

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Robot Vacuum Cleaner

Dalam definisinya, *Robot Vacuum Cleaner* merupakan alat elektronik otomatis yang dirancang untuk melakukan pekerjaan pembersihan lantai tanpa perlu intervensi langsung manusia. Robot ini bekerja dengan sistem vakum dan dilengkapi dengan berbagai sensor untuk mendeteksi dan melakukan navigasi serta menghindari rintangan saat bekerja dalam ruangan tertentu.

Robot vacuum cleaner biasanya berbentuk seperti bola dengan ukuran yang relatif kecil, sehingga memberikan kemudahan pada perangkat ini untuk mencapai area-area sempit seperti dibawah ranjang atau meja. Untuk bekerja, perangkat ini bergerak dengan independen menggunakan motor DC serta sistem penggerak roda yang dipasang pada bagian bawah badan robot.

Sensor-sensor yang ada pada robot, antara lain sensor ultrasonik, digunakan untuk mendeteksi adanya tembok, hambatan, serta perubahan kondisi lingkungan sekitar robot. Melalui data yang dikumpulkan oleh sensor tersebut, robot bisa memodifikasi gerakan yang akan dilakukan agar robot bisa terhindar dari benturan dan dapat melakukan kegiatan bersih-bersih dengan lebih efisien.

Berdasarkan kemampuan yang dimiliki, robot vakum banyak digunakan di lingkungan rumah tangga ataupun ruangan kerja untuk pembersihan yang otomatis dan efisien tanpa perlu pengawasan kontinyu dari pengguna. Tampilan 2.1 menunjukkan contoh robot vakum dari Xiaomi.

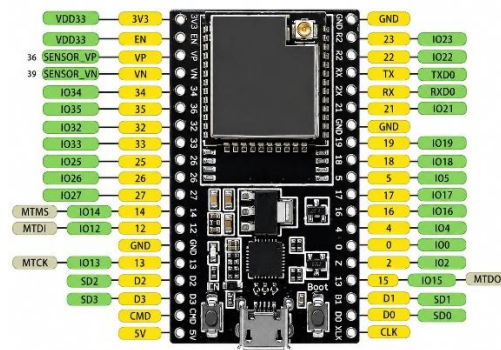


Gambar 2. 1 *Robot Vacuum Xiaomi*

2.1.2 *ESP32 DevKitC*

Sebagaimana dikemukakan oleh Kusumah & Pradana (2019), ESP32 merupakan sebuah mikrokontroler yang diproduksi oleh *Espressif Systems* di Shanghai dan menjadi salah satu pilihan yang sangat populer bagi para developer *Internet of Things* (IoT). Ketertarikan akan chip ini dikarenakan kehadiran fitur WiFi bawaannya sehingga modul lainnya tidak diperlukan untuk mendapatkan koneksi ke internet. Keunikan dari ESP32 adalah penerapan *processor dual core* dengan arsitektur *Xtensa LX16* yang mampu menghasilkan performa yang baik untuk berbagai macam aplikasi. Dari segi fitur, ESP32 dapat dikatakan cukup lengkap dengan berbagai komponen antarmuka komunikasi dan pin GPIO. Tidak sedikit pendidik atau *trainer* yang memilih ESP32 sebagai bahan belajar IoT karena kemudahan dan fiturnya.

Ketika memiliki Wi-Fi yang sudah terdapat pada sistemnya, para siswa dapat belajar konsep IoT dengan mudah karena tidak ada kesulitan dalam hal persiapan koneksi internet. Selain itu, dokumentasi *pin-out* GPIO pun semakin mempermudah proses tersebut. Dalam praktiknya untuk sistem robot seperti *smart vacuum robot*, ESP32 dipakai sebagai otak utama dari pengendalian sensor, aktuator dan juga komunikasi data. Kemampuan konektivitas dan efisiensi penggunaan daya menjadikan ESP32 menjadi pilihan yang menggabungkan komputasi tertanam dengan komunikasi nirkabel secara *real-time*.



Gambar 2. 2 ESP32 DevKitC

2.1.3 Sensor Ultrasonik HC-SR04

Dalam penelitian Singh et al., yang diterbitkan dalam *Journal of Open Source Software* (JOSS) pada tahun 2019, sensor HC-SR04 merupakan salah satu sensor *ultrasonic* yang terpopuler dan terbanyak digunakan dalam komunitas *maker* dan pengembang robotika. Sensor HC-SR04 merupakan sensor *ultrasonic simple* dimana tekniknya menggunakan prinsip 1-dimensi, atau pengukuran jarak pada satu arah saja.

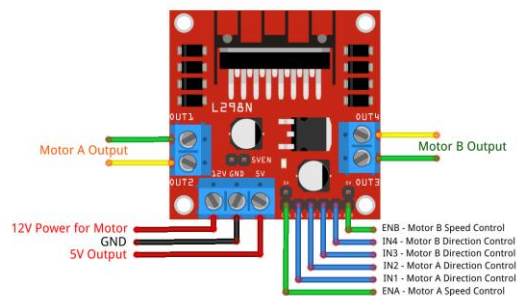
Salah satu keunggulan teknologi *ultrasonic* seperti HC-SR04 adalah efektifitasnya sebagai metode pengukuran jarak dalam jarak pendek. Sensor HC-SR04 tidak dipengaruhi oleh intensitas cahaya dari lingkungan, sehingga performansinya tetap baik dalam lingkungan bercahaya atau sebaliknya. Selain itu, sensor HC-SR04 dapat mendeteksi berbagai jenis permukaan dengan presisi yang tinggi, bahkan permukaan yang tidak transparan, dan memiliki konsumsi listrik yang rendah. Populernya sensor HC-SR04 dalam komunitas *maker* dikarenakan biayanya yang murah dan mudah digunakan.

2.1.4 Motor *Direct Current* (DC) dan Driver Motor (l298N)

Motor Direct Current (DC) merupakan aktuator yang memanfaatkan energi listrik untuk menghasilkan energi gerak putar. Prinsip kerja motor ini didasarkan pada konsep elektromagnetik, dimana arus listrik yang melintasi lilitan menghasilkan medan magnet sehingga rotor berputar. Motor DC sering digunakan pada aplikasi robotika karena mudah dikendalikan baik untuk arah maupun kecepatannya. Untuk melakukan kinerja motor DC dengan optimal, diperlukan sistem kontrol motor, atau driver motor. Salah satu contoh dari *driver* motor ini

adalah L298N, yaitu IC *driver* motor berbentuk H-Bridge yang mampu mengendalikan dua buah motor DC secara mandiri.

L298N mampu melakukan pengendalian arah putaran motor DC (maju/berlawanan arah) beserta kecepatannya menggunakan sinyal kontrol *Pulse Width Modulation* (PWM). Dalam perancangan *robot vacuum cleaner*, motor DC digunakan untuk menggerakkan roda agar robot dapat berpindah dari satu tempat ke tempat lainnya. *Driver* L298N merupakan komponen hubungan antara mikrokontroler dengan motor, dimana mikrokontroler mengirimkan sinyal kontrol dan *driver* menyalurkannya kepada motor sesuai dengan instruksi. Dengan kombinasi kedua komponen tersebut, pergerakan robot dapat dikendalikan secara tepat.

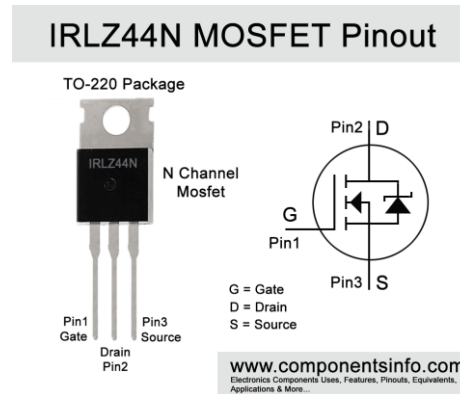


Gambar 2. 3 Motor Direct Current (DC) dan Driver Motor (L298N)

2.1.5 MOSFET IRLZ44N

MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) adalah komponen semikonduktor yang berfungsi sebagai saklar elektronik untuk mengendalikan beban menggunakan sinyal tegangan pada terminal gate. Dalam penelitian ini, MOSFET tipe IRLZ44N digunakan sebagai saklar elektronik yang diendalikn oleh ESP32 untuk mengontrol suplai daya motor vacuum. IRLZ44N masuk ke dalam kategori *N-Channel Logic Level MOSFET* yang dapat dinyalakan dengan menggunakan sinyal tegangan logika 3,3 V dari ESP32 tanpa perlu memasang rangkaian penguat lagi. IRLZ44N memiliki tiga terminal utama, yaitu terminal kontrol dengan nama *Gate* (G), *Drain* (D) yang dikoneksikan dengan negatif beban, dan *Source* (S) yang dikoneksikan dengan *ground*. Saat sinyal *HIGH* diberikan oleh ESP32 pada terminal *gate*, maka IRLZ44N mengalirkan arus dan motor *vacuum* menyala, sebaliknya saat diberikan sinyal *LOW*, arus tidak mengalir

sehingga motor *vacuum* berhenti. Keunggulan penggunaan MOSFET dalam penelitian ini adalah MOSFET memiliki *switching rate* yang cukup cepat, efisiensi yang baik, dan juga tidak memakai mekanikal *contact*, jadi MOSFET sangat handal dalam men-*control* motor vakum pada sistem robot bergerak.



Gambar 2. 4 MOSFET IRLZ44N

2.1.6 INA219

INA219 adalah sensor arus dan tegangan yang berdasarkan antarmuka I2C (*Inter-Integrated Circuit*) yang digunakan untuk pengukuran digital tegangan, arus, dan daya listrik dengan kualitas akurasi yang cukup bagus. Sensor ini mengukur beda tegangan dari resistor *shunt* yang ada di dalam sensor untuk menghitung besar arus yang melewati dan mengirimkan data pengukuran tersebut ke mikrokontroler menggunakan komunikasi I2C. Pada penelitian ini, INA219 digunakan untuk memantau kondisi penggunaan daya motor *vacuum* dan juga tegangan dari baterai yang digunakan sebagai sumber daya dari robot. Data hasil pengukuran tersebut diproses oleh ESP32 dan tampilan pada sistem *monitoring* sehingga pengguna akan dapat mengetahui kondisi daya dari robot secara *real-time*. Penggunaan INA219 tersebut dikarenakan alat ini memiliki ukuran yang ringan, konsumsi daya yang sedikit, dan dapat melakukan pengukuran tegangan, arus, dan daya secara akurat.

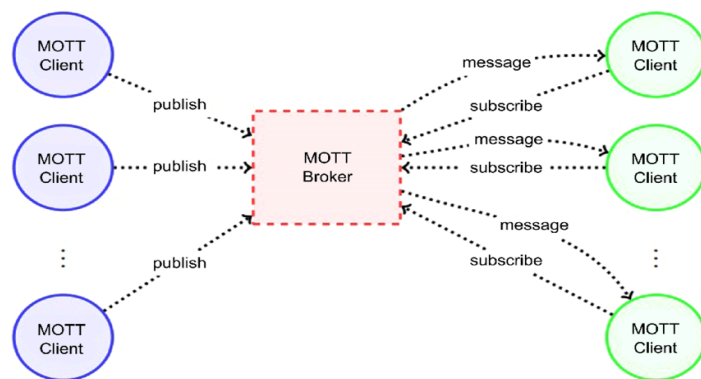
2.1.7 PMW3901

PMW3901 adalah *optical flow* sensor yang diandalkan dalam deteksi pergerakan relatif robot terhadap permukaan lantai berdasarkan analisis perubahan pola tekstur yang diterima oleh sensor optik. PMW3901 berfungsi dengan cara pengambilan gambar permukaan secara berturut-turut, kemudian menghitung perubahan posisi dari satu gambar ke gambar lainnya untuk mendapatkan

perpindahan pada sumbu X dan Y tanpa perlu navigasi berbasis GPS. Dalam penelitian ini, PMW3901 diandalkan sebagai pendukung navigasi robot untuk melakukan estimasi perpindahan posisi dalam proses pembersihan, sehingga membantu robot mengetahui arah pergerakannya dan meningkatkan akurasi navigasi. PMW3901 komunikasi dengan ESP32 menggunakan SPI *interface* dan dipilih karena dimensi yang kecil, pemakaian energi yang rendah, dan kemampuan

2.1.8 Protokol MQTT

Protokol MQTT adalah protokol komunikasi antar-mesin yang digunakan untuk mengirimkan data dan pesan dalam waktu yang cepat. Protokol ini menggunakan sistem '*publish-subscribe*'. Menurut Aloufi dan Alhazmi (2020), pada Gambar 2.5, MQTT terdiri dari client dan broker. Bagian tengahnya adalah broker, yang mengelola pesan dan transaksi antar *client*. Mesin yang mengirim informasi disebut *publisher*, dan mesin yang menerima informasi disebut *subscriber*. *Publisher* akan mengirim data melalui broker sebagai perantara penyedia pesan, lalu *subscriber* akan dapat menerima data yang sesuai dari broker. Untuk menentukan data yang dikirim dan diterima, data diberi nama yang disebut '*topic*'. Semua perangkat dapat mengirim dan menerima data dengan topik yang sama, dan satu perangkat juga dapat mengirim dan menerima data dengan topik yang berbeda-beda.



Gambar 2. 5 Protokol MQTT

2.1.9 Arduino IDE

Arduino Integrated Development Environment (IDE) adalah sebuah perangkat lunak open source yang berperan krusial sebagai lingkungan pengembangan untuk memprogram mikrokontroler, khususnya yang menggunakan

chip AVR dari Atmel. Perangkat lunak ini dirancang untuk mempermudah pengguna dalam menulis "*sketch*" atau program menggunakan bahasa pemrograman C, yang kemudian dapat diunggah langsung ke papan mikrokontroler Arduino. Fungsi utamanya tidak hanya terbatas pada penulisan kode, tetapi juga mencakup kemampuan untuk memproses data yang masuk ke mikrokontroler berdasarkan instruksi yang diberikan, serta mengendalikan perangkat output sesuai keinginan. Arduino IDE juga berfungsi sebagai jembatan komunikasi serial antara komputer dan perangkat Arduino, untuk transfer program dan pertukaran data secara efisien. (Subroto, 2021).

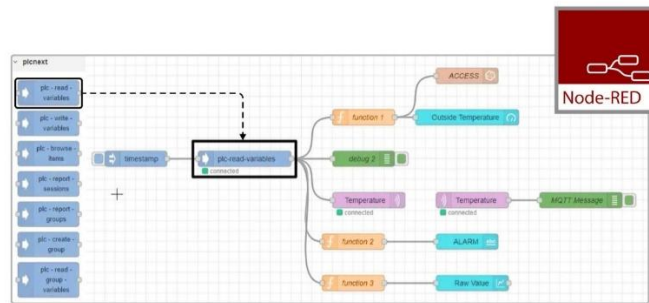


Gambar 2. 6 *Arduino IDE*

2.1.10 *Node-Red*

Node-RED adalah *platform* pemrograman visual berdasarkan konsep *flow* yang bertujuan memudahkan pengembangan aplikasi *Internet of Things* (IoT) dengan bantuan *user interface* grafis berbasis *web browser*. Pengguna hanya perlu membuat logika aplikasi mereka dengan cara menghubungkan beberapa node yang merepresentasikan fungsi-fungsi input/output, processing, dan komunikasi tanpa perlu menulis banyak kode program. Node-RED mempunyai *support* pada berbagai jenis protokol komunikasi seperti MQTT, HTTP, TCP/UDP dan lainnya, oleh karena itu banyak digunakan dalam pembuatan sistem *monitoring* dan *control* dalam bentuk *real-time*. Berdasarkan Mulyono et al. (2018), Node-RED yang diintegrasikan dengan protokol MQTT dapat mengolah data dari sensor lingkungan seperti suhu, kelembaban udara dan tanah, untuk membantu dalam pengambilan keputusan secara otomatis, misalnya sistem penyiraman tanaman. Dari hasil penelitian tersebut, dapat diketahui bahwa Node-RED memudahkan

pengembangan sistem, merespons cepat terhadap kondisi yang ada serta memberikan visualisasi data secara *real-time*.



Gambar 2. 7 Node-Red

2.1.11 Logika fuzzy

Jika diambil dalam perspektif sistem cerdas yang membutuhkan pengambilan keputusan dalam kondisi ketidakpastian dan kurangnya akurasi dalam informasi, maka pendekatan *fuzzy* Mamdani adalah salah satu pendekatan yang sangat efektif. Pendekatan ini mendukung pemetaan berbagai input dalam output yang berkaitan, meniru kemampuan kognitif manusia dalam mengambil keputusan berdasarkan nuansanya dan pengetahuannya, tidak hanya data yang objektif dan eksak.

Dalam penelitian ini, pendekatan *fuzzy* Mamdani digunakan untuk memberi kemampuan kepada robot debu untuk melakukan navigasi otonom dan mendeteksi jalur yang tidak mengandung gangguan. Keuntungan dari logika *fuzzy* termasuk *fuzzy* Mamdani ada pada kemampuannya untuk mengevaluasi desain sistem kontrol dengan cara memudahkan kompleksitas dan mengurangi jumlah aturan yang dibutuhkan. Dengan kata lain, seperti yang dirincikan oleh Yulio et al., (2021), pengkonversi nilai-nilai input menjadi derajat keanggotaan dalam sistem *Fuzzy*, secara efisien mengurangi beban komputasi yang diperlukan untuk pengambilan keputusan.

2.1.12 Baterai Li-ion 18650

Baterai Li-Ion 18650 adalah salah satu jenis baterai *rechargeable* yang cukup banyak digunakan pada berbagai alat elektronik portable, termasuk pada aplikasi *robot vacuum cleaner* ini. "18650" sendiri merupakan nama yang merujuk pada dimensi fisik baterai tersebut, yaitu diameter 18 mm dan panjang 65 mm.

Baterai Li-Ion 18650 biasanya memiliki voltase 3,7 V dengan kapasitas yang beragam, dari 2000 mAh sampai 3500 mAh tergantung pada merek baterai tersebut.

Pada sistem *robot vacuum cleaner*, baterai Li-Ion 18650 dipilih karena dapat memberikan arus yang cukup stabil untuk berbagai komponen seperti ESP32, motor, sensor dan modul *vacuum* itu sendiri. Selain itu, baterai ini cukup ringan, memiliki dimensi yang *compact*, dan mudah dikombinasikan secara serial maupun *parallel* agar cocok dengan kebutuhan arus robot tersebut. Baterai Li-Ion 18650 dibandingkan dengan jenis baterai lain juga diketahui memiliki efisiensi pengisian yang baik.

2.2 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian dari Laksono et al. (2022), analisis perbandingan kinerja antara algoritma Hector SLAM dan *GMapping* dilakukan di robot bergerak berbasis *Robot Operating System* (ROS). Penelitian menggunakan sensor RPLidar-A1 sebagai *tool mapping environment* dua dimensi serta menggunakan RViz sebagai media visualisasi map. Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa *Hector* SLAM memiliki akurasi yang lebih baik dibandingkan dengan *GMapping* dengan nilai kesalahan sebesar 7,86 cm, sementara *GMapping* memberikan kesalahan sebesar 10,86 cm. Selain itu, *Hector* SLAM tergolong lebih stabil di lingkungan tanpa data odometri sehingga cocok digunakan di sistem navigasi robot secara *real-time*.

Pada pengembangan robot *cleaner*, Pokhrel (2024) melakukan penelitian mengenai penerapan metode Hector SLAM pada *robot cleaner* untuk membuat map ruangan dua dimensi dengan sensor RPLidar A1M8. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa Hector SLAM mampu melakukan proses pemetaan dan *positioning* sekaligus tanpa menggunakan data odometri. Dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa sensor tersebut memiliki tingkat kesalahan sebesar 1,19%, sementara modifikasi parameter Hector SLAM dapat membuat kualitas map yang lebih baik dibandingkan dengan parameter asli. Penelitian tersebut juga mengembangkan aplikasi Android sebagai *controller* robot via Wi-Fi, namun tidak ada sistem *monitoring* berbasis IoT atau sistem *charging* daya otomatis.

Secara mekanika pembersih, Sobri et al. (2024) telah merancang sebuah robot penyedot debu dengan teknologi Arduino Uno dimana kendali yang digunakan

dalam hal ini adalah *Bluetooth* dengan *module* HC-05. Robot ini terdiri dari motor DC sebagai pemutar roda, motor *speed controller* dengan menggunakan driver L298N dan sistem vacuum menggunakan kipas DC. Dari hasil uji coba robot ini beroperasi dengan baik dalam rentang tegangan 10,9 sampai dengan 14,8 volt dengan rentang kontrol 8 meter, meski demikian robot ini masih memiliki keterbatasan dalam mencuci debu yang melekat kuat di atas karpet.

Sebuah penelitian lain juga telah dilakukan oleh Pusphalatha et al. (2023) dalam bentuk merancang robot penyedot debu mini dengan teknologi Arduino Uno dimana sensor ultrasonik dipergunakan untuk deteksi penghalang secara otomatis. Robot ini dirancang untuk mampu melaksanakan tugas pembersihan pada daerah tertentu tanpa campur tangan dari pengguna. Dari hasil penelitian tersebut terbukti bahwa robot ini beroperasi secara mandiri dan efektif dalam membersihkan ruangan berskala kecil sehingga membuktikan bahwa kombinasi Arduino dan sensor ultrasonik dapat diterapkan pada sistem robot pembersih berbiaya rendah.

Namun demikian, Yu et al. (2020) merumuskan hasil penelitiannya dengan melakukan studi *review* mengenai berbagai metode *map-merging* pada sistem SLAM *multi-robot*. Penelitian ini membahas berbagai metode integrasi peta, evaluasi performa, serta kendala yang ada dalam implementasinya dalam meningkatkan akurasi pemetaan dan navigasi robot. Meski penelitian ini tidak melakukan pengembangan robot pembersih, hasil kajiannya merupakan teori dasar penting dalam pengembangan teknologi robot *mapping* dan *navigation*.

Tabel 2. 1 Perbandingan variabel penelitian

Kategori	Penulis 1	Penulis 2	Penulis 3	Penulis 4	Penulis 5
Penulis	Laksono dkk.(2022)	Sobri dkk..(2024)	Pusphalatha dkk.(2023)	Yu dkk.(2020)	M Manasa (2021)
Tahun	2022	2024	2023	2020	2024
Judul					
Metode	Hector SLAM, <i>GMapping</i> , ROS, RPLidarr A1, RViz	Arduino Uno, HC-05, Motor DC, <i>Driver</i> L298N	Arduino uno, Sensor Ultrasonik, Motor DC	<i>Map-Merging</i> , SLAM Multi-Robot	Arduino Uno, Sensor Ultrasonik HC-SR04, Motor <i>Driver</i> L293D, RC Car, Algoritma

Kategori	Penulis 1	Penulis 2	Penulis 3	Penulis 4	Penulis 5
					Obstacle Avoidance.
Hasil	Hector SLAM memiliki akurasi lebih tinggi dengan error 7,86 cm dan lebih stabil dibanding <i>GMapping</i> .	Robot bekerja optimal pada tegangan 10,9–14,8 V dengan jangkauan <i>Bluetooth</i> hingga 8 meter, namun kurang optimal pada permukaan karpet.	Robot mampu mendeteksi rintangan dan membersihkan area secara otomatis dengan baik.	Mengulas berbagai metode <i>map-merging</i> beserta kelebihan, kekurangan, dan tantangan implementasinya.	<i>Robot vacuum</i> mampu bergerak secara otomatis, menghindari rintangan dengan memilih jalur yang memiliki jarak lebih besar, mengumpulkan debu menggunakan CPU fan, serta mencapai akurasi sistem sekitar 75%

Sebagai informasi dari berbagai literatur yang disebutkan di atas, dapat dilihat bahwa setiap penelitian tersebut memiliki topik atau fokus masing-masing. Penelitian yang dilakukan oleh Laksono et al. (2022) hanya membahas kinerja komparatif SLAM tanpa implementasi sistem pencuci karpet. Sementara itu, penelitian yang dilakukan oleh Sobri et al. (2024) dan Pusphalatha et al. (2023) adalah tentang pengembangan robot penyedot debu yang tidak memiliki kemampuan pemetaan otomatis. Namun, penelitian yang dilakukan oleh Yu et al. (2020) hanya membahas teknik *map merging* secara teori saja. Sementara itu, penelitian Manasa et al. (2021) adalah mengenai robot *vacuum* basi pada Arduino Uno yang dilengkapi dengan *navigasi obstacle avoidance* dengan *ultrasonic* sensor tetapi belum menggunakan *Fuzzy Logic*, sistem monitoring berbasis IoT, dan juga tidak melakukan pemetaan lingkungan. Oleh karena itu, penelitian ini membahas tentang *smart vacuum robot* yang mengimplementasikan prinsip dasar *Simultaneous Localization and Mapping* (SLAM) untuk navigasi sederhana,

metode *Fuzzy Logic* sebagai pengendali pergerakan robot, serta sistem *monitoring* berbasis Node-RED guna meningkatkan efektivitas proses pembersihan.