



**LAPORAN PROYEK AKHIR SISTEM EMBEDDED
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS INDONESIA**

**IMPLEMENTASI SENSOR HC-SR04 DALAM SISTEM PINTU OTOMATIS
BERBASIS ARDUINO DENGAN LCD I2C DAN SERVO MOTOR**

GROUP 18

Nelson Laurensius	2306161845
Jesaya David Gamalael N P	2306161965
Fido Wahyu Choirulinsan	2306250674
Kelvin Ferrell Tjoe	2306205393

PREFACE

Dalam kehidupan sehari-hari, efisiensi dan kenyamanan menjadi dua aspek penting yang diutamakan, terutama dalam penggunaan fasilitas umum dan bangunan seperti rumah, kantor, laboratorium, ruang isolasi, maupun tempat ibadah. Salah satu komponen penting dari bangunan tersebut adalah pintu, yang berfungsi sebagai akses keluar masuk dan sebagai elemen pengaman. Namun, penggunaan pintu secara manual terkadang menimbulkan berbagai permasalahan, seperti penyebaran kuman dan virus akibat sentuhan langsung, ketidakefisienan dalam membuka dan menutup pintu secara berulang, serta ketidakpraktisan bagi penyandang disabilitas atau orang tua.

Permasalahan ini semakin relevan terutama dalam situasi pasca pandemi, di mana kesadaran akan kebersihan dan keamanan semakin meningkat. Dalam banyak kasus, pintu yang tidak tertutup kembali dengan sempurna dapat mengganggu keamanan atau kestabilan suhu ruangan yang sensitif, seperti ruang laboratorium atau ruangan berpendingin.

Sebagai solusi dari permasalahan tersebut, sistem pintu otomatis berbasis Arduino dengan sensor ultrasonik menjadi pilihan yang menarik. Dengan menggunakan teknologi sensor, pintu dapat terbuka secara otomatis ketika seseorang terdeteksi pada jarak tertentu, dan menutup kembali setelah waktu tertentu tanpa memerlukan interaksi fisik. Selain meningkatkan kenyamanan dan keamanan, sistem ini juga mendukung penerapan prinsip *touchless technology* yang semakin dibutuhkan di era modern.

Proyek ini menggabungkan beberapa komponen elektronika seperti **sensor ultrasonik**, **servo motor**, **LED indikator**, dan **LCD I2C**, yang bekerja bersama melalui pemrograman pada **Arduino UNO**. Sistem ini tidak hanya berguna dalam skala rumah tangga, tetapi juga memiliki potensi untuk diterapkan di tempat umum seperti rumah sakit, sekolah, dan perkantoran.

Dengan adanya sistem ini, diharapkan dapat membantu masyarakat dalam mengakses ruang dengan lebih aman, nyaman, dan higienis, serta mendukung perkembangan teknologi otomatisasi yang ramah pengguna dan ekonomis.

Depok, 16 Mei, 2025

Group 18

TABLE OF CONTENTS

CHAPTER 1.....	4
INTRODUCTION.....	4
1.1 PROBLEM STATEMENT.....	4
1.3 ACCEPTANCE CRITERIA.....	5
1.4 ROLES AND RESPONSIBILITIES.....	5
1.5 TIMELINE AND MILESTONES.....	5
CHAPTER 2.....	7
IMPLEMENTATION.....	7
2.1 HARDWARE DESIGN AND SCHEMATIC.....	7
2.2 SOFTWARE DEVELOPMENT.....	7
2.3 HARDWARE AND SOFTWARE INTEGRATION.....	8
CHAPTER 3.....	9
TESTING AND EVALUATION.....	9
3.1 TESTING.....	9
3.2 RESULT.....	9
3.3 EVALUATION.....	10
CHAPTER 4.....	11
CONCLUSION.....	11

CHAPTER 1

INTRODUCTION

1.1 PROBLEM STATEMENT

Dalam kehidupan sehari-hari, interaksi fisik dengan fasilitas umum, termasuk pintu, masih menjadi kebiasaan yang sulit dihindari. Penggunaan pintu manual, meskipun umum, sering kali menimbulkan beberapa masalah signifikan. Pertama, sentuhan langsung pada gagang pintu dapat menjadi media potensial penyebaran kuman dan virus, sebuah isu yang semakin disadari pentingnya terutama pasca pandemi COVID-19. Kedua, proses membuka dan menutup pintu secara berulang dapat menjadi tidak efisien dalam berbagai skenario, seperti pada area dengan lalu lintas orang yang tinggi atau ketika tangan sedang membawa barang. Ketiga, bagi individu dengan disabilitas fisik atau lansia, membuka dan menutup pintu manual dapat menjadi tantangan tersendiri, mengurangi kemandirian dan kenyamanan mereka dalam beraktivitas. Selain itu, pada beberapa lingkungan kritis seperti laboratorium atau ruang server, stabilitas suhu dan kebersihan udara sangat penting. Pintu yang tidak tertutup sempurna secara manual dapat mengganggu kondisi ideal tersebut, berdampak pada keamanan dan efisiensi operasional. Berangkat dari permasalahan ini, muncul kebutuhan akan sebuah solusi otomatis yang dapat meningkatkan efisiensi, kenyamanan, keamanan, dan aspek higienis dalam penggunaan pintu.

1.2 OBJECTIVES

Tujuan dari proyek ini adalah merancang dan mengimplementasikan sistem pintu otomatis berbasis Arduino menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 yang mampu:

- Mendeteksi keberadaan objek (orang) dalam jarak tertentu.
- Membuka pintu secara otomatis saat objek terdeteksi dalam jarak ambang batas.
- Menutup pintu secara otomatis setelah durasi waktu tertentu.
- Menampilkan status pintu (terbuka/tertutup) dan informasi waktu pada layar LCD 16x2 dengan antarmuka I2C.

- Memberikan indikasi visual status pintu menggunakan LED (merah untuk tertutup, hijau untuk terbuka).

1.3 ACCEPTANCE CRITERIA

1. Sistem pintu otomatis ini akan dianggap berhasil dan memenuhi kriteria penerimaan apabila memenuhi persyaratan fungsional berikut:
2. Sensor ultrasonik HC-SR04 mampu mendeteksi objek (simulasi orang) dengan akurat pada jarak ambang batas yang telah ditentukan.
3. Servo motor dapat menggerakkan model pintu dari posisi tertutup ke posisi terbuka dan sebaliknya dengan lancar dan stabil.
4. Saat objek terdeteksi dalam jarak ambang batas, pintu akan membuka dalam waktu maksimal 5 detik.
5. Pintu akan tetap terbuka selama durasi yang ditentukan setelah objek tidak lagi terdeteksi dalam jarak ambang batas.
6. Pintu akan menutup secara otomatis setelah durasi buka berakhir, kembali ke posisi tertutup dalam waktu maksimal 5 detik.
7. LED hijau menyala saat pintu dalam keadaan terbuka dan LED merah menyala saat pintu dalam keadaan tertutup.
8. Layar LCD 16x2 dengan I2C menampilkan status pintu ("OPEN" atau "CLOSED") dan hitungan mundur waktu saat pintu terbuka.

1.4 ROLES AND RESPONSIBILITIES

Peran dan tanggung jawab yang diberikan kepada anggota kelompok adalah sebagai berikut:

Roles	Responsibilities	Person
Ide, Rangkaian wokwi kode .ino, debugging	Mengusulkan ide proyek sistem pintu otomatis serta	Nelson Laurensius

servo .S, github dan juga laporan proyek akhir	mencoba simulasi rangkaian dengan kode .ino pada wokwi. Setelah itu memperbaiki kode .S untuk servo dan juga membuat github serta dokumentasi laporan proyek akhir	
Rangkaian Proteus, kode .S	Konversi kode .C menjadi .S, termasuk kerangka general dari sistem serial monitor, logika button, mekanisme servo, dan bagian kode HCSR04. Juga membuat rangkaian proteus proyek.	Jesaya David Gamalael N P
Merangkai Rangkaian Fisik dan membeli alat dan bahan	Melakukan Rangkaian fisik dari proteus yang di buat	Fido Wahyu Choirulinsan
Debugging	men-debug kode .S untuk mencari kesalahan dan memperbaikinya	Kelvin Ferrell Tjoe

Table 1. Roles and Responsibilities

1.5 TIMELINE AND MILESTONES

Proyek ini dilaksanakan dalam beberapa tahapan dengan target penyelesaian (milestone) sebagai berikut:

Tahap Pelaksanaan	Deskripsi Aktivitas Utama	Target Waktu Penyelesaian	Milestone
Studi Literatur & Perancangan	Pengumpulan informasi, penentuan spesifikasi, perancangan sistem.	Minggu 1	Proposal disetujui, desain awal selesai.
Pengadaan Komponen	Pembelian dan persiapan semua komponen perangkat keras.	Minggu 2	Semua komponen yang dibutuhkan tersedia.
Perakitan Perangkat Keras	Merakit rangkaian sesuai skematik yang telah dibuat.	Minggu 2	Rangkaian perangkat keras siap diuji.
Pengembangan Perangkat Lunak	Menulis, menguji, dan men-debug kode program Arduino.	Minggu 1 - 2	Kode program fungsional untuk setiap komponen.
Integrasi & Pengujian	Menggabungkan hardware dan software, melakukan pengujian sistem.	Minggu 2	Sistem keseluruhan berfungsi sesuai kriteria.
Evaluasi & Penyusunan Laporan	Analisis hasil, penyempurnaan, penulisan laporan.	Minggu 2	Laporan akhir selesai dan siap dipresentasikan.

CHAPTER 2

IMPLEMENTATION

2.1 HARDWARE DESIGN AND SCHEMATIC

Sistem pintu otomatis ini dibangun menggunakan beberapa komponen perangkat keras utama yang saling terhubung. Komponen-komponen tersebut meliputi:

- Arduino UNO: Berfungsi sebagai mikrokontroler utama yang memproses data dari sensor, mengontrol aktuator (servo motor), dan mengelola tampilan informasi.
- Sensor Ultrasonik HC-SR04: Digunakan untuk mendekripsi jarak objek. Sensor ini bekerja dengan memancarkan gelombang ultrasonik dan mengukur waktu yang dibutuhkan gelombang tersebut untuk kembali setelah memantul dari objek. Pin Trig dan Echo sensor terhubung ke pin digital pada Arduino.
- Servo Motor: Berfungsi sebagai aktuator untuk membuka dan menutup model pintu. Servo motor dihubungkan ke salah satu pin PWM (Pulse Width Modulation) pada Arduino untuk kontrol sudut yang presisi.
- LED Merah dan Hijau: Berfungsi sebagai indikator visual status pintu. LED merah menandakan pintu tertutup, dan LED hijau menandakan pintu terbuka. Masing-masing LED dihubungkan ke pin digital Arduino melalui resistor pembatas arus.
- LCD 16x2 dengan Modul I2C: Digunakan untuk menampilkan informasi status pintu dan hitungan mundur waktu. Penggunaan modul I2C mengurangi jumlah pin Arduino yang dibutuhkan untuk berkomunikasi dengan LCD, menyederhanakan pengkabelan. Modul I2C terhubung ke pin SDA dan SCL pada Arduino.
- Breadboard dan Kabel Jumper: Digunakan untuk merangkai dan menghubungkan antar komponen.

Gambar 2.1 Skematik Rangkaian Sistem Pintu Otomatis.

2.2 SOFTWARE DEVELOPMENT

Pengembangan perangkat lunak untuk sistem ini dilakukan menggunakan bahasa Assembly AVR. Kode program ditulis secara langsung dalam instruksi Assembly yang dieksekusi oleh mikrokontroler ATmega328P.

Logika program utama diimplementasikan melalui serangkaian instruksi Assembly yang memanipulasi register mikrokontroler, register I/O, dan memori. Pendekatan ini berbeda secara signifikan dari pemrograman tingkat tinggi seperti Arduino C/C++. Tugas-tugas penting yang diimplementasikan dalam Assembly meliputi:

- Inisialisasi Sistem: Mengatur register Direction Register (DDRx) untuk menentukan pin mana yang berfungsi sebagai input atau output. Mengatur register PORTx untuk menentukan status awal pin output (misalnya, mematikan LED). Mengkonfigurasi register Timer/Counter untuk pembangkitan sinyal PWM (untuk servo) dan/atau keperluan pewaktuan (untuk durasi buka pintu dan hitungan mundur). Menginisialisasi antarmuka TWI (I2C) untuk komunikasi dengan modul LCD, termasuk pengaturan baud rate dan enable TWI.
- Pembacaan Sensor Ultrasonik (HC-SR04): Implementasi ini memerlukan kontrol pin Trig untuk memancarkan pulsa pendek dan penggunaan Timer/Counter untuk mengukur durasi pulsa pada pin Echo. Waktu pulsa Echo yang terukur kemudian dikonversi menjadi jarak menggunakan perhitungan dalam Assembly. Ini melibatkan penggunaan register Timer/Counter untuk capture waktu dan operasi aritmatika (penambahan, pengurangan, perkalian, pembagian bitwise) pada register.
- Kontrol Servo Motor: Menggunakan register Timer/Counter yang dikonfigurasi dalam mode PWM. Lebar pulsa (duty cycle) sinyal PWM diatur dengan menulis nilai yang sesuai ke register Output Compare Register (OCRnx). Perubahan sudut servo dicapai dengan memodifikasi nilai OCRnx secara langsung.
- Pengendalian LED: Menyalakan atau mematikan LED dilakukan dengan mengatur (set) atau mengosongkan (clear) bit yang sesuai pada register PORTx yang terhubung ke LED.

- Komunikasi dengan LCD I2C: Mengimplementasikan protokol komunikasi I2C secara bit-banging (mengontrol pin SDA dan SCL secara manual menggunakan instruksi Assembly) atau memanfaatkan hardware TWI master yang ada pada ATmega328P melalui manipulasi register TWCR, TWSR, dan TWDR. Data (perintah atau karakter) dikirimkan ke modul I2C LCD melalui register TWDR.
- Logika Pintu dan Pewaktuan: Menerapkan logika perbandingan jarak, transisi status pintu (tertutup, membuka, terbuka, menutup), dan mekanisme hitungan mundur waktu menggunakan instruksi percabangan kondisional (BRxx), looping, dan penundaan (delay). Penundaan dapat diimplementasikan menggunakan busy-waiting loops atau memanfaatkan Timer/Counter dalam mode normal atau CTC (Clear Timer on Compare Match) dengan interupsi.

Pengembangan dalam Assembly AVR memerlukan pemahaman mendalam tentang arsitektur mikrokontroler, set instruksi, dan peta register I/O. Debugging umumnya melibatkan penggunaan simulator Assembly atau debugger perangkat keras untuk memeriksa nilai register dan alur eksekusi program.

2.3 HARDWARE AND SOFTWARE INTEGRATION

Tahap integrasi perangkat keras dan lunak melibatkan penggabungan rangkaian fisik dengan kode Assembly yang telah dikompilasi. Langkah-langkah integrasi spesifik untuk pengembangan berbasis Assembly AVR meliputi:

- Memastikan semua komponen terhubung dengan benar ke pin Arduino/ATmega328P sesuai dengan skematik rangkaian.
- Menanamkan kode .S dan .ino kedalam mikrokontroler ATmega328P pada Arduino UNO menggunakan Arduino IDE.
- Menyalakan sistem dengan sumber daya yang sesuai.

Setelah kode Assembly ditanam, mikrokontroler akan mulai mengeksekusi instruksi dari awal memori flash. Program Assembly akan secara langsung berinteraksi dengan pin I/O, register Timer/Counter, dan register TWI untuk membaca sensor, mengontrol servo, mengelola LED, dan berkomunikasi dengan LCD. Proses integrasi ini seringkali memerlukan iterasi antara memodifikasi kode Assembly, mengkompilasi ulang, dan menanamnya kembali

ke mikrokontroler, sambil mengamati perilaku sistem dan menggunakan teknik debugging level rendah jika diperlukan. Kalibrasi parameter seperti threshold jarak atau durasi waktu akan memerlukan perubahan pada nilai-nilai konstanta atau logika perbandingan dalam kode Assembly.

CHAPTER 3

TESTING AND EVALUATION

3.1 TESTING

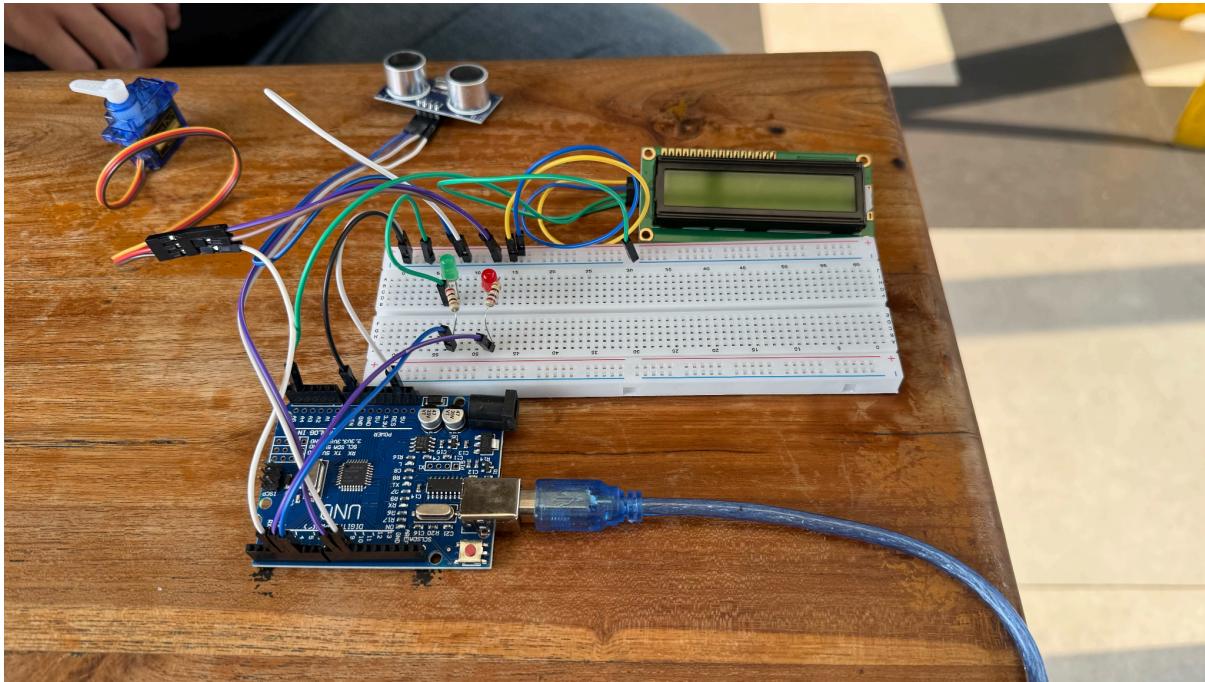
Pengujian sistem pintu otomatis dilakukan untuk memverifikasi fungsionalitasnya sesuai dengan kriteria penerimaan yang telah ditetapkan. Beberapa skenario pengujian yang dilakukan meliputi:

- Pengujian Sensor Ultrasonik: Mengukur jarak objek pada berbagai jarak yang diketahui untuk memverifikasi akurasi pembacaan sensor yang dihasilkan oleh kode .ino. Juga menguji deteksi objek dalam rentang jarak ambang batas yang ditentukan dalam kode .ino.
- Pengujian Servo Motor: Memastikan servo motor dapat bergerak ke sudut terbuka dan tertutup dengan tepat dan konsisten saat register Timer/Counter diatur oleh kode Assembly.
- Pengujian LED Indikator: Memastikan LED merah menyala dan LED hijau mati, atau sebaliknya, saat bit pada register PORT yang sesuai diatur oleh kode Assembly.
- Pengujian LCD Display: Memastikan LCD menampilkan teks "CLOSED" atau "OPEN" dan hitungan mundur waktu dengan benar, dengan data dikirimkan melalui antarmuka I2C yang dikontrol oleh kode Assembly.
- Pengujian Fungsionalitas Otomatis:
 - Menguji skenario di mana objek mendekat ke pintu dalam jarak ambang batas ketika pintu tertutup. Memverifikasi pintu membuka dan indikator serta LCD sesuai.
 - Menguji skenario di mana objek berada di dalam jarak ambang batas untuk beberapa saat, kemudian menjauh. Memverifikasi hitungan mundur dimulai dan pintu menutup setelah waktu yang ditentukan oleh logika pewaktuan Assembly.
 - Menguji skenario di mana objek mendekat dan menjauh dengan cepat. Memverifikasi respons sistem.
 - Menguji sistem dengan objek yang berbeda (ukuran, material) untuk melihat pengaruhnya terhadap deteksi sensor.
- Pengujian Durasi: Mengukur actual durasi pintu terbuka dan membandingkannya dengan durasi yang diimplementasikan dalam logika pewaktuan kode Assembly.

3.2 RESULT

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pintu otomatis yang dikontrol dengan Assembly AVR ini berhasil mengimplementasikan fungsionalitas dasar yang diinginkan.

- Pembacaan Sensor: Sensor ultrasonik, yang pembacaannya diproses oleh kode Assembly, mampu mendeteksi objek dengan cukup akurat pada jarak hingga sekitar 400 cm. Pada jarak ambang batas 30 cm, deteksi keberadaan objek umumnya berhasil. Akurasi dipengaruhi oleh implementasi detail perhitungan jarak dalam Assembly dan faktor lingkungan.
- Pergerakan Servo: Servo motor berhasil bergerak ke sudut yang ditentukan 0 derajat dan 90 derajat melalui kontrol register PWM oleh kode Assembly dengan respons yang baik.
- Indikator LED dan LCD: Pengaturan bit pada register PORT untuk LED dan pengiriman data I2C melalui register TWI oleh kode Assembly berfungsi dengan benar, sehingga LED merah dan hijau menyala sesuai status pintu, dan LCD menampilkan teks "CLOSED", "OPEN", serta hitungan mundur.
- Fungsionalitas Otomatis:
 - Ketika objek terdeteksi dalam jarak ambang batas saat pintu tertutup, pintu terbuka.
 - Setelah objek tidak lagi terdeteksi dalam jarak ambang batas, hitungan mundur selama 5 detik dimulai, dan pintu menutup.
 - Sistem menunjukkan respons yang stabil pada sebagian besar skenario pengujian.



Gambar 3.2 Testing Result

3.3 EVALUATION

Berdasarkan hasil pengujian, sistem pintu otomatis ini berhasil mengimplementasikan fungsionalitas dasarnya menggunakan pemrograman level rendah Assembly AVR. Pencapaian ini signifikan mengingat kompleksitas dalam memanipulasi hardware secara langsung dibandingkan menggunakan library tingkat tinggi. Tujuan untuk mengontrol pintu secara otomatis berdasarkan deteksi jarak dan pewaktuan telah tercapai. Indikator LED dan LCD memberikan feedback yang dibutuhkan, dengan kontrol yang sepenuhnya dilakukan melalui kode Assembly.

Kelebihan utama dari implementasi ini adalah pemahaman mendalam yang diperoleh mengenai cara kerja mikrokontroler ATmega328P, interaksi langsung dengan register I/O dan periferal (Timer/Counter, TWI), serta optimasi memori dan kecepatan eksekusi yang potensial karena kode Assembly dieksekusi secara native tanpa lapisan abstraksi tambahan.

Namun, terdapat beberapa tantangan dan keterbatasan yang melekat pada pengembangan Assembly:

- Kompleksitas Pengembangan: Menulis dan men-debug kode Assembly jauh lebih rumit dan memakan waktu dibandingkan dengan bahasa tingkat tinggi. Setiap detail hardware harus dikelola secara manual.

- Portabilitas: Kode Assembly sangat spesifik untuk arsitektur mikrokontroler tertentu (AVR), sehingga tidak mudah dipindahkan ke platform mikrokontroler lain.
- Debugging: Proses debugging pada level Assembly memerlukan pemahaman yang mendalam tentang status register dan memori, serta tools debugging yang mungkin lebih kompleks.

Sama seperti implementasi berbasis C/C++, sistem ini masih memiliki keterbatasan terkait akurasi sensor ultrasonik yang dipengaruhi faktor lingkungan, sudut deteksi yang terbatas, dan perlunya mekanisme pengaman tambahan untuk aplikasi nyata. Penerapan pada pintu ukuran sebenarnya juga memerlukan aktuator yang lebih kuat.

Meskipun demikian, proyek ini berhasil menunjukkan kapabilitas implementasi sistem embedded yang kompleks menggunakan pemrograman Assembly AVR, memberikan wawasan berharga mengenai kontrol hardware pada level terendah.

CHAPTER 4

CONCLUSION

Proyek "IMPLEMENTASI SENSOR HC-SR04 DALAM SISTEM PINTU OTOMATIS BERBASIS ARDUINO DENGAN LCD I2C DAN SERVO MOTOR" telah berhasil dirancang, diimplementasikan, dan diuji dengan kontrol perangkat lunak yang seluruhnya dikembangkan menggunakan bahasa Assembly AVR dan .ino untuk sensornya. Sistem ini memanfaatkan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mendeteksi keberadaan orang, mikrokontroler ATmega328P pada board Arduino UNO sebagai unit pemroses utama yang menjalankan kode Assembly, servo motor sebagai aktuator, serta LED dan LCD I2C untuk indikasi visual dan informasi.

Melalui manipulasi langsung register dan I/O port mikrokontroler menggunakan instruksi Assembly, sistem ini mampu membaca data sensor, mengontrol pergerakan servo motor, menyalakan/mematikan LED, dan berkomunikasi dengan modul LCD I2C. Fungsionalitas membuka pintu secara otomatis saat terdeteksi objek dan menutupnya kembali setelah durasi waktu tertentu berhasil diimplementasikan, membuktikan bahwa kontrol sistem real-time sederhana dapat dicapai pada level Assembly.

Pencapaian proyek ini menunjukkan pemahaman yang kuat mengenai arsitektur mikrokontroler AVR dan kemampuan untuk memprogramnya pada tingkat instruksi paling dasar. Meskipun pengembangan dalam Assembly menghadirkan kompleksitas dan tantangan tersendiri, hasil fungsionalitas sistem telah memenuhi kriteria penerimaan dasar. Proyek ini memberikan pengalaman berharga dalam pengembangan sistem embedded level rendah dan menjadi dasar untuk eksplorasi lebih lanjut dalam bidang otomasi dan kontrol mikrokontroler.

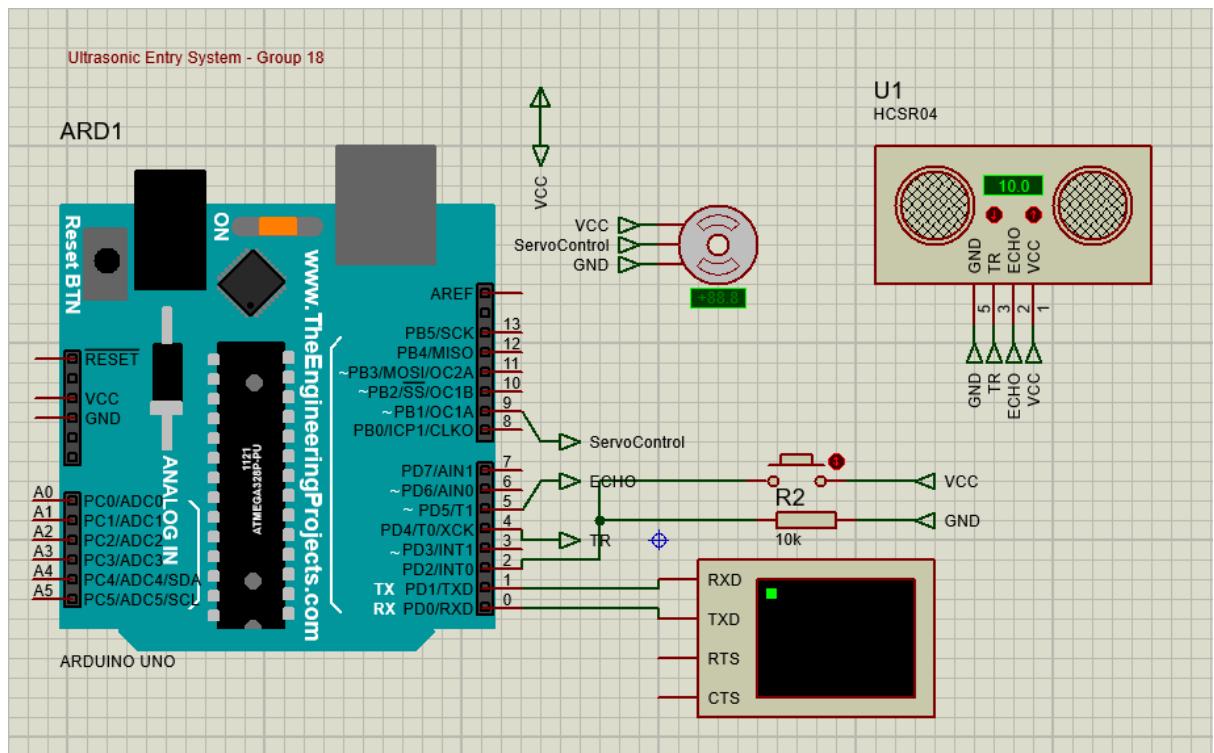
REFERENCES

- [1] ElectronicWings, "Ultrasonic Module HC-SR04 interfacing with AVR ATmega16/32," ElectronicWings, [Online]. Available: <https://www.electronicwings.com/avr-atmega/ultrasonic-module-hc-sr04-interfacing-with-atmega1632>. [Accessed: 17-May-2025].
- [2] Instructables, "AVR Microcontroller Ultrasonic Distance Sensor HC-SR04," Instructables, [Online]. Available: <https://www.instructables.com/AVR-Microcontroller-Ultrasonic-Distance-Sensor-HC-L/>. [Accessed: 17-May-2025].
- [3] ElectronicWings, "I2C in AVR ATmega16/ATmega32," ElectronicWings, [Online]. Available: <https://www.electronicwings.com/avr-atmega/atmega1632-i2c>. [Accessed: 17-May-2025].
- [4] HowToMechatronics, "Ultrasonic Sensor HC-SR04 and Arduino – Complete Guide," HowToMechatronics, [Online]. Available: <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/ultrasonic-sensor-hc-sr04/>. [Accessed: 17-May-2025].
- [5] Random Nerd Tutorials, "I2C LCD with ESP32 on Arduino IDE - ESP8266 compatible," Random Nerd Tutorials, [Online]. Available: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-esp8266-i2c-lcd-arduino-ide/>. [Accessed: 17-May-2025].
- [6] Anas Kuzechie, "Assembly via Arduino (part 1) - Introduction," *YouTube*, 2019. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=j-qs-gJhxfs>. [Accessed: 17-May-2025].

- [7] Anas Kuzechie, "Assembly via Arduino (part 26) - Servo Motor SG90," *YouTube*, 2019. [Online]. Available: <https://youtu.be/ZqbKUDZw6vM> [Accessed: 17-May-2025].
- [8] Anas Kuzechie, "Assembly via Arduino (part 5) - Programming LCD," *YouTube*, 2019. [Online]. Available: <https://youtu.be/U8OF9N5rULw> [Accessed: 17-May-2025].
- [9] Anas Kuzechie, "Assembly via Arduino (part 15) - Programming SPI," *YouTube*, 2019. [Online]. Available: https://youtu.be/D2CS5N_e3NE [Accessed: 17-May-2025].

APPENDICES

Appendix A: Project Schematic



Appendix B: Documentation

