

Rancang Bangun Manipulator Lengan Robot 4 Derajat Kebebasan untuk Mengangkat Telur Ayam Broiler Menggunakan Algoritma Levenberg-Marquardt

Khairul Aman^{1*}, Asran¹, Dedi Fariadi¹, Muchlis Abdul Muthalib¹, Habib Muharry Yusdartono¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Universitas Malikussaleh, Lhokseumawe, Indonesia

*Email: khairul.aman415@gmail.com

Abstrak—Lengan robot yang dikendalikan secara nirkabel melalui *Bluetooth* dan perangkat Android memungkinkan pengguna untuk memanipulasi objek tanpa kontak langsung. *Sensor Force Sensitive Resistor* (FSR) digunakan untuk mengukur gaya genggaman *gripper*, sementara Algoritma Levenberg-Marquardt memastikan kontrol gerakan yang presisi. Pada objek rapuh seperti telur ayam broiler, *gripper* dirancang untuk berhenti secara otomatis saat mencapai nilai ambang batas (*threshold*) sebesar 552, yang diperoleh dari rata-rata pengambilan data manual sebanyak 11 kali. Ketika sensor FSR mendeteksi gaya yang melebihi ambang batas, algoritma tersebut menghentikan *gripper* guna mencegah kerusakan pada objek. Dari hasil pengujian yang dilakukan sebanyak 10 kali, sistem menunjukkan tingkat keberhasilan 100%, dengan *gripper* berhenti secara tepat tanpa menyebabkan kerusakan pada telur. Variasi tekanan pada setiap objek diduga disebabkan oleh perbedaan ketebalan cangkang atau fluktuasi nilai sensor yang terjadi selama pengujian.

Kata kunci: Algoritma Levenberg-Marquardt, *Bluetooth*, FSR (*Force Sensitive Resistor*), Lengan Robot, Telur Ayam Broiler

Abstract—The robotic arm, wirelessly controlled via *Bluetooth* and an Android device, allows users to manipulate objects without direct contact. The *Force Sensitive Resistor* (FSR) sensor is employed to measure the gripping force of the *gripper*, while the Levenberg-Marquardt Algorithm ensures precise movement control. For delicate objects such as broiler chicken eggs, the *gripper* is designed to stop automatically upon reaching a *threshold* value of 552, which was obtained from an average of 11 manual data collections. When the FSR sensor detects a force exceeding this *threshold*, the algorithm halts the *gripper* to prevent damage to the object. From 10 experimental trials, the system demonstrated a 100% success rate, with the *gripper* stopping precisely without causing any damage to the eggs. The variation in pressure across different objects is believed to be due to differences in eggshell thickness or continuous sensor fluctuations during testing.

Keyword: *Bluetooth*, Broiler Chicken Eggs, FSR (*Force Sensitive Resistor*), Robotic Arm, Levenberg-Marquardt Algorithm

I. PENDAHULUAN

TEKNOLOGI robotika telah berkembang pesat, membawa perubahan signifikan dalam berbagai sektor, termasuk industri peternakan ayam broiler yang berperan penting dalam penyediaan protein hewani murah dan bergizi [1]. Dalam industri ini, penanganan telur adalah aspek krusial karena telur ayam broiler memiliki cangkang tipis yang mudah pecah. Penggunaan tenaga manusia untuk menangani telur sering kali tidak efisien dan berisiko tinggi terhadap kerusakan, yang dapat mengganggu produksi dan menimbulkan kerugian ekonomi [2].

Manipulator lengan robot hadir sebagai solusi teknologi yang dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi penanganan telur [3]. Dengan kemampuan meniru gerakan lengan manusia, manipulator ini, yang dilengkapi dengan 4 derajat kebebasan (DOF), memungkinkan fleksibilitas tinggi dalam mengangkat dan memindahkan telur ayam broiler secara hati-hati dan presisi [4]. Salah satu tantangan utama dalam perancangan manipulator lengan robot adalah pengukuran dan pengendalian tekanan yang diterapkan oleh *gripper* pada telur [5]. Tekanan yang berlebihan dapat merusak cangkang, sementara tekanan yang terlalu kecil mungkin tidak cukup untuk menjaga stabilitas telur selama proses pengangkatan [6].

Untuk mengatasi tantangan ini, digunakan sensor *Force Sensitive Resistor* (FSR) yang mampu mengukur tekanan dengan akurat berdasarkan perubahan resistansi yang terjadi saat *gripper* menekan telur [7]. Selain itu, untuk memberikan fleksibilitas dan kemudahan operasional, lengan robot dikontrol melalui modul *Bluetooth* HC-05 yang terhubung dengan perangkat Android, memungkinkan kontrol nirkabel yang efisien [8]. Aplikasi ini memungkinkan operator untuk mengatur gerakan lengan robot dan tekanan *gripper* dengan mudah, sehingga meminimalkan risiko kerusakan telur [9].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang manipulator lengan robot yang mampu menangani telur ayam broiler dengan aman, efisien, dan presisi tinggi, sambil meminimalkan risiko kerusakan telur [10]. Dengan penerapan sistem pengukuran tekanan menggunakan FSR dan kontrol nirkabel melalui *Bluetooth* HC-05, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi penting bagi pengembangan teknologi robotika dalam industri peternakan, serta menawarkan solusi praktis yang dapat diterapkan di lapangan untuk meningkatkan produktivitas dan kualitas dalam penanganan telur [11].

II. METODE

A. Metode Penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan terstruktur untuk mencapai tujuan yang ditetapkan. Dimulai dengan tahap persiapan, di mana dilakukan pengumpulan literatur dan identifikasi kebutuhan alat serta bahan. Selanjutnya, pada tahap pembuatan alat, semua komponen lengan robot dirakit dan diuji secara individual, termasuk pemrograman sistem kontrol dengan Arduino dan instalasi sensor FSR.

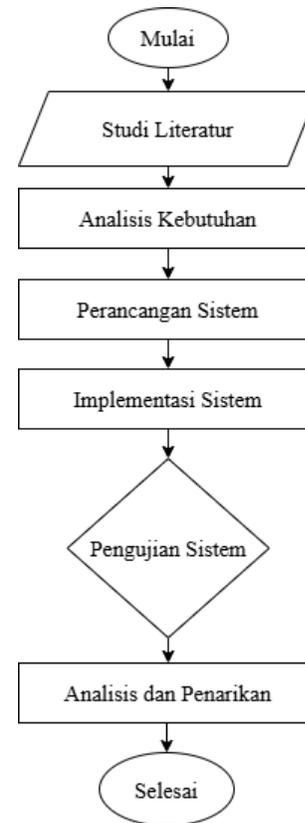
Setelah alat selesai, dilakukan pengujian untuk mengevaluasi kinerjanya dalam mengangkat telur ayam broiler. Data dari pengujian ini akan dianalisis secara statistik untuk menilai performa sistem. Tahap terakhir adalah analisis data, di mana hasil pengujian diolah untuk menghitung nilai rata-rata, simpangan baku, dan menarik kesimpulan tentang efektivitas lengan robot. Diagram alur penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1, yang menggambarkan hubungan antar tahap dan memastikan bahwa penelitian dilakukan secara terencana.

1) Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memahami teori dan prinsip dasar yang digunakan dalam perancangan sistem. Sumber-sumber literatur diambil dari buku, jurnal, dan penelitian sebelumnya. Topik yang dikaji meliputi lengan robot, *gripper* sebagai end effector, karakteristik telur ayam, sensor FSR (*Force Sensitive Resistor*), motor servo, Arduino Uno, Arduino IDE, *Bluetooth* HC-05, dan *joystick*. Pengetahuan ini menjadi dasar dalam pengembangan sistem robot.

2) Analisis Kebutuhan

Analisis kebutuhan dilakukan untuk menentukan semua perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan dalam sistem. Kebutuhan hardware mencakup mikrokontroler, sensor, motor, dan *gripper*. Sedangkan software yang diperlukan termasuk Arduino IDE untuk pemrograman dan aplikasi Android untuk kontrol nirkabel.



Gambar. 1. Flowchart Alur Penelitian

3) Perancangan Sistem

Perancangan sistem melibatkan pembuatan desain sistem lengan robot 4 DOF, di mana sensor FSR digunakan untuk mengukur tekanan, motor servo untuk menggerakkan *gripper*, dan *Bluetooth* HC-05 untuk komunikasi dengan perangkat Android. Semua komponen diintegrasikan untuk mendukung fungsi pengangkatan telur secara otomatis.

4) Implementasi Sistem

Pada tahap implementasi, komponen-komponen seperti sensor, servo, dan modul *Bluetooth* disambungkan ke Arduino Uno, serta motor servo terhubung dengan *gripper*. Sistem dikonfigurasi agar berfungsi sesuai dengan perancangan, dan dilakukan pemeriksaan untuk memastikan semua komponen bekerja dengan baik.

5) Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem, termasuk kontrol nirkabel melalui perangkat Android, pengambilan data sensor FSR pada telur, serta pengujian otomatisasi *gripper* saat tekanan mencapai ambang batas. Pengujian juga menilai kemampuan cengkeraman *gripper* pada telur ayam tanpa merusaknya.

6) Analisis dan Penarikan Kesimpulan

Setelah pengujian, dilakukan analisis terhadap data yang diperoleh untuk menilai efektivitas dan keandalan sistem. Kesimpulan diambil berdasarkan hasil analisis, memberikan jawaban atas tujuan penelitian, dan menawarkan saran untuk pengembangan di masa mendatang.

Rekomendasi untuk penelitian masa depan termasuk eksplorasi penggunaan algoritma kontrol *hybrid* atau implementasi sensor tambahan untuk meningkatkan akurasi. Kontribusi utama penelitian ini adalah pengembangan sistem kontrol tekanan berbasis *Bluetooth* yang efektif untuk penanganan objek rapuh.

B. Perancangan Sistem Bluetooth

Rekomendasi untuk penelitian masa depan termasuk eksplorasi penggunaan algoritma kontrol *hybrid* atau implementasi sensor tambahan untuk meningkatkan akurasi. Kontribusi utama penelitian ini adalah pengembangan sistem kontrol tekanan berbasis *Bluetooth* yang efektif untuk penanganan objek rapuh.

Sistem *Bluetooth* dirancang untuk mengendalikan lengan robot 4 derajat kebebasan (DOF) secara nirkabel menggunakan modul HC-05 yang terhubung dengan Arduino. Perintah dari perangkat Android diteruskan ke Arduino untuk menggerakkan servo, memungkinkan robot mengangkat dan memindahkan telur ayam broiler.

```
SoftwareSerial bluetooth(2,3);
bluetooth.begin(9600);
```

Gambar. 2. Tampilan Kode Inisialisasi Komunikasi *Bluetooth*

Inisialisasi komunikasi dilakukan dengan Software Serial pada pin 2 dan 3 Arduino, serta baud rate diatur pada 9600 bps menggunakan `Bluetooth.begin(9600);` Pengaturan ini memastikan perintah dari Android diterima dan dieksekusi secara tepat, mendukung kontrol robot secara efisien dan presisi.

C. Pengendalian Servo Berdasarkan Input Bluetooth

Setelah komunikasi dengan modul *Bluetooth* diinisialisasi, Arduino memantau data yang diterima dari perangkat Android. Data ini digunakan untuk mengendalikan posisi servo pada lengan robot. Setiap data yang diterima mewakili perintah untuk menggerakkan servo ke posisi tertentu. Misalnya, jika perintah yang diterima adalah '0', Arduino akan mengatur sudut servo sesuai perintah. Setelah servo mencapai posisi yang diinginkan, fungsi `detach` digunakan untuk melepaskan servo guna menghemat energi dan mencegah motor menjadi panas berlebih.

```
if (bluetooth.available()) {
  int incomingData = bluetooth.read();
  if (incomingData == '0'){
    for (int i = 0; i < 10; i++) {
      servo1angle++;
      servo1.write(servo1angle);
      delay(10);
    }
  }
  // ... kondisi lainnya
}
```

Gambar. 3. Tampilan kode pengendalian servo berdasarkan input *Bluetooth*

D. Pengiriman Data Sensor melalui Bluetooth

Selain menerima perintah, sistem juga dirancang untuk mengirimkan data dari sensor FSR kembali ke perangkat yang terhubung melalui *Bluetooth*. Data ini penting sebagai umpan balik *real-time*, memungkinkan pengguna memantau tekanan yang diterapkan oleh lengan robot pada objek yang dipegang. Data yang terbaca dari sensor dikirim melalui modul *Bluetooth* ke perangkat penerima untuk dianalisis lebih lanjut, memberikan kendali lebih presisi dalam pengoperasian robot.

E. Pengendalian Servo Berdasarkan Input Joystick

Selain menggunakan *Bluetooth*, Arduino juga menerima input dari *joystick* yang digunakan untuk mengontrol posisi servo pada lengan robot secara manual. Nilai analog yang diterima dari *joystick* diproses untuk menentukan arah dan besar pergerakan servo.

```
int joyXVal = analogRead(joyXPin);
if (joyXVal >= 700 && servo3angle <= 90){
  servo3angle++;
}
```

Gambar. 4. Tampilan kode pengendalian servo berdasarkan input *Joystick*

Jika *joystick* digerakkan dan nilai yang terbaca memenuhi kondisi tertentu, servo akan bergerak sesuai dengan arah gerakan *joystick*, memungkinkan kendali manual yang lebih fleksibel dan responsif.

F. Pelepasan Servo Setelah Penggunaan

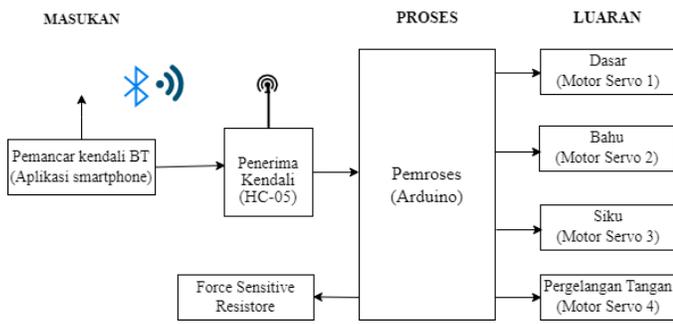
Untuk mengurangi konsumsi daya dan mencegah keausan pada servo, setiap servo dilepaskan dari kontrol Arduino setelah mencapai posisi yang diinginkan. Dengan melepaskan servo, Arduino menghentikan pengiriman sinyal PWM, yang juga membantu mencegah pemanasan berlebih pada motor servo. Proses ini memastikan servo hanya aktif saat diperlukan, meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan.

Dalam keseluruhan proses ini, komunikasi *Bluetooth* memainkan peran penting dalam mengendalikan lengan robot secara nirkabel. Modul HC-05 memungkinkan Arduino menerima perintah dari perangkat eksternal, seperti *smartphone*, yang digunakan untuk menggerakkan servo. Dengan memanfaatkan `SoftwareSerial`, Arduino tetap dapat berkomunikasi dengan modul *Bluetooth* tanpa mengganggu

komunikasi serial utama yang mungkin diperlukan untuk debugging.

Selain itu, proses ini memungkinkan pengiriman data sensor kembali ke perangkat eksternal untuk umpan balik *real-time*, penting dalam aplikasi robotika yang memerlukan kontrol presisi dan respon cepat. Kode ini menjadi contoh bagaimana komunikasi nirkabel dapat diintegrasikan dengan kontrol servo untuk membangun sistem robotik yang responsif dan fleksibel. Proses inisialisasi, penerimaan, pemrosesan, dan pengiriman data dirancang untuk bekerja secara harmonis, memastikan lengan robot beroperasi dengan baik dalam berbagai kondisi dan perintah yang diberikan melalui *Bluetooth*.

G. Gambaran Sistem



Gambar. 5. Diagram Balok

Berikut adalah keterangan singkat dari gambar diagram blok tersebut:

1. Ponsel Pintar Android: Berfungsi sebagai input untuk mengirim perintah kendali ke lima motor servo.
2. *Bluetooth* HC-05: Media penghubung antara motor servo dan aplikasi (APK) di ponsel pintar, memungkinkan pengiriman data nirkabel.
3. Mikrokontroler Arduino UNO: Memproses data masukan dari ponsel dan mengontrol motor servo berdasarkan perintah yang diterima.
4. Motor Servo: Berfungsi sebagai output yang bergerak sesuai perintah dari ponsel pintar, menggerakkan lengan robot.

Sistem dirancang untuk memegang telur ayam menggunakan *gripper* robot. Kekuatan cengkeraman diukur dengan sensor FSR (*Force Sensitive Resistor*) yang mengonversi sinyal dari analog ke digital, dengan nilai lebih tinggi menunjukkan cengkeraman lebih besar. *Gripper* memiliki batas kekuatan cengkeraman (*threshold*); saat nilai sensor melebihi *threshold*, algoritma Levenberg-Marquardt menginstruksikan *gripper* untuk berhenti menjepit, mencegah kerusakan pada telur. Sistem ini juga memastikan *gripper* mengarah ke posisi yang tepat untuk menjepit telur.

H. Perancangan Interface Aplikasi Android

Aplikasi Android yang digunakan untuk mengontrol robot

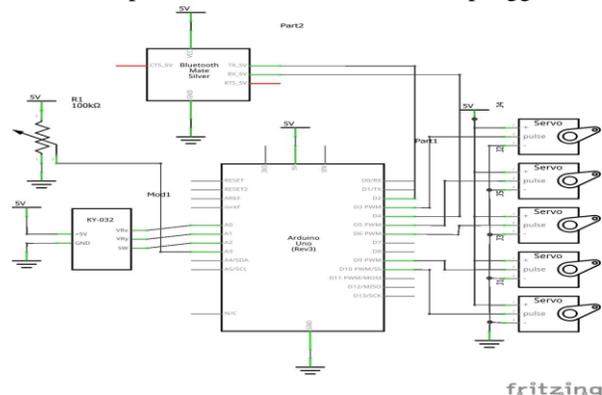
dirancang dengan antarmuka yang intuitif bagi pengguna. Antarmuka aplikasi mencakup beberapa elemen penting, antara lain:

- 1) Judul Aplikasi: Di bagian atas, terdapat judul "ARMBOT CONTROLLER," yang menandakan bahwa pengguna telah memasuki aplikasi.
- 2) Label untuk Koneksi *Bluetooth*: Terdapat label yang menunjukkan status koneksi *Bluetooth*, memudahkan pengguna untuk mengetahui apakah aplikasi telah terhubung dengan modul *Bluetooth*.
- 3) Tombol Kontrol: Aplikasi ini dilengkapi dengan delapan tombol dengan fungsi spesifik:
 - a) Dua tombol untuk *gripper*:
 - Tombol "Ambil": Digunakan untuk mengeratkan *gripper*, memungkinkan robot untuk menggenggam objek.
 - Tombol "Lepas": Digunakan untuk melonggarkan grip, memudahkan pelepasan objek.
 - b) Empat tombol lainnya untuk kontrol lengan robot:
 - Tombol |UP|: Menaikkan lengan robot.
 - Tombol |DOWN|: Menurunkan lengan robot.
 - Tombol |RIGHT|: Menggerakkan lengan robot ke kanan.
 - Tombol |LEFT|: Menggerakkan lengan robot ke kiri.

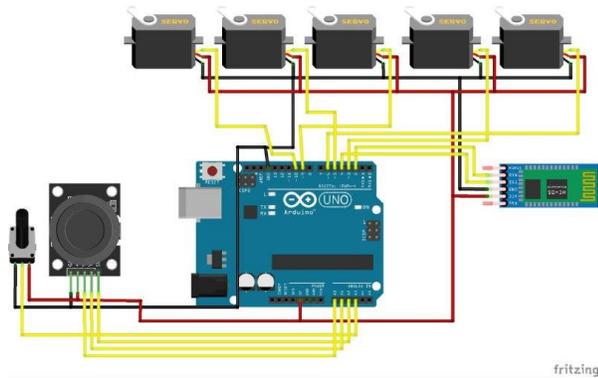
Desain antarmuka ini bertujuan untuk meningkatkan kenyamanan dan efisiensi pengguna dalam mengontrol lengan robot, memastikan bahwa semua fungsi dapat diakses dengan mudah dan cepat.

I. Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

Sistem yang dibuat membutuhkan platform untuk mengeksekusi program yang akan dijalankan pada mikrokontroler. Dalam perancangan ini, penulis menggunakan Arduino Uno sebagai pusat pengendalian (otak) dari sistem kerja lengan robot. Arduino Uno dipilih karena bentuknya yang sederhana dan praktis, serta kemudahan dalam penggunaannya.



Gambar. 6. Diagram Rangkaian Sistem



Gambar. 7. Rangkaian Sistem

Pada gambar tersebut, ditunjukkan diagram rangkaian yang mengendalikan beberapa servo motor menggunakan Arduino Uno dengan *joystick* dan modul *Bluetooth* HC-05. Berikut penjelasan dari setiap komponen yang terhubung:

- 1) *Arduino Uno*:
Befungsi sebagai pusat kontrol dari keseluruhan sistem.
- 2) *Servo Motor*:
 - a. Empat servo motor terhubung ke pin digital Arduino Uno.
 - b. Setiap servo motor memiliki tiga kabel:
 - Merah untuk VCC (*power supply*),
 - Hitam untuk Ground (GND),
 - Kuning untuk sinyal yang terhubung ke pin digital Arduino.
- 3) *Joystick*:
 - a) Digunakan untuk mengendalikan pergerakan servo.
 - b) Memiliki lima kabel:
 - VCC (Merah) terhubung ke 5V pada Arduino,
 - GND (Hitam) terhubung ke GND pada Arduino,
 - VRx (Kabel Kuning) terhubung ke pin analog (A0) untuk posisi horizontal,
 - VRy (Kabel Hijau) terhubung ke pin analog (A1) untuk posisi vertikal,
 - SW (Kabel Putih) terhubung ke pin digital (D2) sebagai tombol klik.
- 4) Modul *Bluetooth* HC-05:
 - a. Digunakan untuk komunikasi nirkabel dengan perangkat lain (seperti *smartphone*).
 - b. Terhubung ke pin TX dan RX pada Arduino untuk komunikasi serial.
 - VCC (Merah) terhubung ke 5V,
 - GND (Hitam) terhubung ke GND,
 - TX (Hijau) terhubung ke pin RX pada Arduino,
 - RX (Kuning) terhubung ke pin TX pada Arduino.

Alur Rangkaian

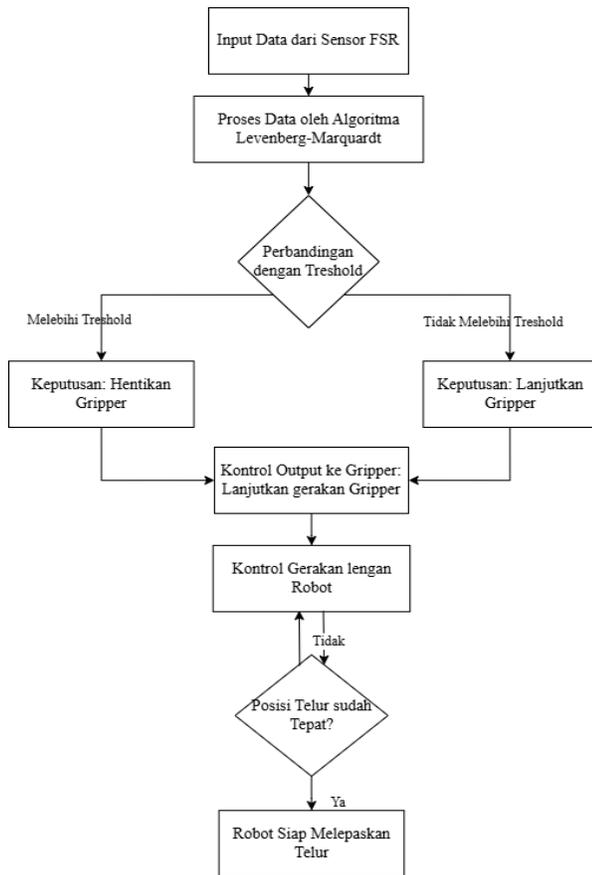
1. Power Supply:
 - Arduino dan semua komponen mendapatkan daya dari sumber yang sama, dengan kabel merah terhubung ke 5V dan kabel hitam ke GND.
2. Sinyal Kendali:
 - Joystick mengirim sinyal analog ke pin A0 dan A1 untuk menentukan arah pergerakan.
 - Arduino memproses sinyal tersebut dan mengirimkan sinyal PWM ke servo motor melalui pin digital.
3. Komunikasi *Bluetooth*:
 - Modul HC-05 menerima sinyal dari perangkat eksternal dan mengirimkannya ke Arduino melalui komunikasi serial (TX dan RX).

Diagram ini memberikan gambaran bagaimana semua komponen bekerja bersama-sama untuk mengendalikan servo motor secara nirkabel menggunakan *joystick* dan modul *Bluetooth*. Kombinasi ini memungkinkan kendali lengan robot yang responsif dan fleksibel, serta memungkinkan penggunaan aplikasi pada *smartphone* untuk kontrol lebih lanjut.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tahap pengujian, dilakukan pengecekan menyeluruh untuk memastikan seluruh perangkat dan rangkaian berfungsi dengan baik, termasuk memverifikasi jalur komponen sesuai dengan skema rangkaian. Pengujian mencakup pengiriman perintah dari aplikasi Android ke sistem robot, pengambilan data dari sensor FSR untuk mengukur tekanan dengan akurat saat *gripper* berinteraksi dengan objek, serta pengujian algoritma otomatis yang menghentikan *gripper* ketika tekanan melebihi batas *threshold*, guna mencegah kerusakan pada objek, seperti telur ayam.

Hasil menunjukkan bahwa tekanan yang diterapkan oleh *gripper* berbanding lurus dengan nilai sensor FSR, yang mengindikasikan konsistensi algoritma kontrol. Dibandingkan dengan studi sebelumnya yang menggunakan metode kontrol berbasis PID, algoritma Levenberg-Marquardt memberikan presisi yang lebih tinggi dalam menjaga batas *threshold* tekanan.

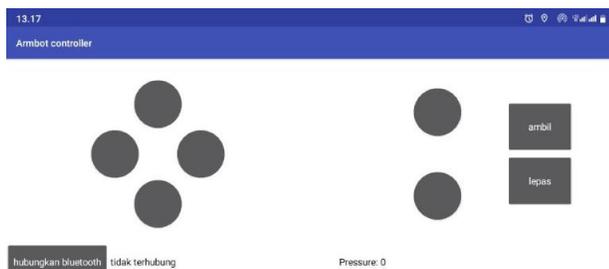


Gambar. 8. Diagram Alir Proses Kontrol Lengan Robot

Diagram alir tersebut menggambarkan proses pengendalian robot untuk memindahkan telur menggunakan sensor FSR dan algoritma Levenberg-Marquardt.

A. Desain Aplikasi

Aplikasi remote kontrol yang dirancang untuk lengan robot penyortir telur ayam terdiri dari beberapa tombol dengan fungsi spesifik. Antarmuka aplikasi dibuat sederhana dan *user-friendly* untuk memudahkan pengguna dalam mengoperasikan robot. Antarmuka aplikasi terdiri dari elemen-elemen utama yang diatur untuk memaksimalkan kemudahan dan efektivitas kontrol:



Gambar. 9. Tampilan Model Aplikasi Remote Kontrol

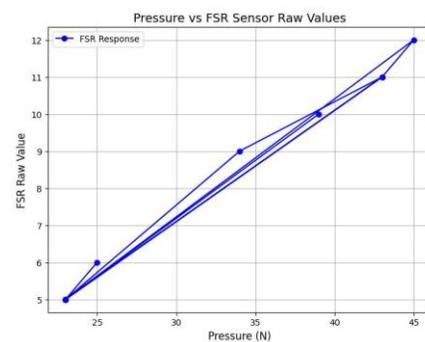
- **Tombol Kontrol Lengan:** Empat tombol untuk menggerakkan lengan robot.
- **Tombol Kontrol Tangan:** Dua tombol untuk mengendalikan *gripper*.
- **Tombol Koneksi Bluetooth:** Untuk menghubungkan aplikasi dengan robot melalui *Bluetooth*, dengan proses koneksi yang mudah dan cepat.
- **Tampilan Sensor Tekanan:** Menampilkan nilai tekanan dari sensor pada *gripper*, memastikan tangan robot memegang telur dengan tekanan yang tepat

B. Pengukuran Tekanan pada Lengan Robot dan Gripper

Pengukuran tekanan adalah aspek kritis dari proyek, menggunakan metode untuk mengukur kekuatan yang diterapkan oleh lengan robot dan *gripper* secara akurat. Metode pengukuran menggunakan *Force Sensitive Resistors (FSR)* untuk menangkap data tekanan, memberikan umpan balik *real-time* tentang kekuatan yang diterapkan.

TABEL I
HASIL PENGUKURAN TEKANAN DAN KONDISI SERVO

Tekanan (N)	Nilai Raw	Hasil
25	6	Berhasil
23	5	Berhasil
34	9	Berhasil
43	11	Gagal
45	12	Gagal
23	5	Berhasil
23	5	Berhasil
43	11	Gagal
23	5	Berhasil
39	10	Berhasil



Gambar. 10. Grafik Pressure dan Nilai Raw Sensor FSR

Grafik menunjukkan hubungan antara tekanan (dalam Newton) dan nilai raw yang dihasilkan oleh sensor FSR. Semakin tinggi tekanan, semakin besar nilai raw yang tercatat, dengan hubungan yang cenderung linier. Grafik ini menggambarkan bahwa sensor FSR berfungsi dengan stabil, mengukur tekanan secara akurat dengan variasi yang kecil. Nilai raw digunakan untuk mengontrol *gripper*, di mana

gripper dihentikan saat nilai raw melebihi *threshold*, mencegah kerusakan pada objek yang diangkat.

C. Analisis Data

1) Rata-rata Nilai Raw

Rata-rata nilai raw memberikan gambaran umum tentang nilai tekanan yang diterima oleh lengan robot selama pengujian. Rata-rata ini dihitung dengan menjumlahkan semua nilai raw dan membaginya dengan jumlah data.

Rata-rata nilai raw dapat dihitung sebagai berikut:

$$Raw = \frac{6+5+9+11+\dots+10}{10} = \frac{79}{10} = 7,9$$

Rata-rata nilai raw 7.9 menunjukkan nilai tekanan tipikal yang diterima oleh lengan robot. Ini memberikan indikasi bahwa, secara umum, lengan robot bekerja dalam rentang tekanan yang relatif stabil selama uji coba.

2) Simpangan Baku

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \mu)^2}{n}}$$

$$\Sigma = 3,61 + 8,41 + \dots + 4,41 = 78,00$$

Varians :

$$\sigma = \frac{78,00}{10} = 7,80$$

Simpangan Baku:

$$\sigma = \sqrt{7,80} \approx 2,79$$

Simpangan baku sebesar 2,79 menunjukkan tingkat variasi yang cukup signifikan di sekitar rata-rata nilai raw.

3) Hasil Pengujian

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem manipulasi robotik dengan sensor FSR dan algoritma Levenberg-Marquardt berfungsi dengan baik, dengan tingkat keberhasilan mencapai 100% dalam pengendalian *gripper*. Sensor FSR memberikan pengukuran tekanan yang stabil, dengan rata-rata tekanan 7,9 N dan simpangan baku 2,79 N, serta *threshold* 552 yang berhasil menghentikan *gripper* tanpa merusak telur. Algoritma Levenberg-Marquardt mengoptimalkan kontrol dengan konvergensi cepat, kurang dari lima iterasi.

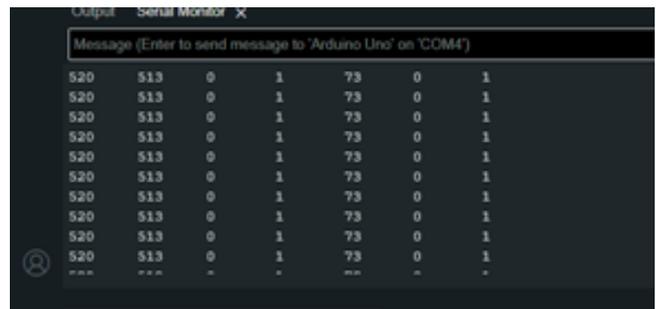
Pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi variasi tekanan dengan error rata-rata ±0,5 N dan stabilitas sistem terjaga setelah 10 siklus pengoperasian. Meskipun kontrol *gripper* sangat akurat, kontrol gerakan lengan robot masih mencatatkan tingkat keberhasilan 80%, yang menunjukkan perlunya optimasi lebih lanjut pada pengendalian servo dan posisi lengan.

Gambar 11 dan 12 menunjukkan bahwa ketika *gripper* bergerak menjauhi objek, nilai sensor yang terbaca cenderung menurun seiring dengan terbukanya *gripper* yang dikendalikan oleh motor servo. Hasil pengujian ini mengindikasikan bahwa

semakin erat *gripper* memegang telur ayam, semakin tinggi nilai yang tercatat oleh sensor. Sebaliknya, saat cengkeraman *gripper* merenggang, nilai yang terbaca oleh sensor akan berkurang.



Gambar. 11. Nilai Sensor Ketika *Gripper* Menggenggam telur



Gambar. 12. Tampilan nilai Sensor Ketika *Gripper* Terbuka

Secara keseluruhan, sistem berhasil berfungsi dengan presisi tinggi dalam mengangkat telur, namun pengoptimalan pada akurasi gerakan lengan robot masih diperlukan untuk meningkatkan performa sistem secara keseluruhan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, penerapan *gripper* pada end effector lengan robot yang dilengkapi dengan sensor FSR (*Force Sensitive Resistor*) untuk memanipulasi telur ayam menghasilkan beberapa temuan signifikan. Pertama, pengujian tekanan yang dihasilkan oleh *gripper* terhadap objek telur menunjukkan bahwa nilai sensor FSR berbanding lurus dengan peningkatan tekanan kontak antara *gripper* dan objek. Sebaliknya, ketika *gripper* mulai melepaskan objek, nilai sensor mengalami penurunan, menandakan bahwa sistem merespons secara akurat terhadap perubahan tekanan yang terjadi. Kedua, untuk menjaga integritas struktur telur, sistem menerapkan mekanisme *threshold* sebagai parameter kontrol untuk menghentikan pergerakan *gripper* secara otomatis ketika tekanan yang terdeteksi oleh sensor melebihi ambang batas yang telah ditetapkan. Pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menghentikan pergerakan *gripper* dengan tingkat keberhasilan mencapai 100%, memastikan tidak adanya kerusakan pada objek yang dimanipulasi. Ketiga, implementasi sistem kontrol jarak jauh melalui koneksi nirkabel berbasis *Bluetooth* menunjukkan performa yang optimal, di mana

konektivitas antara perangkat pengirim dan penerima terjalin secara stabil. Pengujian terhadap tombol fungsi GRIP dan UNGRIP menunjukkan tingkat keberhasilan 100%, sedangkan tombol fungsi UP dan DOWN mencatat keberhasilan sebesar 80%, yang masih berada dalam batas toleransi untuk pengoperasian sistem kendali dasar.

REFERENSI

- [1] F. Rahman, F. Faridah, A. I. Nur, and A. N. Makkaraka, "Rancang Bangun Prototipe Manipulator Lengan Robot Menggunakan Motor Servo Berbasis Mikrokontroler," *ILTEK J. Teknol.*, vol. 15, no. 01, pp. 42–46, 2020, doi: 10.47398/iltek.v15i01.11.
- [2] Y. S. A. Gumilang, K. Krisdianto, H. Haitam, M. A. R. Fahreza, and A. Alfayid, "Design of *Bluetooth* Wireless Transporter Mecanum Wheeled Robot with Android *Smartphone* Controller for Moving Item," *Elkha*, vol. 15, no. 1, p. 61, 2023, doi: 10.26418/elkha.v15i1.63769.
- [3] M. Senjawijaya¹, W. O. Susilawati², and R. Saputra³, "Pengaruh Model Contextual Teaching and Learning (CTL) terhadap Kemampuan Pemecahan Masalah Matematika," *J. Vocat. Educ. Inf. Technol.*, vol. 2, no. 2, pp. 55–64, 2021, [Online]. Available: <http://ejournal.undhari.ac.id/index.php/jveit>.
- [4] B. Sun, J. Yang, B. Li, S. Li, L. Wang, and Z. Xu, "Wire Rope Inspection Robots: A Review," *J. Shanghai Jiaotong Univ.*, no. August 2023, 2023, doi: 10.1007/s12204-023-2641-8.
- [5] M. Irwan and A. Y., "Sistem Kendali Lengan Robot 4-DOF untuk Pindah Barang," *J. Mosfet*, vol. 2, no. 2, pp. 16–25, 2022, doi: 10.31850/jmosfet.v2i2.1981.
- [6] M. A. Assuja, S. Nainggolan, and S. Saniati, "Rancang Bangun Modul Ukur Tekanan Pijak Telapak Kaki Robot Humanoid," *J. Tek. dan Sist. Komput.*, vol. 4, no. 1, pp. 29–37, 2023, doi: 10.33365/jtikom.v4i1.3539.
- [7] A. Hermawan, "Sistem Kendali Otomatis Pada Pintu Perlintasan Kereta Api," *J. Ilm. Mhs. Kendali dan List.*, vol. 1, no. 2, pp. 65–70, 2021, doi: 10.33365/jimel.v1i2.636.
- [8] Furizal, A. Ma'arif, S. A. Wijaya, Murni, and I. Suwarno, "Analysis and Performance Comparison of Fuzzy Inference Systems in Handling Uncertainty: A Review," *J. Robot. Control*, vol. 5, no. 4, pp. 1203–1215, 2024, doi: 10.18196/jrc.v5i4.22123.
- [9] Y. Lisa *et al.*, "Levenberg Marquardt Dan Regularisasi Bayes Untuk Prediksi Curah Hujan," vol. 6, no. 2, pp. 201–210, 2015.
- [10] A. Sanusi *et al.*, "Implementasi Sensor FSR Pada *Gripper* Robot Omni Wheels Untuk Mengambil Barang," *J. Sains Student Res.*, vol. 2, no. 1, pp. 725–733, 2024, [Online]. Available: <https://doi.org/10.61722/jssr.v2i1.1009>.
- [11] Asin, A. S. U., Winarno, T., & Safitri, H. K. (2024). Implementasi Sensor FSR Pada *Gripper* Robot Omni Wheels Untuk Mengambil Barang. *Journal Sains Student Research*, 2(1), 725-733.