

Implementasi Sistem Penggerak Servo SG 90 Berbasis Arduino Uno dengan Kontrol Sudut Dinamis

Rayhan Al Hayubi¹, Salsabila Aulia², Dafairro Abbil Gunawan³,
Syarif Hidayatullah⁴, Didik Aribowo⁵

¹⁻⁵Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia

Alamat: Jl. Ciwaru Raya, Cipare, Kec. Serang, Kota Serang, Banten 42117

Korespondensi penulis: 2283230007@untirta.ac.id*

Abstrak. *In this study, the implementation and simulation of a servo SG90 drive system based on Arduino Uno with dynamic angle control were carried out. The SG90 servo motor is widely used in various applications such as robotics and automation due to its ease of control and small size. The objective of this research is to develop a control system capable of adjusting the servo angle dynamically using Arduino Uno. The simulation method involves hardware and software simulations combined with servo control code based on PWM (Pulse Width Modulation) signals. The results show that the system is capable of accurately controlling the servo angle through a potentiometer as a dynamic input, along with simulation visualization in a software environment.*

Keywords: SG90 Servo, Arduino Uno, PWM, Dynamic Angle Control, Robotics

Abstrak. Pada penelitian ini dilakukan implementasi dan simulasi sistem penggerak servo SG90 berbasis Arduino Uno dengan kontrol sudut dinamis. Servo motor SG90 digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi seperti robotika dan otomasi karena kemudahan kontrol serta ukuran yang kecil. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan sistem kontrol yang mampu mengatur sudut servo secara dinamis menggunakan Arduino Uno. Metode simulasi yang digunakan melibatkan simulasi perangkat keras serta perangkat lunak yang dikombinasikan dengan kode kontrol servo berbasis sinyal PWM (Pulse Width Modulation). Hasil menunjukkan bahwa sistem mampu mengontrol sudut servo dengan akurasi yang baik melalui potensiometer sebagai input dinamis, serta visualisasi simulasi dalam lingkungan perangkat lunak.

Kata kunci: Servo SG90, Arduino Uno, PWM, Kontrol Sudut Dinamis, Robotika

1. LATAR BELAKANG

Perkembangan teknologi otomasi dan robotika telah membuka berbagai inovasi dalam sistem penggerak yang lebih efisien dan presisi. Servo motor merupakan salah satu komponen utama dalam sistem penggerak yang sering digunakan pada berbagai aplikasi, seperti robotika, otomasi industri, hingga proyek DIY berbasis mikrokontroler. Servo SG 90, sebagai salah satu jenis servo motor dengan ukuran kecil dan biaya terjangkau, banyak dipilih karena kemampuannya dalam menggerakkan beban secara akurat berdasarkan kontrol sudut.

Dalam banyak proyek, kemampuan untuk mengontrol sudut gerakan servo secara presisi menjadi sangat penting. Penggunaan mikrokontroler seperti Arduino Uno memberikan fleksibilitas tinggi untuk pengaturan sudut servo sesuai kebutuhan aplikasi. Arduino Uno, yang berbasis open-source dan mudah diprogram, menawarkan solusi yang efisien dalam mengendalikan servo SG 90, baik untuk aplikasi robotika sederhana maupun sistem yang lebih

kompleks. Melalui pemrograman Arduino, sudut servo dapat diatur secara dinamis berdasarkan input sensor atau perintah yang diberikan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi dan mengimplementasikan sistem penggerak servo SG 90 yang dikendalikan melalui Arduino Uno, di mana sudut gerakan servo dapat diatur dengan presisi sesuai kebutuhan. Sistem ini diharapkan dapat memberikan pemahaman lebih mendalam tentang aplikasi servo motor dalam proyek otomasi sederhana dan menjadi referensi bagi pengembang yang ingin memanfaatkan teknologi ini dalam berbagai bidang.

2. KAJIAN TEORITIS

Sistem penggerak servo SG90 berbasis Arduino Uno merupakan salah satu bentuk penerapan teknologi kontrol yang banyak digunakan dalam proyek-proyek robotika dan otomasi. Servo motor adalah perangkat yang mampu mengendalikan posisi sudut secara presisi melalui sinyal kendali yang diberikan oleh mikrokontroler, dalam hal ini menggunakan Arduino Uno. Implementasi kontrol sudut dinamis memungkinkan pergerakan sudut servo disesuaikan secara real-time, sehingga aplikasi sistem ini bisa diterapkan pada berbagai skenario, seperti robot lengan, kamera gimbal, dan kontrol otomatisasi lainnya.

Media Pembelajaran Wokwi Simulation

Wokwi merupakan media pembelajaran simulasi yang berfokus pada sistem mikrokontroler seperti Arduino UNO, Arduino NANO, Atmega, hingga ESP32. Wokwi memudahkan pengguna dengan menyediakan media pembelajaran yang bisa dilakukan Dimana saja dan membuat sebuah program ataupun proyek dan langsung mensimulasikan secara langsung di wokwi.

Mikrokontroler Arduino UNO

Arduino UNO merupakan sebuah papan mikrokontroler yang berbasis Atmega328, dan memiliki 14 pin input serta output yang 16 outputnya merupakan PWM, sebanyak 6 analog input, oscillator kristal 16 MegaHertz, power jack, dan port USB, Arduino uno dapat terhubung secara langsung dengan komputer untuk meng-compile sebuah file kodingan dan mengirimkannya ke mikrokontroler Arduino tersebut dengan menggunakan kabel USB.

Potensiometer

Potensiometer dapat digunakan sebagai sensor untuk mengukur derajat putaran kemudi dengan membaca nilai resistansinya untuk diubah ke dalam nilai digital menggunakan analog to digital converter yang terdapat di Arduino. ADC atau disebut juga dengan analog to digital converter merupakan fitur yang dimiliki oleh Arduino sebagai mikrokontroler guna membaca sinyal analog kemudian di konversikan menjadi sinyal digital.

Servo SG90

Motor servo SG 90 digunakan sebagai penggerak mekanis pembantu E.I karena memiliki sistem umpan balik loop tertutup dimana posisi motor diumpankan kembali ke rangkaian kontrol di dalam motor servo. Input ke kontrol dapat berupa sinyal analog atau digital. Motor servo biasanya hanya beroperasi pada sudut tertentu dan tidak beroperasi secara terus menerus, namun dapat juga dimodifikasi agar dapat beroperasi secara terus menerus.

LCD Display 16x9

LCD, yang merupakan singkatan dari Liquid Crystal Display, adalah modul tampilan elektronik yang banyak digunakan dalam berbagai perangkat, seperti ponsel, kalkulator, komputer, televisi, dan lainnya. Teknologi ini sering menjadi pilihan utama dibandingkan dengan tampilan LED multi-segmen atau tujuh segmen.

Keunggulan utama dari LCD adalah biayanya yang terjangkau, kemudahan pemrograman, kemampuan untuk menampilkan animasi, serta fleksibilitasnya dalam menampilkan karakter khusus, animasi, hingga simbol-simbol spesifik tanpa batasan. Hal ini menjadikannya solusi ideal untuk berbagai aplikasi elektronik.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental untuk mengembangkan sistem penggerak servo SG90 berbasis Arduino Uno dengan kontrol sudut dinamis. Perangkat keras yang digunakan antara lain servo SG90 sebagai aktuator, Arduino UNO sebagai mikrokontroler, dan potensiometer sebagai alat input untuk mengontrol sudut. Proses penelitian diawali dengan perancangan sistem perangkat keras. Servo SG90 dihubungkan ke pin digital Arduino Uno, dan potensiometer atau sensor dihubungkan ke pin analog Arduino Uno. Mikrokontroler Arduino Uno kemudian diprogram untuk menghasilkan sinyal PWM yang sesuai dengan input potensiometer. Saat posisi potensiometer berubah, nilai PWM yang dikirim ke servo berubah, menyebabkan sudut servo berubah tergantung inputnya. Kemudian menguji sistem dengan menggerakkan potensiometer untuk melihat seberapa baik dan akurat reaksi servo SG90 terhadap perubahan input. Pengujian dilakukan dalam berbagai skenario seperti perubahan sudut cepat dan lambat serta mengukur akurasi sudut yang dicapai servo. Hasil pengujian ini dianalisis untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam kondisi dinamis. Perangkat lunak Arduino IDE menggunakan perpustakaan servo untuk memudahkan pengendalian sinyal PWM. Kode pemrograman Arduino yang digunakan untuk menginisialisasi servo membaca input analog dari potensiometer dan mengubahnya menjadi sinyal PWM yang sesuai.

Komponen dan Alat

1. Arduino Uno: Digunakan sebagai pengontrol utama untuk mengirim sinyal PWM ke servo motor.
2. Servo SG90: Aktuator utama yang dikendalikan untuk memutar sudut secara dinamis.
3. Potensiometer: Digunakan sebagai alat untuk mengukur perubahan nilai resistansi yang digunakan sebagai input dinamis.
4. Software Simulasi: Perangkat lunak seperti Wokwi digunakan untuk memvisualisasikan rangkaian dan pengujian kode tanpa komponen fisik.

Rancangan Sistem

Rancangan sistem kontrol servo SG90 melibatkan penggunaan pustaka Servo.h pada Arduino untuk memudahkan pengiriman sinyal PWM. Potensiometer digunakan sebagai masukan untuk mengatur sudut secara real-time. Nilai resistansi yang dibaca dari potensiometer akan dikonversi menjadi sudut servo dengan menggunakan fungsi `map()`. Servo SG90 memiliki rentang sudut antara 0° hingga 180° . Pada dasarnya motor servo banyak digunakan sebagai aktuator yang membutuhkan posisi putaran motor yang presisi.

Algoritma Kontrol

Untuk mengimplementasikan kontrol sudut dinamis, algoritma berikut digunakan dalam kode Arduino:

1. Pembacaan Input: Nilai analog dibaca dari pin yang terhubung dengan potensiometer.
2. Konversi Nilai: Nilai tersebut dikonversi ke dalam rentang 0 hingga 180 menggunakan fungsi `map()`.
3. Pengaturan Sudut: Posisi servo diatur berdasarkan hasil konversi.
4. Simulasi Gerakan Dinamis: Servo dapat bergerak maju mundur antara 0° hingga 180° dengan delay untuk memvisualisasikan perubahan sudut secara bertahap.

Spesifikasi Servo SG90

Spesifikasi dari servo SG90 adalah sebagai berikut:

1. Berat: 9 gram
2. Torsi maksimum: 1.8 kg/cm
3. Tegangan kerja: 4.8V - 6V
4. Sudut rotasi: 0 hingga 180 derajat
5. Sinyal kendali: PWM (0.5 ms - 2.5 ms untuk rentang penuh)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

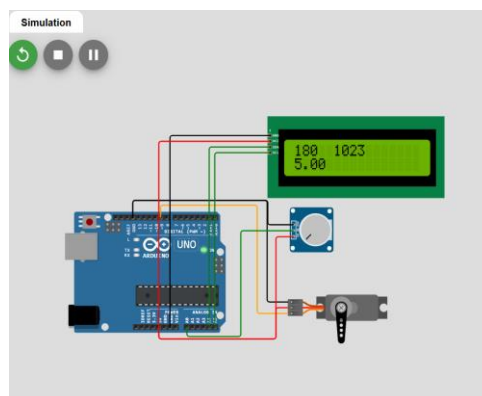
Dengan penggunaan software wokwi yang dapat digunakan untuk menguji desain rangkaian dan kode tanpa perangkat fisik, yang memberikan mobilitas dan fleksibilitas dalam pengembangan dan penelitian hingga dapat disimulasikan secara langsung, Sistem penggerak servo SG90 berbasis Arduino Uno dengan kontrol sudut dinamis berhasil diuji melalui simulasi pada platform Wokwi. Hubungan linier antara tegangan input dan sudut servo menunjukkan respons sistem yang stabil dan akurat. Sistem ini memiliki potensi besar untuk diaplikasikan dalam robotika dan otomasi, terutama untuk proyek yang membutuhkan kontrol sudut presisi tinggi. Sistem ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan mengintegrasikan sensor tambahan atau fitur IoT untuk mendukung aplikasi yang lebih kompleks. Kemudian dilakukan percobaan sebagai berikut,

Rangkaian dan Pemrograman WokWi

Wokwi adalah platform simulasi berbasis web yang dirancang untuk membantu pengguna dalam membuat, menguji, dan memvisualisasikan rangkaian elektronik secara virtual. Platform ini sangat berguna, terutama bagi pelajar, pengembang, dan penggemar elektronika yang ingin mengembangkan proyek mikrokontroler seperti Arduino, ESP32, atau Raspberry Pi Pico tanpa harus langsung menggunakan perangkat keras fisik.

Rangkaian WokWi

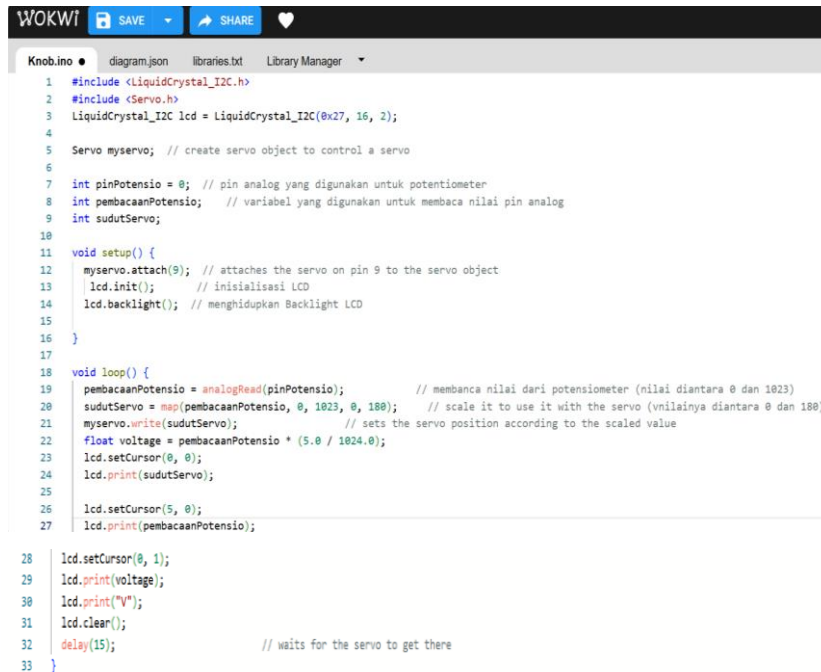
Fungsi utama Wokwi adalah memberikan lingkungan simulasi yang interaktif, di mana pengguna dapat membangun rangkaian elektronik dengan berbagai komponen yang tersedia, seperti resistor, LED, potensiometer, motor servo, dan banyak lagi. Setiap komponen memiliki sifat dan fungsi yang menyerupai perangkat keras sebenarnya, sehingga memungkinkan pengguna untuk mempelajari cara kerja komponen tersebut dalam sebuah sistem. Misalnya, dalam simulasi kontrol servo berbasis Arduino Uno, Wokwi memungkinkan pengguna untuk menghubungkan potensiometer sebagai input tegangan, mengamati nilai PWM yang dihasilkan, dan melihat bagaimana sudut servo berubah secara dinamis.



Gambar 1. Rangkaian WokWi

Pemrograman Rangkaian di WokWi

Wokwi dilengkapi dengan editor kode bawaan yang memungkinkan pengguna untuk langsung menulis, mengedit, dan menjalankan program dalam bahasa yang didukung, seperti C/C++ untuk Arduino atau MicroPython untuk ESP32. Dengan fitur ini, Wokwi tidak hanya menjadi alat untuk merancang rangkaian, tetapi juga sebagai media pembelajaran pemrograman mikrokontroler. Setelah kode diunggah ke simulasi, pengguna dapat langsung melihat hasil interaksi antara perangkat lunak dan perangkat keras virtual tanpa perlu perangkat tambahan, dimana berikut adalah coding pada simulasi ini.



```
WOKWI SAVE SHARE
Knobino • diagram.json libraries.txt Library Manager
1 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
2 #include <Servo.h>
3 LiquidCrystal_I2C lcd = LiquidCrystal_I2C(0x27, 16, 2);
4
5 Servo myservo; // create servo object to control a servo
6
7 int pinPotensio = 0; // pin analog yang digunakan untuk potentiometer
8 int pembacaanPotensio; // variabel yang digunakan untuk membaca nilai pin analog
9 int sudutServo;
10
11 void setup() {
12   myservo.attach(9); // attaches the servo on pin 9 to the servo object
13   lcd.init(); // inisialisasi LCD
14   lcd.backlight(); // menghidupkan Backlight LCD
15 }
16
17
18 void loop() {
19   pembacaanPotensio = analogRead(pinPotensio); // membaca nilai dari potentiometer (nilai diantara 0 dan 1023)
20   sudutServo = map(pembacaanPotensio, 0, 1023, 0, 180); // scale it to use it with the servo (vnilainya diantara 0 dan 180)
21   myservo.write(sudutServo); // sets the servo position according to the scaled value
22   float voltage = pembacaanPotensio * (5.0 / 1024.0);
23   lcd.setCursor(0, 0);
24   lcd.print(sudutServo);
25
26   lcd.setCursor(5, 0);
27   lcd.print(pembacaanPotensio);
28
29   lcd.setCursor(0, 1);
30   lcd.print(voltage);
31   lcd.print("V");
32   lcd.clear();
33   delay(15); // waits for the servo to get there
34 }
```

Gambar 2. Codingan WokWi

Data Hasil Perhitungan Teori

Berikut adalah tabel perbandingan antara tegangan input yang diterima dari potensiometer dan sudut rotasi yang dihasilkan oleh servo SG90 berdasarkan simulasi pada Wokwi:

Tabel 1. Data Hasil Perhitungan

Sudut Servo (°)	PWM (µs)	Nilai ADC (0-1023)	Tegangan Input (V)
0	500	0	0.0
45	1000	256	1.2
90	1500	512	2.5
135	2000	768	3.7
180	2500	1023	5.0

Data ini mencerminkan hubungan linier antara tegangan yang diatur melalui potensiometer, nilai ADC yang dibaca oleh Arduino, sinyal PWM yang dihasilkan, dan sudut rotasi servo SG90. Dalam sistem ini, potensiometer berfungsi sebagai alat untuk mengatur

tegangan input dalam rentang 0-5V. Tegangan ini kemudian dibaca oleh Arduino melalui pin analognya dan diubah menjadi nilai digital menggunakan fitur ADC. Nilai digital ADC ini berada dalam rentang 0 hingga 1023, di mana 0 mewakili tegangan 0V dan 1023 mewakili tegangan maksimum 5V. Selanjutnya, nilai ADC ini diproses oleh Arduino menggunakan fungsi `map()` untuk menghasilkan lebar pulsa PWM yang sesuai, yang menentukan sudut rotasi servo.

PWM (Pulse Width Modulation)

Pulse Width Modulation (PWM) adalah teknik untuk menghasilkan sinyal analog menggunakan perangkat digital. PWM bekerja dengan mengontrol lebar pulsa dalam suatu periode tetap, di mana rasio antara waktu aktif (on) dan waktu mati (off) disebut sebagai duty cycle. Duty cycle dinyatakan dalam persen dan menentukan nilai rata-rata dari sinyal output. Dengan mendapatkan sudut servo ideal yaitu 0° , 45° , 90° , 135° , 360° , maka dapat diperhitungkan PWM tersebut dengan perhitungan sebagai berikut:

$$PWM = PWM_{min} + \left(\frac{\text{Sudut Servo}}{\text{Sudut Max}} \times (PWM_{max} - PWM_{min}) \right)$$

Keterangan:

- $PWM_{min} = 500 \mu s$: Sinyal PWM untuk sudut 0° .
- $PWM_{max} = 2500 \mu s$: Sinyal PWM untuk sudut 180° .
- $\text{Sudut Max} = 180^\circ$: Sudut maksimum servo.
- Sudut Servo : Sudut aktual servo tersebut.

Contoh Perhitungan PWM sudut servo 45°

$$PWM = 500 + \left(\frac{45}{180} \times (2500 - 500) \right)$$

$$PWM = 500 + (0.25 \times 2000) = 500 + 500 = 1000 \mu s$$

Nilai ADC

Arduino Uno membaca tegangan analog yang dihasilkan oleh potensiometer melalui salah satu pin analog. Tegangan ini dikonversi ke nilai digital menggunakan fitur ADC (Analog to Digital Converter) pada Arduino. Nilai ADC berkisar antara 0 (untuk 0V) hingga 1023 (untuk 5V), sesuai dengan resolusi 10-bit ADC Arduino. Rumus untuk menghitung nilai ADC adalah:

$$ADC = \frac{PWM - PWM_{min}}{PWM_{max} - PWM_{min}} \times ADC_{max}$$

Keterangan:

- $ADC_{max} = 1023$: Nilai maksimum ADC.

Contoh perhitungan ADC dengan sudut servo 45°

$$ADC = \frac{1000 - 500}{2500 - 500} \times 1023$$

$$ADC = \frac{500}{2000} \times 1023 = 0.25 \times 1023 = 256$$

Tegangan input

Tegangan input adalah tegangan listrik yang diberikan ke suatu perangkat atau komponen elektronik untuk mengoperasikannya. Dalam konteks potensiometer dan servo SG90 seperti pada simulasi Anda, tegangan input mengacu pada tegangan yang masuk ke pin analog Arduino, di mana tegangan tersebut dihasilkan oleh putaran potensiometer.

$$V_{input} = \frac{ADC}{ADC_{max}} \times V_{ref}$$

Keterangan:

- $V_{ref} = 5V$

Contoh perhitungan V_{input} dengan sudut servo 45°

$$V_{input} = \frac{256}{1023} \times 5$$

$$V_{input} = 0.25 \times 5 = 1.25V$$

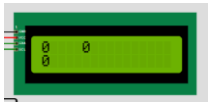
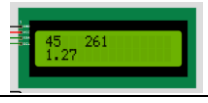
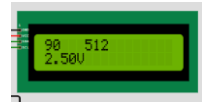
Data Hasil Pengamatan

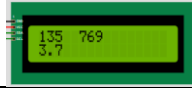
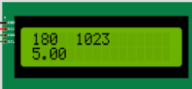
Kemudian setelah mendapatkan data hasil perhitungan secara teori maka diteliti data berdasarkan pengamatan simulasi dari web WokWi dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 2. Data Hasil Pengamatan

Sudut Servo ($^\circ$)	Nilai ADC (0-1023)	Tegangan Input (V)	Nilai Error ADC (%)	Nilai Error Input (V)
0	0	0.0	0%	0
45	261	1.27	0,0077%	0,047%
90	512	2.5	0%	0%
135	769	3.75	0,0013%	0,1875%
180	1023	5.0	0%	0%

Tabel 3. Data Foto Hasil Pengamatan Simulasi WokWi

Sudut Servo ($^\circ$)	Foto Pengamatan
0	
45	
90	

135	
180	

Perhitungan *error* merupakan perbandingan antara data yang didapatkan dari hasil perhitungan berdasarkan teori yang ada, nilai *error* masing-masing baik ADC ataupun tegangan input dapat dihitung dengan menggunakan rumus seperti berikut ini:

$$Error = \left| \frac{Perhitungan - Pengamatan}{Pengamatan} \right| \times 100\%$$

Keterangan :

- Perhitungan: Merupakan data hasil perhitungan diatas
- Pengamatan: Merupakan data hasil pengamatan

Contoh perhitungan error perbandingan ADC dengan sudut 45

$$Error = \left| \frac{256 - 261}{261} \right| \times 100\%$$

$$Error = 0,019 \times 100\%$$

$$Error = 0,019\%$$

Kesimpulan dari perbandingan antara data hasil perhitungan dan data simulasi Wokwi adalah adanya error kecil yang disebabkan oleh berbagai faktor, seperti presisi simulasi, pembulatan nilai ADC, resolusi ADC, ketidaksempurnaan model perangkat lunak, atau kondisi lingkungan simulasi. Meskipun error tersebut kecil, hal ini menunjukkan adanya perbedaan antara nilai teoretis yang dihitung secara ideal dengan nilai yang diperoleh dari platform simulasi, yang masih berada dalam batas toleransi Dimana batas toleransi nya adalah 10% dan Ketika lebih dari 10% maka percobaan dikatakan gagal sementara pada percobaan error yang terjadi masih di dalam ambang batas normal.

Salah satu faktor yang memiliki kemungkinan terbesar adalah resolusi ADC pada Arduino. ADC pada Arduino memiliki resolusi 10 bit, yang artinya sinyal analog dengan rentang tegangan 0 hingga 5 volt dipetakan ke nilai digital 0 hingga 1023. Proses ini menghasilkan langkah diskret sebesar $(5 \text{ \textit{volt}} / 1024 \text{ \textit{step}})$, yaitu sekitar 4,88 mV per step. Akibatnya, setiap tegangan input analog yang tidak tepat berada pada kelipatan 4,88 mV akan dibulatkan ke nilai digital terdekat. Misalnya, jika tegangan input idealnya adalah 1,26 V, hasil ADC yang dihitung adalah $(1,26 / 0,00488 \approx 258,2)$. Namun, nilai ini akan dibulatkan menjadi 258 oleh sistem, sehingga terjadi perbedaan kecil. Diskritisasi ini

adalah batasan inheren dalam konversi ADC dan merupakan alasan utama terjadinya error kecil dalam pengukuran simulasi dibandingkan perhitungan teoretis.

5. KESIMPULAN

Sistem penggerak servo SG90 berbasis Arduino Uno dengan kontrol sudut dinamis berhasil diimplementasikan dengan hasil yang memuaskan. Arduino Uno digunakan sebagai mikrokontroler utama untuk mengontrol pergerakan servo, dan servo SG90 memiliki kemampuan berputar dengan presisi tinggi sesuai sudut yang diinginkan. Sistem ini menggunakan sinyal PWM untuk mengatur sudut putaran servo, dan pengujian menunjukkan bahwa servo merespons perubahan nilai input dengan cepat dan akurat. Desain sederhana dan komponen terjangkau membuat sistem ini cocok untuk berbagai aplikasi termasuk robotika, otomasi, dan peralatan mekanis lainnya. Selain itu, kontrol sudut dinamis memberikan fleksibilitas dalam penyesuaian posisi servo waktu nyata, sehingga meningkatkan efisiensi dan kinerja sistem. Kedepannya, sistem ini dapat diperluas dengan mengintegrasikan sensor dan pengontrol berbasis IoT untuk aplikasi yang lebih kompleks. Sistem penggerak servo SG90 berbasis Arduino Uno dengan kontrol sudut dinamis berhasil diuji melalui simulasi pada platform Wokwi.

DAFTAR PUSTAKA

- Azad, A. K., Beg, R. A., & Ansari, A. H. (2018). Controlling servo motor using Arduino Uno and ultrasonic sensor. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 6(1), 35–39.
- Fang, Y., & Zhang, Q. (2019). Low-cost servo motor control system for educational purposes using Arduino. *Journal of Engineering and Applied Science*, 27(3), 105–112.
- Gunadi, I. G. A., & Rachmawati, D. O. (2022). Review penggunaan sensor pada aplikasi IoT. *Wahana Matematika dan Sains: Jurnal Matematika, Sains, dan Pembelajarannya*, 16(3).
- Gunawan, D. A., & Nugraha, M. S. (2021). Analisis akurasi kontrol sudut servo menggunakan mikrokontroler Arduino pada platform simulasi Wokwi. *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, 6(2), 18–25.
- Irawan, F., & Syah, M. (2021). Evaluasi implementasi kendali dinamis servo motor menggunakan sensor analog. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer Indonesia*, 9(1), 14–22.
- Iskandar, M., & Rahman, A. (2021). Analisis dan implementasi sistem kendali servo menggunakan Arduino. *Jurnal Teknologi Mekatronika dan Otomasi*, 8(2), 110–119.

- Johar, M., & Rahmat, A. (2021). Integrasi kendali servo SG90 dengan sensor ultrasonik berbasis Arduino. *Jurnal Teknologi Kendali dan Otomasi*, 5(2), 98–105.
- Mahendra, A., & Hartono, R. (2019). Desain dan implementasi sistem kontrol sudut menggunakan servo SG90. *Jurnal Teknik Elektro dan Otomasi*, 6(3), 35–42.
- Nugroho, S. E., & Ardianto, Y. (2019). Analisis dan implementasi sistem kendali servo SG90 berbasis Arduino. *Jurnal Teknologi Mekatronika*, 5(2), 45–53.
- Park, J. S., & Lee, K. H. (2019). Development of Arduino-based servo motor control for robotic arm. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 15(8), 5674–5680.
- Permana, H., & Suryadi, R. (2020). Rancang bangun sistem kendali gerakan servo motor pada robot penari menggunakan Arduino. *Jurnal Teknologi Terapan dan Inovasi*, 8(1), 30–37.
- Putra, A. W., & Sutrisno, A. (2021). Sistem kontrol servo motor untuk robot lengan berbasis Arduino. *Jurnal Teknologi Elektro dan Komputer*, 10(3), 21–28.
- Rahman, M. A., & Alavi, A. H. (2017). Dynamic position control of servo motor using PID and Arduino platform. *International Journal of Robotics and Automation*, 12(4), 33–41.
- Saeed, A., & Saleem, A. (2020). Arduino-based servo motor control system using PWM signal. *International Journal of Electronics and Electrical Engineering*, 8(2), 112–118.