi fisik perangkat secara komprehensif. Perancangan arsitektur luar ini diawali dengan pembuatan desain visualisasi 3D. Langkah pemodelan digital ini sangat krusial untuk memetakan tata letak komponen perangkat keras secara presisi, menghitung proporsi ergonomis, serta

menentukan ukuran dan bentuk lekukan casing secara akurat sebelum memasuki tahapan eksekusi pemotongan material fisik. Pendekatan ini secara efektif meminimalisasi risiko kesalahan fabrikasi dan pemborosan bahan baku. Hasil akhir dari pemodelan desain visualisasi 3D yang memuat detail tata letak dan dimensi casing Smart Sajadah tersebut ditunjukkan secara jelas pada Gambar 5.



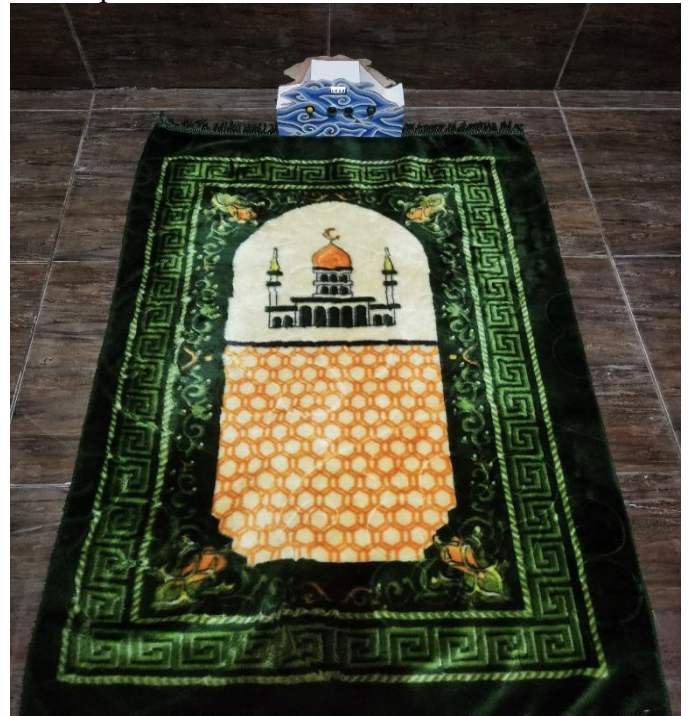
Gambar 5. Desain visualisasi 3D dari dimensi casing Smart Sajadah.

Pada tahap realisasi fisik, perangkat ini mengusung pendekatan kearifan lokal yang khas sekaligus efisiensi biaya tinggi. Casing perangkat tidak dibuat menggunakan teknologi 3D printing, melainkan melalui Fabrikasi Manual menggunakan material Karton Yellow Board, yang dipilih karena ketersediaannya, kemudahan pengolahannya, serta biaya produksi yang jauh lebih rendah dibandingkan metode berbasis mesin.

Bentuk casing dirancang menyerupai ornamen Awan Batik Megamendung, salah satu motif batik khas yang sarat nilai filosofis dan budaya lokal, kemudian dilapisi Stiker Megamendung Batik untuk memperkuat identitas visual dan estetika perangkat. Proses perakitan dilakukan secara manual dan dirangkai kokoh menggunakan *hot glue gun* untuk menjamin stabilitas struktur dan ketahanan fisik perangkat.

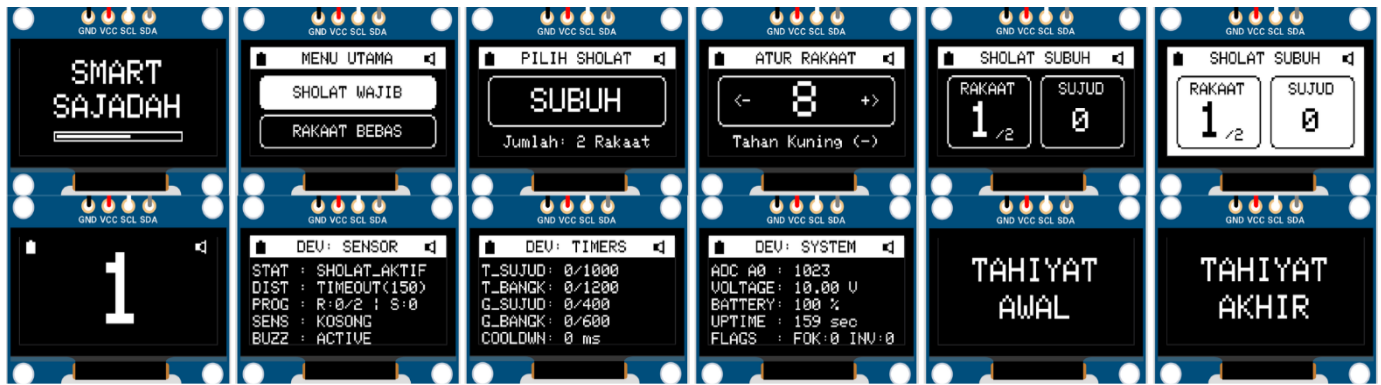
Pendekatan Fabrikasi Manual ini merepresentasikan integrasi nyata antara nilai kearifan lokal dan efisiensi biaya tinggi dalam desain teknologi, tanpa mengorbankan fungsionalitas maupun estetika, sekaligus menjadikan casing

sebagai media pelestarian budaya melalui inovasi teknologi tepat guna. Perangkat akhir Smart Sajadah dengan casing bermotif Batik Megamendung dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Perangkat akhir Smart Sajadah dengan integrasi casing bermotif Batik Megamendung.

Interaksi pengguna dengan sistem direpresentasikan melalui layar OLED terintegrasi sebagai pusat visualisasi informasi dan transisi *state* secara *real-time*. Antarmuka pengguna dirancang terstruktur, mencakup fase inisialisasi melalui *Splash Screen* yang dilanjutkan dengan navigasi Menu Utama untuk kustomisasi ibadah, seperti Pilih Sholat Wajib dan Atur Rakaat. Pada fase operasional, layar beralih ke mode Sholat Aktif dengan dukungan visual adaptif (*Focus Mode* dan *Invert Display*) yang menampilkan progres hitungan, indikator Tahiyat Awal/Akhir, serta kontrol Mute/Unmute. Perangkat ini juga menyediakan antarmuka diagnostik *Developer Mode* (Sensor, Timers, System) guna memfasilitasi pemantauan variabel FSM secara langsung, diiringi fitur *Real-Time Battery Monitor* untuk memastikan keandalan daya terpantau presisi. Berbagai *state* sistem dan visualisasi antarmuka pengguna pada layar OLED ini ditampilkan secara komprehensif melalui kolase pada Gambar 7, yang merangkum seluruh fungsi utama dari sistem.

Gambar 7. Kolase antarmuka pengguna pada layar OLED (Grid 3x4) menampilkan berbagai *state* sistem

B. Hasil Pengujian

Implementasi algoritma *Finite State Machine* (FSM) pada sistem terbukti mampu menyelesaikan permasalahan inti penelitian secara komprehensif, yaitu mengotomatisasi penghitungan rakaat sholat secara akurat dan tanpa kesalahan deteksi. Permasalahan utama dalam sistem penghitung otomatis berbasis sensor jarak adalah tingginya risiko Input Ganda akibat pergerakan non-ibadah. FSM menyelesaikan permasalahan ini melalui pembenahan logika transisi *state* yang sangat ketat. Mekanisme krusial dalam FSM tersebut adalah penerapan parameter DURASI_COOLDOWN dengan nilai 2000 milidetik. Parameter ini menciptakan *Dead Time* selama 2 detik secara langsung segera setelah sebuah gerakan sujud dinyatakan sah dan terdeteksi. Selama rentang waktu 2000 milidetik ini, sistem akan mengabaikan segala bentuk pembacaan jarak dari sensor yang masuk ke dalam zona deteksi sujud. Mekanisme ini secara menyeluruh mengeliminasi pembacaan keliru yang diakibatkan oleh jatuhnya kain mukena menutupi sensor pasca gerakan sujud. Sistem juga mengimplementasikan validasi pemulihan yang ketat melalui parameter T_Bangkit dengan nilai 1200 milidetik. Fungsi parameter ini adalah sebagai mekanisme validasi bahwa pengguna benar-benar telah bangkit dari posisi sujud menuju posisi berdiri. Sensor harus mendeteksi jarak yang melebihi zona sujud secara terus-menerus selama 1200 milidetik sebelum *state* mikro sistem berubah kembali ke kondisi *Standby*. Hal ini mencegah Input Ganda jika pengguna sempat mengubah posisi secara setengah bangkit.

Pengujian logika FSM pada Tabel 1 dilakukan dengan melibatkan relawan perempuan yang

mengenakan mukena standar. Pendekatan ini diambil untuk mereplikasi fenomena Input Ganda secara realistis, di mana kain mukena jatuh dan menutupi area sensor saat relawan sedang berada dalam posisi duduk di antara dua gerakan sujud. Skenario ini memastikan bahwa sistem mampu mempertahankan *state Cooldown* tanpa salah mendeteksi penurunan kain sebagai inisiasi sujud baru yang memicu Input Ganda.

Tabel 1. Pengujian Logika *Finite State Machine* (FSM)

Skenario	Trigger	Respons Sistem	Status
Sujud Normal	Jarak > 2 cm dan ≤ 25 cm dipertahankan konsisten selama 1000 ms	<i>Standby</i> -> Deteksi -> <i>Cooldown</i> (2000 ms) -> Bangkit -> <i>Standby</i>	Berhasil
Input Ganda	Jarak > 2 cm dan ≤ 25 cm terdeteksi saat timer <i>Cooldown</i> (< 2000 ms) masih berjalan	Abaikan input, tahan di <i>Cooldown</i> hingga 2000 ms selesai	Berhasil
Sujud Batal	Jarak melampaui 25 cm sebelum ambang validasi 1000 ms terpenuhi	Batalkan proses, langsung reset ke <i>Standby</i> tanpa hitungan	Berhasil

Hasil pengujian kalibrasi sensor menunjukkan tingkat keandalan yang sangat tinggi. Sensor HC-SR04 yang digunakan dalam sistem ini tercatat memiliki rata-rata tingkat kesalahan pembacaan jarak yang cukup memadai untuk skala prototipe, yaitu sebesar 6,26 persen. Rumus perhitungan *error* yang digunakan adalah:

$$MAPE = 1/n * \sum \frac{|A - F|}{A} * 100\% \quad (1)$$

Data hasil pengukuran sensor HC-SR04 beserta persentase *error*-nya terangkum dalam Tabel 2.

Tabel 2. Pengukuran Aktual Sensor HC-SR04

Jarak Aktual (cm)	Jarak Terbaca (cm)	Persentase Error (%)
5	4,30	14,00
10	9,20	8,00
15	14,70	2,00
20	19,50	2,50
25	23,80	4,80

Berdasarkan data pengujian presisi yang disajikan pada Tabel 2, dapat diamati bahwa rata-rata persentase *error* dari sensor HC-SR04 mencapai angka 6,26 persen. Tingkat akurasi ini sangat memadai untuk mendeteksi perbedaan jarak antara posisi berdiri, duduk, dan sujud pada alat hitung gerakan sholat. Data ini secara langsung menopang argumen bahwa sensor HC-SR04 memiliki tingkat reliabilitas yang tinggi dengan deviasi yang minim, sehingga hasil pembacaan tidak akan memicu perubahan *state* pada FSM secara prematur atau keliru. Tingkat akurasi yang reliabel ini membuktikan bahwa sistem secara keseluruhan tidak hanya memiliki keandalan logika algoritma, tetapi juga didukung oleh presisi perangkat keras sensor dalam mendeteksi pergerakan ibadah.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa implementasi algoritma *Finite State Machine* (FSM) pada sistem Smart Sajadah terbukti secara komprehensif mampu menyelesaikan permasalahan Input Ganda yang dipicu oleh fenomena jatuhnya mukena yang menutupi sensor saat sujud. Penerapan parameter *Cooldown* selama 2000 milidetik dan validasi *T_Bangkit* selama 1200 milidetik menciptakan logika transisi *state* yang sangat ketat, sehingga sistem dapat mengabaikan pembacaan jarak keliru secara efektif. Keberhasilan logika perangkat lunak ini didukung penuh oleh arsitektur perangkat keras yang *robust*. Integrasi rangkaian *Voltage Divider* memastikan pemantauan kapasitas baterai secara *real-time* yang secara proaktif mencegah terjadinya sistem *brownout*. Selain itu, implementasi Sistem Indikator Audio Ganda berhasil mengisolasi fungsi antarmuka pengguna pada *Passive Buzzer* dan alarm kritis pada *Active Buzzer*. Pada aspek desain fisik, pendekatan Fabrikasi Manual casing menggunakan Karton Yellow Board dengan ornamen Batik Megamendung

tidak hanya menjadi solusi efisiensi biaya fabrikasi, tetapi juga merepresentasikan integrasi kearifan lokal yang kuat. Dengan tingkat akurasi sensor yang mencapai 93,74 persen atau rata-rata *error* sebesar 6,26 persen, perangkat ini sukses dikembangkan menjadi instrumen penghitung rakaat yang sangat akurat, reliabel, secara kultural bernilai, serta siap digunakan oleh masyarakat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Duta Bangsa Surakarta atas dukungan akademik dan fasilitas yang sangat membantu penyelesaian perancangan perangkat keras, implementasi perangkat lunak, hingga penyusunan publikasi ilmiah ini.

REFERENSI

- [1] L. Izzah, "Pengaruh Praktik Sholat Khushuk Dalam Kegiatan Pembinaan Psikospiritual Terhadap Konsentrasi Belajar Mahasiswa," *Al-Hikmah: Jurnal Agama dan Ilmu Pengetahuan*, vol. 21, no. 1, pp. 1-13, Apr. 2024.
- [2] D. Nataliana, D. Fauziah, and M. R. Dianti, "Development of Prayer Rakaat Counter Using Piezoelectric Sensor," *REKA ELKOMIKA: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, vol. 3, no. 2, pp. 134-141, May 2022.
- [3] L. K. Wardhani, N. Anggraini, N. Hakiem, M. T. Rosyadi, and A. Rois, "IoT-based Integrated System Portable Prayer Mat and Daily Worship Monitoring System," *Matrik: Jurnal Manajemen, Teknik Informatika, dan Rekayasa Komputer*, vol. 22, no. 3, pp. 639-650, Jul. 2023.
- [4] N. Sujana, N. Azizah, and K. Ajibroto, "Implementasi Sensor Ultrasonik untuk Menghitung Rakaat Shalat Berbasis Arduino Uno," *Formosa Journal of Multidisciplinary Research (FJMR)*, vol. 1, no. 2, pp. 187-196, Jun. 2022.
- [5] Hidayatulloh, A. K. Nugroho, and P. Muliandhi, "Rancang Bangun Alat Bantu Menentukan Arah Kiblat Sholat dan Pengingat Jumlah Rakaat untuk Penyandang Tunanetra Berbasis Arduino dengan Sensor Kompas HMC5883L," *Techne: Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, vol. 21, no. 2, pp. 243-252, Oct. 2022.
- [6] A. Haq, R. A. Firdaus, M. Khoiro, E. Rahmawati, and N. Winarno, "Accuracy of HC-SR04 Ultrasonic Servo in Servo-Scanned 2D Ranging," *Prisma Sains: Jurnal Pengkajian Ilmu dan Pembelajaran Matematika dan IPA IKIP Mataram*, vol. 14, no. 3, pp. 1417-1431, Jul. 2026.
- [7] D. M. N. Pakpahan, H. Purwadi, and A. Wajiansyah, "Arduino-Based Automatic Door Opener Design Using Ultrasonic Sensors," *Journal of Engineering, Electrical and Informatics*, vol. 6, no. 1, pp. 18-24, Feb. 2026.
- [8] D. Erivianto and A. Dani, "Implementasi Teori Finite State Machine Pada Sistem Kontrol Robot Lengan Berbasis Arduino dan Python," *Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)*, vol. 4, no. 4, pp. 5185-5195, 2025.
- [9] J. Paramitha and E. Chandra, "Pemanfaatan Simbol dan Elemen Tradisional Mega Mendung Sebagai Identitas Visual Produk Lokal Indonesia," vol. 9, no. 2, pp. 171-186, Oct. 2024.
- [10] R. Soeriaatmadja, E. T. Leksono, and H. Rosadi, "Motif Batik Mega Mendung Sebagai Kearifan Lokal Dalam Inspirasi Rancang Bahan Fabric Pada Desain Kursi Mobil Microcar," *Dimensi*, vol. 19, no. 1, pp. 109-118, Sep. 2022.