

Sistem Tracking Pemandu dalam Kondisi Pencahayaan Beragam pada Smart Wheelchair Menggunakan Metode CLAHE dan YOLOv10n

Farid Nafis Tsani¹, Fitri Utamingrum²

Program Studi Teknik Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya
Email: ¹farnann@student.ub.ac.id, ²f3_ningrum@ub.ac.id

Abstrak

Kesetaraan dan inklusi bagi penyandang disabilitas, termasuk pengguna kursi roda, memerlukan aksesibilitas untuk mengurangi hambatan mobilitas. Kursi roda manual sering membutuhkan bantuan, terutama bagi lansia atau individu dengan keterbatasan fisik, sementara kursi roda elektrik konvensional belum mendukung navigasi bersama pemandu. Penelitian ini mengembangkan kursi roda pintar berbasis computer vision yang dapat mengikuti pemandu secara otomatis menggunakan YOLOv10n dan Nvidia Jetson Nano. Sistem dirancang untuk mendeteksi pemandu di berbagai kondisi pencahayaan, termasuk pencahayaan rendah (<100 lux), dengan peningkatan kualitas citra melalui metode CLAHE. Model dilatih menggunakan dataset 829 gambar manusia dan pre-trained weights, menghasilkan mAP50 99,3%, mAP50-95 94,3%, precision 0,9898, recall 0,9831, dan F1-score 0,9862 pada epoch ke-83. Pengujian menunjukkan akurasi deteksi pemandu 100% pada pencahayaan normal dan 93,75% pada pencahayaan rendah dengan CLAHE. Waktu komputasi per frame adalah 0,08212 detik (CLAHE) dan 0,06774 detik (tanpa CLAHE), memastikan proses real-time. Akurasi rata-rata sistem mencapai 96,88%, menunjukkan keandalan dan efisiensi untuk navigasi berbasis kursi roda pintar. Hasil ini membuktikan bahwa sistem berbasis citra digital, YOLOv10n, dan Nvidia Jetson Nano mampu memberikan solusi efektif dalam mendukung mobilitas penyandang disabilitas.

Kata Kunci: Citra Digital, Deteksi Objek, CLAHE, Kursi Roda Pintar, Nvidia Jetson Nano, Computer Vision, YOLOv10n

Abstract

Equality and inclusion for people with disabilities, including wheelchair users, require accessibility to reduce mobility barriers. Manual wheelchairs often require assistance, especially for the elderly or individuals with physical limitations, while conventional electric wheelchairs do not yet support navigation with a guide. This study is a computer vision-based smart wheelchair that can develop automatic following of a guide using YOLOv10n and Nvidia Jetson Nano. The system is designed to detect drivers in various lighting conditions, including low lighting (<100 lux), with image quality enhancement through the CLAHE method. The drilled model using a dataset of 829 human images and pre-trained weights, produced mAP50 99.3%, mAP50-95 94.3%, precision 0.9898, recall 0.9831, and F1-score 0.9862 at the 83rd epoch. Testing showed 100% driver detection accuracy in normal lighting and 93.75% in low lighting with CLAHE. The computation time per frame is 0.08212 seconds (CLAHE) and 0.06774 seconds (without CLAHE), ensuring real-time processing. The average accuracy of the system reaches 96.88%, indicating efficiency and efficiency for smart wheelchair-based navigation. These results prove that the digital image-based system, YOLOv10n, and Nvidia Jetson Nano are able to provide effective solutions in supporting the mobility of people with disabilities..

Keywords: Digital Image, Object Detection, CLAHE, Smart Wheelchair, Nvidia Jetson Nano, Computer Vision, YOLOv10n.

1. PENDAHULUAN

Diperkirakan sekitar 1,3 miliar orang, atau 16% dari populasi dunia, hidup dengan disabilitas (Kamenov et al., 2022). Bagi individu dengan keterbatasan mobilitas, seperti penyandang disabilitas fisik, kursi roda menjadi alat bantu penting. Namun,

pengguna kursi roda masih menghadapi berbagai kendala yang membatasi partisipasi mereka dalam masyarakat. Aksesibilitas kursi roda memegang peranan penting dalam mengurangi hambatan mobilitas dan memastikan keterlibatan mereka secara setara dalam berbagai aspek kehidupan (Sahoo & Choudhury, 2023). Ini mencakup

dukungan dari lingkungan fisik dan sosial yang inklusif, seperti desain ruang publik, sistem transportasi, institusi pendidikan, dan tempat kerja yang ramah. Dengan menciptakan lingkungan yang lebih mendukung, pengguna kursi roda diharapkan dapat hidup lebih mandiri dan berpartisipasi setara dalam berbagai bidang kehidupan.

Penelitian Rohei et al. (2021) memperkenalkan sistem pelacakan indoor berbasis RFID dengan tag epidermal UHF 868 MHz, yang ditanamkan di bawah kulit untuk meningkatkan keamanan individu. Sistem ini memungkinkan pembacaan data hingga 4 meter, menghubungkan tag ke middleware melalui Wi-Fi, serta menyimpan data lokasi dalam basis data SQL dengan antarmuka berbasis web dan pengaturan akses terbatas untuk memastikan privasi. Sementara itu, penelitian Andika dan Utaminingrum (2023) mengembangkan kursi roda pintar berbasis YOLOv7-Tiny dengan Nvidia Jetson TX2, yang mampu mengikuti pemandu secara otomatis meski terdapat hingga lima orang lain dalam frame. Kursi roda ini bergerak sesuai arah pemandu namun memiliki keterbatasan performa dalam kondisi pencahayaan rendah karena dataset yang digunakan hanya mencakup pencahayaan ruangan.

Untuk mengatasi kendala pencahayaan, metode Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) diusulkan untuk meningkatkan deteksi objek dalam cahaya minim. Pendekatan ini serupa dengan penelitian sebelumnya, yakni meningkatkan kontras gambar pada pencahayaan rendah (Yuan et al., 2023). Model YOLOv10 dipilih karena kinerja lebih baik dengan kebutuhan komputasi lebih efisien (Alif dan Hussain, 2024). Penelitian ini menggantikan Nvidia Jetson TX2 dengan Nvidia Jetson Nano, perangkat yang lebih ekonomis namun tetap mendukung implementasi YOLOv10N. Pergantian ini diharapkan membuat sistem lebih terjangkau tanpa mengorbankan efisiensi.

Dengan mengintegrasikan metode CLAHE dan YOLOv10N, sistem ini diharapkan dapat meningkatkan deteksi pemandu pada kursi roda pintar dalam berbagai kondisi pencahayaan. CLAHE memperbaiki kualitas gambar pada situasi

pencahayaan rendah, sementara YOLOv10N memungkinkan deteksi objek secara real-time pada perangkat dengan sumber daya terbatas seperti Nvidia Jetson Nano. Penelitian ini bertujuan mengatasi tantangan deteksi pemandu, memastikan kursi roda pintar berfungsi optimal, serta menawarkan solusi yang lebih hemat biaya melalui penggunaan perangkat keras yang lebih ekonomis dibandingkan Nvidia Jetson TX2. Pendekatan ini diharapkan membuat sistem lebih terjangkau dan efektif.

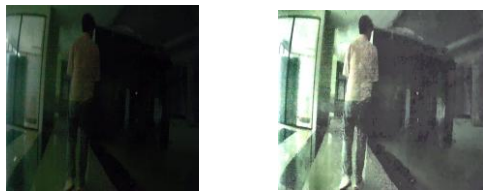
1.1 YOLOv10n

YOLOv10 merupakan versi terbaru dari model YOLO yang digunakan untuk deteksi objek dalam penelitian ini. Menurut penelitian oleh Wang et al. (2024), YOLOv10 dikembangkan berdasarkan YOLOv8. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan varian YOLOv10n, yang merupakan versi dengan kompleksitas terendah di antara varian lainnya, sehingga dapat dijalankan pada prosesor dengan kemampuan komputasi rendah seperti Jetson Nano.

1.2 CLAHE

CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization) adalah sebuah metode yang digunakan untuk meningkatkan kualitas visual citra dengan cara memperbaiki kontras, khususnya pada gambar dengan pencahayaan yang tidak merata atau memiliki kontras rendah (Demir & Kaplan, 2023). Teknik ini merupakan bentuk pengembangan dari Adaptive Histogram Equalization (AHE), di mana citra dibagi menjadi beberapa bagian kecil (tiles), dan ekualisasi histogram diterapkan secara lokal pada masing-masing bagian untuk meningkatkan kontras di area tertentu.

Contoh gambar yang digunakan dalam penelitian ini ditampilkan pada Gambar 1. Gambar (a) menunjukkan dataset sebelum diterapkan CLAHE, sedangkan Gambar (b) menunjukkan hasil dataset setelah diterapkan CLAHE, dengan peningkatan kontras dan detail pada citra.



(a) (b)

Gambar 1 Contoh Dataset Sebelum CLAHE dan Setelah CLAHE

Penerapan CLAHE telah terbukti sangat efektif dalam meningkatkan kualitas visual citra, khususnya dalam situasi dengan pencahayaan rendah atau gelap. Teknik ini mampu memperbaiki tampilan citra dengan meningkatkan kontras dan detail yang sebelumnya sulit terlihat, sehingga citra menjadi lebih jelas dan informatif. Kemampuannya untuk menyesuaikan distribusi intensitas secara lokal tanpa menimbulkan distorsi berlebihan menjadikannya solusi yang sangat berguna dalam berbagai aplikasi, seperti citra medis, penginderaan jauh, dan fotografi di kondisi pencahayaan minim.

2. METODOLOGI

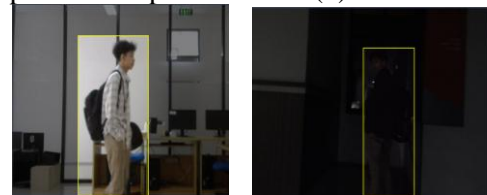
2.1 Gambaran Umum Sistem

Penelitian ini dirancang untuk memastikan integrasi perangkat keras dan perangkat lunak bekerja optimal. Proses diawali dengan pengumpulan dataset gambar manusia dalam berbagai kondisi pencahayaan, yang dianotasi dan disesuaikan ke ukuran 640x640 piksel. Dataset ini dibagi untuk pelatihan (70%), validasi (20%), dan pengujian (10%). Model YOLOv10-n dilatih dengan 100 epoch, ukuran gambar 640x640, dan batch size 16, lalu diimplementasikan pada Jetson Nano. Citra dari webcam diproses menggunakan CLAHE untuk meningkatkan kualitas gambar sebelum deteksi oleh YOLOv10-n. Deteksi pemandu digunakan untuk mengarahkan kursi roda, yang dikendalikan melalui Arduino Uno dan motor driver.

2.2 Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data primer berupa 1.461 gambar manusia yang diambil menggunakan webcam pada sudut pandang lurus setinggi satu meter. Pengambilan gambar dilakukan dalam dua kondisi pencahayaan, yaitu terang (523 gambar) dan

rendah (938 gambar), untuk merepresentasikan berbagai situasi pencahayaan yang mungkin dihadapi. Dataset dibagi menjadi tiga bagian: 70% (1.021 gambar) untuk pelatihan, 20% (297 gambar) untuk validasi, dan 10% (143 gambar) untuk pengujian. Seluruh data ini digunakan untuk memastikan model mampu mendeteksi pemandu secara optimal di berbagai kondisi pencahayaan. Contoh dataset dalam pencahayaan normal ditampilkan pada Gambar 2 pada gambar (a), sementara untuk pencahayaan rendah diperlihatkan pada Gambar (b).

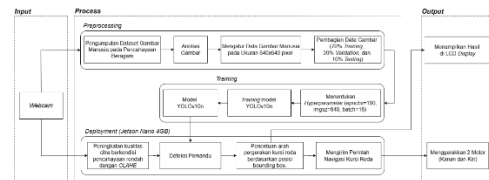


(a) (b)

Gambar 2 Contoh Dataset Pencahayaan Terang dan Rendah

3. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

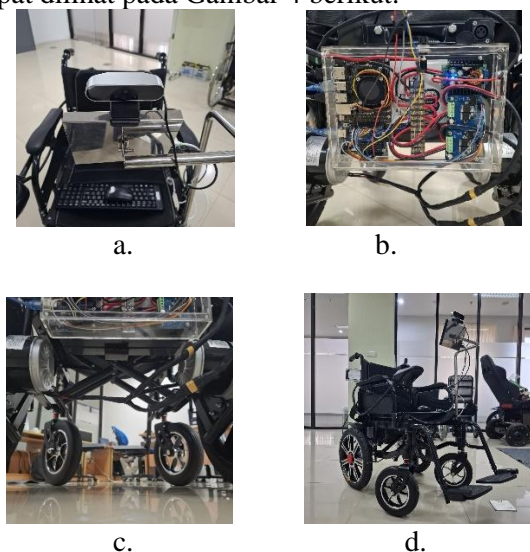
3.1 Perancangan Sistem



Gambar 3 Diagram Blok Sistem

Gambar diagram blok yang ditampilkan di atas menggambarkan integrasi perangkat keras dan perangkat lunak yang dirancang untuk mendukung sistem deteksi pemandu pada kursi roda pintar secara optimal. Proses dimulai dengan pengumpulan dataset berupa gambar manusia dalam berbagai kondisi pencahayaan, baik terang maupun rendah. Dataset ini dianotasi secara manual untuk memastikan akurasi deteksi, kemudian diubah ke ukuran standar 640x640 piksel agar sesuai dengan kebutuhan model. Data dibagi menjadi tiga bagian, yaitu pelatihan (70%), validasi (20%), dan pengujian (10%), untuk memastikan kemampuan generalisasi model. Model YOLOv10-n dilatih menggunakan dataset tersebut dengan pengaturan hyperparameter, termasuk 100 epoch, ukuran gambar 640x640 piksel, dan batch size sebesar 16. Setelah proses pelatihan selesai, model yang dihasilkan diimplementasikan pada

perangkat Jetson Nano, yang bertugas menjalankan proses inferensi secara real-time. Citra yang diperoleh dari webcam diproses lebih dahulu menggunakan metode Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) untuk meningkatkan kualitas visual, terutama dalam kondisi pencahayaan rendah. Setelah peningkatan kualitas, deteksi dilakukan oleh YOLOv10-n untuk mengenali posisi pemandu. Hasil deteksi berupa informasi posisi pemandu digunakan untuk mengarahkan kursi roda agar mengikuti arah gerakan pemandu secara otomatis. Sistem navigasi ini dikendalikan oleh Arduino Uno, yang mengontrol motor driver untuk menggerakkan roda kanan dan kiri, memungkinkan kursi roda bergerak maju, berhenti, atau berbelok dengan presisi. Proses integrasi yang dirancang memastikan seluruh komponen bekerja secara harmonis, menghasilkan sistem navigasi yang andal dan responsif. Implementasi kursi roda pintar ini dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 5. Tampilan (a) Implentasi webcam dan layar lcd, (b) Unit Komputasi Kursi Roda Pintar, (c) Bawah, dan (d) Keseluruhan.

4. PENGUJIAN DAN ANALISIS

4.1 Fungsi Kerja Sistem dan Epoch Terbaik

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem dan menentukan epoch terbaik dalam mendeteksi permukaan jalan pada berbagai kondisi pencahayaan. Setelah proses pelatihan dilakukan selama 100 epoch, analisis menunjukkan bahwa epoch ke-83 memberikan performa terbaik.

Model yang dihasilkan pada epoch ini digunakan untuk menguji fungsi kerja sistem secara lebih mendalam. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali pada setiap kelas untuk memastikan konsistensi dan akurasi hasil. Hasil pengujian tersebut dirangkum dalam Tabel 1 berikut untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai performa sistem :

Tabel 1 Akurasi Deteksi Posisi Pemandu pada Pencahayaan Beragam Penggunaan CLAHE dan Tanpa Clahe

Hasil Deteksi Posisi	Akurasi Terang	Akurasi Gelap
Diam	100%	85%
Maju	100%	100%
Kanan	100%	90%
Kiri	100%	100%
TOTAL	100%	96,875%

Didapatkan bahwa sistem dapat mendeteksi jenis permukaan jalan dengan akurasi keseluruhan 96,875%.

4.2 Waktu Komputasi Dengan CLAHE dan Tanpa CLAHE

Penambahan enhancement Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization sebelum deteksi objek tentu akan menambah waktu komputasi sistem secara keseluruhan. Hal ini dikarenakan terdapat penambahan algoritma untuk mengolah citra sebelum dilakukan deteksi dengan YOLOv10n. Berdasarkan hasil pengujian waktu komputasi didapatkan selisih rata-rata waktu antara waktu komputasi sistem dengan menggunakan enhancement Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization dan tanpa menggunakan enhancement Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization dapat dilihat pada table nomer 2.

Tabel 2 Waktu Komputasi sistem dalam melakukan deteksi pemandu Dengan CLAHE dan Tanpa Clahe

Waktu Deteksi	Dengan CLAHE	Tanpa CLAHE
Rata-rata	0,08212 detik	0,06774 detik
Selisih Rasio	0,01438 Detik 17,51%	

Berdasarkan penghitungan yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa penambahan *enhancement Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* hanya menambah waktu komputasi sebesar kurang lebih 0,01438

detik dan waktu tersebut hanya 17,51 % dari total waktu komputasi keseluruhan. Dengan demikian, metode *enhancement* ini tidak berpengaruh besar terhadap waktu komputasi sistem dalam melakukan deteksi posisi pemandu.

4.3 Pengujian Integrasi Sistem dengan Pergerakan Kursi Roda

Berdasarkan hasil pengujian integrasi sistem, pergerakan kursi roda menunjukkan tingkat keberhasilan yang tinggi, baik tanpa menggunakan metode *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE) maupun dengan menerapkannya. Tanpa CLAHE, kursi roda mampu bergerak sesuai dengan hasil deteksi posisi pemandu. Analisis mengenai hasil pengujian integrasi ini dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Pengujian Integrasi Sistem

No	Hasil Deteksi	Arah Kursi Roda	Kesesuaian
1	Diam	Diam	Sesuai
2	Maju	Maju	Sesuai
3	Kanan	Belok Kanan	Sesuai
4	Kiri	Belok Kiri	Sesuai

5. KESIMPULAN

Pengujian menunjukkan nilai loss menurun dengan peningkatan signifikan mAP50 (99,3%) dan mAP50-95 (94,3%) hingga stabil di epoch ke-83, yang dipilih karena kinerja optimal. Dengan akurasi 0,9668, precision 0,9898, recall 0,9831, dan F1-score 0,9862, model ini mampu mendeteksi posisi pemandu secara akurat. Akurasi rata-rata mencapai 100% pada pencahayaan terang dan 97,5% pada pencahayaan rendah tanpa CLAHE, dengan keseluruhan akurasi 96,875%. CLAHE meningkatkan performa pada pencahayaan rendah tanpa dampak signifikan pada waktu komputasi. Sistem kursi roda terbukti andal mengikuti arah deteksi pemandu, menjadikannya solusi efektif untuk navigasi berbasis YOLOv10-N.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Alif, M.A.R. and Hussain, M., 2024. YOLOv1 to YOLOv10: A comprehensive review of YOLO variants and their application in the agricultural domain. *arXivpreprintarXiv:2406.10139*
- Andika, S. and Utamingrum, F., 2023. Sistem Automatic Human Tracking pada Kursi Roda Pintar menggunakan Metode YOLOv7-Tiny berbasis Nvidia Jetson TX2. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 7(5), pp.2299-2304. Available at: <<https://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/j-ptiik/article/view/12703>>.
- Demir, Y. and Kaplan, N.H., 2023. Low-light image enhancement based on sharpening-smoothing image filter. *Digital Signal Processing*, 138, p.104054. <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2023.104054>.
- Kamenov, K., Barrett, D., Pearce, E. & Cieza, A., 2022. *Global report on health equity for persons with disabilities*. Geneva: World Health Organization.
- Rohei, M. S., Salwana, E., Shah, N. B. A. K., & Kakar, A. S. (2020). Design and testing of an epidermal RFID mechanism in a smart indoor human tracking system. *IEEE Sensors Journal*, 21(4), 5476-5486.
- Wang, C.Y. and Liao, H.Y.M., 2024. YOLOv1 to YOLOv10: The fastest and most accurate real-time object detection systems. *arXiv preprint arXiv:2408.09332*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2408.09332>.
- Yuan, Z., Zeng, J., Wei, Z., Jin, L., Zhao, S., Liu, X., Zhang, Y. and Zhou, G., 2023. CLAHE-based low-light image enhancement for robust object detection in overhead power transmission system. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 38(3), pp.2240-2243. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2023.3269206>.