

RANCANG BANGUN MINIATUR TRANSPORTER SMART CAR
DENGAN ROBOT ARM NIRKABEL SEBAGAI PENGANGKUT
SAMPAH

Ishmah Nailah Budiana¹, Ryananda Rizqy Fadhilla¹, Sirlus Andreanto J. Duli¹, I Made Andik Setiawan¹

¹Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat
Corresponding Author: ishmahnailahbudiana@gmail.com

ABSTRAK

Pengangkutan sampah masih banyak dilakukan secara manual sehingga kurang efektif, terutama pada area sempit dan sulit dijangkau. Penelitian sebelumnya umumnya menggunakan robot arm 4 Degree of Freedom (4-DOF) berbasis Arduino Uno yang memiliki keterbatasan fleksibilitas gerak dan komunikasi nirkabel. Penelitian ini bertujuan merancang miniatur transporter smart car berbasis ESP32 Max dengan robot arm 5-DOF. Metode penelitian meliputi perancangan, perakitan, pemrograman, integrasi, dan pengujian sistem. Hasil pengujian menunjukkan alat mampu mengambil, mengangkat, dan memindahkan replika sampah hingga 100 gram serta beroperasi selama ± 40 menit dalam satu kali pengisian baterai. Sistem berfungsi dengan baik sebagai media simulasi pengangkutan sampah berbasis robotika.

Kata Kunci: ESP32 Max, motor DC, servo

ABSTRACT

Waste transportation is still largely performed manually, making the process less effective, especially in narrow and hard-to-reach areas. Previous studies generally employed 4-Degree of Freedom (4-DOF) robotic arms based on the Arduino Uno, which have limitations in movement flexibility and wireless communication capabilities. This study aims to design and develop a miniature smart car transporter based on the ESP32 Max integrated with a 5-DOF robotic arm. The research method includes system design, hardware assembly, programming, system integration, and performance testing. The test results show that the system is capable of picking up, lifting, and transporting waste replicas weighing up to 100 grams and can operate for approximately 40 minutes on a single battery charge. The developed system performs well as a robotics-based waste transportation simulation platform.

Keywords: ESP32 Max, DC motors, servos

1. PENDAHULUAN

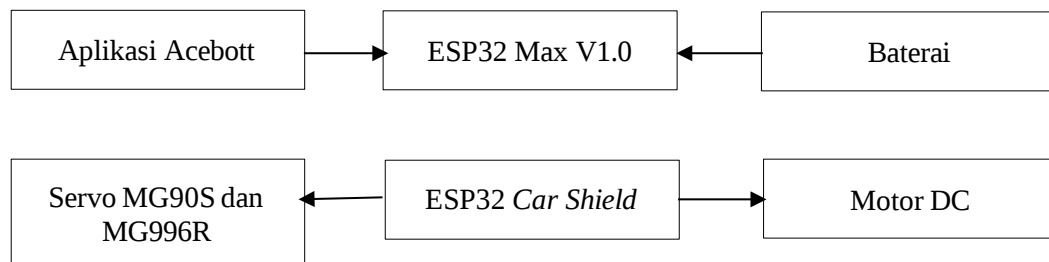
Permasalahan pengelolaan sampah masih menjadi tantangan karena proses pengumpulan dan pemindahan sampah pada umumnya dilakukan secara manual sehingga kurang efektif dan efisien (Sutisna *et al.*, 2022). Namun, penelitian terdahulu masih didominasi oleh penggunaan mikrokontroler Arduino yang memerlukan modul tambahan untuk komunikasi nirkabel serta lebih banyak diterapkan pada otomasi industri maupun media pembelajaran robotika. Selain itu, sebagian besar robot arm yang dikembangkan masih menggunakan konfigurasi 4 Degree of Freedom (4-DOF)

sehingga fleksibilitas gerakanya relatif terbatas (Putra *et al.*, 2022).

Berdasarkan penelitian tersebut, penelitian ini mengembangkan miniatur *transporter smart car* yang dipadukan dengan *robot arm* 5-DOF berbasis ESP32 Max dengan komunikasi Wi-Fi terintegrasi sehingga mampu meningkatkan fleksibilitas gerak, mempermudah pengendalian secara nirkabel, serta mendukung simulasi pengangkutan sampah sebagai media edukasi pengelolaan sampah (Gaol *et al.*, 2026). Diharapkan sistem yang dikembangkan dapat menjadi alternatif teknologi robotika berbasis IoT yang lebih efektif, efisien, dan mudah diterapkan sebagai media pembelajaran maupun pengembangan sistem pengangkutan sampah skala miniatur (Afif *et al.*, 2025).

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode perancangan sistem yang berfokus pada proses perancangan, pembuatan, integrasi, dan pengujian miniatur transporter *smart car* dengan *robot arm* nirkabel sebagai pengangkut sampah. Tahapan penelitian meliputi analisis kebutuhan, perancangan sistem, pembuatan konstruksi, pemrograman menggunakan ACECode, pengujian alat, pengambilan data, dan penyusunan laporan. Data diperoleh melalui observasi langsung terhadap kinerja sistem, kemudian dianalisis secara deskriptif untuk mengevaluasi keberhasilan alat. Pendekatan ini sejalan dengan penelitian Hidayat *et al.* yang menerapkan metode rancang bangun melalui tahapan perancangan, implementasi, dan pengujian sistem (Hidayat *et al.*, 2023).



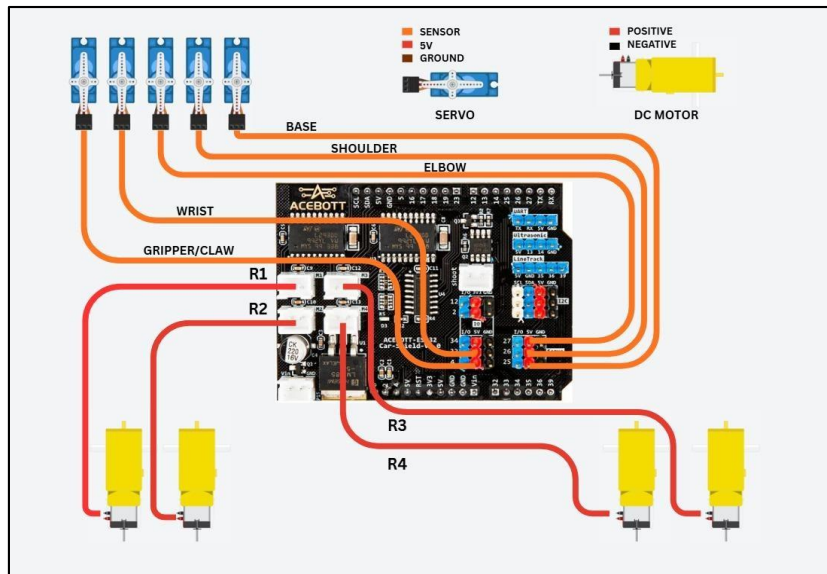
Gambar 1. Blok Diagram Sistem Kontrol

Aplikasi Acebott berfungsi untuk mengendalikan pergerakan kendaraan serta mengoperasikan robot arm secara nirkabel. ESP32 Max V1.0 berfungsi sebagai mikrokontroler utama yang menerima, mengolah, dan meneruskan data kendali dari aplikasi ke seluruh komponen sistem. ESP32 *Car Shield* berfungsi sebagai modul pendukung yang memudahkan koneksi antara ESP32 dengan aktuator, serta mengatur distribusi sinyal kendali ke motor dan servo. Motor DC berfungsi sebagai penggerak utama *smart car*. Motor servo MG90S dan MG996R berfungsi sebagai aktuator pada *robot arm*. Baterai 3,7 Volt berfungsi sebagai sumber daya utama.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian diambil menggunakan beberapa pengujian terhadap miniatur transporter *smart car* dengan *robot arm*. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian terhadap pengangkutan beban, pengujian terhadap konektivitas jarak kontrol dan pengujian terhadap performa daya baterai.

Adapun rincian hasil pengujian sebagai berikut:



Gambar 2. Sistem Kontrol Elektronik

Berdasarkan sistem kontrol tersebut dijelaskan jika pusat kendali sistem menggunakan board ESP32 Max yang menghubungkan tiga motor servo MG966R sebagai penggerak *robot arm* pada *base*, *shoulder*, *elbow* dan MG90S pada *wrist* serta *gripper* untuk melakukan gerakan mengambil serta memindahkan sampah (Zebua *et al.*, 2024). Selain itu, terdapat empat motor DC yang dikendalikan melalui terminal R1, R2, R3, dan R4 sebagai penggerak roda *smart car* sehingga kendaraan dapat bergerak maju, mundur, maupun berbelok. Setiap servo memperoleh sinyal kontrol, tegangan 5V, dan *ground* dari *board*, sedangkan motor DC memperoleh suplai daya melalui *driver* motor yang terintegrasi pada sistem (Hayubi *et al.*, 2024).

Penelitian Suhaeb *et al.* yang menunjukkan bahwa penggunaan ESP32 berbasis Wi-Fi mampu memberikan kendali *robot arm* secara *real-time* dengan respons stabil (Suhaeb *et al.*, 2024). Hasil tersebut juga sejalan dengan penelitian Owoeeye *et al.* yang menyatakan bahwa integrasi ESP32, komunikasi Wi-Fi, dan motor servo MG996R mampu menghasilkan sistem *robot arm* bergerak dengan baik serta waktu respons yang rendah (Owoeeye *et al.*, 2026).

```
void runModule(int device)
{
  case 0x01:
    Acebott.Move(Forward, speeds);
    break;
  case 0x02:
    Acebott.Move(Backward, speeds);
    break;
  case 0x03:
    Acebott.Move(Move_Left, speeds);
    break;
  case 0x04:
    Acebott.Move(Move_Right, speeds);
    break;
}
```

Gambar 3. Contoh Program *Chassis Smart Car*

Program *runModule* (*int device*) berfungsi untuk mengendalikan pergerakan *smart car* berdasarkan nilai perintah yang diterima pada variabel *device*. Struktur *case* digunakan untuk menentukan arah gerakan kendaraan, yaitu 0x01 untuk bergerak maju (*Forward*), 0x02 untuk bergerak mundur (*Backward*), 0x03 untuk bergerak ke kiri (*Move_Left*), 0x04 untuk bergerak ke kanan (*Move_Right*), 0x09 untuk berputar ke kiri pada porosnya (*Contrarotate*), 0x0A untuk berputar ke kanan pada porosnya (*Clockwise*), dan 0x00 untuk menghentikan seluruh pergerakan kendaraan (*Stop*).

```

CAR_ARM.ARM_init(25,26,27,33,4);
else if (CAR_ARM.val==21)
{
    Chassis_input = CAR_ARM.Chassis_Silde_Angle;
    CAR_ARM.ChassisCmd(Chassis_input);
    CAR_ARM.chassis_angle = Chassis_input;
    CAR_ARM.val = 3;
}

```

Gambar 4. Contoh Program *Robot Arm*

Perintah *CAR_ARM.ARM_init* (25,26,27,33,4) berfungsi untuk mengatur pin-pin ESP32 yang digunakan sebagai jalur kendali servo *robot arm*. Ketika nilai *CAR_ARM.val* sama dengan 21, sistem akan membaca nilai sudut pergeseran *base* yang tersimpan pada *CAR_ARM.Chassis_Silde_Angle* dan menyimpannya ke variabel *Chassis_input*. Selanjutnya, fungsi *CAR_ARM.ChassisCmd* (*Chassis_input*) dijalankan untuk menggerakkan servo *base robot arm* ke sudut yang diinginkan. Nilai sudut tersebut kemudian disimpan pada *CAR_ARM.chassis_angle* sebagai posisi terakhir *robot arm*, sedangkan *CAR_ARM.val* = 3 digunakan sebagai penanda bahwa perintah telah dieksekusi.

Beban (gram)	Torsi (kgf·cm)
20	4,43
40	4,67
60	4,91
80	5,15
100	5,4

Perhitungan rumus perubahan beban terhadap torsi servo adalah sebagai berikut :

$$\tau = (m_{arm} + m_{beban}) \times g \times r$$

Keterangan :

m_{arm} = massa rangka *robot arm* (kg) *m_{beban}* = massa beban yang diangkat (kg) *g* = percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

r = jarak dari pusat servo ke pusat massa beban (m)

Berdasarkan Tabel 1, terlihat bahwa semakin besar beban yang diangkat oleh *robot arm*, maka semakin besar pula torsi yang dibutuhkan oleh servo MG996R. Torsi meningkat dari 4,43 kgf·cm pada beban 20 gram menjadi 5,40 kgf·cm pada beban 100 gram, menunjukkan hubungan yang berbanding lurus antara massa beban dan kebutuhan torsi. Hal ini sejalan dengan penelitian Sanjaya *et al.* yang menyatakan bahwa akurasi dan kinerja servo MG996R sangat bergantung pada kemampuan servo menghasilkan torsi yang memadai terhadap beban yang diberikan (Sanjaya *et al.*, 2023).

Tabel 2. Pengujian Jarak Konektivitas Robot Dengan *Smartphone*

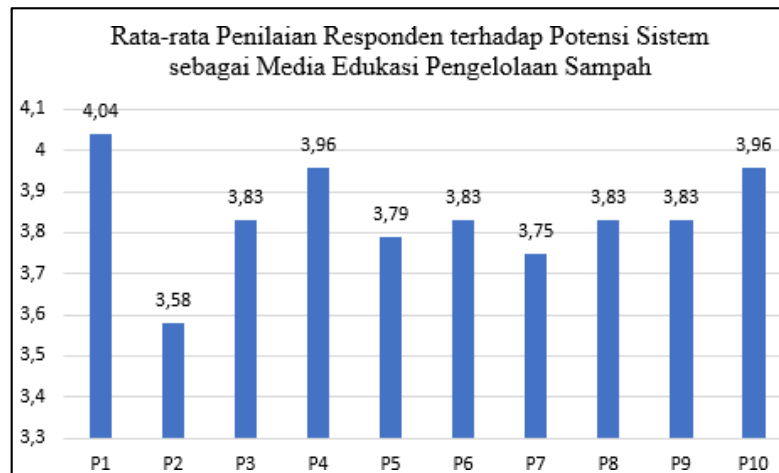
Jarak Lintasan Robot (cm)	Kondisi Konektivitas
700	Koneksi sangat stabil, seluruh perintah diterima dan dieksekusi dengan cepat.
1400	Koneksi stabil, <i>smart car</i> dan <i>robot arm</i> dapat dikendalikan dengan baik tanpa hambatan.
2100	Koneksi masih baik, namun respons perintah mulai sedikit terlambat.
2800	Koneksi cukup stabil, terdapat sedikit jeda saat pengiriman perintah ke robot.
3390	Koneksi berhenti, robot masih bisa bergerak namun koneksi robot dengan
kontrol <i>smartphone</i> terputus.	

Berdasarkan hasil pengujian, konektivitas antara *smartphone* dan sistem robot tetap stabil hingga jarak 2800 cm walau jeda pengiriman melambat, sedangkan pada jarak 3390 cm koneksi antara robot dan *smartphone* terputus sehingga robot tidak lagi dapat dikendalikan secara nirkabel. Dengan demikian, jangkauan efektif komunikasi sistem berada pada 2800 cm hingga sebelum 3390 cm. Hasil ini sejalan dengan penelitian Daffa *et al.* yang menjelaskan bahwa penurunan kualitas koneksi pada jarak yang lebih jauh disebabkan oleh meningkatnya *latency* dan *packet loss* pada jaringan Wi-Fi (Daffa *et al.*, 2020).

Tabel 3. Pengujian Performa Baterai

Waktu Pemakaian (menit)	Kapasitas Baterai (volt)	Persentase (100%)
10	3,1	86%
20	2,4	64%
30	1,7	45%
40	0,8	21%

Berdasarkan hasil pengujian, baterai Li-ion 18650 bertegangan 3,7 V mampu menyuplai daya sistem selama ± 40 menit setelah dilakukan pengisian selama 20 menit. Hasil ini sejalan dengan penelitian McNulty *et al.* yang menyatakan bahwa baterai lithium-ion memiliki kepadatan energi (*energy density*) yang tinggi, efisiensi yang baik, serta menjadi sumber daya yang paling banyak digunakan pada robot bergerak (McNulty *et al.*, 2022).



Gambar 5. Diagram Batang Hasil Kuesioner

Rumus perhitungan rata-rata:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

$$= \frac{4,04 + 3,58 + 3,83 + 3,96 + 3,79 + 3,83 + 3,75 + 3,83 + 3,83 + 3,96}{10}$$

$$= 3,84$$

Keterangan :

$\bar{x}$ rata-rata skor

x_i = skor setiap pertanyaan n = jumlah pertanyaan

Berdasarkan hasil kuesioner yang diperoleh dari 24 responden yang berasal dari mahasiswa sekitar dengan menggunakan skala linier 1–5, diperoleh rata-rata skor keseluruhan sebesar 3,84. Karena pada penelitian ini nilai 1 menunjukkan sangat tidak setuju dan nilai 5 menunjukkan sangat setuju, maka skor tersebut termasuk dalam kategori setuju. Hasil ini menunjukkan bahwa responden setuju jika sistem ini memiliki potensi yang baik sebagai media edukasi pengelolaan sampah.



Gambar 6. Foto Keseluruhan Alat

Hasil pengujian menunjukkan bahwa miniatur *smart car* dengan *robot arm* mampu mengambil dan memindahkan replika sampah dengan baik melalui kendali nirkabel. Temuan ini sejalan dengan Umurani *et al.* yang menjelaskan bahwa robot arm berbasis ESP32 memiliki performa yang baik untuk proses *pick-and-place* (Umurani *et*

al., 2025). Selain itu, Wahyudin *et al.* menyatakan bahwa *robot arm* 5-DOF yang dikendalikan melalui *smartphone* mampu menghasilkan pergerakan yang akurat (Wahyudin *et al.*, 2024). Gilang *et al.* juga menunjukkan bahwa *robot arm* 5-DOF berbasis ESP32 mampu melakukan proses pengambilan dan penempatan objek secara efektif (Gilang *et al.*, 2023).

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, miniatur *transporter smart car* dengan *robot arm* nirkabel berhasil dirancang dan berfungsi sesuai tujuan yang telah ditetapkan. Sistem mampu bergerak ke berbagai arah, mengendalikan *robot arm* dengan baik, serta melakukan proses pengambilan dan pemindahan objek secara efektif. Secara umum, hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi teknologi robotika dan IoT dapat diterapkan sebagai solusi pendukung dalam pengembangan sistem pengangkutan sampah yang lebih praktis dan efisien.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, dan motivasi sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada institusi pendidikan yang telah menyediakan fasilitas dan sarana pendukung selama proses penelitian berlangsung. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan teknologi robotika dan sistem otomasi di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- Afif, N.H. *Et Al.* (2025) 'Rancang Bangun Robot Lengan 4-Dof Pemindah Objek Otomatis Design And Construction Of A 4-Dof Robotic Arm For Automatic Object Transfer Using Inverse Kinematics And Yolo', 12(5).
- Aunur, Y., Wahyudin, R. And Nataliana, D. (2024) 'Pengendalian Dua Joint Ujung Dan End Effector Manipulator Dengan Lima Derajat Kebebasan Menggunakan Perangkat Smartphone', Pp. 1–11.
- Daffa, M.A. And Avorizano, A. (2020) 'Analisis Kinerja Dan Stabilitas Koneksi Perangkat Iot Berbasis Wifi Terhadap Variasi Jarak Access Point Berdasarkan Parameter Rssi , Latency , Dan Packet Loss', Pp. 1–12.
- Gaol, D.L. *Et Al.* (2026) 'Perancangan Dan Evaluasi Lengan Robot 4-Dof Berbasis Esp32 Dengan Kendali Manual Menggunakan Aplikasi Bluetooth Android', 4(2).
- Gilang, M. *Et Al.* (2023) 'Color And Size Sorting System With An Esp32-Based Robot Arm', 11(2), Pp. 73–83. Available At: <https://doi.org/10.26418/J3eit.V11i2.68483>.
- Hayubi, R. Al, Aulia, S. And Gunawan, D.A. (2024) 'Implementasi Sistem Penggerak Servo Sg 90 Berbasis Arduino Uno Dengan Kontrol Sudut Dinamis'. 'Jetc , Volume 18, Nomor 2, Sept 2023' (2023), 18, Pp. 67–73.
- McNulty, D. *Et Al.* (2022) 'Review Article A Review Of Li-Ion Batteries For Autonomous Mobile Robots : Perspectives And Outlook For The Future', *Journal Of Power Sources*, 545(July), P. 231943. Available At: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2022.231943>.
- Owoeye, S. *Et Al.* (2026) 'User-Friendly Control Mechanisms In Robotics Arm Via Mobile Applications', 3(1), Pp. 111–120.
- Putra, G.S. (2022) 'Sistem Kontrol Lengan Robot Berbasis Arduino Dengan Aplikasi

- Gui', 3(2), Pp. 387–398.
- Sanjaya, S., Muhtar, A. And Prasetyawan, P. (2023) 'Perancangan Sistem Penembakan Menggunakan Motor Servo Mg996r Untuk Autonomous Robot Gun (Aro-Gun)', 3(1), Pp. 12–20.
- Suhaeb, S., Risal, A. And Makassar, U.N. (2024) 'Implementation Of Esp32-Based Web Host For Control And Monitoring Of Robotic Arm', 5(3), Pp. 249–254.
- Sutisna, N.A. And Irfan, M. (2022) 'Development Of Robotic Arm Controller Using Arduino Microcontroller And Mobile Device Application', 24(2), Pp. 76–86.
- Umurani (2025) 'Journals Of Telecommunication And Electrical Scientific', 2(2), Pp. 1–12.
- Zebua, N.E. *Et Al.* (No Date) 'Rancang Bangun Remote Control Robot Lengan 6dof Dengan Protokol Esp-Now', Pp. 991–1001.