# PERANCANGAN SISTEM OTOMATISASI ALAT PENYAPU SAMPAH RINGAN BERBASIS SAPU PUTAR DAN KONVEYOR (ROTARY BROOM AND CONVEYOR) PADA AREA PARKIR FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA

[1]Yonatan Dwi Widyanto, [2]Susilo, [3]Stepanus*
[1,2,3] *Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia*
*Jl. Mayjen Sutoyo No. 2, Cawang, Jakarta Timur 13630, DKI Jakarta*
[2]sruiterasset@gmail.com, [3]stepanus@uki.ac.id
*Corresponding author: [1]yeondwiwdyanto@gmail.com

**Abstrak**

Area parkir Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia menghadapi permasalahan penumpukan sampah ringan, khususnya dedaunan, yang selama ini masih dibersihkan secara manual menggunakan sapu konvensional. Metode manual tersebut membutuhkan tenaga kerja yang besar, waktu yang lama, serta tidak memiliki sistem pengumpulan sampah yang terintegrasi sehingga proses pembersihan menjadi kurang efisien. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan merealisasikan sistem otomatisasi alat penyapu sampah ringan berbasis sapu putar (rotary broom) dan konveyor pada area parkir Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia. Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif melalui perancangan prototipe dan uji eksperimental. Sistem dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali utama, lima sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai pendeteksi halangan dan bak sampah penuh, dua motor DC MY1025 12V dengan dua motor driver BTS7960 sebagai penggerak utama, tiga motor DC 775 sebagai penggerak rotary broom (kiri, kanan, dan rotary brush), satu motor DC 775 sebagai penggerak konveyor, empat modul relay, empat PWM dimmer, serta modul buck converter LM2596 sebagai penurun tegangan aki 12V menjadi 5V untuk menyuplai ESP32. Hasil pengujian menunjukkan sensor ultrasonik 1, 2, dan 3 mampu mendeteksi halangan hingga jarak 40 cm, sensor 4 hingga 30 cm, dan sensor 5 hingga 15 cm sebagai pendeteksi bak sampah penuh. Sistem rotary broom dan konveyor berhasil bekerja sesuai logika kontrol yang diprogram, termasuk berhenti saat sensor mendeteksi halangan atau bak sampah penuh dan aktif kembali setelah kondisi tersebut tidak terdeteksi. Kecepatan motor penggerak utama diatur menggunakan PWM 130 untuk gerakan maju dan mundur dengan estimasi kecepatan 1402 RPM, serta PWM 150 untuk manuver belok dengan estimasi kecepatan 1618 RPM. Dapat disimpulkan bahwa alat penyapu sampah ringan otomatis berbasis ESP32 dengan mekanisme rotary broom dan konveyor berhasil dirancang dan berfungsi sesuai tujuan penelitian, serta mampu membersihkan sampah ringan pada area parkir secara otomatis dan efisien.

**Kata Kunci:** Alat Penyapu Sampah, ESP32, Rotary Broom, Conveyor, Sensor Ultrasonik, BTS7960.

**Abstract**

*The parking area of the Faculty of Engineering, Universitas Kristen Indonesia faces the problem of accumulated light waste, particularly fallen leaves, which has been cleaned manually using conventional brooms. This manual method requires considerable labor, takes a long time, and lacks an integrated waste collection system, making the cleaning process inefficient. This study aims to design and implement an automated light-waste sweeping system based on a rotary broom and conveyor mechanism in the parking area of the Faculty of Engineering, Universitas Kristen Indonesia. The research method used is a quantitative method through prototype design and experimental testing. The system was designed using an ESP32 microcontroller as the main control center, five HC-SR04 ultrasonic sensors as obstacle and full-bin detectors, two MY1025 12V DC motors with two BTS7960 motor drivers as the main drive, three DC 775 motors to drive the rotary broom (left, right, and rotary brush), one DC 775 motor to drive the conveyor, four relay modules, four PWM dimmers, and an LM2596 buck converter to step down the 12V battery voltage to 5V for the ESP32. The test results show that ultrasonic sensors 1, 2, and 3 were able to detect obstacles up to 40 cm, sensor 4 up to 30 cm, and sensor 5 up to 15 cm as a full-bin detector. The rotary broom and conveyor systems successfully operated according to the programmed control logic, including stopping when an obstacle or a full bin was detected and reactivating once the condition was no longer detected. The main drive motor speed was set using a PWM value of 130 for forward and backward movement with an estimated speed of 1402 RPM, and PWM 150 for turning maneuvers with an estimated speed of 1618 RPM. It can be concluded that the ESP32-based automated light-waste sweeping device with a rotary broom and conveyor mechanism was successfully designed and functioned according to the research objectives, and was able to clean light waste in the parking area automatically and efficiently.*

***Keywords:*** *Trash Sweeper, ESP32, Rotary Broom, Conveyor, Ultrasonic Sensor, BTS7960.*

## PENDAHULUAN

Kebersihan lingkungan merupakan salah satu faktor penting dalam menciptakan kenyamanan, keamanan, serta estetika suatu kawasan, khususnya di lingkungan pendidikan. Area parkir Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia merupakan salah satu fasilitas yang memiliki intensitas penggunaan tinggi setiap harinya, sehingga rentan terhadap penumpukan sampah ringan, terutama dedaunan yang gugur dari pepohonan di sekitar lokasi. Pembersihan sampah ringan pada area parkir umumnya masih dilakukan secara manual menggunakan sapu konvensional. Metode ini memerlukan tenaga manusia yang cukup besar, waktu yang relatif lama, serta kurang efisien apabila volume sampah cukup banyak, terutama pada musim tertentu. Selain itu, proses pembersihan manual seringkali hanya memindahkan sampah ke satu titik tanpa sistem pengumpulan yang terintegrasi, sehingga memerlukan tahapan kerja tambahan untuk pengangkutan.

Seiring dengan perkembangan teknologi di bidang otomasi dan sistem kendali, berbagai peralatan kebersihan telah dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas

proses pembersihan. Penggunaan mekanisme rotary broom memungkinkan proses penyapuan dilakukan secara kontinu dengan arah putaran tertentu sehingga sampah dapat terfokus menuju satu titik pengumpulan, sedangkan sistem conveyor dapat dimanfaatkan untuk memindahkan sampah yang telah terkumpul menuju wadah penampungan secara otomatis. Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan suatu perancangan sistem otomatisasi alat penyapu sampah ringan yang mampu bekerja secara efektif dalam mengumpulkan dan memindahkan sampah pada area parkir, dengan mengintegrasikan mekanisme rotary broom dan conveyor bersama sistem kendali berbasis mikrokontroler.

**Penelitian Terdahulu**

Yuliza dan Umi Nur Kholifah (2015) meneliti robot pembersih lantai berbasis Arduino Uno dengan sensor ultrasonik untuk membantu pekerjaan rumah tangga. Robot bergerak maju dan berbelok 90° ke kiri jika mendeteksi hambatan pada jarak ≤15 cm menggunakan motor DC yang dikendalikan IC L298. Hasil penelitian menunjukkan robot dapat berfungsi dan menghindari halangan, meskipun torsi motor masih kurang kuat dan kestabilan terganggu saat sikat berputar[1].

Rina Mardiati dkk. (2022) mengembangkan robot pembersih lantai dengan menambahkan sensor LM393 sebagai penghitung putaran motor agar kecepatan lebih stabil, dikendalikan Arduino Uno dan driver motor L298N. Hasil pengujian menunjukkan sensor ultrasonik memiliki rata-rata error 0,898%, vacuum mampu menyerap debu ringan secara maksimal namun kurang optimal untuk partikel yang lebih berat[2].

Mario Marcellino dkk. (2025) merancang prototipe robot penghisap debu otomatis berbasis Arduino Uno dan sensor ultrasonik dengan metode Research and Development. Robot bergerak maju ketika tidak ada hambatan dan mundur serta berbelok saat mendeteksi objek, dengan tingkat keberhasilan penyedotan debu yang tinggi meskipun sistem navigasi masih sederhana dan belum menerapkan pemetaan area[3].

Gunady Haryanto dkk. (2025) mengembangkan robot vacuum cleaner otomatis berbasis Arduino Uno dengan sensor proximity E18-D80NK dan ultrasonik HC-SR04 untuk mode side area dan all area. Tingkat akurasi sensor ultrasonik kanan mencapai 95,85% dan kiri 97,62%, dengan kecepatan robot 0,046 m/s, meskipun algoritma navigasi pada mode all area belum sepenuhnya optimal[4].

Ellysa Kusuma Laksanawati dkk. (2021) merancang sistem conveyor pada mesin pembuat mie otomatis yang mampu menghasilkan kapasitas produksi 1 kg/menit dibandingkan metode manual 400 gram/menit, dengan kecepatan conveyor 0,62 m/s, meskipun pembahasan sistem kontrolnya belum mendalam[5].

Dimas Surya Pratama (2018) merancang conveyor penyortir mur berbasis Raspberry Pi menggunakan metode contour area untuk menyortir objek berdasarkan ukuran melalui pengolahan citra digital, dengan tingkat keberhasilan 99% dari 100 kali pengujian, meskipun masih terdapat delay akibat keterbatasan hardware dan sensitivitas terhadap pencahayaan[6].

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu tersebut, dapat dilihat bahwa teknologi robot pembersih otomatis terus mengalami perkembangan, mulai dari sistem navigasi sederhana berbasis sensor ultrasonik hingga pengembangan mekanisme pemindahan material menggunakan conveyor. Namun demikian, penggabungan mekanisme rotary broom dan conveyor dalam satu sistem otomatis berbasis ESP32 untuk membersihkan sampah ringan pada area parkir luar ruangan masih belum banyak dikaji, sehingga penelitian ini dikembangkan untuk mengisi celah tersebut.

## KERANGKA TEORI

**Sistem Kontrol dan Sistem Otomatisasi**

Menurut Ogata, sistem kontrol adalah suatu sistem yang mengatur atau mengendalikan suatu proses untuk mencapai hasil yang diinginkan, terdiri atas sensor, pengendali, dan aktuator yang bekerja bersama menjaga kestabilan serta efisiensi sistem[7]. Menurut M. P. Groover, sistem otomatisasi merupakan teknologi yang digunakan untuk mengendalikan dan mengoperasikan suatu proses dengan memanfaatkan sistem kontrol serta peralatan mekanik dan elektronik sehingga campur tangan manusia dapat diminimalkan[8]. Berdasarkan kedua teori tersebut, alat penyapu sampah ringan yang dirancang termasuk dalam sistem otomatisasi karena menggunakan sensor ultrasonik sebagai input, mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali, serta motor DC sebagai aktuator untuk menjalankan proses penyapuan dan pemindahan sampah secara otomatis.

**Mikrokontroler ESP32**

ESP32 adalah mikrokontroler yang dikembangkan oleh Espressif Systems dengan prosesor dual-core 32-bit berbasis Tensilica Xtensa LX6 berfrekuensi hingga 240 MHz, dilengkapi fitur Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi, sejumlah pin GPIO, ADC, PWM, serta komunikasi serial UART, I2C, dan SPI[9]. Dalam penelitian ini, ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali yang menerima data dari lima sensor ultrasonik, memprosesnya sesuai algoritma yang telah diprogram, kemudian mengendalikan motor driver, relay, dan PWM dimmer untuk menggerakkan seluruh aktuator alat.

**Motor DC dan Motor Driver BTS7960**

Motor DC merupakan aktuator listrik yang mengubah energi listrik arus searah menjadi energi mekanik berupa gerakan putar berdasarkan prinsip gaya Lorentz[10]. Pada penelitian ini digunakan dua motor DC MY1025 12V sebagai penggerak roda utama serta empat motor DC 775 sebagai penggerak rotary broom kiri, rotary broom kanan, rotary brush, dan conveyor. Motor driver BTS7960 digunakan sebagai penghubung antara ESP32 dan motor DC MY1025 karena mampu bekerja pada tegangan 6–27V DC dengan arus hingga 43 ampere serta mendukung kontrol PWM untuk mengatur arah dan kecepatan putar motor secara stabil.

**PWM Dimmer dan Relay**

PWM dimmer merupakan modul pengatur kecepatan motor DC 775 yang bekerja dengan mengatur lebar pulsa tegangan (duty cycle) tanpa mengubah besar tegangan sumber secara langsung. Dalam sistem ini digunakan empat PWM dimmer yang masing-masing menerima daya melalui modul relay, sehingga relay berfungsi sebagai saklar otomatis yang menyambungkan atau memutus suplai daya ke motor rotary broom kiri, rotary broom kanan, rotary brush, dan conveyor sesuai perintah ESP32.

**Sapu Putar (Rotary Broom) dan Sistem Konveyor**

Rotary broom merupakan mekanisme penyapu berbentuk sikat silinder yang berputar memanfaatkan energi mekanik motor penggerak untuk menghasilkan gaya dorong yang mengarahkan sampah menuju titik pengumpulan tertentu[11]. Pada penelitian ini, rotary broom terdiri atas rotary broom kiri, rotary broom kanan, dan rotary brush yang bekerja mengumpulkan sampah ringan menuju bagian tengah alat. Sistem conveyor kemudian berfungsi memindahkan sampah hasil sapuan rotary broom menuju wadah penampungan secara kontinu, sehingga tercipta sistem pembersihan yang terintegrasi antara mekanisme penyapuan dan pemindahan sampah[12].

**Sensor Ultrasonik HC-SR04**

Sensor ultrasonik bekerja dengan prinsip pantulan gelombang suara berfrekuensi tinggi (di atas 20 kHz), memancarkan gelombang melalui transmitter dan menerima pantulannya melalui receiver setelah mengenai suatu objek. Jarak objek dihitung menggunakan persamaan Jarak = (v × t) / 2, dengan v adalah kecepatan rambat suara di udara dan t adalah waktu tempuh gelombang bolak-balik[13]. Pada penelitian ini digunakan lima sensor ultrasonik HC-SR04: sensor 1 (depan kiri), sensor 2 (depan tengah), sensor 3 (depan kanan), sensor 4 (belakang), dan sensor 5 yang diletakkan pada bak penampungan untuk mendeteksi kondisi bak sampah penuh.

**Evaluasi Kinerja Sistem**

Tingkat kesalahan (error) pembacaan sensor dihitung dengan persamaan Error (%) = |Xukur − Xsebenarnya| / Xsebenarnya × 100%, dengan Xukur adalah nilai hasil pengukuran sensor (cm) dan Xsebenarnya adalah nilai jarak sebenarnya (cm). Estimasi kecepatan putar motor berdasarkan nilai PWM dihitung dengan persamaan RPM = RPM Max × (Nilai PWM / 255), dengan RPM Max adalah kecepatan maksimum motor tanpa beban, Nilai PWM adalah nilai yang diberikan mikrokontroler (0–255), dan 255 merupakan nilai PWM maksimum pada resolusi 8-bit.

**Sistem Power Supply**

Sumber daya utama alat berasal dari aki 12V DC yang menyuplai motor DC penggerak roda, rotary broom, dan conveyor melalui motor driver dan PWM dimmer. Untuk menyuplai ESP32 yang membutuhkan tegangan 5V, digunakan modul buck converter (step-down) LM2596 yang menurunkan tegangan 12V menjadi tegangan stabil dan aman, guna mencegah gangguan seperti reset pada mikrokontroler akibat noise dari motor DC[14][15].

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif melalui perancangan prototipe dan uji eksperimental untuk menciptakan sistem alat penyapu sampah ringan. Data dikumpulkan melalui studi literatur serta observasi lapangan untuk mendukung perancangan sistem yang optimal. Prosedur penelitian meliputi: (1) perencanaan dan persiapan, mencakup penentuan tujuan penelitian, studi literatur, serta penyusunan desain sistem dan komponen yang diperlukan (ESP32, sensor ultrasonik, motor DC, rangka alat); (2) pengadaan komponen; (3) perakitan sistem, mencakup perakitan rangka, pemasangan ESP32, sensor ultrasonik, motor DC, motor driver, relay, dan PWM dimmer; (4) pemrograman ESP32 menggunakan Arduino IDE, dengan simulasi awal rangkaian menggunakan Wokwi dan desain rangka menggunakan TinkerCad; (5) pengujian sistem, mencakup pengujian sensor ultrasonik, sistem rotary broom, konveyor, serta kecepatan motor; dan (6) analisis serta evaluasi hasil pengujian untuk menarik kesimpulan mengenai tingkat keberhasilan sistem yang dikembangkan.

**Perancangan Perangkat Keras**

Sistem alat dirancang menggunakan ESP32 sebagai pengendali utama yang menerima data dari lima sensor ultrasonik HC-SR04, kemudian memberikan perintah kepada dua motor driver BTS7960 untuk mengatur pergerakan dua motor DC MY1025 sebagai penggerak utama alat, serta mengontrol empat relay yang masing-masing terhubung ke PWM dimmer untuk mengatur kecepatan empat motor DC 775 (rotary broom kiri, rotary broom kanan, rotary brush, dan conveyor). Konfigurasi pin sensor ultrasonik, modul relay, buzzer, dan motor driver BTS7960 ditunjukkan pada Tabel 1 hingga Tabel 3 berikut.

**Tabel 1. Konfigurasi Pin Sensor Ultrasonik**

| Sensor | Trigger Pin | Echo Pin | VCC | GND |
|---|---|---|---|---|
| S1 (Depan Kiri) | D13 | D12 | V | G |
| S2 (Depan Tengah) | D14 | D27 | V | G |
| S3 (Depan Kanan) | D26 | D25 | V | G |
| S4 (Belakang) | D33 | D32 | V | G |
| S5 (Bak Sampah) | D15 | D2 | V | G |

**Tabel 2. Konfigurasi Pin Modul Relay dan Buzzer**

| Komponen | Fungsi | Pin Board ESP32 |
|---|---|---|
| Relay 1 | Rotary Broom Kiri | D21 |
| Relay 2 | Rotary Broom Kanan | D22 |
| Relay 3 | Rotary Brush | D23 |
| Relay 4 | Conveyor | D5 |
| Buzzer (+) | Indikator Bak Penuh | D4 |

**Tabel 3. Konfigurasi Pin Motor Driver BTS7960**

| Pin BTS7960 | Pin ESP32 |
|---|---|
| RPWM | GPIO16 (kiri), GPIO18 (kanan) |
| LPWM | GPIO17 (kiri), GPIO19 (kanan) |
| R-EN / L-EN | V |
| VCC / GND | V / G |

Perangkat lunak yang digunakan meliputi Arduino IDE untuk pemrograman dan debugging ESP32 melalui fitur serial monitor, Wokwi untuk simulasi wiring dan logika navigasi menggunakan LED sebagai pengganti motor driver pada tahap awal pengembangan, serta TinkerCad untuk mendesain visualisasi bentuk rangka alat sebelum direalisasikan secara fisik.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Bentuk Fisik dan Cara Kerja Alat

Alat penyapu sampah ringan otomatis berbasis ESP32 telah berhasil dirancang dan direalisasikan dalam bentuk prototipe beroda dengan rotary broom pada bagian depan dan conveyor pada bagian tengah menuju bak penampungan. Ketika alat dioperasikan, motor penggerak utama MY1025 akan menggerakkan alat maju secara otomatis dengan mekanisme soft-start. Apabila sensor mendeteksi adanya halangan, ESP32 akan memerintahkan motor driver BTS7960 untuk melakukan manuver berupa belok kanan, belok kiri, atau mundur sesuai kondisi pembacaan sensor, sementara sistem rotary broom menyapu sampah menuju bagian tengah alat dan conveyor memindahkannya menuju wadah penampungan.

### Pengujian Sensor Ultrasonik

Pengujian dilakukan dengan membandingkan jarak sebenarnya terhadap hasil pembacaan sensor pada rentang 2–41 cm untuk mengetahui akurasi sensor, serta pengujian jarak deteksi halangan pada rentang 10–50 cm untuk mengetahui batas kemampuan deteksi tiap sensor sesuai program yang ditetapkan. Hasil rata-rata error pengukuran kelima sensor ultrasonik ditunjukkan pada Tabel 4, sedangkan kemampuan deteksi halangan pada berbagai jarak ditunjukkan pada Tabel 5.

**Tabel 4. Rata-rata Error Pengukuran Sensor Ultrasonik (Jarak 2–41 cm)**

| Sensor | Error (cm) | Error (%) |
|---|---|---|
| Ultrasonik 1 | 0,02 | 2,09% |
| Ultrasonik 2 | 0,04 | 4,33% |
| Ultrasonik 3 | 0,02 | 2,09% |
| Ultrasonik 4 | 0,025 | 2,53% |
| Ultrasonik 5 | 0,036 | 3,56% |

**Tabel 5. Kemampuan Deteksi Halangan Berdasarkan Jarak yang Ditetapkan pada Program**

| Sensor | 10 cm | 15 cm | 20 cm | 25 cm | 30 cm | 35 cm | 40 cm | 45 cm | 50 cm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ultrasonik 1 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ |
| Ultrasonik 2 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ |
| Ultrasonik 3 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ |
| Ultrasonik 4 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Ultrasonik 5 | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |

Berdasarkan Tabel 4, tingkat error kelima sensor tergolong kecil, yaitu di bawah 5%, yang menunjukkan bahwa sensor ultrasonik HC-SR04 mampu bekerja dengan akurasi yang cukup baik untuk aplikasi pendeteksian halangan. Berdasarkan Tabel 5, sensor ultrasonik 1, 2, dan 3 yang diletakkan pada bagian depan alat mampu mendeteksi objek dengan baik hingga jarak 40 cm, sensor 4 pada bagian belakang mampu mendeteksi hingga jarak 30 cm, sedangkan sensor 5 yang diletakkan pada bak penampungan hanya dirancang untuk mendeteksi hingga jarak 15 cm karena berfungsi sebagai pendeteksi kondisi bak sampah penuh, bukan sebagai pendeteksi halangan gerak alat. Perbedaan jarak baca antar sensor ini disesuaikan dengan kebutuhan

fungsi masing-masing sensor pada program yang telah ditetapkan.

Pengujian melalui serial monitor menunjukkan bahwa ketika sensor 1 (depan kiri) mendeteksi halangan, ESP32 memerintahkan motor untuk melakukan manuver belok kanan, sedangkan ketika sensor 3 (depan kanan) mendeteksi halangan, sistem memerintahkan manuver belok kiri. Ketika sensor 2 (depan tengah) mendeteksi halangan secara terus-menerus selama 5 detik, sistem akan memulai prosedur mundur, namun prosedur ini akan dibatalkan apabila sensor 4 (belakang) turut mendeteksi adanya halangan, sebagai mekanisme keselamatan (safety) agar alat tidak menabrak objek di belakangnya.

**Pengujian Sapu Putar (Rotary Broom)**

Pengujian dilakukan pada tiga bagian utama, yaitu rotary broom kiri, rotary broom kanan, dan rotary brush, pada berbagai kondisi operasional. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 6.

**Tabel 6. Hasil Pengujian Sistem Rotary Broom**

| Komponen | Kondisi Pengujian | Hasil |
|---|---|---|
| Rotary Broom Kiri | Alat dinyalakan / tidak ada halangan | Berputar searah jarum jam (menyapu normal) |
| Rotary Broom Kiri | Sensor 2 aktif / bak sampah penuh | Berhenti |
| Rotary Broom Kiri | Sensor nonaktif / bak sampah kosong | Berputar kembali |
| Rotary Broom Kanan | Alat dinyalakan / tidak ada halangan | Berputar berlawanan jarum jam (menyapu normal) |
| Rotary Broom Kanan | Sensor 2 aktif / bak sampah penuh | Berhenti |
| Rotary Broom Kanan | Sensor nonaktif / bak sampah kosong | Berputar kembali |
| Rotary Brush | Alat dinyalakan / tidak ada halangan | Berputar berlawanan jarum jam (menyapu normal) |
| Rotary Brush | Sensor 2 aktif / bak sampah penuh | Berhenti |
| Rotary Brush | Sensor nonaktif / bak sampah kosong | Berputar kembali |

Berdasarkan Tabel 6, rotary broom kiri berputar searah jarum jam, sedangkan rotary broom kanan dan rotary brush berputar berlawanan arah jarum jam, sehingga arah putaran ketiganya saling mendukung untuk mengarahkan sampah menuju bagian tengah alat. Seluruh pengujian menunjukkan hasil “berhasil”, yang membuktikan bahwa sistem rotary broom bekerja sesuai logika kontrol yang telah diprogram, baik pada kondisi normal, saat mendeteksi halangan, maupun saat bak sampah penuh.

**Pengujian Konveyor**

**Tabel 7. Hasil Pengujian Sistem Konveyor**

| No | Kondisi Pengujian | Hasil |
|---|---|---|
| 1 | Sistem ON | Aktif (Berhasil) |
| 2 | Rotary brush aktif | Sampah berpindah (Berhasil) |
| 3 | Sensor 2 aktif | Berhenti (Berhasil) |
| 4 | Sensor 2 nonaktif | Aktif kembali (Berhasil) |
| 5 | Bak sampah penuh | Berhenti (Berhasil) |
| 6 | Bak sampah kosong | Aktif kembali (Berhasil) |

Berdasarkan Tabel 7, sistem conveyor mampu bekerja sesuai fungsi yang dirancang pada seluruh kondisi pengujian. Conveyor aktif memindahkan sampah hasil sapuan rotary broom menuju wadah penampungan, berhenti sementara saat sensor mendeteksi halangan atau saat bak sampah penuh untuk mencegah penumpukan berlebih, dan kembali aktif secara otomatis setelah kondisi tersebut tidak lagi terdeteksi.

**Pengujian Kecepatan Motor**

Motor DC MY1025 12V yang digunakan memiliki kecepatan maksimal 2750 RPM pada kondisi tanpa beban. Kecepatan motor diatur menggunakan metode PWM melalui motor driver BTS7960, dengan nilai PWM 130 untuk gerakan maju dan mundur, serta PWM 150 untuk manuver belok. Estimasi RPM dihitung menggunakan persamaan RPM = RPM Max × (Nilai PWM / 255), dengan hasil ditunjukkan pada Tabel 8.

**Tabel 8. Estimasi Kecepatan Motor DC MY1025 Berdasarkan Nilai PWM**

| Gerakan | PWM | Estimasi RPM | % RPM Max |
|---|---|---|---|
| Maju | 130 | ≈1402 RPM | 50,98% |
| Mundur | 130 | ≈1402 RPM | 50,98% |
| Berbelok | 150 | ≈1618 RPM | 58,82% |

Nilai PWM 130 dipilih agar alat dapat bergerak pada kecepatan terendah yang masih memadai, mengingat bobot alat sekitar 26 kg dan motor penggerak tidak menggunakan gearbox penurun RPM. Nilai PWM 150 untuk manuver belok diberikan agar alat mampu bermanuver lebih cepat untuk menghindari halangan, mengingat sistem navigasi hanya mengandalkan sensor jarak ultrasonik yang masih memiliki keterbatasan. Perlu dicatat bahwa nilai RPM yang ditampilkan merupakan estimasi berdasarkan perhitungan, bukan nilai yang terukur secara langsung, karena kecepatan aktual dapat dipengaruhi oleh beban, kondisi tegangan aki, dan karakteristik mekanis motor. Untuk mendapatkan nilai RPM yang akurat, diperlukan sensor encoder yang dipasang langsung pada poros motor.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa alat penyapu sampah ringan otomatis berbasis mikrokontroler ESP32 dengan mekanisme rotary broom dan konveyor telah berhasil dirancang dan direalisasikan untuk membersihkan sampah ringan pada area parkir Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia secara otomatis. Sistem sensor ultrasonik HC-SR04 mampu mendeteksi halangan sesuai jarak yang telah ditetapkan pada program, yaitu sensor 1, 2, dan 3 pada jarak maksimal 40 cm, sensor 4 pada jarak 30 cm, dan sensor 5 pada jarak 15 cm sebagai pendeteksi bak sampah penuh. Sistem rotary broom yang terdiri dari rotary broom kiri, rotary broom kanan, dan rotary brush berhasil bekerja sesuai logika kontrol yang telah diprogram, berputar otomatis saat sistem aktif dan berhenti ketika sensor mendeteksi halangan maupun saat bak sampah penuh. Sistem konveyor berhasil memindahkan sampah hasil sapuan rotary broom menuju wadah penampungan secara otomatis, serta merespons kondisi sensor dengan baik. Kecepatan motor penggerak utama berhasil diatur menggunakan metode PWM melalui motor driver BTS7960, dengan nilai PWM 130 menghasilkan estimasi kecepatan 1402 RPM untuk gerakan maju dan mundur, serta nilai PWM 150 menghasilkan estimasi kecepatan 1618 RPM untuk manuver berbelok.

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, disarankan untuk menambahkan sensor encoder pada poros motor guna memperoleh nilai RPM yang lebih akurat, menggunakan motor driver dengan kapasitas arus lebih besar atau menambahkan heatsink pada BTS7960 untuk mencegah overheat, mengembangkan sistem navigasi yang lebih canggih seperti pemetaan area menggunakan LIDAR atau kamera, menambahkan fitur pemantauan jarak jauh berbasis IoT memanfaatkan fitur Wi-Fi dan Bluetooth pada ESP32, serta mengganti sumber daya dari aki konvensional menjadi baterai lithium untuk meningkatkan durasi operasional alat.

## DAFTAR PUSTAKA

[1] Yuliza dan U. N. Kholifah, "Robot pembersih lantai berbasis Arduino Uno dengan sensor ultrasonik," Jurnal Teknologi Elektro, 2015.

[2] R. Mardiati, N. Aziz, E. Mulyana, dan T. Yusuf, "Robot pembersih lantai menggunakan sensor LM393 dan ultrasonik berbasis Arduino Uno," JITCE, vol. 6, no. 1, 2022.

[3] M. Marcellino, A. P. Kusuma, Y. Primasari, dan A. Zuhair, "Prototype robot penghisap debu otomatis menggunakan Arduino Uno dan sensor ultrasonic," Jurnal Qua Teknika, vol. 15, no. 1, 2025.

[4] G. Haryanto, R. A. Khaidir, dan G. Amru, "Robot vacuum cleaner otomatis berbasis Arduino Uno dengan sensor proximity dan ultrasonik," Jurnal Teknologi Otomasi, 2025.

[5] E. K. Laksanawati, Efrizal, dan D. A. Kusuma, "Perancangan conveyor pada mesin pembuat mie otomatis," Jurnal Teknik Industri, 2021.

[6] D. S. Pratama, "Rancang bangun conveyor penyortir mur berbasis Raspberry Pi menggunakan metode contour area," Jurnal Teknik Elektro, 2018.

[7] K. Ogata, *Modern Control Engineering, 5th ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall,* 2010.

[8] M. P. Groover, *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing, 4th ed. Boston, MA, USA: Pearson,* 2015.

[9] *Espressif Systems, ESP32 Technical Reference Manual, Espressif Systems,* 2022.

[10] S. J. Chapman, *Electric Machinery Fundamentals, 5th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill,* 2012.

[11] J. J. Kutz, *Mechanical Engineers' Handbook, 4th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley,* 2015.

[12] C. R. Mischke dan J. E. Shigley, *Mechanical Engineering Design, 8th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill,* 2008.

[13] J. Fraden, *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications, 5th ed. New York, NY, USA: Springer*, 2016.

[14] S. Sedra dan K. C. Smith, *Microelectronic Circuits, 7th ed. New York, NY, USA: Oxford University Press,* 2015.

[15] M. H. Rashid, *Power Electronics: Circuits, Devices, and Applications, 4th ed. Boston, MA, USA: Pearson,* 2014.