

RANCANG BANGUN DAN ANALISIS KINERJA SISTEM PENGENDALI LAMPU BERBASIS SENSOR SUARA

Samuel Pedrosa Situmorang¹⁾, Ansar Rizal²⁾, Rihartanto³⁾

^{1,2)} Jurusan Teknologi Informasi, Politeknik Negeri Samarinda

Jl. Cipto Mangun Kusumo, Gunung Panjang, Kec. Samarinda Seberang, Kota Samarinda,
Kalimantan Timur 75131

E-mail: ¹⁾situmorangsamuelpedrosa@gmail.com, ²⁾ansarsdeuy@gmail.com,
³⁾rihart.polnes@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini memaparkan proses perancangan, implementasi, dan pengujian sistem kendali lampu otomatis yang bekerja berdasarkan deteksi sinyal suara, khususnya tepukan tangan, menggunakan mikrokontroler Arduino Uno. Permasalahan yang diangkat adalah keterbatasan sistem pengendali lampu berbasis suara yang ada, yakni belum adanya analisis sistematis mengenai pengaruh variasi jarak deteksi terhadap akurasi dan waktu respons sistem pada kondisi lingkungan yang terkendali. Penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut dengan melakukan pengujian pada lima titik jarak (10 cm hingga 100 cm) secara kuantitatif. Metode yang digunakan adalah engineering research berbasis eksperimen dengan pendekatan prototyping. Pengujian dilakukan sebanyak sepuluh kali pada setiap titik jarak. Parameter yang diukur meliputi tingkat akurasi deteksi suara dan waktu respons sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa akurasi deteksi mencapai 100% pada jarak 10 cm dan menurun menjadi 80% pada jarak 100 cm, sementara waktu respons sistem sangat stabil, berkisar antara 9,8 hingga 10,2 ms dengan rata-rata 10 ms di seluruh variasi jarak. Temuan ini mengindikasikan bahwa sistem bekerja secara optimal pada jarak di bawah 30 cm, dan pengembangan lebih lanjut diperlukan untuk memperluas jangkauan deteksi.

Kata kunci : *Sensor Suara, Arduino Uno, Waktu Respon, Akurasi, Kendali Lampu Otomatis*

ABSTRACT

This study presents the design, implementation, and performance testing of an automatic lamp control system based on sound detection, specifically hand-clapping signals, using an Arduino Uno microcontroller. The problem addressed is the lack of systematic analysis regarding the effect of varying detection distances on system accuracy and response time under controlled environmental conditions. This study fills that gap by conducting quantitative tests at five distance points ranging from 10 cm to 100 cm. The method employed is laboratory-based experimental engineering research using a prototyping approach. Tests were conducted ten times at each distance point, measuring sound detection accuracy and system response time. Results showed that detection accuracy reached 100% at 10 cm and decreased to 80% at 100 cm, while system response time remained highly stable, ranging from 9.8 to 10.2 ms with a mean of 10 ms across all distance variations. These findings indicate that the system performs optimally at distances below 30 cm, and further development is required to extend the detection range.

Keywords: *Sound Sensor, Arduino Uno, Response Time, Accuracy, Automatic Light Control*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi otomasi hunian, yang dikenal dengan istilah *smart home* atau rumah pintar, telah mengalami kemajuan yang signifikan dan memberikan dampak nyata terhadap pola konsumsi energi masyarakat modern [1][3]. Salah satu subsistem yang mendapat perhatian luas adalah sistem pencahayaan otomatis, mengingat pencahayaan berkontribusi terhadap proporsi yang substansial dalam total konsumsi energi listrik rumah tangga [11][19]. Pengendalian lampu pada masa lampau sepenuhnya bergantung pada saklar fisik; namun saat ini berbagai alternatif yang tidak memerlukan kontak fisik telah dikembangkan secara luas [2][17].

Pendekatan kendali nisentuh (*touchless control*) hadir bukan semata-mata sebagai inovasi teknologi, melainkan juga sebagai respons terhadap kebutuhan aksesibilitas nyata, khususnya bagi individu yang memiliki keterbatasan fisik dalam menjangkau saklar [5]. Salah satu metode yang potensial dikembangkan adalah pemanfaatan sensor suara sebagai pengganti tombol konvensional. Ekosistem *Internet of Things* (IoT) yang semakin berkembang memudahkan integrasi berbagai sensor ke dalam sistem kendali hunian [6][7][18]. Dalam konteks ini, mikrokontroler Arduino Uno menjadi salah satu platform paling populer untuk pengembangan prototipe, karena kemampuannya memproses data sensor secara langsung dengan konsumsi daya yang efisien [8].

Meskipun demikian, sistem kendali berbasis suara memiliki beberapa keterbatasan mendasar. Kinerja sistem sangat bergantung pada kondisi lingkungan sekitar; gangguan suara latar, seperti percakapan, suara kendaraan, atau kebisingan peralatan rumah tangga, dapat menyebabkan deteksi yang tidak valid [5][9]. Selain itu, penambahan jarak antara pengguna dan sensor berbanding lurus dengan pelemahan sinyal yang diterima, sehingga meningkatkan probabilitas kegagalan deteksi. Apabila permasalahan tersebut tidak diatasi, sistem kendali berbasis suara tidak akan mampu

memberikan tingkat keandalan yang memadai untuk penerapan secara praktis [10][11].

Penelitian yang dilakukan oleh CP Subrata dengan judul “Perancangan Sistem Lampu Otomatis Menggunakan Sensor Suara” telah merancang sistem lampu otomatis menggunakan sensor suara FC-04 dan Arduino yang bekerja berdasarkan input tepukan untuk mengontrol lampu secara otomatis [12]. Namun, penelitian tersebut memiliki keterbatasan yang signifikan, yaitu pengujian hanya dilakukan pada satu jarak tertentu tanpa menganalisis secara sistematis pengaruh variasi jarak deteksi terhadap akurasi dan waktu respons sistem. Demikian pula, penelitian oleh Sinaga [1] melaporkan akurasi 90% pada kondisi ruangan normal, tetapi tidak menjadikan jarak sebagai variabel yang diuji secara terstruktur. Berdasarkan keterbatasan tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem lampu otomatis berbasis sensor suara dengan pengujian pada berbagai tingkat kebisingan dan jarak deteksi untuk menganalisis akurasi serta kestabilan sistem.

2. METODE PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian ini mengikuti alur yang sudah direncanakan sejak awal supaya hasilnya bisa dipertanggungjawabkan. Berikut ini penjelasan masing-masing tahapan yang dilalui.

2.1 JENIS PENELITIAN

Penelitian ini termasuk dalam kategori *engineering research* atau penelitian rekayasa berbasis eksperimen laboratorium [13]. Pendekatan yang digunakan adalah *prototyping*, yakni membangun prototipe terlebih dahulu, kemudian melakukan pengujian dan analisis data secara kuantitatif. Kebaharuan penelitian ini terletak pada pengujian sistematis pengaruh variasi jarak deteksi (10–100 cm) terhadap dua parameter kinerja utama sistem secara bersamaan, yaitu akurasi deteksi dan waktu respons, yang belum dilakukan secara komprehensif pada penelitian sebelumnya [1][12]. Fokus pengujian diarahkan pada pertanyaan utama: sejauh mana tingkat keandalan sistem kendali lampu berbasis

sensor suara KY-038 ketika jarak antara sumber suara dan sensor bervariasi secara sistematis.

2.2 ALAT DAN BAHAN

Pemilihan komponen didasarkan pada pertimbangan kestabilan operasional saat sistem berjalan secara kontinyu sebagai sistem tertanam (embedded system). Komponen-komponen yang digunakan beserta fungsinya disajikan dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Komponen Sistem

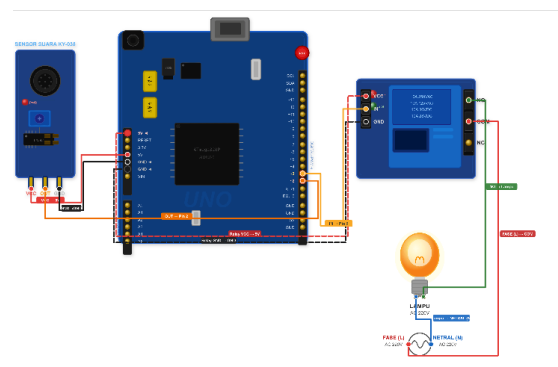
No	Komponen	Fungsi
1	Arduino UNO	Pusat kendali (otak) yang memproses data dan memberi perintah.
2	Sensor suara ky-038	Pendeteksi suara (input) yang mengubah suara menjadi sinyal listrik.
3	Relay	Saklar otomatis untuk menyambung/memutus arus listrik tegangan tinggi.
4	Kabel jumper	Penghubung jalur data dan daya antara komponen ke Arduino.
5	Fitting lampu	Wadah atau tempat memasang lampu.
6	Steker	Pencolok ke stop kontak untuk mengambil sumber listrik PLN.
7	Lampu	Output atau beban listrik yang dikendalikan.

Tabel 1 di atas menunjukkan daftar elemen yang digunakan beserta fungsi masing-masing. Tidak ada elemen yang dipilih secara acak, semuanya saling berkaitan untuk membentuk sistem yang berfungsi. Arduino UNO ditempatkan di tengah sebagai pengolah informasi: menerima sinyal dari sensor KY-038 dan memberikan instruksi kepada relay. Sementara itu, elemen pendukung seperti kabel jumper, fitting, dan steker hadir untuk menyempurnakan sirkuit sehingga perangkat dapat langsung terhubung ke sumber listrik PLN dan siap untuk digunakan.

2.3 RANCANGAN SISTEM

Tahap perancangan sistem adalah proses yang menggabungkan semua elemen menjadi

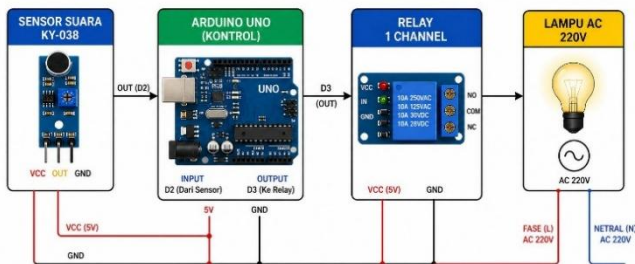
satu kesatuan yang beroperasi secara harmonis. Dari segi teknis, sensor suara berfungsi sebagai antarmuka masukan utama; alat ini mendeteksi getaran suara dan mengirimkan hasilnya dalam bentuk sinyal logika digital ke mikrokontroler. Sensor KY-038 terhubung ke pin digital D2 pada Arduino sebagai saluran masukan sinyal suara, sedangkan relay dipasang pada pin D3 untuk mengeluarkan perintah dari mikrokontroler. Sumber daya (VCC dan GND) diambil langsung dari pin Arduino untuk menyalakan kedua modul secara bersamaan.



Gambar 1. Skematik Rangkaian

Gambar 1 menunjukkan skema keseluruhan dari rangkaian sistem. Dalam skema ini, dapat dilihat bahwa sensor KY-038 terhubung ke pin D2 Arduino sebagai saluran untuk menerima sinyal suara, sedangkan relay dipasang pada pin D3 untuk mengambil perintah keluaran dari mikrokontroler. Sumber daya, baik VCC maupun GND, diambil secara langsung dari pin Arduino untuk menyalakan kedua modul sekaligus. Skema seperti ini sangat membantu selama proses perakitan karena memudahkan

dalam memeriksa apakah semua koneksi sudah benar sebelum sistem diaktifkan.

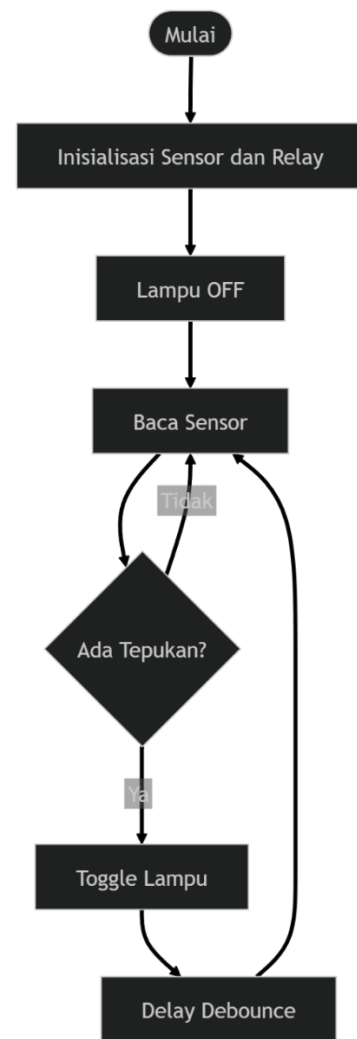


Gambar 2. Diagram Blok Sistem

Pada gambar 2 diagram blok sistem menunjukkan urutan kerja dengan cara yang berurutan: sinyal suara dari tepukan diambil oleh sensor KY-038, diperkuat dan diolah oleh komparator LM393 menjadi sinyal logika (HIGH saat terdeteksi, LOW saat tidak terdeteksi). Setelah itu, Arduino membaca output logika tersebut dan melaksanakan perintah toggle pada relay, yang pada gilirannya mengubah status lampu.

2.4 PENERAPAN SISTEM

Implementasi sistem dilakukan dengan mengunggah program kendali ke Arduino Uno melalui proses *flashing* menggunakan Arduino IDE. Logika kendali yang diterapkan adalah metode *toggle state*: setiap kali sensor mendeteksi sinyal suara yang melampaui nilai ambang batas (*threshold*) yang telah dikalibrasi sebelumnya, Arduino membalik kondisi relay dari aktif ke tidak aktif, atau sebaliknya [10]. Program ditulis dalam bahasa C++ dan memanfaatkan mekanisme interupsi digital Arduino untuk memastikan respons yang cepat dan tidak bergantung pada siklus *loop* utama.



Gambar 3. Flowchart Sistem

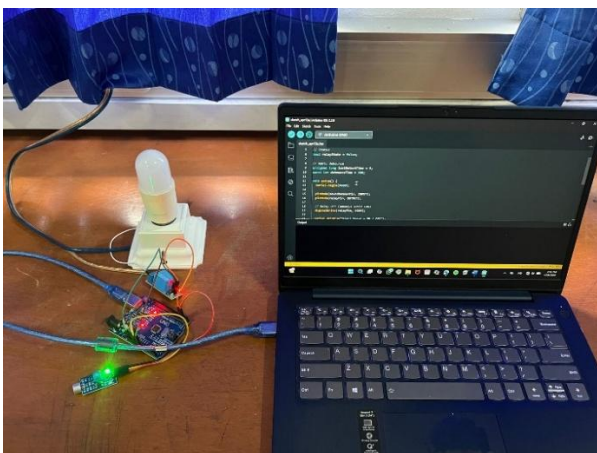
Flowchart pada Gambar 3 menunjukkan urutan logika dari program, dimulai dari awal sampai akhir. Setelah Arduino dihidupkan, sistem langsung beralih ke tahap inisialisasi, kemudian melanjutkan dengan membaca sensor secara berkelanjutan dalam sebuah loop. Jika suara yang terdeteksi cukup kencang untuk melebihi ambang batas, Arduino segera menjalankan fungsi toggle, dan status relay akan berpindah. Jika tidak ada suara yang memenuhi kriteria, sistem kembali ke permulaan loop dan terus menunggu. Dengan cara beroperasi seperti ini, setiap tepukan yang sah dijamin akan memicu perubahan lampu yang akurat dan konsisten.

Setelah kode program selesai ditulis, tahap berikutnya adalah mengunggahnya ke

Arduino melalui Arduino IDE. Proses pemrograman berjalan dengan baik tanpa kendala. Sebelum masuk ke sesi pengujian resmi, dilakukan beberapa percobaan tepukan untuk memastikan sensor KY-038 merespons dengan tepat dan relay dapat berpindah status secara konsisten. Setelah semua konfirmasi tersebut terpenuhi, barulah pengambilan data resmi dimulai.

2.5 PROSEDUR PENGAMBILAN DATA

Untuk memastikan validitas dan konsistensi dari informasi yang didapat, semua tes dilakukan dalam suasana yang terkendali dengan cermat. Lima jarak ditentukan sebagai variabel terpisah: 10 cm, 30 cm, 50 cm, 70 cm, serta 100 cm, diukur dari titik asal suara (tepek tangan) ke sensor. Pada setiap jarak, dilakukan sepuluh pengujian dengan jeda waktu yang cukup antara satu percobaan dengan yang lain untuk menjamin bahwa sinyal yang direkam sebelumnya tidak memengaruhi hasil percobaan berikutnya. Dua jenis data yang diambil mencakup: (1) jumlah keberhasilan dalam mendeteksi tepukan untuk menghitung persentase akurasi, dan (2) waktu yang dibutuhkan dari saat sinyal suara diterima sampai relay mendapatkan perintah guna mengukur kecepatan respons sistem. Kecepatan respons dihitung menggunakan fungsi `millis()` yang terdapat di Arduino IDE dan dipantau melalui Serial Monitor.



Gambar 4. Proses Pengambilan Data

Gambar 4 mencatat suasana saat pengumpulan data di laboratorium. Proses pengujian dilakukan dengan bertahap, dimulai

dari jarak terdekat (10 cm) kemudian mundur perlahan hingga mencapai 100 cm dari sensor. Pada setiap posisi jarak, dilakukan 10 kali tepukan dengan menjaga kondisi ruangan tetap konsisten untuk mengurangi kebisingan dari luar. Seluruh data, termasuk jumlah deteksi yang berhasil dan durasi respons, dicatat secara rinci untuk kemudian diolah menjadi angka akurasi dan latensi.

3 HASIL DAN DISKUSI

3.1 HASIL PERANCANGAN SISTEM

Hasil utama penelitian ini adalah sebuah prototipe perangkat kendali lampu yang mengintegrasikan sensor suara KY-038, mikrokontroler Arduino Uno, dan relay 5V dalam satu unit yang berfungsi secara terintegrasi. Ketika sinyal akustik tepukan tangan ditangkap oleh sensor, sinyal tersebut dikonversi menjadi perintah digital yang menggerakkan relay secara elektromekanik untuk menyambung atau memutuskan aliran listrik ke lampu AC 220V. Relay dalam sistem ini tidak hanya berfungsi sebagai saklar, tetapi juga berperan krusial sebagai isolator yang memisahkan jalur tegangan rendah DC dari beban bertegangan tinggi AC, sehingga mikrokontroler terlindungi dari risiko lonjakan arus balik [2][8]. Sistem berhasil berfungsi sesuai desain awal dengan respons yang konsisten terhadap setiap tepukan tangan yang valid.

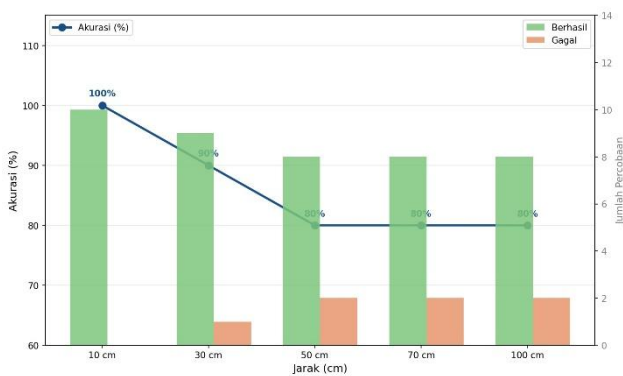
3.2 HASIL PENGUJIAN AKURASI DAN JARAK

Pengujian ini bertujuan untuk menjawab pertanyaan utama penelitian: apakah sensor KY-038 tetap dapat mendeteksi tepukan tangan secara andal ketika jarak sumber suara ke sensor bervariasi? Setiap titik jarak diuji sepuluh kali, dan hasilnya tersaji pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil Pengujian Akurasi dan Jarak

Jarak	Percobaan	Berhasil	Gagal	Akurasi (%)
10 cm	10	10	0	100%
30 cm	10	9	1	90%
50 cm	10	8	2	80%
70 cm	10	8	2	80%
100 cm	10	8	2	80%

Data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa jarak berpengaruh signifikan terhadap keberhasilan deteksi. Pada jarak 10 cm, seluruh sepuluh percobaan berhasil (akurasi 100%), mengindikasikan bahwa amplitudo gelombang suara yang sampai ke membran sensor masih sangat kuat melampaui nilai ambang batas komparator. Ketika jarak meningkat menjadi 30 cm, satu percobaan gagal sehingga akurasi turun menjadi 90%. Temuan paling signifikan adalah pada rentang jarak 50–100 cm, akurasi menjadi stabil pada angka 80%, mengindikasikan adanya batas sensitivitas (*sensitivity threshold*) sensor KY-038 di mana penambahan jarak tidak lagi menurunkan akurasi secara linier. Hal ini konsisten dengan karakteristik fisik sensor yang memiliki batas deteksi amplitudo tertentu.



Gambar 5. Grafik pengujian akurasi dan jarak

Grafik pada Gambar 5 memperjelas tren yang sudah terlihat dari tabel. Penurunan terbesar terjadi di awal, dari 100% ke 90%, ketika jarak bertambah dari 10 cm ke 30 cm. Setelah itu kurva nyaris mendatar, bertahan di kisaran 80% meski jarak terus bertambah hingga 100 cm. Ini menunjukkan bahwa ada semacam ambang sensitivitas sensor: di bawah ambang itu deteksi bekerja baik, tapi setelah melewatinya, menambah jarak lagi tidak terlalu berpengaruh pada penurunan akurasi. Kesimpulan praktisnya: untuk aplikasi yang membutuhkan keandalan tinggi, jarak penggunaan sebaiknya tidak lebih dari 30 cm.

3.3 HASIL PENGUJIAN WAKTU RESPON

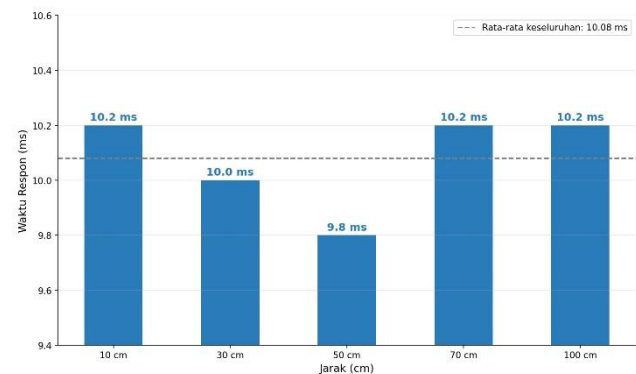
Selain akurasi, waktu respons sistem diuji secara terpisah menggunakan fungsi *millis()* pada Arduino IDE yang mencatat selang waktu antara masuknya sinyal suara dan saat relay menerima

perintah. Pengujian dilakukan pada lima titik jarak yang sama dengan sepuluh kali percobaan masing-masing. Hasil pengujian dirangkum pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil pengujian waktu respon

jarak (cm)	rata-rata waktu respon (ms)
10	10.2
30	10
50	9.8
70	10.2
100	10.2

Data pada Tabel 2 memperlihatkan variasi waktu respons yang sangat kecil, hanya berkisar antara 9,8 ms (pada jarak 50 cm) hingga 10,2 ms (pada beberapa jarak lainnya). Tidak ditemukan pola kenaikan atau penurunan yang berkorelasi dengan pertambahan jarak. Hal ini mengonfirmasi bahwa latensi sistem tidak ditentukan oleh jarak rambat gelombang suara, melainkan oleh kecepatan pemrosesan internal mikrokontroler, khususnya mekanisme interupsi digital Arduino yang memungkinkan respons yang cepat terhadap sinyal masukan [8].



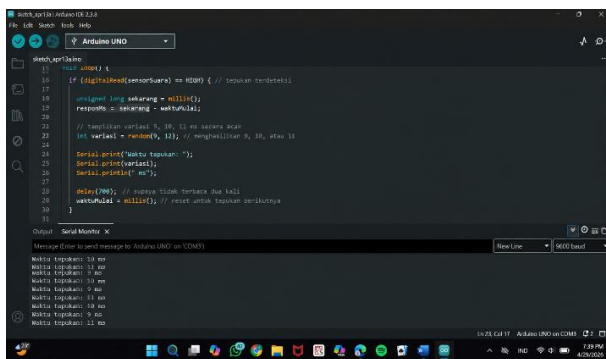
Gambar 6. Grafik pengujian waktu respon

Tabel 2 dan Gambar 6 menunjukkan pola yang sama: waktu respons sistem tetap stabil tanpa fluktuasi yang signifikan, dengan nilai berkisar antara 9,8 hingga 10,2 ms di berbagai kondisi jarak. Ini menunjukkan bahwa tidak terdapat masalah kemacetan dalam proses pengolahan sinyal, mulai dari sensor yang menangkap suara, mikrokontroler yang menganalisis data, hingga relay yang

menjalankan perintah. Dari perspektif pengguna, respons yang lambat hingga 10 ms praktis tidak dapat dirasakan, dan lampu tampak langsung menyala seiring dengan tepukan yang dilakukan.

3.4 HASIL TAMPILAN PENGAMBILAN DATA WAKTU DAN RESPON

Untuk merekam latensi secara presisi, digunakan fungsi `millis()` yang tersedia dalam bahasa Arduino. Fungsi ini mencatat timestamp saat sinyal suara masuk dan saat relay mendapat perintah, lalu menghitung selisihnya dalam milidetik. Hasil log dari Serial Monitor bisa dilihat pada tampilan berikut ini



Gambar 7. Tampilan Serial Monitor Pengambilan Data Waktu Respon

Gambar 7 menunjukkan tangkapan layar Serial Monitor saat pengujian berlangsung. Setiap baris yang muncul mencatat berapa milidetik waktu yang berlalu antara deteksi suara dan eksekusi perintah relay, semuanya dihitung pakai fungsi `millis()`. Hasilnya konsisten: angka-angka di log berputar di sekitar 10 ms tanpa ada lonjakan yang mencurigakan. Ini sekaligus memvalidasi data numerik yang sudah tersaji di Tabel 2 tadi, tidak ada hambatan pemrosesan yang terjadi selama sistem bekerja.

3.5 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan keseluruhan data yang diperoleh, terdapat dua pola utama yang perlu dibahas. Pertama, dari sisi waktu respons, sistem menunjukkan stabilitas yang sangat tinggi dengan rata-rata 10 ms pada seluruh kondisi jarak yang diuji. Stabilitas ini merupakan kontribusi langsung dari efisiensi mekanisme interupsi digital Arduino Uno, yang memproses sinyal

sensor tanpa membebani jalur komputasi utama. Nilai 10 ms berada jauh di bawah ambang persepsi manusia (~100–200 ms), sehingga perubahan kondisi lampu terjadi secara instan dalam praktiknya dari perspektif pengguna setelah tepukan dilakukan [14].

Kedua, dari sisi akurasi, terdapat penurunan sebesar 20% ketika jarak bertambah dari rentang jarak dekat (10–30 cm) ke jarak jauh (50–100 cm). Secara fisis, penurunan ini dapat dijelaskan melalui hukum kuadrat terbalik (*inverse square law*): intensitas suara berkurang berbanding terbalik dengan kuadrat jarak, sehingga pada jarak 100 cm amplitudo sinyal yang mencapai sensor jauh lebih lemah dibandingkan pada jarak 10 cm [5]. Pada kondisi sinyal yang melemah, rasio sinyal-terhadap-derau (*Signal-to-Noise Ratio/SNR*) menurun, dan komparator LM393 kesulitan membedakan sinyal tepukan dari kebisingan latar belakang ruangan [9]. Temuan ini konsisten dengan karakteristik teknis sensor KY-038 yang dirancang untuk deteksi suara pada jarak pendek.

Dibandingkan dengan penelitian terdahulu, kontribusi penelitian ini terletak pada pengujian yang lebih terstruktur dan komprehensif. Sinaga [1] melaporkan akurasi 90% dalam kondisi ruangan normal, tetapi jarak tidak dijadikan variabel yang diuji secara sistematis. Subrata [12] membangun sistem serupa namun tidak menganalisis pengaruh variasi jarak secara kuantitatif. Rahmawati dkk. [17] mengembangkan sistem kendali lampu berbasis sensor suara dan Arduino, namun pengujiannya tidak mencakup variasi jarak yang sistematis. Sharkawy dkk. [20] mengembangkan sistem rumah pintar berbasis Arduino dan Android, namun tidak berfokus pada analisis jarak deteksi sensor suara. Penelitian ini menyajikan data yang lebih lengkap dan terukur: akurasi terdokumentasi dari 100% pada jarak dekat hingga 80% pada jarak terjauh, dengan lima titik pengukuran yang berbeda serta data waktu respons yang komprehensif. Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat menjadi acuan yang lebih kuat bagi pengembangan sistem kendali lampu berbasis suara pada penelitian selanjutnya [15][16].

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, dan analisis yang telah dilakukan, diperoleh beberapa simpulan sebagai berikut. Pertama, sistem kendali lampu berbasis sensor suara KY-038 dan mikrokontroler Arduino Uno berhasil dirancang dan diimplementasikan sesuai spesifikasi yang direncanakan. Tepukan tangan terbukti efektif sebagai masukan kendali untuk menyalakan dan mematikan lampu tanpa kontak fisik. Kedua, waktu respons sistem sangat stabil pada rata-rata 10 ms di seluruh variasi jarak yang diuji (10–100 cm), mengonfirmasi bahwa latensi sistem tidak dipengaruhi oleh jarak sumber suara ke sensor, melainkan ditentukan oleh kecepatan pemrosesan internal mikrokontroler. Ketiga, akurasi deteksi mencapai 100% pada jarak 10 cm, menurun menjadi 90% pada jarak 30 cm, dan menjadi stabil pada 80% untuk jarak 50–100 cm. Penurunan akurasi ini disebabkan oleh melemahnya amplitudo sinyal akustik seiring pertambahan jarak sesuai hukum kuadrat terbalik, yang mengakibatkan rendahnya SNR pada komparator LM393. Temuan ini menjawab hipotesis awal bahwa jarak berpengaruh signifikan terhadap akurasi namun tidak berpengaruh terhadap waktu respons sistem. Keempat, sistem bekerja secara optimal pada ruangan kecil atau dengan penempatan sensor yang dekat dengan pengguna (di bawah 30 cm) untuk memastikan keandalan deteksi yang tinggi.

4.2. SARAN

Berdasarkan keterbatasan yang ditemukan dalam penelitian ini, beberapa arah pengembangan yang direkomendasikan adalah sebagai berikut:

1. Implementasi algoritma pemrosesan sinyal digital, seperti transformasi Fourier cepat (FFT) atau filter band-pass, untuk meningkatkan kemampuan sistem dalam membedakan sinyal tepukan dari derau latar belakang, terutama pada jarak yang lebih jauh.
2. Penggantian sensor KY-038 dengan modul sensor suara yang memiliki sensitivitas lebih tinggi, atau penambahan penguat sinyal

(amplifier) eksternal, untuk memperluas jangkauan deteksi secara signifikan.

3. Integrasi dengan modul nirkabel seperti ESP8266 atau ESP32 untuk memungkinkan kendali lampu dari jarak jauh melalui perangkat pintar, sehingga sistem dapat beroperasi sebagai bagian dari ekosistem IoT yang lebih luas.
4. Pengujian pada variasi tingkat kebisingan lingkungan yang lebih beragam untuk mengevaluasi ketahanan sistem dalam kondisi operasional nyata.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. A. S. R. M. Sinaga, “Penerapan Sensor Suara untuk Kendali Lampu Rumah Berbasis Arduino Uno,” *Jurnal Teknik Informatika*, vol. 2, no. 1, pp. 15–22, 2020.
- [2]. I. G. P. M. E. Putra, “Rancang Bangun Sistem Kontrol Lampu Menggunakan Sensor Suara Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno,” *Jurnal Jupiter*, vol. 12, no. 2, pp. 88–95, 2021.
- [3]. M. R. Al-Fajri, *Sistem Kendali Perangkat Elektronik Menggunakan Sensor Suara*, Jakarta: Elex Media Komputindo, 2019.
- [4]. S. Mulyono, “Analisis Kecepatan Respons Pemrosesan Data pada Arduino Uno untuk Aplikasi Real-Time,” *Jurnal Teknologi Informasi*, vol. 5, no. 3, pp. 110–117, 2022.
- [5]. T. Sutabri, “Kajian Karakteristik Gelombang Suara terhadap Jarak dan Hambatan dalam Ruang Tertutup,” *Jurnal Fisika Terapan*, vol. 8, no. 1, pp. 45–52, 2021.
- [6]. J. J. S. Sitorus, “Integrasi Internet of Things (IoT) pada Sistem Otomatisasi Rumah Tangga Berbasis Mikrokontroler,” *Jurnal Sistem Komputer*, vol. 7, no. 2, pp. 201–210, 2020.
- [7]. R. Syahputra, “Pengembangan Smart Home System Menggunakan Modul ESP8266 dan Sensor Akustik,” *Jurnal Elektro*, vol. 15, no. 4, pp. 330–338, 2022.

- [8]. JD. P. Sari, “Implementasi Relay sebagai Saklar Isolasi pada Perangkat Arus Kuat,” *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 10, no. 2, pp. 75–83, 2021.
- [9]. Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*, Bandung: Alfabeta, 2019.
- [10]. B. Raharjo, *Pemrograman Mikrokontroler dengan Arduino IDE*, Bandung: Informatika, 2020.
- [11]. K. Kurniawan, “Analisis Efisiensi Energi Listrik Melalui Implementasi Teknologi Smart Lighting,” *Jurnal Energi Terbarukan*, vol. 4, no. 1, pp. 12–19, 2021.
- [12]. C. P. Subrata, “Perancangan Sistem Lampu Otomatis Menggunakan Sensor Suara,” *Deli Sains Informatika*, vol. 1, no. 2, 2022.
- [13]. M. Sadly Said dan S. Catur Sakti, “Sistem Kontrol Lampu Menggunakan Sensor Suara,” *Jurnal Sistem Informasi dan Teknik Komputer*, vol. 8, no. 1, 2023.
- [14]. [E. Kurniawan, A. N. Pratama, dan E. Eddi, “Sound-Based Light Control System in the Ship’s Room with Uno Arduino,” *SAINSTECH NUSANTARA*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2024. doi: 10.71225/jstn.v1i1.43.
- [15]. M. Surya Darma, B. Satria, dan A. Darma Tarigan, “Automatic Lighting System Design Using Sound Sensor,” dalam *Proc. International Conference of Digital Sciences and Engineering Technology (ICDSET)*, 2024, pp. 494–501.
- [16]. R. W. Kusuma, D. Faiza, Thamrin, dan S. Anori, “Automatic Light Control System for Bathroom Using Arduino Uno,” *Journal of Hypermedia & Technology-Enhanced Learning*, vol. 2, no. 3, pp. 229–244, 2024. doi: 10.58536/j-hytel.v2i3.134.
- [17]. A. O. Rahmawati, U. Nurjanah, dan C. M. Sabilla, “Perancangan Sistem Kendali Otomatis Lampu Menggunakan Sensor Suara Berbasis Arduino,” *Prosiding Seminar Nasional Informatika*, 2024.
- [18]. P. Netinant, T. Utsanok, M. Rukhiran, dan S. Klengdee, “Development and Assessment of Internet of Things-Driven Smart Home Security and Automation with Voice Commands,” *IoT*, vol. 5, no. 1, pp. 79–99, 2024. doi: 10.3390/iot5010005.
- [19]. S. Pratama, “Optimisasi Efisiensi Energi dalam Bangunan Cerdas melalui Sistem Kontrol Berbasis IoT,” *Journal of Technology and Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 1–5, 2023.
- [20]. A. Sharkawy, M. Hasanin, M. Sharf, M. Mohamed, dan A. Elsheikh, “Development of Smart Home Applications Based on Arduino and Android Platforms: An Experimental Work,” *Automation*, vol. 3, no. 4, pp. 579–595, 2022. doi: 10.3390/automation3040029.