

PAPER NAME

**14538.docx**

AUTHOR

**JPTIIK**

WORD COUNT

**3340 Words**

CHARACTER COUNT

**20476 Characters**

PAGE COUNT

**7 Pages**

FILE SIZE

**6.0MB**

SUBMISSION DATE

**Jan 10, 2025 3:18 PM GMT+7**

REPORT DATE

**Jan 10, 2025 3:18 PM GMT+7**

### ● 6% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

- 4% Internet database
- 3% Publications database
- Crossref database
- Crossref Posted Content database
- 3% Submitted Works database

### ● Excluded from Similarity Report

- Bibliographic material

## Sistem Pelacakan Pemandu untuk Kursi Roda Pintar Menggunakan *Efficient Convolution Operator* dan *Weighted-Thresholded Histogram Equalization*

### 3 Abstrak

Kursi roda merupakan alat bantu mobilitas bagi penyandang disabilitas. Namun, jika seseorang memiliki disabilitas ganda kaki dan tangan, diperlukan bantuan seorang pemandu untuk menggerakkan kursi roda. Hal ini dapat menyebabkan masalah apabila pengguna kursi roda memiliki berat badan tinggi yang dapat berakibat pemandu kesulitan memandu dikarenakan kesulitan mendorong akibat beban yang berat. Sistem pelacakan pemandu merupakan salah satu solusi navigasi pada kursi roda pintar untuk mendukung mobilitas penyandang disabilitas ganda yang memungkinkan kursi roda dapat dituntun oleh seorang pemandu tanpa perlu mendorong kursi roda. Penelitian ini mengimplementasikan sistem pelacakan berbasis algoritma *Efficient Convolution Operator* (ECO) dan *Weighted-Thresholded Histogram Equalization* (WTHE). Penelitian mengujikan sistem dalam berbagai interferensi seperti objek terhalangi, perubahan penampilan, pencahayaan rendah, dan objek serupa. Hasil evaluasi menunjukkan sistem mampu melacak pemandu secara akurat dan *robust*. WTHE dengan parameter *root* 0.75, *value* 0.75, dan *lower* 0 mampu meningkatkan performa dari ECO pada metrik *precision* dari 0.4328 menjadi 0.4398, *normalized precision* dari 0.7645 menjadi 0.7678, dan *failure rate* dari 1 menjadi 0. Meskipun demikian, pada metrik *success rate*, nilai metrik turun dari 0.7302 menjadi 0.7148. Sistem yang diimplementasikan menggunakan hardware NUC NUC8i3BEH mencatatkan kecepatan rata-rata 25 FPS yang menunjukkan sistem dapat dijalankan secara *real-time* pada perangkat keras yang relatif murah.

**Kata kunci:** *visi komputer, correlation filter, pelacakan, human following*

### 3 Abstract

A wheelchair is a mobility aid for individuals with disabilities. However, if a person has a dual disability affecting both their legs and hands, they require assistance from a guide to move the wheelchair. This can become a problem if the wheelchair user has a high body weight, making it difficult for the guide to push due to the heavy load. A guide tracking system is one of the navigation solutions for smart wheelchairs to support the mobility of individuals with dual disabilities, enabling the wheelchair to be guided without the need for pushing. This study implements a tracking system based on the *Efficient Convolution Operator* (ECO) algorithm and *Weighted-Thresholded Histogram Equalization* (WTHE). The system is tested under various interferences, such as occluded objects, appearance changes, low lighting, and similar objects. Evaluation results show that the system can track the guide accurately and robustly. WTHE with parameters *root* 0.75, *value* 0.75, and *lower* 0 improves the performance of ECO in terms of *precision* from 0.4328 to 0.4398, *normalized precision* from 0.7645 to 0.7678, and *failure rate* from 1 to 0. However, in terms of the *success rate* metric, the value decreased from 0.7302 to 0.7148. The implemented system, using NUC NUC8i3BEH hardware, achieves an average speed of 25 FPS, demonstrating that the system can run in *real-time* on relatively affordable hardware.

**Keywords:** *computer vision, correlation filter, tracking, human following*

## 1. PENDAHULUAN

Berdasarkan sensus penduduk yang dilakukan oleh Badan Pusat Statistika pada tahun 2022, jumlah penyandang disabilitas gangguan berjalan di Indonesia mencapai angka 7.318.167 jiwa (Badan Pusat Statistika, 2023).

Gangguan berjalan didefinisikan sebagai kesulitan untuk berjalan baik pada jalanan yang datar maupun jalanan yang naik atau turun. Penyandang disabilitas gangguan berjalan dapat dibantu dengan memberikan akses terhadap kursi roda untuk memudahkan mobilitas dari penyandang disabilitas tersebut (Kholis, et al.,

2022). Namun, kursi roda konvensional akan sulit digunakan apabila pengguna juga memiliki disabilitas pada pergerakan tangan.

Dalam kasus tersebut, umumnya seorang pemandu dapat membantu mendorong kursi roda untuk melakukan navigasi. Namun, Hal ini berpotensi menimbulkan permasalahan jika pengguna kursi roda memiliki berat badan tinggi yang dapat berakibat pemandu kesulitan mendorong serta kesulitan melihat jalan karena pandangan yang terhalang. Perkembangan kursi roda untuk memfasilitasi tipe disabilitas tersebut umumnya menggunakan tipe kursi roda pintar yang memanfaatkan sistem otonom (Ryu, et al., 2022). Salah satu jenis sistem otonom yang dapat digunakan pada kursi roda pintar adalah sistem pelacakan pemandu.

Sistem otonom berbasis pelacakan pemandu memiliki kelebihan dibandingkan kursi roda pintar dengan kendali manual yang menggunakan pergerakan mata, leher, maupun sinyal EEG. Permasalahan seperti kendali yang tidak disengaja (Araujo, et al., 2020), pengguna yang harus selalu fokus (Yulianto, et al., 2020), dan kelelahan otot (Lontis, et al., 2021) dapat diatasi pada kursi roda pintar dengan sistem otonom dikarenakan tidak perlunya kontrol terus menerus dari pengguna.

Terdapat penelitian oleh Hamadi et. al. (2020) yang mengimplementasikan sistem navigasi kursi roda berbasis pelacakan pemandu dengan menggunakan sensor Kinect dan Arduino. Pada penelitian tersebut didapatkan nilai *success rate* yang tinggi berupa 87.5% pada manuver start dan 85.83% pada manuver stop. Namun, meskipun hasil penelitian tersebut menunjukkan performa yang cukup baik dalam akurasi terdapat beberapa hal yang dapat ditingkatkan terutama pada penggunaan sensor Kinect yang memiliki ukuran yang besar dan harga yang kurang terjangkau.

Penelitian lainnya oleh Muhadzdzib & Utaminingrum (2024) yang juga mengimplementasikan sistem navigasi kursi roda berbasis pelacakan pemandu. Dari penelitian tersebut digunakan kamera *webcam* dengan sistem berbasis *deep learning* berupa YOLOv8 dan *histogram equalization* yang digunakan untuk meningkatkan performa pada kondisi pencahayaan rendah. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil nilai *accuracy* sebesar 0,3153, nilai *precision* sebesar 0,6534, nilai *recall* sebesar 0,4013, nilai F1-score sebesar 0,4972, dan waktu komputasi 0.0619 detik untuk setiap *frame* dengan menggunakan Jetson TX2.

Hasil penelitian di atas menunjukkan performa yang cukup baik dalam waktu komputasi, namun nilai akurasi yang didapatkan kurang maksimal. Selain itu, penggunaan metode berbasis *deep learning* dapat meningkatkan harga kursi roda pintar secara signifikan dikarenakan penggunaan model *deep learning* seperti YOLO memerlukan GPU agar dapat dijalankan dengan kecepatan tinggi (Nandhini & Thinakaran, 2023) serta memerlukan data pelatihan yang banyak dan berkualitas tinggi (Alzubaidi, et al., 2023).

Pengembangan pada sistem pelacakan pemandu untuk menyelesaikan permasalahan yang disebutkan sebelumnya dapat dilakukan dengan menggunakan *Efficient Convolution Operator* (ECO). ECO merupakan sebuah algoritma pelacakan objek tunggal (*single-object tracking*) yang memiliki performa baik dalam melakukan pelacakan objek visual (Xing, et al., 2022). Selain itu, ECO memiliki varian yang disebut dengan ECO-HC yang memanfaatkan fitur *hand-crafted* Histogram of Gradient (HOG) dan Color Names (CN) sebagai pengganti ekstraksi fitur berbasis *deep learning* (Shi, et al., 2022). Penggunaan fitur *hand-crafted* tersebut membuat ECO-HC dapat dijalankan secara *real-time* dengan akurasi tinggi hanya dengan menggunakan CPU (Wang, et al., 2020).

Pengembangan pada sistem pelacakan pemandu juga dapat dilakukan pada algoritma yang digunakan untuk melakukan pemrosesan awal pada citra untuk meningkatkan kualitas citra dengan *Weighted Thresholded Histogram Equalization* (WTHE). WTHE dapat memberikan peningkatan kualitas gambar yang lebih baik dibandingkan *histogram equalization* tradisional dengan memanfaatkan *weighting* dan *thresholding* untuk mengatur tingkat *enhancement* yang diaplikasikan pada citra. Hal ini membuat WTHE mampu diadaptasikan pada citra yang beragam untuk menghindari kasus citra yang *underenhanced* ataupun *overenhanced* (Dhal, et al., 2021). Meskipun dengan penambahan proses *weighting* dan *thresholding*, WTHE masih mampu meningkatkan kualitas citra secara adaptif dengan kecepatan tinggi (Majeed & Isa, 2020).

Selain pengembangan pada sistem pelacakan pemandu, perlu dilakukan pengembangan pada teknik evaluasi algoritma yang digunakan. Pada penelitian yang dilakukan Hamadi et. al. (2020) serta Muhadzdzib & Utaminingrum (2024), pengujian dilakukan pada kondisi minim interferensi ketika

melakukan pelacakan. Padahal, proses pelacakan di lapangan umumnya akan menghadapi banyak interferensi seperti objek pelacakan yang tertutup objek lain, perubahan penampilan dari objek yang dilacak, kondisi pencahayaan yang kurang optimal, dan objek dengan penampilan serupa yang dapat mengurangi performa dari sistem pelacakan (Javed, et al., 2023).

**2. TINJAUAN PUSTAKA**

**2.1. Efficient Convolutional Operator**

*Efficient Convolution Operator* (ECO) adalah pengembangan dari Algoritma pelacakan berbasis *correlation filter*. Algoritma pelacakan berbasis *correlation filter* bekerja dengan cara melakukan konvolusi dengan sebuah filter pada sebuah citra dengan *region of interest* yang telah didefinisikan (Liu, et al., 2021).

Proses pelatihan dan konvolusi pada Algoritma pelacakan berbasis *correlation filter* umumnya dilakukan pada domain frekuensi dengan melakukan transformasi fourier pada citra terlebih dahulu menggunakan Fast Fourier Transform (FFT). Hal ini didasari atas teorema konvolusi yang menyatakan bahwa konvolusi sebuah citra dan *kernel* konvolusi di domain spasial akan menghasilkan citra yang sama dengan perkalian elemen matriks citra dan *kernel* konvolusi pada domain frekuensi sehingga memungkinkan operasi konvolusi dan pelatihan *kernel* konvolusi dengan cepat. Teorema konvolusi dapat dinyatakan dalam Persamaan (1).

$$A * B = IDFT(DFT(A) \times DFT(B)) \quad (1)$$

Keterangan:

A = Matriks Citra A

B = Kernel Konvolusi B

\* = Operator Konvolusi

× = Operator perkalian elemen matriks

DFT = *Discrete Fourier Transform*

IDFT = *Inverse Discrete Fourier Transform*

ECO mengembangkan algoritma *correlation filter* dengan mengaplikasikan filter kepada citra di domain kontinu untuk melacak objek. Agar dapat melakukan konvolusi di domain kontinu, ECO menggunakan sebuah operator interpolasi yang memungkinkan penggunaan *feature map* dengan resolusi yang beragam (Su, et al., 2023). Operator interpolasi yang digunakan ECO dinyatakan dalam Persamaan (2).

$$J_d\{x_d\}(t) = \sum_{n=0}^{N_d-1} X_d[n]b_d(t - \frac{T}{N_d}n) \quad (2)$$

Keterangan:

$J_d$  = Operator Interpolasi

$x_d$  = Vektor sampel diskrit dari nilai fitur untuk *channel* fitur ke-d

t = Indeks variabel kontinu

$N_d$  = Jumlah sampel dari  $X_d$

b = Fungsi interpolasi

$b_d$  = Fungsi interpolasi pada dimensi ke-d

T = Ukuran *support region*

Selain itu, berbeda dengan algoritma pelacakan berbasis *correlation filter* lainnya yang dilatih setiap *frame*, filter ECO akan dilatih setiap beberapa *frame* untuk mencegah *overfitting* dan mempercepat waktu komputasi (Wang, et al., 2020).

**2.2. Weighted-Thresholded Histogram Equalization**

*Weighted-Thresholded histogram equalization* (WTHE) adalah pengembangan dari *global histogram equalization* yang digunakan untuk meningkatkan kontras dengan melakukan persebaran ulang dari histogram citra agar lebih tersebar secara merata (Verma, et al., 2020). Pengembangan pada WTHE berupa pemberian 3 parameter yang dapat mengatur tingkat *equalization* yang akan dilakukan berupa parameter *value*, *lower*, dan *root*. Kombinasi ketiga parameter tersebut digunakan untuk meminimalisir efek negatif *histogram equalization* seperti *noise* dan *equalization* yang tidak merata namun tetap memperhatikan kecepatan komputasi agar dapat dilakukan dengan kompleksitas komputasi yang rendah (Dhal, et al., 2021).

Parameter *value* berfungsi untuk menentukan nilai *upper* yang kemudian berfungsi untuk mencegah hasil persebaran histogram didominasi oleh piksel dengan nilai probabilitas tinggi. Parameter *root* umumnya diatur dengan menggunakan bilangan dibawah satu yang digunakan untuk mencegah *over-enhancement* dengan memberikan bobot yang lebih tinggi ke nilai piksel dengan nilai probabilitas rendah. Parameter *lower* digunakan untuk menghapus nilai piksel dengan nilai probabilitas yang sangat rendah dan umumnya tidak berpengaruh besar terhadap tingkat *enhancement*. Proses *weighting* dan *thresholding* menggunakan ketiga parameter *value*, *lower*, dan *root* dilakukan pada fungsi distribusi probabilitas kecerahan piksel dengan Persamaan (3).

$$P_{wt}(k) = \begin{cases} P_u & P(k) > P_u \\ \left(\frac{P(k)-P_l}{P_u-P_l}\right)^r \cdot P_u & P_l < P(k) < P_u \\ 0 & P(k) < P_l \end{cases} \quad (3)$$

Keterangan:

$P_{wt}$  = Fungsi distribusi yang terbatas dan terbobot dari citra

$P$  = Fungsi distribusi citra

$r$  = Parameter *root*

$P_l$  = Parameter *lower*

$P_u$  = Nilai ambang atas

### 3. METODOLOGI

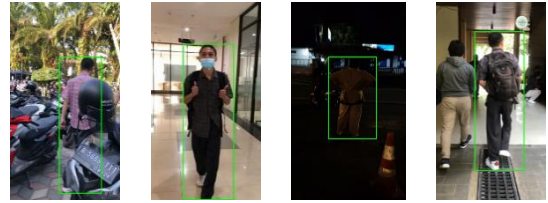
#### 3.1. Dataset

Data pengujian dirancang untuk menguji performa sistem dengan menyimulasikan kondisi di lapangan. Perancangan data pengujian meliputi pengumpulan data video, pemrosesan awal data, pemberian label interferensi, dan pemberian label *bounding box*.

Pengumpulan data meliputi proses perekaman video untuk mengukur performa dari algoritma. Pengumpulan data dilakukan dengan mengambil video yang menyimulasikan *human-following* secara visual. Data kemudian diproses agar memiliki resolusi 640x360 dengan *frame per second* (FPS) sebesar 30. Setiap video memiliki panjang yang beragam antara 30 hingga 60 detik.

Pemberian *bounding box* dilakukan dengan memberikan *bounding box* terkecil yang masih mengandung keseluruhan objek dalam *frame*. Dalam kasus objek yang dilacak tidak terlihat sepenuhnya dalam *frame* dikarenakan tertutup oleh objek lain, maka pemberian *bounding box* didasarkan pada bagian objek yang terlihat pada *frame* dan informasi ukuran objek dari *frame* sebelumnya.

Untuk mengukur kemampuan algoritma dalam menghadapi interferensi yang mungkin muncul di dunia nyata ketika melakukan pelacakan pemandu, maka setiap video akan diberikan label interferensi untuk menguji kemampuan sistem pelacakan berbasis ECO dan WTHE untuk melacak pemandu pada data dengan kondisi interferensi *occlusion*, *appearance variation*, *low light*, dan *similar object*. Sampel gambar dataset dengan interferensi yang disebutkan dan telah diberi *bounding box* dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1. Contoh sampel dataset

#### 3.2. Perangkat Pendukung

Untuk mendukung penelitian, maka sistem akan diimplementasikan menggunakan perangkat keras berupa Intel NUC8i3BEH dengan spesifikasi Intel i3-8109U, RAM 8GB, SSD 240GB, dan kamera ASUS ROG Eye S

#### 3.2. Teknik Pengujian

Pengujian algoritma dilakukan dengan metodologi *reset-based*. Algoritma diinisiasikan menggunakan *frame* pertama dalam video dan *bounding box* pada *frame* selanjutnya akan dicatat untuk mengukur performa algoritma. Algoritma akan diinisiasikan ulang ketika terjadi ketika *overlap* antara *bounding box* yang di prediksi dengan *ground truth* bernilai 0. Pengujian waktu komputasi dilakukan dengan menjalankan sistem melacak objek dengan sumber citra *webcam* selama 1000 *frame*.

#### 3.3. Teknik Evaluasi

Untuk melakukan evaluasi hasil pengujian maka akan digunakan metrik *precision*, *normalized precision*, *success rate*, *failure rate*, dan FPS. Metrik *precision* akan diujikan pada *threshold* 0-30 dengan interval 5 sedangkan *normalized precision* dan *success rate* akan diujikan pada *threshold* 0-1 dengan interval 0. Untuk memudahkan membaca metrik *precision*, *normalized precision*, dan *success rate*, maka akan digunakan AUC dari metrik tersebut.

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sistem dilakukan pada dataset dengan jumlah 20 *sequence* yang berbeda dengan jumlah akhir 24.648 gambar. Pengujian dilakukan menggunakan ECO tanpa WTHE sebagai nilai *baseline* dan menggunakan WTHE dengan parameter yang telah disebutkan. Untuk menguji kemampuan ECO untuk melacak pemandu pada kondisi yang beragam, pengujian dilakukan pada keseluruhan dataset serta setiap bagian dari dataset yang mengandung

interferensi

Tabel 1. Pengujian pada keseluruhan data

R	V	P	NP	SR	FR
0.5	0.5	0.4468	0.7698	0.7214	1
	0.75	<b>0.4612</b>	<b>0.7722</b>	0.7261	2
	1	0.4403	0.7597	0.7186	6
0.75	0.5	0.4398	0.7678	0.7197	1
	0.75	0.4398	0.7654	0.7148	<b>0</b>
	1	0.4284	0.7588	0.7133	<b>0</b>
1	0.5	0.4075	0.7318	0.6989	1
	0.75	0.4292	0.7590	0.7147	1
	1	0.3944	0.7202	0.6889	1
Tanpa WTHE		0.4328	0.7645	<b>0.7302</b>	1

Tabel 2. Pengujian pada data *occlusion*

R	V	P	NP	SR	FR
0.5	0.5	0.5019	0.7801	0.7131	1
	0.75	<b>0.5368</b>	<b>0.7893</b>	<b>0.7283</b>	2
	1	0.4918	0.7640	0.7113	6
0.75	0.5	0.4895	0.7740	0.7131	1
	0.75	0.4879	0.7741	0.7049	<b>0</b>
	1	0.4669	0.7641	0.7036	<b>0</b>
1	0.5	0.4333	0.7008	0.6796	1
	0.75	0.4957	0.7724	0.7195	1
	1	0.4262	0.6935	0.6677	1
Tanpa WTHE		0.4577	0.7589	0.7206	1

Tabel 3. Pengujian pada data *appearance variation*

R	V	P	NP	SR	FR
0.5	0.5	<b>0.4490</b>	0.7521	0.7441	<b>0</b>
	0.75	0.4454	0.7509	0.7356	<b>0</b>
	1	0.4464	0.7486	0.7363	<b>0</b>
0.75	0.5	0.4273	0.7508	0.7266	<b>0</b>
	0.75	0.4414	0.7502	0.7322	<b>0</b>
	1	0.4388	0.7499	0.7303	<b>0</b>
1	0.5	0.4159	0.7476	0.7182	<b>0</b>
	0.75	0.4176	0.7497	0.7188	<b>0</b>
	1	0.4152	0.7456	0.7179	<b>0</b>
Tanpa WTHE		0.4390	<b>0.7565</b>	<b>0.7543</b>	<b>0</b>

Tabel 4. Pengujian pada data *low light*

R	V	P	NP	SR	FR
0.5	0.5	0.5931	0.8321	0.7276	<b>0</b>
	0.75	0.5941	0.8320	0.7270	<b>0</b>
	1	<b>0.5994</b>	<b>0.8367</b>	0.7283	<b>0</b>
0.75	0.5	0.5842	0.8285	0.7132	<b>0</b>
	0.75	0.5641	0.8200	0.7098	<b>0</b>
	1	0.5552	0.8177	0.7074	<b>0</b>
1	0.5	0.3836	0.5710	0.6364	<b>0</b>
	0.75	0.5644	0.8093	0.7467	1
	1	0.3687	0.5543	0.6135	<b>0</b>
Tanpa WTHE		0.5689	0.8191	<b>0.7470</b>	<b>0</b>

Tabel 5. Pengujian pada data *similar object*

R	V	P	NP	SR	FR
0.5	0.5	0.3987	0.7582	0.7111	<b>0</b>
	0.75	0.3945	0.7519	0.7069	<b>0</b>
	1	0.3864	0.7477	0.7050	<b>0</b>
0.75	0.5	0.3775	0.7512	0.6978	<b>0</b>
	0.75	0.3915	0.7514	0.7032	<b>0</b>
	1	0.3770	0.7417	0.6997	<b>0</b>
1	0.5	0.3769	0.7515	0.6863	<b>0</b>
	0.75	0.3645	0.7379	0.6747	<b>0</b>
	1	0.3624	0.7350	0.6736	<b>0</b>
Tanpa WTHE		<b>0.4138</b>	<b>0.7715</b>	<b>0.7285</b>	<b>0</b>

Keterangan:

R = Nilai parameter *root*

V = Nilai parameter *value*

P = Nilai metrik *precision*

NP = Nilai metrik *normalized precision*

SR = Nilai metrik *success rate*

FR = Nilai metrik *failure rate*

Dari Tabel 1 hingga Tabel 5 dilihat bahwa ECO memiliki performa yang baik dalam melakukan pelacakan pemandu dalam berbagai kondisi. Hal ini ditandai dengan nilai *precision* dan *normalized precision* yang relatif tinggi menandakan ECO dapat melacak posisi objek dengan presisi. *Success rate* yang juga tinggi dan *failure rate* yang rendah menunjukkan bahwa ECO mampu melacak objek secara *robust* dan minim dari kegagalan pelacakan. Selain itu, dapat dilihat bahwa secara umum penggunaan WTHE dapat mengakibatkan perubahan pada performa ECO baik meningkat ataupun menurun tergantung parameter yang digunakan.

Pengujian pada data dengan interferensi menunjukkan hasil yang bervariasi. Pada pengujian dengan data *occlusion*, nilai *failure rate* yang dihasilkan sama dengan pada pengujian dengan keseluruhan data. Hal ini menandakan sebagian besar kegagalan pelacakan diakibatkan oleh *occlusion* pada objek pemandu. Pengujian pada data *appearance variation* hasil yang baik pada keseluruhan parameter WTHE. Pengujian pada data *low light* menunjukkan hasil yang paling bervariasi. Nilai parameter WTHE sangat berpengaruh pada performa sistem dan menunjukkan pentingnya pemilihan nilai parameter yang sesuai. Pengujian pada data *similar object* menunjukkan hasil yang cukup baik pada keseluruhan metrik. Namun, hasil *precision* pada data *similar object* lebih rendah dibandingkan pada data lain yang menunjukkan interferensi *similar object* dapat mempengaruhi performa sistem secara cukup signifikan.

Dari hasil pengujian pada parameter WTHE yang berbeda, tidak ada nilai parameter WTHE yang menunjukkan hasil yang paling baik pada keseluruhan data uji dan penggunaan WTHE menurunkan *success rate* secara keseluruhan selama pengujian. Meskipun demikian, WTHE dengan parameter *root* 0.75 dan *value* 0.75 secara keseluruhan meningkatkan metrik *precision*, *normalized precision*, dan *failure rate* secara konsisten pada keseluruhan pengujian.

Pengujian waktu komputasi dilakukan dengan menjalankan sistem yang telah diimplementasikan. Pengujian dilakukan dengan melacak objek dengan sumber citra webcam selama 1000 frame untuk mensimulasikan workload nyata ketika akan melakukan pelacakan pemandu.

Tabel 6. Pengujian waktu komputasi sistem

Rata – Rata Waktu Komputasi per <i>Frame</i>	FPS
0.04	25

Dari hasil pengujian di atas dapat dilihat bahwa sistem yang diimplementasikan dapat mendeteksi pemandu dengan kecepatan yang konsisten dengan waktu komputasi sekitar 0.04 untuk setiap *frame* yang berarti sistem dapat berjalan dengan kecepatan 25 FPS. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan kecepatan yang cukup agar dapat dijalankan secara *real-time*.

**5. KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian, sistem pelacakan pemandu berbasis ECO dan WTHE memiliki performa yang cukup baik bahkan ketika terdapat interferensi sekalipun. Pengujian yang paling menantang terdapat pada interferensi *occlusion* yang memberikan metrik *failure rate* paling tinggi dan interferensi *similar object* yang memberikan metrik *precision* paling rendah. Performa ECO juga dapat meningkat ataupun menurun tergantung nilai parameter WTHE yang digunakan sehingga perlu digunakan parameter yang sesuai untuk mencegah penurunan *performa*.

Sistem yang diimplementasikan umumnya mampu melakukan pelacakan dengan kecepatan tinggi. Dalam pengujian, sistem mampu melakukan pelacakan pemandu dengan waktu komputasi 0.04 detik atau sebanyak 25 frame dalam satu detik pada perangkat keras berbasis CPU.

**6. DAFTAR PUSTAKA**

Alzubaidi, L., Bai, J., Al-Sabaawi, A. & Santamaria, J., 2023. A survey on deep learning tools dealing with data scarcity: definitions, challenges, solutions, tips, and applications. *Journal of Big Data*, 10(1), p. 46.

Araujo, J. M., Xhang, G., Hansen, J. P. & Puthusserypady, S., 2020. *Exploring Eye-Gaze Wheelchair Control*. Stuttgart, ACM.

Badan Pusat Statistika, 2023. *Hasil Long Form Sensus Penduduk 2020*, Jakarta: Badan Pusat Statistika.

Dhal, K. G. et al., 2021. Histogram Equalization Variants as Optimization Problems: A Review. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 28(1), pp. 1471-1496.

Hamadi, H., Suhendro, B., Alamsyah, M. S. & Ibrahim, M., 2020. *Human tracking control system using Kinect sensors on wheelchair based on Arduino*. Yogyakarta, IOP Publishing.

Kholis, N., Pratama, Y., Tokomadoran, H. & Puspita, V. G., 2022. Perancangan Kursi Roda Ergonomis Untuk Penunjang Disabilitas. *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan*, 1(4), pp. 267-276.

Liu, S. et al., 2021. Overview of correlation filter based algorithms in object tracking. *Complex & Intelligent System*, Volume 7, pp. 1895-1917.

Lontis, E. R. et al., 2021. Wheelchair Control With Inductive Intra-Oral Tongue Interface for Individuals With Tetraplegia. *IEEE Sensors Journal*, 21(20), pp. 22878 - 22890.

Majeed, S. H. & Isa, N. A. M., 2020. Iterated Adaptive Entropy-Clip Limit Histogram Equalization for Poor Contrast Images. *IEEE Access*, Volume 8, pp. 144218 - 144245.

Muhadzdzib, N. & Utaminingrum, N., 2024. Deteksi Pemandu pada Kursi Roda Pintar dengan Metode Histogram Equalization dan YOLOv8 pada

- Pencapaian Rendah. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 8(4).
- Nandhini, T. J. & Thinakaran, K., 2023. *Detection of Crime Scene Objects using Deep Learning Techniques*. Bengaluru, IEEE.
- Ryu, H.-Y. et al., 2022. Development of an Autonomous Driving Smart Wheelchair for the Physically Weak. *Applied Sciences*, 1(377), p. 12.
- Shi, Q. et al., 2022. *Adaptive Multi-feature Fusion Improved ECO-HC Image Tracking Algorithm Based on Confidence Judgement for UAV Reconnaissance*. Guangzhou, IEEE.
- Su, Q. et al., 2023. *Research on human following technology of robot based on ECO-HC*. Nanjing, IEEE.
- Verma, P. K., Singh, A. P. & Yadav, D., 2020. *Image Enhancement: A Review*. Ajmer, Springer.
- Wang, X., Huang, H., Huang, X. & Tian, Y., 2020. *ECO-HC Based Tracking for Ground Moving Target Using Single UAV*. Shenyang, IEEE.
- Xing, J. J., Wang, X. M. & Hou, P., 2022. *Target tracking by improved ECO*. Beijing, Association for Computing Machinery.
- Yulianto, E., Indrato, T., Nugraha, B. M. & Suharyati, 2020. Wheelchair for Quadriplegic Patient with Electromyography Signal Control Wireless. *International Journal of Online and Biomedical Engineering*, 16(12), pp. 94-115.



## ● 6% Overall Similarity

Top sources found in the following databases:

- 4% Internet database
- 3% Publications database
- Crossref database
- Crossref Posted Content database
- 3% Submitted Works database

### TOP SOURCES

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	<b>apsydp-dab097078e70 on 2024-03-19</b> Submitted works	2%
2	<b>apsydp-dab097078e70 on 2024-03-19</b> Submitted works	<1%
3	<b>dspace.uii.ac.id</b> Internet	<1%
4	<b>Nazmi Inayah, Nazmi Inayah, Agus Wagyana. "IMPLEMENTASI SISTEM...</b> Crossref	<1%
5	<b>Lecture Notes in Computer Science, 2009.</b> Crossref	<1%
6	<b>Siti Khotimatul Wildah, Sarifah Agustiani, M. Rangga Ramadhan S, Win...</b> Crossref	<1%
7	<b>jurnal.istts.ac.id</b> Internet	<1%
8	<b>grafiati.com</b> Internet	<1%

- 
- 9 Shen-Chuan Tai, Zih-Siou Chen, Yi-Ying Chang, Tzu-Wen Liao, Yi-Ying ... <1%  
Crossref
- 
- 10 apsydp-dab097078e70 on 2024-03-19 <1%  
Submitted works
- 
- 11 core.ac.uk <1%  
Internet
- 
- 12 j-ptiik.ub.ac.id <1%  
Internet
- 
- 13 jurnal.uindatokarama.ac.id <1%  
Internet