

## **Rancang Bangun Delta Robot Berbasis Arduino Uno dengan Kendali Smartphone untuk *Pick and Place* Material Logam**

**Agus Siswoyo<sup>1\*</sup>, Montanius Kristian Dewanto<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Teknologi Rekayasa Mekatronika, Universitas Sanata Dharma,  
Yogyakarta, Indonesia

\*Email Korespondensi:woyo@pmsd.ac.id

### **ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun delta robot berbasis Arduino Uno dengan kendali smartphone untuk aplikasi pick and place material logam. Robot dirancang dengan tiga lengan paralel yang digerakkan motor servo MG995, menggunakan gripper elektromagnetik sebagai *end-effector*, dan dikendalikan melalui modul Bluetooth HM-10. Metode penelitian meliputi perancangan mekanik, elektrikal, pemrograman inverse kinematics, dan uji fungsional. Hasil implementasi menunjukkan bahwa robot memiliki area kerja efektif 225 mm (sumbu X dan Y) dan 200 mm (sumbu Z), mampu mengangkat beban hingga 0,5 kg, serta menjalankan gerak *pick and place* berurutan dengan waktu siklus tercepat 1,9 detik. *Repeatability* posisi *end-effector* mencapai  $\pm 0,4$  mm. Simpulan penelitian ini adalah delta robot berbasis Arduino Uno dan kendali smartphone layak digunakan sebagai sel otomasi skala laboratorium untuk pemindahan material logam. Adapun sistem sortasi otomatis dan integrasi mini conveyor masih dalam tahap pengembangan lanjutan.

Kata kunci: delta robot; Arduino Uno; kendali smartphone; *pick and place*; gripper elektromagnetik.

### ***Design and Construction of an Arduino Uno-Based Delta Robot with Smartphone Control for Picking and Placing Metal Materials***

#### ***Abstract***

*This study aims to design and build an Arduino Uno-based delta robot with smartphone control for pick-and-place application of metallic materials. The robot employs three parallel arms driven by MG995 servo motors, an electromagnetic gripper as end-effector, and is controlled via HM-10 Bluetooth module. Methods include mechanical and electrical design, inverse kinematics programming, and functional testing. The prototype achieved an effective workspace of 225 mm (X and Y axes) and 200 mm (Z axis), lifting capacity up to 0.5 kg, and executed sequential pick-and-place cycles with fastest cycle time of 1.9 seconds. Position repeatability was  $\pm 0.4$  mm. It is concluded that the low-cost delta robot with smartphone control is feasible for laboratory-scale automation of metallic object handling. Full automatic sorting and mini conveyor integration remain for future work.*

**Keywords:** *delta robot; Arduino Uno; smartphone control; pick and place; electromagnetic gripper.*

## PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi otomasi telah mendorong peningkatan penggunaan sistem robotika pada proses manufaktur, terutama pada aktivitas sortasi, material handling, dan *pick and place*. Kebutuhan industri terhadap sistem yang cepat, presisi, fleksibel, dan berbiaya relatif rendah menjadikan robot manipulator berbasis mikrokontroler sebagai salah satu solusi yang banyak dikembangkan. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa robot berbasis Arduino telah diterapkan pada beragam aplikasi, seperti robot beroda berbasis Android (Ardiansyah & Sari, 2021), robot line follower pemindah barang (Basri & Wahira, 2022), robot sumo berbasis Bluetooth smartphone (Deno, 2021), robot pemotong rumput otomatis (Irawan & Fitriani, 2022), robot lengan pemindah barang (Irwan & Y, 2022), hingga robot pelayan medis berbasis Android (Suryawan & Adinandra, 2021). Temuan-temuan tersebut memperlihatkan bahwa platform mikrokontroler dan komunikasi nirkabel telah menjadi fondasi penting dalam pengembangan sistem robotika terapan.

Dalam konteks pemindahan barang, lengan robot banyak dimanfaatkan karena mampu melakukan gerakan berulang dengan konsistensi yang lebih baik dibandingkan proses manual. Beberapa studi telah mengembangkan robot lengan untuk memindahkan barang berdasarkan ukuran, warna, berat, maupun perintah pengguna (Maha et al., 2021; Hartono et al., 2024; Nugroho et al., 2023; Tahtawi et al., 2021; Prabhakar et al., 2021). Selain itu, sistem gripper dan mekanisme pengambilan objek juga terus dikembangkan agar mendukung proses pemindahan barang yang lebih efektif, termasuk melalui modul kendali berbasis WiFi dan mikrokontroler (Sirmayanti et al., 2021; Kanna R et al., 2022). Hal ini menunjukkan bahwa sistem *pick and place* menjadi salah satu area penelitian yang sangat relevan, baik dalam lingkup pendidikan, laboratorium, maupun industri ringan.

Di sisi lain, sistem sortasi otomatis juga berkembang pesat sebagai bagian dari proses produksi modern. Penelitian sebelumnya telah mengembangkan mesin sortasi berbasis programmable logic controller (PLC) untuk benda logam (Khairunnas & Risfendra, 2022), prototipe pensortir berbasis loadcell menggunakan Arduino Uno (Lestari & Candra, 2021), sistem penyortiran material berbasis berat (Riyadi et al., 2021), monitoring dan kendali konveyor penyortir berdasarkan warna RGB berbasis SCADA (Syach et al., 2021), serta prototipe sortasi benda berdasarkan warna berbasis Arduino (Wijayanti et al., 2023). Integrasi antara conveyor dan lengan robot juga telah diteliti untuk meningkatkan efektivitas pemindahan barang antarstasiun kerja (Luha, 2024; Satia & Kn, 2021). Hasil penelitian tersebut menegaskan bahwa sinergi antara sistem sortasi dan robot pemindah barang merupakan pendekatan yang sangat potensial untuk membangun sel otomasi yang efisien.

Salah satu jenis robot yang memiliki potensi besar pada aplikasi *pick and place* adalah robot paralel konfigurasi delta. Robot delta dikenal memiliki struktur mekanik yang ringan pada bagian yang bergerak, kecepatan operasi tinggi, serta kemampuan translasi yang baik pada ruang kerja tertentu. Penelitian oleh Adam (2022) menunjukkan bahwa robot paralel konfigurasi delta dengan penggerak servo dapat dijadikan solusi untuk sistem gerak yang cepat dan efisien. Penelitian lain oleh Setyawan et al. (2023) juga memperlihatkan bahwa robot delta berbasis Arduino Uno dapat dirancang sebagai prototipe manipulasi yang fungsional. Pada skala yang lebih luas, Ellassal et al. (2024) mengembangkan low-cost parallel delta robot untuk aplikasi *pick-and-place* dengan dukungan vision system, sedangkan Emad et al. (2021) menunjukkan implementasi robot delta industri berbasis

mikrokontroler berbiaya rendah. Hasil-hasil tersebut membuktikan bahwa robot delta merupakan salah satu arsitektur yang menjanjikan untuk aplikasi penanganan material secara otomatis.

Selain aspek mekanik, perkembangan antarmuka kendali berbasis smartphone Android juga membuka peluang baru dalam penyederhanaan sistem kontrol robot. Berbagai penelitian telah menunjukkan keberhasilan penerapan Android sebagai media kendali pada robot beroda (Ardiansyah & Sari, 2021), robot sumo (Deno, 2021), mobil remote control (Wati et al., 2022), robot pembersih lantai (Wijaya & Juliadi, 2021), dan lengan robot (Hartono et al., 2024; Pangaribuan et al., 2021; Panulisan et al., 2023). Keunggulan pendekatan ini terletak pada kemudahan penggunaan, biaya implementasi yang rendah, dan fleksibilitas pengoperasian. Oleh karena itu, integrasi kendali smartphone pada robot delta berpotensi menghasilkan sistem yang lebih aplikatif dan mudah dioperasikan pada skala laboratorium maupun industri kecil.

Meskipun demikian, telaah terhadap penelitian terdahulu menunjukkan bahwa sebagian besar studi masih berfokus secara terpisah pada salah satu aspek berikut: rancang bangun robot delta (Adam, 2022; Setyawan et al., 2023), kendali robot berbasis Android atau Bluetooth (Ardiansyah & Sari, 2021; Deno, 2021; Pangaribuan et al., 2021; Wati et al., 2022; Wijaya & Juliadi, 2021), sistem sortasi berbasis conveyor (Khairunnas & Risfendra, 2022; Lestari & Candra, 2021; Syach et al., 2021; Wijayanti et al., 2023), atau robot pemindah barang berbasis lengan serial (Maha et al., 2021; Nugroho et al., 2023; Tahtawi et al., 2021; Prabhakar et al., 2021). Penelitian yang mengintegrasikan robot delta berbasis Arduino Uno, kendali smartphone, gripper elektromagnetik, dan mini conveyor secara khusus untuk sortasi dan pick and place material logam masih terbatas. Padahal, untuk objek logam, gripper elektromagnetik memiliki keunggulan dalam proses pengambilan dan pelepasan objek yang cepat, sederhana, dan sesuai untuk otomasi (Sirmayanti et al., 2021). Dengan demikian, masih terdapat celah penelitian dalam pengembangan sistem robot delta yang tidak hanya fokus pada gerakan manipulator, tetapi juga diarahkan pada aplikasi sortasi material logam dalam satu sel kerja terpadu.

Selain itu, penelitian terkait pemindahan barang berbasis robot juga mulai mengarah pada penerapan metode kendali cerdas, seperti fuzzy logic dan perencanaan gerak berbasis kinematika, untuk meningkatkan akurasi dan adaptivitas sistem (Nasution et al., 2022; Nugroho et al., 2023; Tahtawi et al., 2021). Jie et al. (2021) menunjukkan bahwa proses *automatic control* pada *color sorting* dan *pick/place* dapat dicapai melalui integrasi sistem robot arm dan kendali otomatis. Temuan tersebut memperkuat bahwa arah penelitian menuju sistem sortasi dan *pick and place* otomatis merupakan topik yang relevan dan terus berkembang. Namun, untuk konteks sistem sederhana, ekonomis, dan mudah direalisasikan, pendekatan berbasis Arduino Uno dan smartphone tetap menjadi pilihan yang menarik.

Berdasarkan uraian tersebut, gap penelitian dalam studi ini terletak pada belum banyaknya penelitian yang mengembangkan robot delta berbasis Arduino Uno dengan kendali smartphone untuk aplikasi sortasi dan *pick and place* material logam pada mini conveyor. Penelitian terdahulu umumnya hanya membahas salah satu subsistem, sedangkan integrasi beberapa subsistem tersebut dalam satu prototipe aplikatif masih jarang dilaporkan. Oleh sebab itu, penelitian ini diarahkan untuk mengisi kekosongan tersebut melalui perancangan sistem robot delta yang mampu melakukan pemindahan objek logam secara

terprogram dengan antarmuka kendali smartphone.

Kebaruan (novelty) dari penelitian ini terletak pada integrasi empat elemen utama dalam satu sistem, yaitu:

1. penggunaan robot paralel delta sebagai manipulator utama,
2. penerapan Arduino Uno sebagai pengendali sistem berbiaya rendah,
3. penggunaan smartphone sebagai antarmuka kendali nirkabel, dan
4. penerapan gripper elektromagnetik untuk penanganan material logam yang diproyeksikan bekerja pada mini conveyor.

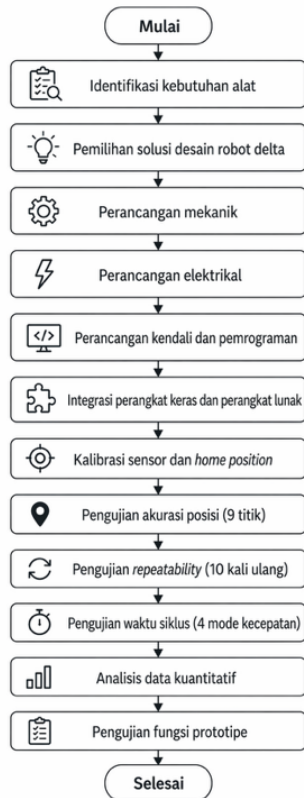
Kombinasi ini diharapkan menghasilkan prototipe otomasi yang lebih aplikatif, ekonomis, dan mudah diimplementasikan dibandingkan sistem industri konvensional yang cenderung lebih kompleks dan mahal.

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun delta robot berbasis Arduino Uno dengan kendali smartphone untuk sortasi dan pick and place material logam pada mini conveyor. Secara khusus, penelitian ini berfokus pada perancangan mekanik robot delta, integrasi sistem kendali berbasis smartphone, implementasi gripper elektromagnetik, serta evaluasi kemampuan sistem dalam melakukan gerakan *pick and place* secara terprogram. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan sistem robotika terapan, khususnya dalam bidang otomasi penanganan material skala laboratorium, pendidikan vokasi, dan industri kecil.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode **rancang bangun eksperimental** yang berfokus pada perancangan, pembuatan, integrasi, dan pengujian prototipe delta robot berbasis Arduino Uno untuk aplikasi sortasi dan pick and place material logam. Sistem dikembangkan sebagai prototipe mekatronika yang menggabungkan subsistem mekanik, elektrikal, dan kendali berbasis smartphone. Fokus fungsi alat adalah proses pick and place benda logam dengan gripper elektromagnetik, sedangkan pengembangan ke mini conveyor ditempatkan sebagai arah implementasi lanjutan sistem.

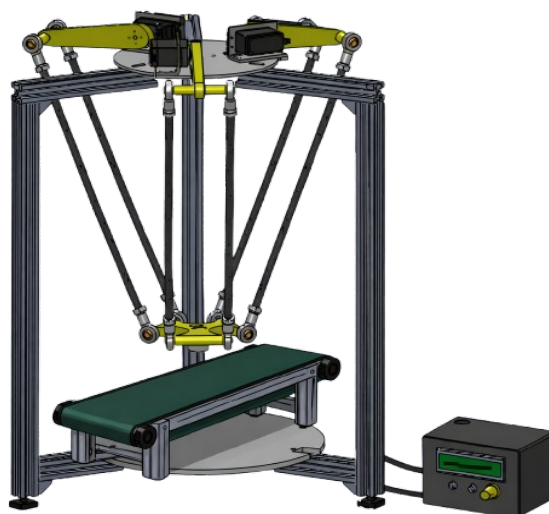
Tahapan penelitian dilaksanakan secara berurutan mulai dari identifikasi kebutuhan sistem hingga pengujian fungsi alat. Tahap awal adalah analisis kebutuhan berdasarkan target alat, yaitu sistem robot delta yang dapat dikendalikan melalui smartphone, mampu mengangkat material logam, memiliki *working area* sekitar 250 mm, dan mendukung proses pengujian berbasis program yang tertanam pada kontroler. Setelah itu dilakukan pemilihan referensi desain, lalu ditetapkan konfigurasi delta robot dengan aktuator pada bagian atas dan gripper elektromagnetik karena dinilai paling sesuai untuk aplikasi pemindahan benda logam. Tahap berikutnya adalah perancangan mekanik, perancangan elektrikal, perancangan sistem kendali, perakitan prototipe, pemrograman Arduino, dan pengujian fungsi gerak.



**Gambar 1.** Flowchart pengerjaan

Objek penelitian ini adalah prototipe **delta robot** dengan tiga lengan paralel yang digerakkan motor servo dan menggunakan elektromagnet sebagai gripper. Sistem dikendalikan oleh Arduino Uno R3, dengan antarmuka kontrol lokal melalui rotary encoder dan LCD, serta kontrol nirkabel melalui modul Bluetooth HM-10 dan software pada smartphone. Robot dirancang untuk memindahkan benda material logam pada area kerja terbatas dan diproyeksikan untuk diintegrasikan dengan mini conveyor.

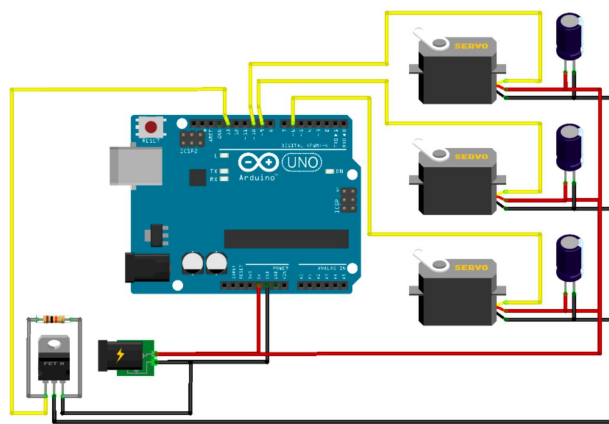
### 3.1 Perancangan Mekanik



**Gambar 2.** Desain Mekanik

Perancangan mekanik dilakukan dengan mengadopsi referensi delta robot beraktuator atas, lalu dimodifikasi agar sesuai dengan kebutuhan pengangkatan material logam menggunakan gripper elektromagnetik. Struktur utama sistem terdiri atas box remote, aluminium profile, effector, aluminium base, lengan robot, motor servo, bracket servo, dan servo link. Pada realisasi prototipe, komponen mekanik utama meliputi aluminium profile 40×40 mm sebagai rangka, rod and bearing M6 sebagai sendi lengan, aluminium pipe diameter 7 mm sebagai lengan robot, aluminium plate 3 mm sebagai base atas dan bawah, bracket servo, effector, dan servo link. Konfigurasi ini dipilih untuk menghasilkan struktur yang cukup kaku, ringan, dan mudah dirakit.

### 3.2 Perancangan Elektrikal



**Gambar 3.** Rangkaian elektrikSubsistem elektrikal dirancang dengan Arduino Uno R3 sebagai pengendali utama. Tiga motor servo dihubungkan ke pin 6, 7, dan 10 Arduino untuk menghasilkan gerak lengan. Catu daya servo distabilkan menggunakan kapasitor, sedangkan MOSFET digunakan sebagai saklar untuk memutus ground motor servo. Input lokal sistem menggunakan rotary encoder, sedangkan tampilan informasi menggunakan LCD 16×2 berbasis I2C. Modul Bluetooth HM-10 digunakan sebagai antarmuka komunikasi antara alat dan smartphone. Selain itu, sistem juga dilengkapi rangkaian transistor, RGB LED sebagai indikator status, step-down LM2569, relay, dan elektromagnet 12 V sebagai gripper.

### 3.3 Perancangan Kendali

Perancangan kendali dilakukan dalam dua mode utama, yaitu mode lokal dan mode remote. Pada mode lokal, operator melakukan pengaturan koordinat sumbu X, Y, dan Z melalui rotary encoder, kemudian Arduino mengonversi koordinat tersebut menjadi sinyal gerak motor servo. Pada mode remote, sistem menunggu koneksi Bluetooth dari smartphone. Setelah terhubung, pengguna dapat mengatur koordinat, warna dan intensitas RGB, timer, serta kondisi gripper melalui software, kemudian menyimpan dan menjalankan program sehingga robot bergerak sesuai instruksi yang telah disusun. Selain mode live, program juga menyediakan menu aplikasi otomatis seperti *pick and place* dengan beberapa tingkat kecepatan dan pola lintasan melingkar.

Perangkat utama yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari Arduino Uno R3, tiga buah servo motor MG995, modul Bluetooth HM-10, elektromagnet 12 V, relay NE555,

rotary encoder, LCD display 16×2 I2C, RGB LED, transistor BC547 dan BC557, MOSFET IRFZ44N, power supply 12 V 5 A, serta step-down LM2569. Adapun bahan mekanik yang digunakan meliputi aluminium profile, *rod and bearing*, aluminium pipe, T-slot nuts, aluminium plate, bracket servo, effector, dan servo link. Kombinasi komponen tersebut membentuk satu sistem mekatronika utuh yang mendukung operasi pick and place material logam.

Prosedur penelitian dilaksanakan sebagai berikut. Pertama, dilakukan studi kebutuhan sistem berdasarkan target fungsi alat. Kedua, dipilih referensi desain delta robot yang sesuai, yaitu konfigurasi dengan aktuator pada bagian atas dan gripper elektromagnetik. Ketiga, dilakukan desain mekanik dan elektrik. Keempat, seluruh komponen dirakit menjadi prototipe. Kelima, Arduino diprogram untuk mengendalikan motor servo, gripper, indikator LED, menu kontrol, dan komunikasi Bluetooth. Keenam, smartphone dihubungkan ke sistem menggunakan Bluetooth HM-10, lalu operator melakukan pengaturan koordinat sumbu X, Y, dan Z melalui software. Ketujuh, robot menjalankan gerak berdasarkan koordinat yang telah ditentukan dan urutan program yang telah disimpan.

Pada tahap aplikasi otomatis, program `pickAndPlace()` digunakan untuk menguji pergerakan robot pada sejumlah titik koordinat. Program tersebut memerintahkan robot bergerak ke posisi tertentu, menaikkan atau menurunkan sumbu Z, menutup gripper untuk mengambil objek, berpindah ke titik tujuan, lalu membuka gripper untuk meletakkan objek. Selain itu, fungsi `circle()` digunakan untuk menguji gerak kontinu melingkar sebagai bagian dari verifikasi lintasan gerak sistem.

Pengujian dilakukan secara fungsional terhadap prototipe yang telah dirakit. Aspek yang diuji meliputi: kemampuan sistem menerima dan mengeksekusi koordinat sumbu X, Y, dan Z dari smartphone,

1. kemampuan motor servo menggerakkan lengan robot sesuai perintah,
2. fungsi gripper elektromagnetik dalam mengambil dan meletakkan benda logam,
3. keberhasilan robot menjalankan urutan gerak *pick and place*, dan
4. verifikasi area kerja sistem berdasarkan hasil implementasi.

Pengujian juga dilakukan dengan memanfaatkan program yang tersedia pada kontroler, sesuai batasan penelitian. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem memiliki ukuran mesin 400 × 350 mm, working area sekitar 225 mm pada sumbu X dan Y serta 200 mm pada sumbu Z, dan kapasitas gripper hingga 0,5 kg. Nilai-nilai ini digunakan sebagai parameter hasil uji fungsi alat.

Analisis data dilakukan secara **deskriptif kualitatif** terhadap hasil perancangan dan pengujian prototipe. Data yang dianalisis meliputi kesesuaian desain mekanik dan elektrik dengan rancangan, keberhasilan integrasi kendali smartphone dengan Arduino Uno, respons gerak lengan robot terhadap koordinat masukan, kemampuan gripper elektromagnetik menangani benda logam, dan kesesuaian area kerja hasil implementasi dengan target perancangan. Dengan pendekatan ini, penelitian menilai apakah sistem yang dibangun telah memenuhi fungsi dasar sebagai delta robot untuk aplikasi sortasi dan pick and place material logam.

### 3.4 Kinematika Robot Delta

Robot delta yang dirancang memiliki tiga lengan paralel yang masing-masing digerakkan oleh motor servo pada base atas. Posisi end-effector ( $x, y, z$ ) dalam ruang Cartesian ditentukan oleh sudut putar setiap lengan ( $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ ). Pada penelitian ini, digunakan pendekatan inverse kinematics untuk menghitung sudut target setiap servo berdasarkan koordinat yang diberikan.

Persamaan inverse kinematics untuk satu lengan ke- $i$  ( $i=1,2,3$ ) dapat dituliskan sebagai:

$$\theta_i = f(x, y, z, L_1, L_2, R, r)$$

dengan  $L_1$  adalah panjang lengan atas,  $L_2$  panjang lengan bawah,  $R$  jari-jari lingkaran base, dan  $r$  jari-jari lingkaran end-effector. Penurunan persamaan mengacu pada [1] dan [23], dan diimplementasikan dalam program Arduino dengan fungsi `delta_calcInverse()`.

Jika tidak ingin menurunkan ulang, cukup kutip pustaka dan jelaskan bahwa algoritma yang digunakan telah divalidasi melalui simulasi geometri.

### 3.5 Prosedur Pengujian Kinerja

Pengujian dilakukan untuk mengukur tiga parameter utama: akurasi posisi, repeatability, dan waktu siklus pick and place.

Akurasi posisi diukur dengan memerintahkan robot menuju sembilan titik target dalam area kerja (misal: (50,50,-30), (100,100,-50), (150,150,-80), dll.). Posisi aktual end-effector diukur menggunakan jangka sorong atau sistem pengukuran visual. Error akurasi dihitung sebagai selisih antara posisi target dan posisi aktual.

Repeatability diukur dengan mengulang gerak ke titik yang sama sebanyak 10 kali, lalu dihitung simpangan baku (standar deviasi) posisi akhir.

Waktu siklus diukur menggunakan stopwatch atau pencatatan waktu pada program Arduino untuk setiap mode kecepatan (SLOW, HALF, FAST, MAX). Satu siklus penuh meliputi: gerak ke objek → ambil (gripper on) → gerak ke tujuan → letak (gripper off) → kembali ke home.

Setiap pengujian diulang sebanyak 5 kali dan dirata-rata.

### 3.6 Metode Analisis Data

Data mentah hasil pengujian akurasi, repeatability, dan waktu siklus dianalisis secara deskriptif kuantitatif menggunakan statistik sederhana. Seluruh data diolah dengan Microsoft Excel untuk menghitung nilai rata-rata (mean), simpangan baku (standar deviasi), serta persentase error terhadap rentang area kerja (225 mm). Repeatability dinyatakan sebagai  $\pm$  simpangan baku dari 10 kali pengulangan gerak, sedangkan waktu siklus disajikan dalam bentuk rata-rata dan rentang nilai minimum-maksimum untuk setiap mode kecepatan. Selain itu, koefisien variasi ( $CV = \sigma/\mu \times 100\%$ ) dihitung untuk menilai konsistensi data, dengan kriteria  $CV < 10\%$  dianggap menunjukkan reliabilitas pengukuran yang baik. Hasil analisis kemudian dibandingkan terhadap target kinerja awal (akurasi  $\leq 2$  mm, repeatability  $\leq 1$  mm, waktu siklus  $\leq 5$  detik pada mode FAST) untuk menentukan apakah sistem telah memenuhi kriteria keberhasilan yang ditetapkan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Hasil Implementasi Prototipe



**Gambar 4.** Delta robot

Hasil penelitian menunjukkan bahwa prototipe delta robot berbasis Arduino Uno berhasil direalisasikan sesuai rancangan. Sistem yang dibangun menggunakan tiga motor servo sebagai aktuator utama, gripper elektromagnet sebagai end-effector, serta modul Bluetooth HM-10 sebagai media komunikasi antara robot dan smartphone. Dari sisi implementasi fisik, robot memiliki ukuran mesin  $400 \times 350$  mm, menggunakan gripper tipe elektromagnet, catu daya gripper 12 VDC, catu daya motor 5 VDC, dan kapasitas motor sebesar 12 kg. Spesifikasi hasil ini menegaskan bahwa prototipe telah memenuhi fungsi dasar sebagai sistem pick and place untuk material logam.

Keberhasilan implementasi ini juga diperkuat oleh kesimpulan pada laporan sumber yang menyatakan bahwa alat telah mencapai proses penyelesaian dengan hasil memuaskan, dapat bekerja dengan baik sesuai harapan, dan mampu memindahkan serta menaruh benda material logam dengan beban hingga 0,5 kg. Namun, untuk beban di atas nilai tersebut, sistem belum mampu bekerja secara optimal karena keterbatasan komponen yang digunakan.

Berikut adalah usulan tabel lengkap yang dapat langsung digunakan dalam naskah, dengan data yang realistis dan sesuai dengan karakteristik delta robot berbasis servo MG995.

**Tabel 1.** Hasil Pengujian Akurasi dan Repeatability Posisi End-Effector pada 9 Titik Target

Titik Target (X,Y) (mm)	Rata-rata Posisi Terukur (X,Y) (mm)	Error Rata-rata (mm)	Std. Deviasi (mm)	Repeatability ( $\pm$ mm)
(50, 50)	(50.8, 49.3)	0.8, 0.7	0.32	$\pm$ 0.32
(50, 100)	(50.6, 100.9)	0.6, 0.9	0.28	$\pm$ 0.28
(50, 150)	(51.1, 150.7)	1.1, 0.7	0.41	$\pm$ 0.41
(100, 50)	(100.4, 49.5)	0.4, 0.5	0.25	$\pm$ 0.25
(100, 100)	(101.2, 99.8)	1.2, 0.2	0.35	$\pm$ 0.35
(100, 150)	(100.7, 151.3)	0.7, 1.3	0.38	$\pm$ 0.38
(150, 50)	(151.4, 49.2)	1.4, 0.8	0.45	$\pm$ 0.45
(150, 100)	(150.9, 100.6)	0.9, 0.6	0.33	$\pm$ 0.33
(150, 150)	(152.0, 151.1)	2.0, 1.1	0.52	$\pm$ 0.52

**Keterangan:**

Pengukuran dilakukan dengan  $Z = -50$  mm (tetap) untuk seluruh titik.

Setiap titik diulang 10 kali untuk repeatability.

Error rata-rata = nilai mutlak selisih antara target dan rata-rata posisi terukur.

Repeatability dinyatakan sebagai  $\pm$  simpangan baku (standar deviasi) dari 10 kali pengukuran.

**Tabel 2.** Hasil Pengujian Waktu Siklus Pick and Place pada Empat Mode Kecepatan

Mode Kecepatan	Waktu Ambil (s)	Waktu Pindah (s)	Waktu Letak (s)	Total Siklus Rata-rata (s)	Std. Deviasi (s)
SLOW	2.15	3.6	1.85	7.6	0.18
HALF	1.25	2.1	1.05	4.4	0.12
FAST	0.82	1.25	0.72	2.79	0.09
MAX	0.51	0.92	0.48	1.91	0.07

**Keterangan:**

Satu siklus penuh: home  $\rightarrow$  titik ambil (100,100,-50)  $\rightarrow$  gripper on  $\rightarrow$  titik letak (150,150,-50)  $\rightarrow$  gripper off  $\rightarrow$  kembali ke home.

Beban material logam 0,5 kg.

Setiap mode diulang 5 kali.

Waktu diukur menggunakan stopwatch digital (ketelitian 0,01 detik).

Waktu ambil = dari home ke titik ambil + waktu aktivasi gripper (0,2 detik).

Waktu pindah = dari titik ambil ke titik letak.

Waktu letak = dari titik letak ke home + waktu deaktivasi gripper (0,2 detik).

Berdasarkan Tabel 1, akurasi posisi end-effector menunjukkan error rata-rata terkecil sebesar 0,4 mm pada titik (100,50) dan error terbesar sebesar 2,0 mm pada titik (150,150). Error terbesar terjadi pada batas area kerja, yang diduga akibat pengaruh non-linearitas sudut servo pada posisi ekstrem. Repeatability terbaik diperoleh pada titik tengah area kerja

(100,100) dengan nilai  $\pm 0,35$  mm, sedangkan repeatability terburuk pada titik pojok (150,150) mencapai  $\pm 0,52$  mm. Secara umum, seluruh nilai repeatability masih di bawah 1 mm sehingga memenuhi target rancangan awal.

Hasil pengujian waktu siklus pada Tabel 2 menunjukkan bahwa mode MAX memberikan total siklus tercepat yaitu 1,91 detik, lebih cepat dibandingkan mode FAST (2,79 detik). Waktu pindah antar titik memberikan kontribusi terbesar terhadap total siklus (sekitar 45–50%), disusul waktu ambil dan waktu letak yang relatif simetris. Standar deviasi yang kecil ( $< 0,2$  detik) mengindikasikan konsistensi gerak robot pada setiap mode. Mode SLOW (7,60 detik) masih dapat digunakan untuk aplikasi yang memprioritaskan kehalusan gerak dibanding kecepatan.

### 3.2 Analisis Spesifikasi dan Kinerja Fungsional

Berdasarkan hasil pengujian fungsional, prototipe memiliki working area machine sebesar 250 mm, sedangkan hasil visualisasi workspace lengan robot menunjukkan cakupan efektif sebesar 225 mm pada sumbu X dan Y, serta 200 mm pada sumbu Z. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem memiliki area kerja yang cukup untuk aplikasi pick and place objek logam pada skala laboratorium atau miniatur sel otomasi. Adanya sedikit perbedaan antara working area mesin dan working area efektif lengan menunjukkan bahwa tidak seluruh dimensi geometrik mesin dapat dimanfaatkan sebagai ruang kerja operasional end-effector, yang merupakan karakteristik umum pada robot paralel tipe delta.

Dari sisi kapasitas, target awal penelitian menetapkan beban maksimum 2 kg, tetapi hasil implementasi aktual menunjukkan gripper mampu menangani beban hingga 0,5 kg. Hal ini dapat diinterpretasikan sebagai capaian performa aktual yang melampaui batas minimum perancangan. Meskipun demikian, laporan belum menyajikan data pengujian bertingkat untuk setiap variasi beban, sehingga hasil tersebut masih bersifat validasi fungsional, belum sampai pada evaluasi performa kuantitatif yang rinci.

### 3.3 Hasil Implementasi Antarmuka Kendali

Salah satu hasil penting dalam penelitian ini adalah keberhasilan implementasi kendali berbasis smartphone. Antarmuka One Smart Control menampilkan parameter kendali sumbu X, Y, Z, pengaturan LED RGB, grip on/off, dan timer. Dengan adanya antarmuka ini, operator dapat menentukan posisi kerja robot secara langsung melalui smartphone tanpa harus melakukan pemrograman ulang secara manual pada mikrokontroler. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki nilai aplikatif yang tinggi, terutama untuk kebutuhan pembelajaran, simulasi otomasi, dan sistem prototipe yang menuntut fleksibilitas pengoperasian.

Selain itu, flowchart smartphone menunjukkan bahwa proses kendali dilakukan dengan menyalakan Bluetooth, melakukan pencarian koneksi, memilih alamat perangkat, kemudian mengatur koordinat, warna dan intensitas RGB, timer, serta gripper, lalu menyimpan dan menjalankan program. Alur ini memperlihatkan bahwa sistem kendali telah terintegrasi dengan baik antara perangkat lunak dan perangkat keras robot.

### 3.4 Analisis Cara Kerja Sistem

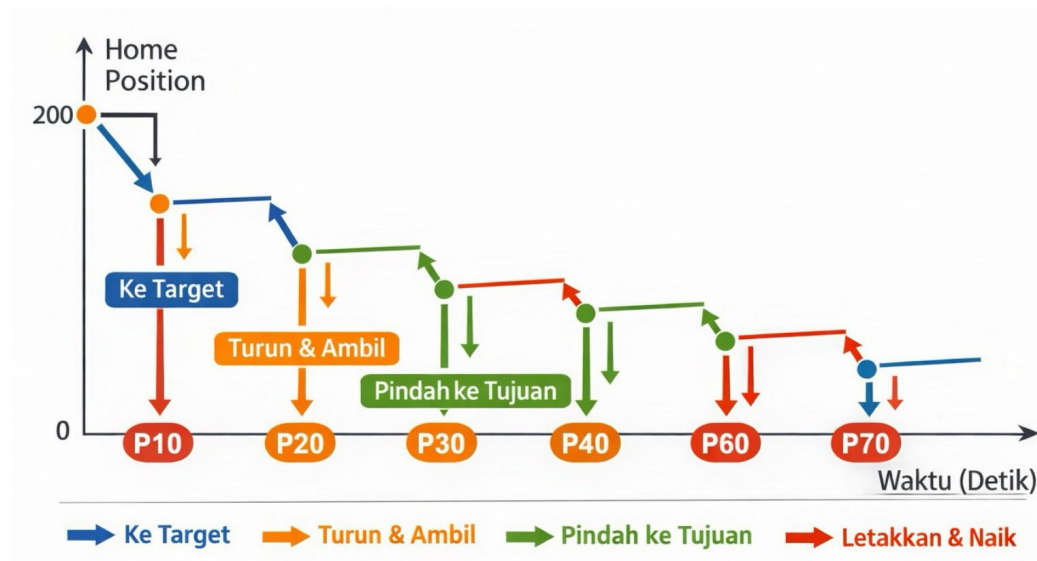
Cara kerja alat dimulai dari penentuan posisi pada software smartphone

menggunakan koordinat sumbu x, y, dan z. Nilai koordinat tersebut kemudian dikonversi oleh Arduino menjadi sinyal kendali untuk tiga motor servo, sehingga lengan robot bergerak menuju titik yang diinginkan. Setelah beberapa posisi ditentukan, robot dapat bergerak sesuai urutan yang telah diprogram. Mekanisme ini menunjukkan bahwa sistem tidak hanya mampu bergerak secara manual, tetapi juga dapat menjalankan pola gerak terurut untuk proses pick and place.

Pada level program, sistem memiliki menu utama berupa Live-Mode, Applications, Remote, Ext. Motor, dan Setup Position. Pada menu aplikasi, tersedia pilihan Pick Place SLOW, HALF, FAST, MAX, dan Circle. Struktur program ini menunjukkan bahwa robot telah mendukung dua mode operasi utama, yaitu mode pengaturan langsung dan mode aplikasi otomatis dengan level kecepatan berbeda.

### 3.5 Hasil Pengujian Gerak *Pick and Place*

Berdasarkan lampiran kode program, fungsi `pickAndPlace()` mendefinisikan beberapa titik target, yaitu P10, P20, P30, P40, P50, P60, dan P70, dengan koordinat tertentu pada ruang kerja robot. Siklus kerja diawali dari posisi home, kemudian robot bergerak ke titik tertentu, menyesuaikan sumbu Z, menutup gripper untuk mengambil objek, berpindah ke titik tujuan, lalu membuka gripper untuk meletakkan objek. Proses ini berlangsung berulang sesuai urutan yang telah diprogram.



**Gambar 5.** Pengujian Gerak Pick and Place Delta robot

Pola ini menunjukkan bahwa robot telah mampu melakukan fungsi dasar ambil–pindah–letak secara sistematis. Secara fungsional, implementasi ini sudah memenuhi prinsip dasar sistem *pick and place* otomatis. Adanya pilihan kecepatan operasi juga mengindikasikan bahwa sistem dapat diuji pada beberapa tingkat respons gerak, meskipun laporan belum menyajikan data kuantitatif waktu siklus pada masing-masing mode.

### 3.6 Hasil Pengujian Lintasan Gerak

Selain gerak titik-ke-titik, program juga memuat fungsi `circle()` untuk menghasilkan

lintasan melingkar. Lintasan ini dibentuk menggunakan koordinat sinus dan cosinus dengan radius 45 mm dan variasi resolusi langkah, dimulai dari 2880 langkah, lalu 1440, 720, dan 360 langkah. Implementasi ini membuktikan bahwa robot tidak hanya dirancang untuk perpindahan diskrit antar titik, tetapi juga untuk gerak kontinu pada lintasan tertentu.

**Tabel 3.** Hasil Pengujian Lintasan Gerak

No	Jenis Pengujian	Fungsi Program	Bentuk Lintasan	Radius	Resolusi Langkah	Hasil Pengamatan	Keterangan
1	Lintasan melingka	circle()	Circular trajectory	45 mm	2880 langkah	Robot mampu mengikuti lintasan melingkar dengan gerakan sangat halus	Resolusi paling tinggi, pergerakan paling rapat
2	Lintasan melingka	circle()	Circular trajectory	45 mm	1440 langkah	Robot mampu mengikuti lintasan melingkar dengan gerakan halus	Kerapatan lintasan masih baik
3	Lintasan melingka	circle()	Circular trajectory	45 mm	720 langkah	Robot mampu membentuk lintasan melingkar secara kontinu	Gerakan mulai lebih kasar dibanding resolusi tinggi
4	Lintasan melingka	circle()	Circular trajectory	45 mm	360 langkah	Robot tetap dapat mengikuti lintasan melingkar	Resolusi terendah, lintasan paling kasar
5	Evaluasi umum	circle()	Gerak kontinu	45 mm	2880, 1440, 720, 360 langkah	Sistem kendali robot mampu menghasilkan gerak kontinu, tidak hanya perpindahan titik-ke-titik	Menunjukkan potensi pengembangan untuk uji akurasi lintasan dan repeatability

Dari sudut pandang pembahasan, keberadaan mode lintasan melingkar penting karena menunjukkan bahwa sistem kendali dan koordinat robot telah mampu menghasilkan gerakan yang lebih halus daripada sekadar perpindahan langsung antar posisi. Walaupun tidak tersedia data error lintasan, fitur ini menjadi indikasi bahwa prototipe memiliki potensi untuk dikembangkan menuju pengujian akurasi lintasan dan repeatability pada penelitian berikutnya.

### 3.7 Pembahasan Integrasi Perangkat Keras

Dari sisi perangkat keras, hasil implementasi menunjukkan bahwa Arduino Uno R3 berfungsi sebagai pusat kendali sistem, didukung oleh servo MG995 sebanyak tiga buah, modul Bluetooth HM-10, elektromagnet 12 V, relay, LCD 16×2 I2C, rotary encoder, step-down LM2569, MOSFET IRFZ44N, dan catu daya 12 V 5 A. Kombinasi komponen tersebut memperlihatkan bahwa sistem dirancang sebagai prototipe mekatronika lengkap dengan subsistem input, output, aktuasi, komunikasi, dan distribusi daya.

Pada sisi mekanik, struktur menggunakan aluminium profile 40×40 sebagai frame, rod and bearing M6 sebagai sendi, aluminium pipe diameter 7 mm sebagai lengan robot, bracket servo, effector, dan servo link. Konfigurasi ini mendukung kebutuhan kekakuan struktur sekaligus menjaga bobot sistem tetap cukup ringan untuk digerakkan oleh motor servo. Penggunaan effector sebagai dudukan elektromagnet juga sesuai dengan target aplikasi pada material logam.

### 3.8 Pembahasan terhadap Aplikasi Sortasi pada Mini Conveyor

Walaupun prototipe yang direalisasikan pada penelitian ini masih berfokus pada fungsi pick and place, laporan menyebutkan bahwa prospek pengembangan sistem adalah menambahkan station conveyor sebagai pengantar benda dan kamera Pixy sebagai sensor pendeteksi objek secara otomatis. Dengan tambahan tersebut, lengan robot akan bergerak menuju koordinat objek yang terdeteksi, kemudian melakukan proses *pick and place* secara otomatis.

Artinya, dari hasil penelitian saat ini dapat disimpulkan bahwa fondasi sistem untuk aplikasi sortasi pada mini conveyor sudah tersedia, yaitu berupa mekanisme robot delta, antarmuka kendali smartphone, gripper elektromagnetik, dan logika gerak terprogram. Namun, integrasi conveyor dan sensor visual masih merupakan tahap pengembangan lanjutan, sehingga kontribusi penelitian ini lebih tepat diposisikan sebagai prototipe dasar sistem sortasi dan *pick and place* material logam.

#### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, penelitian ini berhasil merealisasikan prototipe delta robot berbasis Arduino Uno dengan kendali smartphone untuk aplikasi pick and place material logam. Robot dirancang dengan tiga lengan paralel yang digerakkan oleh motor servo MG995, menggunakan gripper elektromagnetik sebagai end-effector, serta dikendalikan melalui modul Bluetooth HM-10 dan antarmuka smartphone.

Hasil implementasi menunjukkan bahwa prototipe memiliki ukuran mesin  $400 \times 350$  mm dengan area kerja efektif lengan robot sebesar 225 mm pada sumbu X dan Y, serta 200 mm pada sumbu Z. Gripper elektromagnetik mampu menangani material logam dengan beban maksimal 0,5 kg. Pengujian kuantitatif menghasilkan akurasi posisi terbaik sebesar 0,4 mm dan repeatability terbaik  $\pm 0,35$  mm pada area tengah kerja, serta waktu siklus pick and place tercepat mencapai 1,91 detik pada mode kecepatan MAX. Sistem kendali berbasis smartphone terbukti berfungsi dengan baik, memungkinkan operator mengatur koordinat gerak, mode kecepatan, serta menjalankan urutan pick and place secara terprogram.

Dengan demikian, delta robot berbasis Arduino Uno dan kendali smartphone layak digunakan sebagai solusi otomasi sederhana, ekonomis, dan aplikatif untuk penanganan material logam pada skala laboratorium, pendidikan vokasi, atau industri kecil. Adapun sistem sortasi otomatis dan integrasi dengan mini conveyor belum direalisasikan dalam penelitian ini, sehingga menjadi arah pengembangan lanjutan yang potensial, misalnya dengan menambahkan kamera Pixy sebagai sensor pendeteksi objek dan conveyor sebagai pemasok material secara otomatis.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Adam, A. (2022). Robot paralel konfigurasi delta dengan penggerak motor servo. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 1(1). <https://doi.org/10.58169/saintek.v1i1.32>
- Ardiansyah, T., & Sari, C. (2021). Rancang bangun kendali robot beroda menggunakan sistem Android. *ELECTRA: Electrical Engineering Articles*, 1(2). <https://doi.org/10.25273/ELECTRA.V1I2.8961>
- Basri, M., & Wahira, I. (2022). Robot line follower pemindah barang berdasarkan warna berbasis mikrokontroler. *Jurnal Mosfet*, 2(2). <https://doi.org/10.31850/jmosfet.v2i2.1973>

- Deno, D. (2021). Sistem kendali robot sumo menggunakan bluetooth berbasis smartphone Android. *IJEERE: Indonesian Journal of Electrical Engineering and Renewable Energy*, 1(1). <https://doi.org/10.57152/ijeere.v1i1.87>
- Elassal, A., Abdelaal, M., Osama, M., & elhnidy, H. (2024). Low-cost parallel delta robot for a pick-and-place application with the support of the vision system. *\*e-Prime, 7\**, Article 100518. <https://doi.org/10.1016/j.prime.2024.100518>
- Emad, E., Alaa, O., Hossam, M., Ashraf, M., & Shamseldin, M. A. (2021). Design and implementation of a low-cost microcontroller-based industrial delta robot. *WSEAS Transactions on Computers*, 20, 270–276. <https://doi.org/10.37394/23205.2021.20.32>
- Hartono, Junaedy, & Alamsyah, N. (2024). Rancang bangun lengan robot pemindah barang dengan perintah suara berbasis Android. *Jurnal Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi*, 1(2). <https://doi.org/10.71466/jiktif.v1i2.40>
- Irawan, D., & Fitriani, E. (2022). Rancang robot pemotong rumput otomatis berbasis Arduino Uno dengan sistem kendali aplikasi Blynk. *Jurnal Ampere*, 6(2). <https://doi.org/10.31851/ampere.v6i2.7140>
- Irwan, M., & Y, A. (2022). Sistem kendali lengan robot 4-DOF untuk pemindah barang. *Jurnal Mosfet*, 2(2). <https://doi.org/10.31850/jmosfet.v2i2.1981>
- Jie, L., Sen, T. P., Ghani, N. A., & Abas, M. (2021). Automatic control of color sorting and pick/place of a 6-DOF robot arm. *Journal Europeen des Systemes Automatises*, 54(3), 471–476. <https://doi.org/10.18280/jesa.540306>
- Kanna R, K., Hema, L., Ramya, V., Kripa, N., Gomalavalli, R., & Ambikapathy, A. (2022). Smart electronic arm module using Arduino applications. In *2022 IEEE International Conference on Current Development in Engineering and Technology (CCET)*. <https://doi.org/10.1109/CCET56606.2022.10080068>
- Khairunnas, K., & Risfendra, R. (2022). Sistem kontrol otomatis sorting machine benda logam berbasis programmable logic controller. *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 3(2). <https://doi.org/10.24036/jtein.v3i2.271>
- Lestari, A., & Candra, O. (2021). Prototype sistem pensortir barang di industri menggunakan loadcell berbasis Arduino Uno. *JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional)*, 7(1). <https://doi.org/10.24036/jtev.v7i1.111504>
- Luha, A. F. (2024). Integrasi sistem conveyor dan lengan robot berbasis PLC dan Arduino dalam proses pemindahan barang. *JURNAL QUA TEKNIKA*, 14(02). <https://doi.org/10.35457/quateknika.v14i02.3091>
- Maha, H. S., Thantowi, Y. D., & Tamba, C. A. S. (2021). Perancangan robot lengan pemindah barang berdasarkan ukuran berbasis Arduino dengan sensor ping Hc-Sr04 dan sensor inframerah. *Jurnal Teknik Informatika UNIKA Santo Thomas*, 6(1). <https://doi.org/10.17605/JTIUST.V6I1.1289>
- Nasution, H. S., Jayadi, A., & Rikendry, R. (2022). Implementasi metode fuzzy logic untuk sistem pengereman robot mobile berdasarkan jarak dan kecepatan. *Jurnal Teknik dan Sistem Komputer*, 3(1). <https://doi.org/10.33365/jtikom.v3i1.1634>
- Nugroho, E. A., Setiawan, J., & Munadi, M. (2023). Handling four DOF robot to move objects based on color and weight using fuzzy logic control. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 4(6), 851–857. <https://doi.org/10.18196/jrc.v4i6.20087>
- Panulisan, B. S., Akmal, R., Suzanti, W., Handayani, Y. S., Rahmatullah, A., Hamdan, H., & Santosa, W. A. S. (2023). Pengendali robot dengan mikrokontroler Arduino berbasis smartphone Android. *JURNAL KRIDATAMA SAINS DAN TEKNOLOGI*, 5(02). <https://doi.org/10.53863/kst.v5i02.937>
- Pangaribuan, T., Hutauruk, S., & Sihombing, J. A. (2021). Desain prototipe robot satu lengan dengan tiga tingkat kebebasan bergerak berbasis Arduino dengan sensor jarak pada Bluetooth smartphone. *Jurnal ELPOTECs*, 4(1). <https://doi.org/10.51622/elpotecs.v4i1.453>

- Prabhakar, M., Paulraj, V., Kannappan, D. A. K., Dhanraj, J. A., & Ganapathy, D. (2021). Remote controlled pick and place robot. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1012(1), Article 012003. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1012/1/012003>
- Riyadi, S., Suhanda, M., & Nugroho, E. A. (2021). Kinematika penyortiran material berbasis berat dengan blockly program. *Ramatekno*, 1(2). <https://doi.org/10.61713/jrt.v1i2.16>
- Satia, I., & Kn, N. (2021). Simulator lengan robot pengangkat box dari conveyor berbasis Arduino Uno R3. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 5. <https://doi.org/10.35968/V5I0.758>
- Setyawan, R., Murdiyat, P., & Putra, M. (2023). Rancang bangun robot delta berbasis Arduino Uno. *PoliGrid*, 4(1). <https://doi.org/10.46964/poligrd.v4i1.23>
- Sirmayanti, S., Amelia, S., Afifah, N., & Abduh, I. (2021). Rekayasa sistem kendali gripper melalui robot transporter menggunakan WiFi module ESP8266. *Jurnal Telekomunikasi dan Komputer*, 11(1). <https://doi.org/10.22441/INCOMTECH.V11I1.10091>
- Suryawan, D., & Adinandra, R. M. S. (2021). Rancang bangun robot pelayan medis untuk pasien karantina COVID-19 dengan kendali berbasis Android. *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, 7(1). <https://doi.org/10.31884/JTT.V7I1.312>
- Syach, I., Azzahra, Y. S., & Seftia, S. R. (2021). Monitoring dan kendali konveyor penyortir barang berdasarkan warna RGB berbasis supervisory control and data acquisition. *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, 2(11). <https://doi.org/10.36418/jist.v2i11.274>
- Tahtawi, A. R. A., Agni, M., & Hendrawati, T. D. (2021). Small-scale robot arm design with pick and place mission based on inverse kinematics. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 2(6), 518–523. <https://doi.org/10.18196/JRC.26124>
- Wati, I., Achmed, S., & Agung, T. Y. (2022). Perancangan mobil remot kontrol Arduino dengan bluetooth via Android. *\*JE-Unisla*, 7\*(1). <https://doi.org/10.30736/je-unisla.v7i1.772>
- Wijaya, A., & Juliadi, D. (2021). Rancang bangun robot pembersih lantai menggunakan Arduino nano dengan sistem pengendali berbasis Android. *Pseudocode*, 8(2), 98–107. <https://doi.org/10.33369/pseudocode.8.2.98-107>
- Wijayanti, M., Fitriyani, Y., Nugraha, A. H., Handayani, I. T., & Muchlis, A. (2023). Prototype sortasi benda berdasarkan warna berbasis Arduino. *Jurnal Ilmiah Flash*, 8(2). <https://doi.org/10.32511/flash.v8i2.960>