

PENERAPAN TEKNIK *ADAPTIVE* DAN *HISTOGRAM EQUALIZATION* DALAM PENGOLAHAN CITRA

Muhammad Naufal^{1*}, Gustian Angga Firmansyah², Ni Made Kirei Kharisma Handayani³, Harun Al Azies^{1,4}

^{1,2,3} Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Dian Nuswantoro
² Research Center for Materials Informatics, Fakultas Ilmu Komputer,
Universitas Dian Nuswantoro

^{1,2,3} Jalan Imam Bonjol No.207 Pendrikan Kidul, Kota Semarang, 50131

^{1*} m.naufal@dsn.dinus.ac.id, ² gustiananggaf@gmail.com, ³ kireikharisma@gmail.com,

⁴ harun.alazies@dsn.dinus.ac.id

Abstrak : Mengantuk saat berkendara menjadi ancaman serius yang dapat meningkatkan risiko kecelakaan, yang merupakan penyebab utama kematian di seluruh dunia, termasuk di Indonesia. Deteksi dan pencegahan kondisi mengantuk pada tahap awal menjadi krusial untuk mengurangi potensi kecelakaan dan meningkatkan keselamatan berkendara. Penelitian ini fokus pada pemanfaatan citra wajah pengemudi sebagai metode efektif dalam mendeteksi mengantuk. Rendahnya kontras dalam citra dapat mempengaruhi deteksi wajah, sehingga diperlukan peningkatan kontras citra. Dalam penelitian ini, dua teknik peningkatan kontras citra, yaitu *Histogram Equalization* (HE) dan *Adaptive Histogram Equalization* (AHE), dievaluasi. Dataset yang digunakan adalah Driver Drowsiness Dataset, terdiri dari citra Drowsy sebanyak 22,348 dan *Non-Drowsy* sebanyak 19,445. Pra-pemrosesan melibatkan resize dan pengaburan menggunakan *Gaussian Blur*, diikuti oleh penerapan HE dan AHE. Evaluasi kinerja dilakukan menggunakan matriks evaluasi, menghasilkan skor *Mean Squared Error*, *Peak Signal-to-Noise Ratio*, dan *Signal-to-Noise Ratio*. Hasil menunjukkan bahwa HE memberikan hasil yang lebih baik dengan skor MSE 101.21, PSNR 28.11, dan SNR 0.19, dibandingkan dengan AHE yang memiliki skor MSE 103.92, PSNR 27.97, dan SNR 0.04. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa HE memberikan peningkatan kontras yang lebih baik untuk citra wajah dibandingkan dengan AHE.

Kata Kunci : Deteksi Mengantuk, Peningkatan Kontras Citra, *Adaptive Histogram Equalization*, *Histogram Equalization*, Keselamatan Berkendara.

Abstract: *Drowsiness while driving poses a serious threat, escalating the risk of accidents—a leading cause of fatalities worldwide, including in Indonesia. Early detection and prevention of drowsy conditions are crucial to mitigating accident potential and enhancing road safety. This research focuses on utilizing driver facial images as an effective method for drowsiness detection. The insufficient contrast in images may impact facial detection, necessitating contrast enhancement. In this study, two image contrast enhancement techniques, Histogram Equalization (HE) and Adaptive Histogram Equalization (AHE), are evaluated. The dataset used is the Driver Drowsiness Dataset, consisting of 22,348 drowsy and 19,445 Non-Drowsy images. Pre-processing involves resizing and blurring using Gaussian Blur, followed by applying HE and AHE. Performance evaluation utilizes matrices scoring Mean Squared Error, Peak Signal-to-Noise Ratio, and Signal-to-Noise Ratio. Results indicate that HE outperforms AHE with scores of MSE 101.21, PSNR 28.11, and SNR 0.19, compared to AHE with scores of MSE 103.92, PSNR 27.97, and SNR 0.04. Therefore, it can be concluded that HE provides superior contrast enhancement for facial images compared to AHE.*

Keywords: *Drowsiness Detection, Image Contrast Enhancement, Adaptive Histogram Equalization, Histogram Equalization, Road Safety.*

PENDAHULUAN

Kecelakaan lalu lintas merupakan salah satu penyebab utama kematian di seluruh dunia, termasuk di Indonesia (Mohammed et al., 2019). Faktor mengantuk saat berkendara menjadi salah satu penyebab kecelakaan yang signifikan (Moradi et al., 2019). Kondisi mengantuk dapat mengurangi kewaspadaan pengemudi, mempengaruhi waktu reaksi, dan meningkatkan risiko kecelakaan (Moradi et al., 2019). Oleh karena itu, deteksi dan pencegahan mengantuk pada tahap awal menjadi krusial untuk mengurangi potensi kecelakaan dan meningkatkan keselamatan berkendara (Gwak et al., 2020).

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mendeteksi kondisi mengantuk adalah dengan memanfaatkan wajah pengemudi (Deng & Wu, 2019). Deteksi dilakukan melalui citra wajah pengemudi, di mana kontras dalam citra memiliki dampak signifikan terhadap keberhasilan deteksi wajah (Kumar et al., 2019). Namun, seringkali citra memiliki kontras yang rendah, sehingga diperlukan peningkatan kontras citra untuk meningkatkan ekstraksi fitur wajah dan kualitas deteksi (Rahman et al., 2021)

Teknik peningkatan kontras dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori, yaitu teknik tidak langsung dan teknik langsung (Rao, 2020). Salah satu teknik tidak langsung yang umum digunakan adalah *Histogram Equalization* (HE), yang bekerja dengan meratakan distribusi piksel di seluruh rentang nilai intensitas (Majeed & Isa, 2021; Mirbolouk et al., 2021). Selain HE, terdapat juga teknik *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (AHE) yang membagi citra menjadi blok-blok kecil

dan menerapkan HE pada setiap blok dengan mempertahankan tingkat kontras lokal (Maysanjaya et al., 2021; Stimper et al., 2019).

Peningkatan kontras citra memiliki peran krusial dalam meningkatkan akurasi dan kehandalan sistem deteksi, terutama dalam penelitian mengenai deteksi mengantuk berdasarkan wajah (Rahman et al., 2021; Sharan et al., 2021). Dengan menerapkan teknik peningkatan kontras seperti AHE dan HE, diharapkan citra yang dihasilkan dapat memiliki tingkat kontras yang memadai untuk mempermudah deteksi dan ekstraksi fitur wajah.

PENELITIAN TERDAHULU

Deteksi dan pencegahan mengantuk pada fase awal menjadi sangat penting untuk mengurangi potensi kecelakaan sehingga meningkatkan keselamatan saat berkendara. Dalam ulasan ini, akan melihat karya-karya tentang teknik HE dan AHE untuk meningkatkan kontras pada citra wajah dan penerapannya pada deteksi mengantuk. Penelitian ditekankan pada relevansi penggunaan teknik peningkatan kontras citra yaitu HE dan AHE pada penerapan deteksi wajah pengemudi, sehingga dapat diperoleh wawasan tentang pengaruh teknik HE dan AHE pada deteksi mengantuk. Penelitian sebelumnya telah menjelaskan teknik HE dan AHE dalam berbagai penerapan bidang berdasarkan citra.

Kalyani dan Chakraborty (Kalyani & Chakraborty, 2020) melakukan penelitian tentang penerapan *Histogram Equalization* (HE) dan *Adaptive Histogram Equalization* (AHE) untuk meningkatkan kontras citra medis MRI agar citra MRI dapat lebih jelas dan mudah untuk dianalisis. Dengan

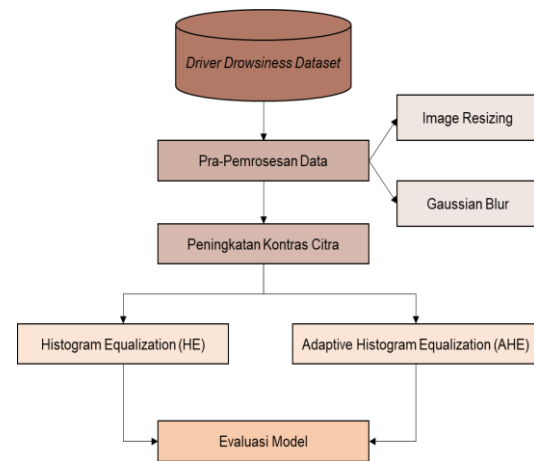
evaluasi menggunakan MSE, PSNR, dan SNR, diperoleh bahwa AHE dan HE memberikan peningkatan kontras yang signifikan pada citra medis MRI. Saiweo dkk., (Saiweo et al., 2022) membandingkan teknik peningkatan kualitas citra untuk meningkatkan kontras dan detail citra kulit wajah. Terdapat empat teknik peningkatan kualitas citra yang digunakan, diantaranya adalah *Histogram Equalization* (HE), *Brightness Preserving Dynamic Fuzzy Histogram Equalization* (BPDFHE), dan *Min-Max Contrast Stretching*. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, diperoleh bahwa HE dan AHE memberikan peningkatan kualitas citra yang dapat memfasilitasi analisis perawatan kulit lebih lanjut.

Nugroho dkk., (Nugroho et al., 2021) melakukan penelitian tentang penerapan teknik AHE pada Fitur Berbasis Histogram untuk Klasifikasi Limfoma menggunakan Algoritma KNN. AHE digunakan pada tahap pra-pemrosesan untuk meningkatkan kontras citra. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, AHE berhasil meningkatkan kinerja model dengan akurasi rata-rata sebesar 85,5% dan spesifisitas LY sebesar 90,3%.

Joni dkk., (Joni et al., 2020) melakukan penelitian untuk menghilangkan pengaruh faktor cuaca guna meningkatkan efek visual citra dan memberikan manfaat pada pemrosesan lanjutan. Metode yang digunakan adalah penghilangan kabut berdasarkan dark channel prior, dengan penambahan teknik AHE. Dengan teknik AHE, hasil dari dark channel prior dapat dikontras sehingga citra menjadi lebih jelas dan lebih spesifik. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa metode tersebut memiliki MSE 0,256 yang setara dengan PSNR sebesar 54,043.

METODE

Berdasarkan tujuan penelitian, metode analisis yang diterapkan adalah analisis inferensial. Teknik yang diusulkan untuk meningkatkan kontras pada citra adalah *Histogram Equalization* (HE) dan *Adaptive Histogram Equalization* (AHE). Penelitian ini menggunakan bahasa pemrograman Python dengan komputer DGX A100. Alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



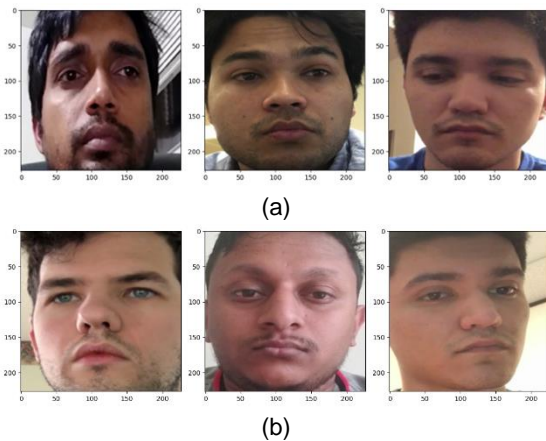
Gambar 1 Alur Penelitian Peningkatan Kontras Citra Menggunakan Teknik HE dan AHE

Pertama-tama, dataset dibagi menjadi dua skema, yaitu full dataset dan dibagi berdasarkan kelas. Selanjutnya, dilakukan perubahan ukuran pada gambar agar memiliki dimensi yang seragam. Untuk menghilangkan noise, dilakukan proses *Gaussian Blur*. Setelah itu, gambar diperlakukan dengan algoritma *Histogram Equalization* (HE) dan *Adaptive Histogram Equalization* (AHE). Evaluasi dilakukan melalui beberapa metrik, termasuk MSE, PSNR, SNR, dan waktu eksekusi algoritma.

Data Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan dataset DDD (Driver Drowsiness Dataset) yang dapat diakses melalui kaggle. Dataset DDD merupakan kumpulan citra wajah

pengemudi yang diekstraksi dan dipotong dari video dataset “Real-life drowsiness”. Tiap frame diekstraksi dari video sebagai citra menggunakan perangkat lunak VLC. Kemudian algoritma Viola-Jones digunakan untuk mengekstrak wilayah yang diminati dari citra yang diambil. Dataset DDD terdiri dari 41793 citra wajah pengemudi, yang dibagi menjadi dua class yaitu Drowsy sebanyak 22348 citra dan *Non-Drowsy* sebanyak 19445 citra, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2 Sampel dari DDD (*Driver Drowsiness Dataset*) kondisi Drowsy (a) dan kondisi *Non-Drowsy* (b)

Pra-Pemrosesan Data

Image Resizing

Image resizing adalah proses mengubah ukuran dimensi citra secara proporsional dengan tujuan mengubah skala keseluruhan citra. Metode ini dilakukan dengan mengubah jumlah piksel yang ada dalam citra, baik dengan menambah atau mengurangi piksel, sehingga menghasilkan citra dengan dimensi yang lebih besar atau lebih kecil. Saat melakukan resizing, perlu diperhatikan aspek proporsi dan rasio aspek citra agar tidak terdistorsi atau terlihat terlalu meruncing. Terdapat beberapa algoritma yang digunakan dalam image resizing, seperti *Nearest Neighbor*, *Bilinear*

Interpolation, maupun algoritma yang lebih kompleks seperti *Lanczos* atau *Bicubic Interpolation*. *Image resizing* sering digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti penyesuaian tata letak web, perubahan ukuran citra untuk keperluan cetak, atau penyesuaian tampilan citra pada perangkat dengan resolusi yang berbeda (Wang & Yuan, 2014). Dalam penelitian ini gambar diubah dari ukuran aslinya ke dalam ukuran 224x224x3 pixel.

Gaussian Blur

Gaussian Blur adalah sebuah teknik dalam pengolahan citra yang digunakan untuk menghaluskan atau memperhalus tampilan citra dengan cara mengaburkan detail-detail kecil yang ada pada citra tersebut. Teknik ini didasarkan pada penggunaan filter Gaussian, yang merupakan suatu fungsi matematis dengan distribusi normal, untuk mengubah piksel-piksel dalam citra dengan mempertimbangkan bobot-bobot yang terkait dengan jarak relatif dari piksel tersebut dengan piksel utama yang sedang diproses. Proses tersebut menghasilkan efek pengaburan yang lembut dan alami, di mana piksel-piksel di sekitar detail-detail kecil menjadi teredam sehingga menciptakan kesan keseragaman atau kelembutan dalam citra. *Gaussian Blur* banyak digunakan dalam pengolahan citra, seperti pengurangan noise, menghilangkan noise, atau menciptakan efek visual yang diinginkan dalam fotografi atau desain grafis (Desai et al., 2022). Dalam penelitian ini digunakan nilai dari kernel gaussian adalah 5.

Peningkatan Kontras Citra

Histogram Equalization

Histogram Equalization (HE) adalah teknik dalam pengolahan citra yang digunakan untuk meningkatkan kontras dan distribusi nilai piksel dalam citra. Metode ini bekerja

dengan mengubah histogram citra ke dalam distribusi probabilitas yang seragam, sehingga piksel-piksel yang semula terkonsentrasi pada rentang nilai tertentu akan terdistribusi secara merata di seluruh rentang nilai yang tersedia. Hal ini dicapai dengan melakukan transformasi pada histogram asli, di mana piksel-piksel dengan frekuensi yang rendah diberikan peningkatan nilai piksel yang lebih tinggi, sedangkan piksel-piksel dengan frekuensi yang tinggi diberikan penurunan nilai piksel yang lebih rendah. Akibatnya, citra yang telah mengalami *Histogram Equalization* akan memiliki kontras yang lebih baik dan detail yang lebih jelas, sehingga mempermudah analisis dan interpretasi visual pada pengolahan citra, serta dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas citra dalam berbagai aplikasi, seperti deteksi objek, pengenalan pola, atau pemrosesan citra medis (Agrawal et al., 2022). Perbaikan HE dilakukan dengan menggunakan rumus persamaan berikut.

$$h_i = \frac{n_i}{n}, i = 0, 1, 2 \dots, L - 1 \quad (1)$$

dimana, L merupakan derajat keabuan, n_i merupakan jumlah piksel dengan derajat keabuan i , dan n merupakan jumlah semua piksel.

Adaptive Histogram Equalization

Teknik ekualisasi histogram adaptif atau *Adaptive Histogram Equalization* (AHE) pada prinsipnya sama dengan ekualisasi histogram. Nama lain dari AHE adalah local histogram processing (Wijaya Kusuma & Kusumadewi, 2020), yaitu mengerjakan proses ekualisasi histogram sebanyak beberapa kali masing-masing untuk setiap blok citra (sub-image). Ukuran blok citra telah ditentukan sesuai kondisi citra atau kebutuhan

penelitian yaitu antara lain 2x2, 4x4, 8x8, 16x16 piksel, atau ukuran yang lain.

$$H_{(i)} = \sum_{x, y \in \text{tile}} p(i, x, y) \quad (2)$$

dimana, $H_{(i)}$ merupakan histogram untuk intensitas i dan $p(i, x, y)$ adalah jumlah piksel dalam tile dengan intensitas i .

Matriks Evaluasi

Peningkatan kontras memberikan citra yang diproses memiliki kontras yang lebih baik daripada citra yang tidak diproses. Jenis peningkatan ini dapat diidentifikasi dengan pemeriksaan visual citra. Akan tetapi, dengan pemeriksaan visual, kita tidak bisa mendapatkan karakterisasi yang lengkap dan spesifik. Selain itu, tidak ada parameter atau metode yang dapat memberikan spesialisasi subjektif dan objektif. Oleh karena itu, parameter kualitas MSE, PSNR, dan SNR digunakan untuk evaluasi kinerja Teknik peningkatan kontras (Hashmi et al., 2022a).

Mean Squared Error

Mean Squared Error (MSE) menemukan rata-rata kuadrat dari perbedaan nilai piksel pada kedua citra. MSE merupakan risk function, juga dikenal sebagai Mean Squared Deviation. Nilai MSE yang lebih kecil menunjukkan kualitas citra yang lebih baik dan sebaliknya (Hashmi et al., 2022a). *Error* antara dua citra didefinisikan dengan rumus sebagai berikut.

$$MSE = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n (A_i - B_i)^2 \quad (3)$$

Dimana n menunjukkan total piksel dari citra yang diberikan. A_i dan B_i menyatakan piksel ke- i dari citra A dan B.

Peak Signal to Noise Ratio

Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) mengukur *Error* puncak dan membandingkan kualitas kompresi citra. Akan tetapi, kualitas perseptual tidak tercermin dari hal ini. Nilai PSNR yang lebih besar menunjukkan kualitas citra yang lebih baik dan sebaliknya (Hashmi et al., 2022b). Perhitungan PSNR didefinisikan dengan persamaan sebagai berikut.

$$PSNR = 10 \left(\frac{R^2}{M} \right) \quad (4)$$

Di mana M adalah MSE dalam citra. Di sini, R menunjukkan fluktuasi tertinggi yang ada pada citra, atau bisa dikatakan, R adalah nilai piksel tertinggi yang mungkin terjadi. Untuk citra yang merepresentasikan piksel dengan 8 bit per sampel R adalah 255, R dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$R = 2^B - 1 \quad (5)$$

dimana B menunjukkan nilai bit per sampel yang digunakan untuk merepresentasikan piksel yang diwakili oleh piksel dari citra tersebut.

Signal to Noise Ratio

Signal to Noise Ratio (SNR) didefinisikan sebagai rasio sinyal terhadap noise dalam citra. Nilai SNR yang lebih besar menunjukkan kualitas citra yang lebih baik dan sebaliknya (Hashmi et al., 2022a). Perhitungan SNR didefinisikan dengan persamaan berikut.

$$SNR = \frac{M_{signal}}{M_{noise}} \quad (6)$$

di mana M_{signal} adalah sinyal daya dan M_{noise} adalah noise dari daya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas hasil analisis kinerja teknik peningkatan kontras citra dalam konteks deteksi mengantuk berdasarkan wajah pengemudi. Hasil kinerja teknik peningkatan kontras citra dalam konteks deteksi mengantuk berdasarkan wajah pengemudi disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Performa Teknik Peningkatan Kontras Citra

Algoritma	Average Score			Average Time
	MSE	PSNR	SNR	
HE	101.21	28.11	0.19	00:00:02.7
AHE	103.92	27.97	0.04	00:00:32.8

Berdasarkan Tabel 1, Hasil analisis kinerja teknik peningkatan kontras citra menggunakan *Histogram Equalization* (HE) dan *Adaptive Histogram Equalization* (AHE) diperoleh dari Tabel 1. Diketahui bahwa teknik HE menunjukkan performa yang lebih baik dengan nilai MSE lebih rendah, PSNR yang lebih tinggi, dan SNR yang lebih baik dibandingkan dengan teknik AHE. Meskipun demikian, perlu diperhatikan bahwa waktu eksekusi teknik AHE lebih lama, yang menjadi pertimbangan dalam konteks aplikasi deteksi mengantuk yang memerlukan respons cepat. Selanjutnya, hasil visual implementasi kedua teknik dapat dilihat pada Gambar 3 untuk memberikan gambaran visual terhadap peningkatan kontras citra yang dihasilkan oleh HE dan AHE.



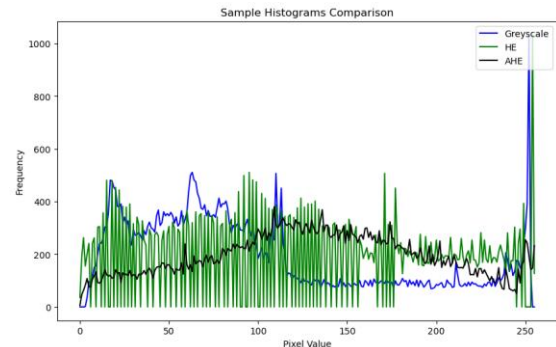
(a)



(b)

Gambar 3 Sampel hasil visual dari tiap metode kondisi Drowsy (a) dan kondisi *Non-Drowsy* (b)

Dari hasil sampel yang ditampilkan, terlihat bahwa *Histogram Equalization* (HE) cenderung menghasilkan visual dengan kontras yang lebih tinggi. Metode HE meningkatkan kecerahan citra secara keseluruhan dengan meratakan distribusi intensitas piksel. Di sisi lain, *Adaptive Histogram Equalization* (AHE) memperbaiki kontras citra dengan cara yang adaptif, mempertahankan tingkat kontras lokal. AHE menunjukkan hasil yang lebih baik dalam merinci latar depan dan latar belakang citra, menghasilkan visual yang lebih detail. Meskipun AHE memberikan peningkatan kontras yang baik, terkadang dapat menyertai noise tambahan pada gambar. Dengan demikian, pemilihan antara HE dan AHE dapat tergantung pada kebutuhan spesifik aplikasi. Jika tujuan utama adalah peningkatan kontras global, HE mungkin menjadi pilihan yang lebih sesuai. Namun, jika diperlukan peningkatan kontras lokal dengan memperhatikan detail citra, AHE dapat memberikan hasil yang lebih memuaskan. Visualisasi histogram pada sampel gambar dapat dilihat pada Gambar 4 untuk melakukan perbandingan antara *Histogram Equalization* (HE) dan *Adaptive Histogram Equalization* (AHE).



Gambar 4 *Sample histogram* dari sample gambar, Algoritma AHE dan HE

Dapat disimpulkan dari Gambar 4 bahwa metode *Histogram Equalization* (HE) menunjukkan fluktuasi nilai yang tinggi dibandingkan dengan metode lainnya. Fluktuasi tersebut mencerminkan variasi intensitas piksel yang signifikan dalam citra hasil pemrosesan menggunakan teknik HE. Sementara itu, metode lain seperti *Adaptive Histogram Equalization* (AHE) cenderung memberikan distribusi intensitas piksel yang lebih merata, menghasilkan kurva histogram yang lebih stabil.

Fluktuasi yang tinggi pada metode HE dapat mengindikasikan bahwa peningkatan kontras yang diberikan oleh teknik ini tidak selalu konsisten di seluruh citra, dan ada kemungkinan terjadinya *over-enhancement* pada beberapa bagian gambar. Sebaliknya, metode AHE, dengan pendekatan adaptifnya, cenderung mengatasi fluktuasi ini dengan memberikan peningkatan kontras yang disesuaikan dengan karakteristik lokal citra.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis pada citra wajah dari dataset Drowsy Driver Detection (DDD) menggunakan teknik *Adaptive Histogram Equalization* (AHE) dan *Histogram Equalization* (HE), dapat disimpulkan bahwa HE memberikan kinerja lebih baik.

HE menunjukkan skor MSE lebih rendah (101.21), PSNR lebih tinggi (28.11), dan SNR lebih tinggi (0.19) dibandingkan dengan AHE (MSE: 103.92, PSNR: 27.97, SNR: 0.04). Hasil ini menandakan bahwa HE, dengan pendekatan *Histogram Equalization*, efektif dalam meningkatkan kontras dan kualitas citra wajah, yang dapat berkontribusi pada akurasi sistem deteksi mengantuk berbasis wajah.

REFERENSI

- [1] Agrawal, S., Panda, R., Mishro, P. K., & Abraham, A. (2022). A novel joint *Histogram Equalization* based image contrast enhancement. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 34(4), 1172–1182.
<https://doi.org/10.1016/J.JKSUCI.2019.05.010>
- [2] Deng, W., & Wu, R. (2019). Real-Time Driver-Drowsiness Detection System Using Facial Features. *IEEE Access*, 7, 118727–118738.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2936663>
- [3] Desai, B., Paliwal, M., & Nagwanshi, K. K. (2022). *Study on Image Filtering -- Techniques, Algorithm and Applications*.
<https://arxiv.org/abs/2207.06481v1>
- [4] Gwak, J., Hirao, A., & Shino, M. (2020). An Investigation of Early Detection of Driver Drowsiness Using Ensemble Machine Learning Based on Hybrid Sensing. *Applied Sciences* 2020, Vol. 10, Page 2890, 10(8), 2890.
<https://doi.org/10.3390/APP10082890>
- [5] Hashmi, A., Juneja, A., Kumar, N., Gupta, D., Turabieh, H., Dhingra, G., Jha, R. S., & Bitsue, Z. K. (2022a). Contrast Enhancement in Mammograms Using Convolution Neural Networks for Edge Computing Systems. *Scientific Programming*, 2022.
<https://doi.org/10.1155/2022/1882464>
- [6] Hashmi, A., Juneja, A., Kumar, N., Gupta, D., Turabieh, H., Dhingra, G., Jha, R. S., & Bitsue, Z. K. (2022b). Contrast Enhancement in Mammograms Using Convolution Neural Networks for Edge Computing Systems. *Scientific Programming*, 2022, 1–9.
<https://doi.org/10.1155/2022/1882464>
- [7] Kalyani, J., & Chakraborty, M. (2020). Contrast Enhancement of MRI Images using *Histogram Equalization* Techniques. *2020 International Conference on Computer, Electrical and Communication Engineering, ICCECE* 2020.
<https://doi.org/10.1109/ICCECE48148.2020.9223088>
- [8] Kumar, A., Kaur, A., & Kumar, M. (2019). Face detection techniques: a review. *Artificial Intelligence Review*, 52(2), 927–948.
<https://doi.org/10.1007/S10462-018-9650-2/FIGURES/13>
- [9] Majeed, S. H., & Isa, N. A. M. (2021). Adaptive Entropy Index *Histogram Equalization* for Poor Contrast Images. *IEEE Access*, 9, 6402–6437.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3048148>
- [10] Maysanjaya, I. M. D., Kesiman, M. W. A., & Putrama, I. M. (2021). Evaluation of contrast enhancement methods on finger vein NIR images.

- Journal of Physics: Conference Series*, 1810(1), 012035.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1810/1/012035>
- [11] Mirbolouk, S., Valizadeh, M., Amirani, M. C., & Choukali, M. A. (2021). A fuzzy histogram weighting method for efficient image contrast enhancement. *Multimedia Tools and Applications*, 80(2), 2221–2241.
<https://doi.org/10.1007/S11042-020-09801-W/FIGURES/12>
- [12] Mohammed, A. A., Ambak, K., Mosa, A. M., & Syamsunur, D. (2019). A Review of the Traffic Accidents and Related Practices Worldwide. *The Open Transportation Journal*, 13(1), 65–83.
<https://doi.org/10.2174/1874447801913010065>
- [13] Moradi, A., Nazari, S. S. H., & Rahmani, K. (2019). Sleepiness and the risk of road traffic accidents: A systematic review and meta-analysis of previous studies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 65, 620–629.
<https://doi.org/10.1016/J.TRF.2018.09.013>
- [14] Nugroho, A. E., Lukito, W. D., Anshori, I., Adiprawita, W., Usman, H. A., & Husain, O. (2021). CLAHE Performance on Histogram-Based Features for Lymphoma Classification using KNN Algorithm. *Proceeding of 15th International Conference on Telecommunication Systems, Services, and Applications, TSSA 2021*.
<https://doi.org/10.1109/TSSA52866.2021.9768221>
- [15] Rahman, T., Khandakar, A., Qiblawey, Y., Tahir, A., Kiranyaz, S., Abul Kashem, S. Bin, Islam, M. T., Al Maadeed, S., Zughair, S. M., Khan, M. S., & Chowdhury, M. E. H. (2021). Exploring the effect of image enhancement techniques on COVID-19 detection using chest X-ray images. *Computers in Biology and Medicine*, 132, 104319.
<https://doi.org/10.1016/J.COMPBIOMED.2021.104319>
- [16] Rao, B. S. (2020). Dynamic Histogram Equalization for contrast enhancement for digital images. *Applied Soft Computing*, 89, 106114.
<https://doi.org/10.1016/J.ASOC.2020.106114>
- [17] Saiwaeo, S., Mungmai, L., Preedalikit, W., Arwatchananukul, S., & Aunsri, N. (2022). A Comparative Study of Image Enhancement Methods for Human Skin Image. *7th International Conference on Digital Arts, Media and Technology, DAMT 2022 and 5th ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunications Engineering, NCON 2022*, 484–488.
<https://doi.org/10.1109/ECTIDAMTNCN53731.2022.9720326>
- [18] Stimper, V., Bauer, S., Ernstorfer, R., Schölkopf, B., & Xian, R. P. (2019). Multidimensional Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization. *IEEE Access*, 7, 165437–165447.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2952899>
- [19] Wijaya Kusuma, I. W. A., & Kusumadewi, A. (2020). Penerapan Metode Contrast Stretching, Histogram Equalization Dan Adaptive

Histogram Equalization Untuk Meningkatkan Kualitas Citra Medis MRI. Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer, 11(1), 1–10.
<https://doi.org/10.24176/SIMET.V11I1.3153>