

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Perkembangan teknologi robotika saat ini telah mencapai kemajuan pesat, di mana penerapan robot tidak hanya terbatas pada sektor industri, tetapi juga mulai masuk ke dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu contohnya adalah dalam proses pembersihan jendela, baik untuk bangunan rumah maupun gedung bertingkat. Proses pembersihan kaca gedung bertingkat memiliki tantangan yang signifikan, terutama terkait dengan risiko keselamatan kerja pada ketinggian. Pekerja harus menggunakan peralatan seperti gondola dan tali pengaman untuk menjangkau area tertentu, yang sangat bergantung pada kondisi cuaca serta kelengkapan alat keselamatan. Hal ini membuka peluang untuk penerapan solusi robotik yang lebih aman dan efisien.

Beberapa negara telah mengembangkan robot pembersih kaca gedung bertingkat yang mampu beroperasi secara otomatis. Salah satunya adalah produk dari *Shenxi Machinery Group* di Tiongkok yang mengimplementasikan sistem adhesi berbasis *suction* vakum [11]. Sistem tersebut memungkinkan robot untuk menempel dan bergerak di permukaan vertikal seperti kaca dengan aman. Namun, sistem berbasis vakum umumnya memerlukan ruang tertutup dan *sealing* yang presisi agar dapat menciptakan perbedaan tekanan yang cukup besar [3].

Sebagai alternatif dari sistem vakum murni, pendekatan adhesi menggunakan motor *Electric Ducted Fan* (EDF) menawarkan solusi yang lebih adaptif terhadap berbagai kondisi permukaan karena tidak semata-mata bergantung pada segel kedap udara. EDF bekerja dengan prinsip menghasilkan gaya dorong melalui aliran udara berkecepatan tinggi yang diarahkan ke permukaan. Selain itu, ketika EDF ditempatkan dekat dengan permukaan, tercipta zona tekanan negatif di area antara selubung dan permukaan akibat percepatan aliran udara dan pembatasan celah. Dalam hal ini, total gaya adhesi merupakan kombinasi dari gaya tekanan negatif dan gaya dorong yang dihasilkan oleh EDF. Pendekatan ini dikenal sebagai mekanisme *Negative Pressure-Thrust* atau *thrust-suction*, yang memanfaatkan kedua efek tersebut untuk mempertahankan posisi robot pada permukaan vertikal.

Studi eksperimental menunjukkan bahwa kontribusi relatif dari tekanan negatif dan gaya dorong terhadap total gaya adhesi EDF sangat dipengaruhi oleh parameter seperti jarak celah ke permukaan dan desain selubung [6][8].

Penggunaan kombinasi gaya dorong dan tekanan negatif sebagai mekanisme adhesi menuntut kontrol yang presisi terhadap kecepatan putaran EDF. Fluktuasi dalam daya adhesi dapat terjadi akibat berbagai faktor, seperti perubahan kondisi permukaan kaca (misalnya, adanya tekstur atau kotoran), kebocoran udara yang tidak terduga akibat pergerakan robot atau iregularitas permukaan, tekanan udara sekitar, maupun variasi berat robot. Oleh karena itu, untuk mengatasi fluktuasi tersebut, diperlukan sebuah sistem kontrol untuk memastikan gaya adhesi yang dihasilkan tetap stabil dan sesuai dengan *setpoint* yang diinginkan. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan sistem kendali *PID Controller*. *Controller* PID dipilih karena merupakan metode kontrol yang efektif dalam berbagai aplikasi industri dan robotika untuk meminimalkan *error* sistem secara presisi [3].



Gambar 1.1 Wall Cleaning Robot Shenxi Machinery Group
Sumber: <https://www.shenxi.com/plist/wall-cleaning-robot>

Melihat potensi dan efektivitas pendekatan *thrust-suction* berbasis EDF dengan kontrol adaptif, penelitian ini bertujuan merancang sebuah robot pembersih kaca gedung bertingkat yang mengimplementasikan mekanisme tersebut. Untuk mobilitasnya, robot akan dilengkapi dengan sistem *tracked wheel* yang memungkinkan manuver di permukaan vertikal.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini berfokus pada bagaimana merancang robot pembersih kaca gedung bertingkat yang terjangkau serta menggunakan mekanisme adhesi *thrust-suction* berbasis motor EDF. Adapun rumusan masalah yang dapat ditetapkan adalah:

1. Bagaimana merancang arsitektur perangkat keras yang mendukung mekanisme *thrust-suction* pada permukaan kaca vertikal?
2. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan algoritma kendali PID untuk mengatur daya adhesi berdasarkan masukan dari sensor arus motor?
3. Bagaimana mengintegrasikan perangkat keras dan perangkat lunak untuk menciptakan sistem adhesi *thrust-suction* yang stabil dan dapat dikendalikan?

1.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk:

- Merancang mekanisme adhesi *thrust-suction* berbasis motor EDF yang mampu menjaga kestabilan robot pada permukaan kaca vertikal.
- Mengembangkan sistem kendali berbasis kendali *PID* untuk mengatur *thrust-suction* berdasarkan pembacaan arus motor.

1.4 Manfaat Hasil Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Menyediakan alternatif sistem pembersihan kaca gedung bertingkat yang lebih aman dengan mengurangi risiko kecelakaan kerja melalui penerapan teknologi robotika berbasis adhesi *thrust-suction*.
2. Menawarkan solusi robotik yang terjangkau bagi perusahaan jasa pemeliharaan gedung, dengan potensi pengurangan biaya operasional dalam jangka panjang.
3. Menjadi referensi awal untuk pengembangan lebih lanjut teknologi adhesi berbasis *thrust-suction* motor EDF pada berbagai aplikasi robotik di lingkungan vertikal.

Beberapa batasan masalah yang ada pada penelitian ini antara lain:

- Robot dirancang untuk beroperasi pada permukaan kaca datar, dan belum mencakup pengujian terhadap permukaan kaca tidak rata atau bergelombang.
- Pengujian dilakukan dalam kondisi lingkungan normal, tanpa mempertimbangkan variabel lingkungan ekstrem seperti angin kencang, hujan deras, atau suhu ekstrem.
- Penelitian ini tidak melakukan analisis dan optimisasi pada sistem mobilitas (*Tracked Wheel System*). Sistem mobilitas hanya dirancang sebagai komponen pendukung untuk pengujian mekanisme adhesi.

1.5 Metode Penelitian

Penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan utama yaitu:

1. **Studi Literatur:** Melakukan penelusuran jurnal dan literatur ilmiah untuk memahami konsep mekanisme adhesi *thrust-suction* berbasis motor EDF, desain robot pembersih kaca gedung bertingkat, serta algoritma kendali PID dan metode *tuning*.
2. **Perancangan Sistem:** Melakukan perancangan robot yang mencakup aspek mekanik, elektronik, dan perangkat lunak. Pada tahap ini, motor EDF digunakan sebagai penghasil gaya *thrust-suction*, sedangkan sistem roda rantai dirancang untuk mobilitas. Desain sistem kendali PID disusun untuk mengatur kestabilan *thrust-suction* berdasarkan pembacaan sensor arus.
3. **Implementasi dan Pengujian:** Melakukan implementasi dari desain yang telah dirancang. Prosesnya mencakup pembuatan prototipe, kalibrasi komponen, *tuning* parameter kontroler PID, dan melakukan serangkaian pengujian eksperimental pada permukaan kaca vertikal. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan adhesi secara kuantitatif serta menganalisis respons dan performa sistem kendali PID dalam menjaga stabilitas.

1.6 Proyeksi Pengguna

Robot pembersih kaca gedung bertingkat ini ditujukan untuk perusahaan pemeliharaan gedung, kontraktor kebersihan gedung bertingkat, serta pengelola properti komersial. Dengan menggunakan robot ini, perusahaan dapat mengurangi ketergantungan terhadap tenaga kerja manual yang berisiko bekerja pada ketinggian, sehingga meningkatkan keselamatan kerja dan mengurangi risiko kecelakaan.

Selain itu, penggunaan robot ini berpotensi mengurangi biaya operasional jangka panjang, karena menurunkan kebutuhan akan peralatan keselamatan tambahan dan pelatihan khusus bagi pekerja. Robot juga memungkinkan proses pembersihan yang lebih baik dan konsisten, terutama untuk area kaca yang sulit dijangkau secara manual.

Penggunaan robot ini juga memiliki potensi besar di lingkungan akademis, khususnya bagi lembaga penelitian dan universitas yang tertarik pada bidang robotika dan otomatisasi. Sebagai platform penelitian, robot ini memungkinkan eksplorasi lebih lanjut dalam teknologi *thrust-suction* berbasis EDF dan kendali robot pada permukaan vertikal, sehingga dapat memperkaya inovasi di bidang teknologi pembersihan dan robot pendakian.