

Sistem Kendali Kecepatan Motor Penggerak Sikat Berbasis *Fuzzy Logic* Pada Robot Pembersih Kaca Gedung Bertingkat

Fuzzy Logic Based Speed Control System For Brush Drive Motor In High Rise Building Glass Cleaning Robot

Farhan Naufal
Prodi S1 Teknik Elektro
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
farhan.naufal7.62@gmail.com

Sony Sumaryo
Prodi S1 Teknik Elektro
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
sonysumaryo@telkomuniversit
y.ac.id

Basuki Rahma
Prodi S1 Teknik Elektro
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
basukir@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Pembersihan kaca pada gedung bertingkat merupakan tugas yang berisiko tinggi bagi pekerja, terutama yang berkaitan dengan kecelakaan di ketinggian. Seiring dengan peningkatan jumlah gedung bertingkat, kebutuhan akan sistem pembersihan yang lebih aman dan efisien semakin mendesak. Penelitian ini mengembangkan sistem robot pembersih kaca yang mengintegrasikan algoritma deteksi objek YOLOv5 dengan pengendali kecepatan motor berbasis *fuzzy logic*. Sistem ini dirancang untuk mendeteksi noda pada kaca melalui kamera dan menyesuaikan kecepatan motor sikat sesuai dengan tingkat kekotoran yang terdeteksi. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi risiko kecelakaan kerja pada pembersihan manual di ketinggian. Metode yang digunakan meliputi desain perangkat keras berbasis Jetson Nano, implementasi algoritma YOLOv5 untuk deteksi noda, dan penerapan *fuzzy logic* untuk mengontrol kecepatan motor. Hasil pengujian terhadap 30 sampel citra menunjukkan akurasi deteksi noda sebesar 90,82%, sementara penggunaan *fuzzy logic* dapat menghemat konsumsi daya hingga 38% dibandingkan dengan metode kontrol konvensional. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa integrasi YOLOv5 dan *fuzzy logic* pada robot pembersih kaca memberikan potensi penghematan daya yang signifikan serta meningkatkan keselamatan kerja di gedung bertingkat.

Kata Kunci: robot pembersih kaca, YOLOv5, fuzzy logic, pengendalian motor, deteksi noda

Abstract

Window cleaning on high-rise buildings is a high-risk task for workers, especially regarding accidents at heights. As the number of high-rise buildings increases, the demand for safer and more efficient cleaning systems becomes more urgent. This study develops a robotic window cleaning system that integrates the YOLOv5 object detection algorithm with a fuzzy logic-based motor speed

controller. The system is designed to detect stains on the glass using a camera and adjust the brush motor speed based on the level of dirt detected. The main goal of this research is to improve energy efficiency and reduce the risk of work-related accidents during manual cleaning at height. The methods used include hardware design based on Jetson Nano, implementation of YOLOv5 for stain detection, and the application of fuzzy logic to control motor speed. Testing on 30 image samples shows a stain detection accuracy of 90.82%, while the use of fuzzy logic can save power consumption by up to 38% compared to conventional control methods. The conclusion of this study is that the integration of YOLOv5 and fuzzy logic in the robotic window cleaner provides significant energy savings and enhances work safety in high-rise buildings.

Keywords: window cleaning robot, YOLOv5, fuzzy logic, motor control, stain detection

1. Pendahuluan

Pembersihan kaca pada gedung bertingkat merupakan salah satu tugas yang memiliki tingkat risiko tinggi bagi pekerja, terutama terkait dengan kecelakaan di ketinggian. Meskipun teknologi terus berkembang, pekerjaan pembersihan kaca di gedung bertingkat masih dilakukan secara manual yang melibatkan pekerja di ketinggian, berisiko terjatuh, tertimpa pecahan kaca, atau mengalami kelelahan otot akibat gerakan berulang dalam posisi yang tidak ergonomis. Selain itu, data yang dilaporkan oleh BPJS Ketenagakerjaan menunjukkan adanya peningkatan jumlah kecelakaan kerja di Indonesia, yang sebagian besar terjadi akibat pekerjaan di ketinggian [1]. Fenomena ini mendorong kebutuhan akan sistem pembersihan yang lebih aman, efisien, dan dapat mengurangi ketergantungan pada tenaga manusia.

Sistem pembersihan otomatis berbasis robotik muncul sebagai solusi untuk mengatasi tantangan tersebut. Berbagai penelitian terkait robot pembersih kaca telah dilakukan sebelumnya, namun sebagian besar masih mengandalkan mekanisme yang sederhana atau belum sepenuhnya mengoptimalkan teknologi yang ada. Sebagai contoh, beberapa penelitian menggunakan mekanisme pembersihan berbasis kerangka atau kipas pengisap tanpa adanya kontrol adaptif terhadap tingkat kekotoran kaca [2]. Selain itu, metode pengendalian yang digunakan pada robot pembersih kaca masih terbatas pada teknik-teknik kontrol konvensional seperti PID, yang tidak dapat menyesuaikan diri dengan dinamisnya kondisi lingkungan dan tingkat kotoran pada kaca.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem robot pembersih kaca yang lebih efisien dengan mengintegrasikan teknologi deteksi objek menggunakan YOLOv5 untuk mendeteksi noda pada permukaan kaca, serta menggunakan *fuzzy logic* untuk mengatur kecepatan motor penggerak sikat secara adaptif. Sistem ini diharapkan dapat menyesuaikan kecepatan motor berdasarkan tingkat kekotoran kaca yang terdeteksi, sekaligus menghemat konsumsi daya. Dengan menggunakan metode *fuzzy logic*, sistem diharapkan dapat mengurangi konsumsi daya dibandingkan dengan metode kontrol konvensional, serta meningkatkan keselamatan kerja dengan mengurangi ketergantungan pada pekerja yang harus bekerja di ketinggian.

2. Dasar Teori

Bagian ini membahas dasar-dasar konseptual yang menjadi landasan dalam menganalisis sistem robot pembersih kaca, meliputi sistem kendali robotika, *fuzzy logic*, deteksi objek menggunakan YOLO, serta teknologi pembersihan kaca yang digunakan dalam penelitian ini.

2.1. Gedung Bertingkat

Gedung bertingkat adalah bangunan yang memiliki lebih dari satu lantai dan digunakan untuk mengatasi keterbatasan lahan di kawasan perkotaan. Pembersihan kaca pada gedung bertingkat merupakan pekerjaan yang berisiko tinggi, mengingat pekerja harus berada di ketinggian. Oleh karena itu, sistem pembersihan otomatis yang efisien dan aman sangat diperlukan. Berdasarkan ketinggian gedung, bangunan bertingkat dapat dibedakan menjadi dua kategori utama. Bangunan bertingkat rendah (*Low-rise building*) yang memiliki 3-4 lantai atau ketinggian sekitar 10 meter. Serta bangunan bertingkat tinggi (*High-rise building*) yang memiliki lebih dari 4 lantai dengan ketinggian lebih dari 10 meter [3].

2.2. Sistem Kendali Robotika

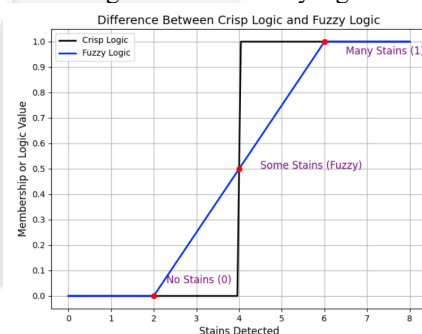
Sistem kendali dalam robot pembersih kaca berfungsi untuk mengendalikan motor penggerak sikat agar proses pembersihan dapat dilakukan

dengan efisien dan optimal. Secara umum, sistem kendali robot dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu sistem kendali kalang terbuka (*open-loop*) dan sistem kendali kalang tertutup (*closed-loop*) [4]. Pada sistem kendali kalang terbuka, pengendalian hanya bergantung pada *input* yang diberikan, tanpa menggunakan umpan balik dari *output*. Artinya, sistem ini tidak dapat menyesuaikan *output* berdasarkan kondisi yang terjadi di lapangan. Sebaliknya, pada sistem kendali kalang tertutup, umpan balik digunakan untuk menyesuaikan *output* sesuai dengan kondisi yang diinginkan, memungkinkan sistem untuk merespons perubahan lingkungan secara dinamis.

Dalam robot pembersih kaca, sistem kendali kalang tertutup ini diterapkan dengan mengintegrasikan kontrol motor berbasis *fuzzy logic*, yang memungkinkan penyesuaian kecepatan motor secara adaptif sesuai dengan kondisi permukaan kaca yang terdeteksi, seperti tingkat kotoran atau noda yang ada pada kaca. Dengan menggunakan pendekatan ini, robot dapat beroperasi secara lebih efisien, menghemat energi, dan meningkatkan kinerja pembersihan.

2.3. Algoritma Kendali Fuzzy Logic

Fuzzy Logic adalah metode pengendalian yang menggunakan konsep keanggotaan fuzzy untuk menangani ketidakpastian, berbeda dengan logika biner yang hanya mengenal nilai benar (1) atau salah (0). *Fuzzy logic* memungkinkan representasi nilai dengan derajat keanggotaan yang terletak di antara 0 dan 1, sehingga lebih fleksibel dalam menggambarkan kondisi yang tidak pasti atau ambigu seperti yang terlihat pada gambar 2.1 [5]. Dalam penelitian ini, *fuzzy logic* diterapkan untuk mengatur kecepatan motor sikat pada robot pembersih kaca berdasarkan tingkat kotoran kaca yang terdeteksi.



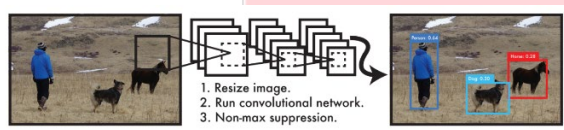
GAMBAR 1
Perbedaan Fuzzy Logic dan Crisp Logic

Proses *fuzzy logic* terdiri dari beberapa langkah utama. Pertama, *fuzzification*, yang mengubah nilai *crisp* (tegas) menjadi nilai *fuzzy*, agar dapat diolah dalam sistem *fuzzy*. Selanjutnya, pada tahap inferensi *fuzzy*, aturan logika *fuzzy* diterapkan untuk menentukan hasil berdasarkan *input* yang diberikan, seperti tingkat kotoran kaca. Terakhir, *defuzzification* mengubah hasil *fuzzy* menjadi nilai *crisp* yang dapat digunakan untuk mengendalikan motor secara efektif [6]. Dengan menggunakan pendekatan ini, sistem

dapat menyesuaikan kecepatan motor secara dinamis sesuai dengan kondisi kaca yang terdeteksi.

2.4. *You Only Look Once* (YOLO)

YOLO adalah algoritma deteksi objek berbasis jaringan saraf konvolusional (CNN) yang mampu mendeteksi objek dalam gambar secara cepat dan akurat. YOLO membagi gambar menjadi *grid* dan setiap *grid* bertanggung jawab untuk mendeteksi objek dalam area tersebut, seperti yang terlihat pada gambar 2.2. YOLOv5, sebagai versi terbaru, menawarkan peningkatan akurasi dan efisiensi dibandingkan dengan versi sebelumnya [7]. Dalam sistem robot pembersih kaca, YOLOv5 digunakan untuk mendeteksi noda pada permukaan kaca, sehingga motor sikat dapat menyesuaikan kecepatannya sesuai dengan tingkat kekotoran yang terdeteksi.



GAMBAR 2

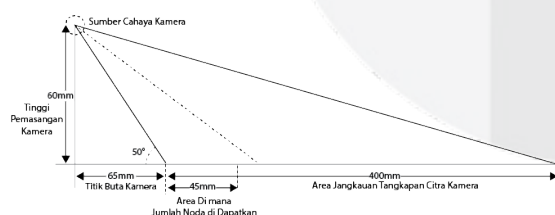
Sistem Pendeteksian pada YOLO

3. Pembahasan

3.1. Integrasi YOLOv5 untuk Deteksi Noda

Deteksi noda pada kaca menggunakan algoritma YOLOv5 terbukti efektif dalam mengenali dan mengidentifikasi kotoran pada permukaan kaca dengan interval tiga detik. YOLOv5 memiliki keunggulan dalam hal kecepatan dan akurasi deteksi, yang memungkinkan sistem untuk segera merespons dan menyesuaikan operasi robot pembersih kaca.

Dalam pengujian sistem, kamera diposisikan pada bagian depan robot dengan sudut kemiringan 50 derajat terhadap permukaan kaca. Selain itu pendeteksian noda dapat dilakukan hingga jarak 40 cm di depan robot, akan tetapi jumlah noda yang digunakan sebagai masukan terhadap sistem *fuzzy* hanya pada 4,5cm di depan robot saja seperti yang terlihat pada gambar 3.1.



GAMBAR 3

Perspektif Kamera

Pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa YOLOv5 berhasil mendeteksi noda dengan akurasi rata-rata sebesar 90,82% pada 30 sampel citra, yang menunjukkan kinerja algoritma yang sangat baik dalam lingkungan pembersihan kaca. Sistem ini bekerja dengan cara memproses citra yang diterima dari kamera dan mengidentifikasi area kaca yang perlu dibersihkan, berdasarkan tingkat kekotoran yang terdeteksi. Gambar 3.2 merupakan pengujian

YOLOv5 dalam mendeteksi noda pada permukaan kaca.



GAMBAR 4

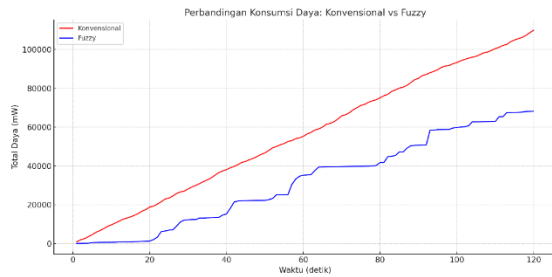
Pendeteksian Noda Menggunakan YOLOv5

3.2. Penggunaan *Fuzzy Logic* untuk Pengendalian Kecepatan Motor

Sistem pengendalian motor berbasis *fuzzy logic* digunakan untuk mengatur kecepatan motor sikat secara adaptif, tergantung pada tingkat kotoran yang terdeteksi pada kaca. *Fuzzy logic* memungkinkan penyesuaian yang lebih fleksibel dan dinamis dalam pengaturan kecepatan motor dibandingkan dengan metode kontrol konvensional. Dalam pengujian sistem, penggunaan *fuzzy logic* berhasil menghemat konsumsi daya hingga 38% dibandingkan dengan kontrol konvensional yang menggunakan PWM 100%. Hal ini menunjukkan bahwa sistem pengendalian berbasis *fuzzy logic* dapat mengoptimalkan penggunaan energi tanpa mengorbankan kinerja pembersihan. Kecepatan motor sikat disesuaikan berdasarkan *input* dari YOLOv5 yang mendeteksi tingkat kotoran kaca, sehingga robot hanya bekerja dengan kekuatan yang diperlukan untuk membersihkan noda secara efektif.

3.3. Penghematan Energi dan Efisiensi Sistem

Salah satu tujuan utama dari sistem ini adalah untuk meningkatkan efisiensi energi. Dengan menggabungkan YOLOv5 dan *fuzzy logic*, sistem robot pembersih kaca dapat menyesuaikan kecepatan motor sesuai dengan kondisi permukaan kaca. Pada kondisi kaca yang sedikit kotor, motor beroperasi pada kecepatan rendah, menghemat daya hingga 38% dibandingkan dengan kontrol konvensional yang menggunakan PWM 100%. Sebaliknya, pada kaca yang lebih kotor, motor akan berputar lebih cepat untuk membersihkan noda dengan lebih efektif, meskipun tetap lebih efisien dalam penggunaan daya dibandingkan metode kontrol biasa. Penghematan energi yang signifikan ini tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga memperpanjang durasi operasional robot dalam satu siklus pengisian daya, dengan penghematan daya mencapai 38% dari konsumsi energi pada pengendalian motor konvensional. Pengujian perbandingan konsumsi daya dapat dilihat pada gambar 3.3.



GAMBAR 5
Konsumsi Daya Dalam Pengendalian Motor

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa sistem ini mampu mendeteksi noda pada permukaan kaca secara akurat dan menyesuaikan kecepatan motor penggerak sikat berdasarkan tingkat kekotoran kaca, dengan akurasi deteksi mencapai 90,82% pada 30 sampel citra. Penggunaan *fuzzy logic* dalam pengendalian motor terbukti efektif dalam menghemat konsumsi daya, dengan penghematan energi hingga 38% dibandingkan dengan metode kontrol konvensional. Sistem ini tidak hanya meningkatkan efisiensi energi, tetapi juga berpotensi memperpanjang durasi operasional robot dalam satu siklus pengisian daya.

Selain itu, integrasi sistem ini memberikan manfaat signifikan dalam meningkatkan keselamatan kerja, karena mengurangi ketergantungan pada pekerja yang harus bekerja di ketinggian, sehingga mengurangi risiko kecelakaan. Dengan demikian, sistem robot pembersih kaca ini menawarkan solusi yang lebih efisien dan aman untuk pembersihan kaca pada gedung bertingkat, dengan potensi penerapan yang luas di industri pembersihan gedung.

REFERENSI

- [1] "Gambaran Umum Pekerjaan Jasa Pembersih Kaca Gedung -." Accessed: Jul. 03, 2025. [Online]. Available: <https://digital360.id/gambaran-umum-pekerjaan-jasa-pembersih-kaca-gedung>
- [2] P. S. Wibowo, I. K. Somawirata, and M. I. Ashari, "Rancang Bangun Robot Pembersih Jendela Berbasis Arduino," Malang, 2024.
- [3] "Pustaka Teknik Sipil mengenai Bangunan Bertingkat |." Accessed: Jan. 05, 2025. [Online]. Available: <https://sipil.uma.ac.id/pustaka-teknik-sipil-mengenai-bangunan-bertingkat/>
- [4] E. Sabara, "Penerapan Kendali Pid Pada Balancing Robot Sebagai Media Pembelajaran Robotika Pada Program Studi Pendidikan Vokasional Mekatronika," Makasar, Sep. 2022.
- [5] Trivusi, "Penjelasan Lengkap Mengenai Logika Fuzzy (Fuzzy Logic)." Accessed: Nov. 04, 2024. [Online]. Available: <https://www.trivusi.web.id/2022/05/pengertian-fuzzy-logic.html>
- [6] E. Haerani, "Analisa Kendali Logika Fuzzy Dengan Metode Defuzzifikasi Coa (Center Of Area), Bisektor, Mom (Mean Of Maximum), Lom (Largest Of Maximum), Dan Som (Smallest Of Maximum)," *Sitekin: Jurnal Sains, Teknologi Dan Industri*, vol. 10, no. 2, pp. 245–253, Oct. 2014, doi: 10.24014/SITEKIN.V10I2.543.
- [7] "YOLO Object Detection Explained: Real-Time Vision Tasks." Accessed: Jul. 10, 2025. [Online]. Available: <https://blog.roboflow.com/yolo-object-detection/>