

Studi Efek Ekualisasi Histogram dan CLAHE dalam Mendeteksi Fitur Wajah Manusia

Regina Lionnie*, Mudrik Alaydrus

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta
*regina.lionnie@mercubuana.ac.id

Abstrak— Biometrik adalah metode yang digunakan untuk mengenali identitas seseorang berdasarkan morfologi, perilaku dan organik karakteristik seperti sidik jari, iris, wajah, retina, telapak tangan dan geometri tangan, dll. Biometrik wajah mengacu pada bidang teknologi biometrik yang berfokus pada analisis dan pengenalan wajah individu untuk tujuan identifikasi dan autentikasi. Tahap pra-proses memainkan peran penting dalam sistem pendeteksi fitur wajah karena melibatkan beberapa langkah untuk meningkatkan kualitas dan keandalan citra wajah sebelum dianalisis dan dibandingkan. Input dari sistem adalah gambar wajah yang berasal dari dataset EYB. Fitur pada wajah yang ingin dideteksi adalah mata kiri, mata kanan, hidung, dan mulut. Metode pra-proses yang diselidiki pada penelitian ini adalah histogram equalization dan Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE). Hasil dari penelitian ini memperlihatkan bahwa metode pra-proses CLAHE memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan histogram equalization dalam mendeteksi fitur pada wajah.

Kata Kunci— biometrik, CLAHE, deteksi wajah, ekualisasi histogram, fitur wajah

DOI: 10.22441/jte.2024.v15i2.002

I. PENDAHULUAN

Biometrik adalah metode yang digunakan untuk mengenali identitas seseorang berdasarkan morfologi, perilaku dan karakteristik seperti sidik jari, iris, wajah, retina, telapak tangan dan geometri tangan, dll [1]. Fitur biometrik adalah alternatif yang aman untuk metode identifikasi tradisional karena bersifat universal, terukur, unik, dan permanen, menjadikannya menguntungkan untuk aplikasi yang bertujuan untuk memfasilitasi kehidupan sehari-hari dan juga sebagai akses keamanan untuk mencegah penipuan [2]. Biometrik wajah mengacu pada bidang teknologi biometrik yang berfokus pada analisis dan pengenalan wajah individu untuk tujuan identifikasi dan autentikasi. Hal ini melibatkan penangkapan fitur dan pola wajah, mengubahnya menjadi data digital, dan membandingkannya dengan basis data untuk menentukan identitas seseorang. Sistem biometrik wajah biasanya menggunakan kamera atau sensor untuk menangkap gambar atau video wajah seseorang, yang kemudian diproses menggunakan berbagai algoritma untuk mengekstraksi fitur wajah yang unik. Ciri-ciri tersebut dapat berupa jarak antar mata, bentuk hidung, kontur wajah, dan ciri khas lainnya. Data yang dihasilkan sering direpresentasikan sebagai template wajah atau representasi matematis dari wajah seseorang.

Proses ekstraksi fitur merupakan fase yang penting dalam sistem pengenalan biometrik wajah karena dapat mempengaruhi seluruh keakuratan sistem karena faktanya bahwa fitur wajah memungkinkan sistem untuk mengidentifikasi dan mendeskripsikan berbagai bagian wajah, seperti kontur wajah, alis, mata, hidung, dan mulut. Pada dasarnya, ada dua jenis fitur: fitur appearance dan fitur geometri. Fitur appearance menyangkut fitur kulit, lipatan dan kerutan sedangkan fitur geometri diperoleh dari landmark wajah (mata, alis, mulut, hidung, pipi, bibir dan dagu) [3].

Tantangan utama dalam deteksi wajah adalah mencari fitur wajah yang dapat merepresentasikan wajah seseorang sehingga fitur ini menjadi fitur pembeda diantara wajah seseorang dengan orang yang lain. Selain fitur, tahap pra-proses juga memainkan peran penting dalam sistem pengenalan wajah karena melibatkan beberapa langkah untuk meningkatkan kualitas dan keandalan fitur wajah. Pada penelitian ini, telah dilakukan variasi tahap pra-proses terutama dalam menggunakan metode ekualisasi histogram dan Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) dalam mendeteksi bagian fitur wajah seperti area mata, hidung dan mulut.

II. PENELITIAN TERKAIT

Setelah melakukan penelaahan terhadap beberapa penelitian, ada beberapa publikasi yang berkaitan dengan penelitian pada artikel ini. Penelitian pada [4] menunjukkan bahwa deteksi landmark wajah memberikan perhitungan yang lebih akurat dari berbagai lokasi di wajah dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Penelitian yang dilakukan pada [5] menunjukkan bahwa juga banyak atribut non-demografis yang sangat memengaruhi kinerja pengenalan, seperti aksesoris, gaya rambut dan warna, bentuk wajah, atau anomali wajah.

Pada [6] penelitian dilakukan menggunakan proses hierarki analitik untuk memperkirakan seberapa penting fitur wajah dalam pengenalan. Dari salah satu hasil percobaan, fitur yang paling diskriminatif adalah mata, hidung, dan mulut. Sebaliknya, meskipun mereka mencatat bahwa alis sama pentingnya dalam pengenalan wajah, peranan alis mungkin tidak penting dalam situasi kehidupan nyata. Pada [7] mendiskusikan bahwa dalam mengidentifikasi wajah dengan kehadiran fitur mata, telah berhasil meningkatkan tingkat deteksi dan menghasilkan 90% akurasi.

Pada [8] telah mempelajari efek pemisahan lima belas daerah wajah dan menemukan bahwa daerah fitur dalam (mulut, hidung, dan alis kanan) lebih berguna untuk gambar dengan jarak akuisisi yang lebih pendek sedangkan daerah fitur

luar (dahi, dagu, dan telinga kanan) lebih berguna. cocok untuk jarak akuisisi yang lebih jauh. Mata dan mulut adalah fitur penting untuk pendeteksian wajah, karena menghilangkannya secara signifikan akan mengurangi skor nilai wajah, yang mengarah ke persepsi wajah yang salah [9].

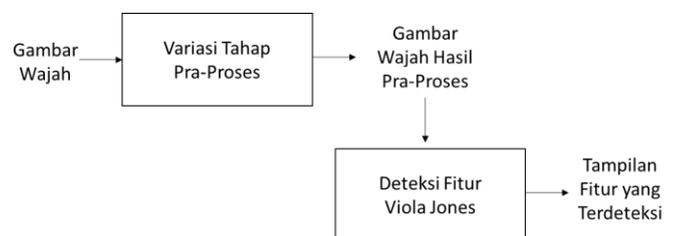
Setelah menganalisis berbagai set fitur wajah untuk digunakan dalam teknik deteksi orientasi wajah dan menguji hasilnya masing-masing, satu set enam titik wajah ujung hidung, dagu, titik sudut mata dan titik sudut mulut ditemukan cukup agar sebuah algoritma dapat mendeteksi orientasi wajah dalam rentang pandang yang luas dengan komputasi yang lebih sedikit.[10]. Hasil dari studi penelitian terkait ini menunjukkan bahwa deteksi menggunakan landmark wajah meningkatkan akurasi pengenalan wajah, meningkatkan kekhasan wajah, dan dapat dioptimalkan melalui model yang membagi landmark menjadi poin-poin penting dan menyisipkan poin untuk representasi bentuk dan standarisasi yang lebih baik.

Penelitian [11] mengeksplorasi deteksi pneumonia pasca-COVID menggunakan Histogram Equalization (HE) dan Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE), yang diterapkan pada gambar rontgen dada (CXR) dan CT scan. Dengan menggunakan convolutional neural network (CNN), hasilnya menunjukkan bahwa HE dan CLAHE meningkatkan efisiensi dan kecepatan model, mencapai tingkat akurasi 96% dalam membedakan antara pneumonia COVID-19, pneumonia biasa, dan paru-paru yang sehat. Pada [12] penelitian ini menyelidiki pengaruh CLAHE terhadap akurasi identifikasi biometrik buku jari (finger knuckle print). Penelitian ini mengeksplorasi bagaimana variasi ukuran wilayah dan batas klip di CLAHE mempengaruhi akurasi identifikasi menggunakan dua metode ekstraksi fitur: Speeded-Up Robust Features (SURF) dan Principal Component Analysis (PCA). Studi tersebut menunjukkan bahwa akurasi optimal menggunakan SURF dicapai dengan ukuran wilayah 5x5 dan batas klip 0,14, sehingga menghasilkan akurasi 97%. Untuk PCA, akurasi tertinggi adalah 91%, dengan performa optimal diamati di berbagai batas klip dan ukuran wilayah 2x2.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Gambar 1 berikut merupakan blok diagram studi tahap pra-proses dalam mendeteksi fitur wajah untuk sistem pengenalan wajah menggunakan fitur geometri. Input dari sistem merupakan gambar wajah dengan ruang warna grayscale dan kriteria wajah menghadap kamera. Gambar 2 memperlihatkan contoh dari gambar wajah yang berasal dari dataset Extended Yale Face Database (EYB) [13], [14]. Dataset EYB ini dipilih karena memberikan Kumpulan data gambar wajah dengan kondisi yang selalu menghadap ke kamera pada saat akuisisi gambar sehingga cocok menjadi dataset dalam penelitian perbandingan metode ekualisasi histogram dan CLAHE. Selain itu, dataset EYB ini dipilih karena memiliki variasi pencahayaan yang gelap terang dengan kondisi yang berbeda-beda sehingga lebih memperlihatkan efek pengaturan kontras yang diteliti pada penelitian ini. Pada diagram blok deteksi wajah pada Gambar 1 memperlihatkan bahwa setelah gambar utuh satu wajah masuk ke dalam sistem pendeteksi, maka sistem akan menjalankan tahap pra-proses dengan variasi

parameter pra-proses. Tahap pra-proses yang dilalui pada penelitian ini adalah ekualisasi histogram (HE) dan Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE). Hasil dari tahap ini adalah gambar utuh wajah yang telah melalui algoritma pra-proses yang diinginkan. Selanjutnya, fitur wajah (mata, hidung, dan mulut) akan terdeteksi menggunakan Algoritma Viola-Jones [15]. Output dari sistem pendeteksi merupakan tampilan hasil fitur yang berhasil terdeteksi oleh sistem.



Gambar 1. Blok Diagram Deteksi Fitur Wajah



Gambar 2. Contoh gambar wajah manusia dataset EYB [13] [14]

A. Histogram Equalization (HE)

Histogram equalization (HE) adalah teknik yang digunakan dalam pemrosesan gambar untuk meningkatkan kontras gambar. Hal ini bertujuan untuk mendistribusikan kembali nilai intensitas suatu citra, sehingga histogram yang dihasilkan menjadi lebih merata di seluruh rentang dinamis. Langkah pertama dalam melakukan teknik ini adalah menghitung histogram dari gambar input, yang mewakili distribusi frekuensi intensitas piksel. Histogram digunakan menghitung jumlah piksel pada setiap tingkat intensitas. Kemudian, akan dihitung fungsi distribusi kumulatif (CDF) dari histogram. CDF mewakili probabilitas setiap intensitas piksel yang terjadi pada gambar. Selanjutnya akan dinormalisasikan CDF untuk memetakan nilai intensitas dari gambar input ke rentang baru. CDF yang dinormalisasi akan memetakan nilai intensitas asli dari setiap piksel dalam gambar input ke nilai yang disamakan yang sesuai. Pemetaan ini mendistribusikan kembali intensitas, secara efektif meningkatkan kontras. Nilai intensitas yang disamakan yang diperoleh di langkah sebelumnya dapat digunakan untuk memperlihatkan gambar yang sudah diatur kontrasnya.

HE akan meregangkan histogram gambar untuk menutupi seluruh rentang dinamis, yang menghasilkan peningkatan

kontras. Ini bisa sangat efektif untuk gambar yang memiliki kontras rendah atau di mana nilai intensitas terkonsentrasi dalam kisaran sempit. Dengan mendistribusikan kembali nilai intensitas, pemerataan histogram dapat meningkatkan visibilitas detail gambar dan meningkatkan tampilan visual.

HE merupakan operasi yang dilakukan secara global dan tidak mempertimbangkan karakteristik atau variasi lokal pada citra. Hal ini dapat mengakibatkan efek yang tidak diinginkan, seperti amplifikasi kebisingan yang berlebihan atau hilangnya detail lokal. Untuk mengatasi keterbatasan ini, variasi adaptif pemerataan histogram, seperti Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE), telah dikembangkan untuk meningkatkan kontras tetapi juga mempertimbangkan karakteristik citra lokal.

B. Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) [16]

CLAHE adalah teknik pemrosesan gambar yang digunakan untuk meningkatkan kontras gambar, khususnya di area dengan variasi tingkat intensitas yang signifikan. CLAHE merupakan peningkatan dari metode ekualisasi histogram tradisional karena menyesuaikan dengan konten gambar lokal, mencegah penguatan daerah yang berlebihan dan menjaga kualitas gambar secara keseluruhan. Meskipun kedua metode tersebut bertujuan untuk meningkatkan kontras gambar, keduanya berbeda dalam cara menangani peningkatan kontras lokal dan menghindari amplifikasi daerah yang berlebihan.

HE beroperasi secara global pada seluruh gambar, mendistribusikan kembali nilai intensitas untuk mencapai histogram yang lebih seragam. Metode ini meregangkan histogram untuk mencakup seluruh rentang dinamis, yang dapat meningkatkan kontras. Namun, HE tidak mempertimbangkan karakteristik lokal dari gambar, dan akibatnya, dapat memperkuat noise dan menghasilkan artefak. Di sisi lain, CLAHE mengatasi keterbatasan pemerataan histogram dengan membagi gambar menjadi tiles atau wilayah yang lebih kecil. Lalu menerapkan HE secara lokal di dalam setiap tiles, menyesuaikan dengan karakteristik spesifik wilayah itu. Dengan membatasi amplifikasi kontras dalam setiap petak, CLAHE mencegah peningkatan yang berlebihan dan menjaga kualitas gambar. Ini dapat meningkatkan kontras area terang dan gelap tanpa mengorbankan detail gambar secara keseluruhan.

Sifat adaptif CLAHE membuatnya sangat berguna untuk gambar dengan iluminasi yang tidak seragam atau area dengan kontras yang bervariasi, seperti gambar medis atau pemandangan alam. Ini dapat secara efektif meningkatkan detail lokal sambil mempertahankan kualitas visual secara keseluruhan. Sementara HE beroperasi secara global pada seluruh gambar, CLAHE beradaptasi secara lokal untuk meningkatkan kontras. Kemampuan CLAHE untuk membatasi amplifikasi kontras dan mempertimbangkan variasi lokal menjadikannya teknik yang lebih canggih dan kuat dibandingkan HE.

Gambar input awalnya akan dibagi menjadi wilayah yang lebih kecil dan tidak tumpang tindih. Setiap petak mewakili wilayah lokal dari gambar. Pada penelitian ini akan dikaji pembagian tiles [8,8] dan [30,30]. Pemilihan tiles ini dilakukan untuk melihat efek tiles yang kecil dengan yang besar dalam hasil deteksi fitur wajah. Kemudian, persamaan histogram

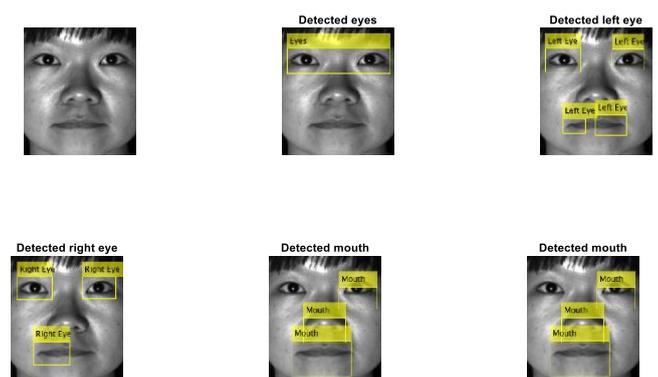
diterapkan secara individual ke setiap tiles yang telah didapatkan pada tahap pembagian tiles sebelumnya. Persamaan ekualisasi histogram mendistribusikan kembali nilai intensitas gambar untuk meningkatkan kontras dengan menyebarkan nilai piksel ke seluruh rentang yang lebih dinamis. Perhitungan Cumulative Distribution Function (CDF) untuk setiap tiles berdasarkan ekualisasi histogram dilakukan dan untuk mencegah amplifikasi kebisingan dan pembentukan artefak, mekanisme pembatasan kontras diterapkan. Ini membatasi amplifikasi kontras dalam setiap tiles. Faktor pembatas menentukan perbedaan maksimum yang diijinkan antara nilai intensitas tetangga. Dilakukan pengulangan step ekualisasi histogram, perhitungan CDF, dan pembatasan kontras untuk setiap tiles yang telah dibagi pada step pertama. Untuk memastikan kelancaran transisi antara tiles tetangga, teknik interpolasi diterapkan. Ini membantu untuk menyatukan tiles yang disamakan, mengurangi batas yang terlihat.

Dengan menerapkan CLAHE, kontras pada gambar dapat ditingkatkan sambil menjaga detail dan mengurangi amplifikasi daerah. Teknik ini sangat berguna untuk gambar dengan iluminasi yang tidak seragam atau variasi kontras lokal yang signifikan, seperti gambar medis, gambar satelit, dan gambar mikroskop. CLAHE telah digunakan pada aplikasi di berbagai bidang, termasuk pemrosesan citra, visi komputer, dan pencitraan medis.

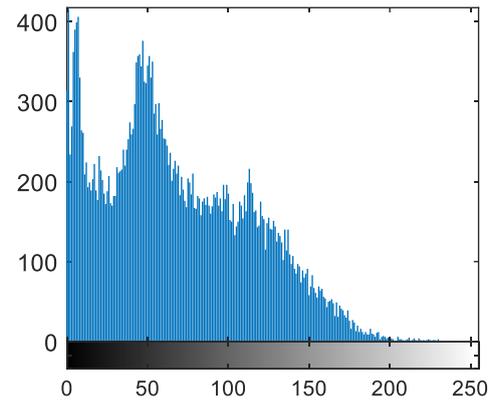
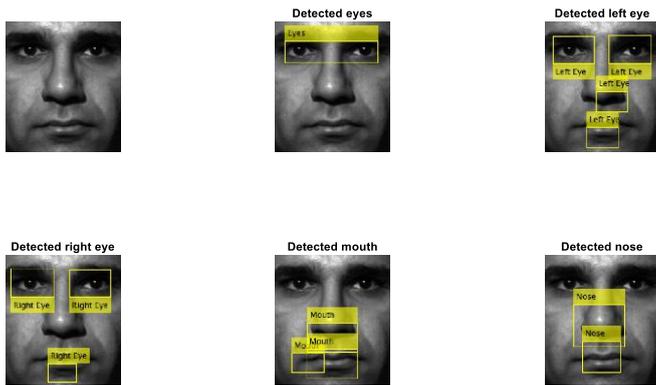
IV. HASIL DAN ANALISA

Pada eksperimen pertama, sistem deteksi fitur wajah akan mendeteksi bagian wajah yang dianggap sebagai area mata. Untuk dapat mencari fitur geometri pada wajah, terlebih dahulu perlu dilakukan identifikasi bagian-bagian wajah seperti mata, alis, hidung, mulut, dsb. Metode Viola-Jones [15] dapat membantu sistem pengenalan dalam mendeteksi bagian-bagian wajah ini.

Hasil deteksi dapat dilihat pada Gambar 3 berikut untuk responden wanita dan Gambar 4 untuk responden pria. Terlihat bahwa ketika mendeteksi kedua mata, baik responden pria dan wanita berhasil mendeteksi area mata dengan metode Viola Jones ini. Tetapi ketika deteksi mata kiri atau mata kanan saja, baik responden Wanita dan pria, metode Viola-Jones masih tidak akurat dalam mendeteksi mata kiri atau kanan. Begitu pula error terjadi ketika mendeteksi mulut dan hidung.



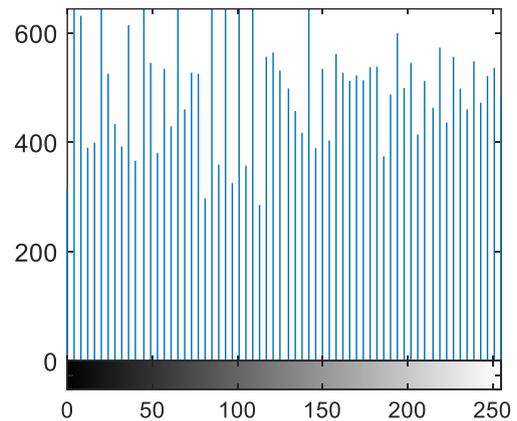
Gambar 3. Hasil Deteksi Fitur Wajah untuk responden wanita.



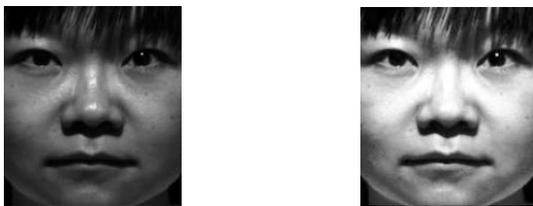
(a)

Gambar 4. Hasil Deteksi Fitur Wajah untuk responden pria

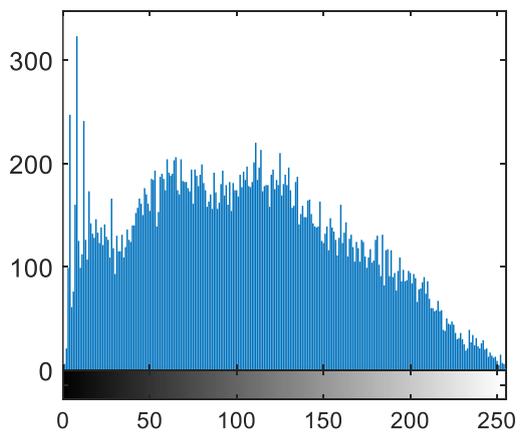
Pada percobaan selanjutnya, dilakukan terlebih dahulu metode pra-proses menggunakan Histogram Equalization (HE) dan Adaptive Equalization dengan metode CLAHE. Adapun metode CLAHE akan meningkatkan kontras dari gambar wajah dengan melakukan ekualisasi histogram secara adaptive. Hasil peningkatan kontras terlihat pada Gambar 5 dan Gambar 6 berikut dimana gambar kiri adalah gambar original sebelum pra-proses dan gambar kanan adalah hasil setelah diterapkan metode. Gambar 7 memperlihatkan hasil histogram baik dari gambar asli, hasil HE dan hasil CLAHE. Terlihat bahwa hasil histogram setelah proses HE memperlihatkan histogram yang lebih terdistribusi secara merata akan tetapi berbeda dengan HE, hasil proses CLAHE memperlihatkan bahwa walau hasil tidak rata seperti pada HE, beberapa nilai histogram pada gambar asli yang tidak ada atau kecil, contohnya pada nilai keabuan 200 ke atas, pada hasil CLAHE berhasil diperbaiki.



(b)



Gambar 5. Hasil Penerapan HE: (kiri) gambar asli (kanan) gambar setelah HE



(c)



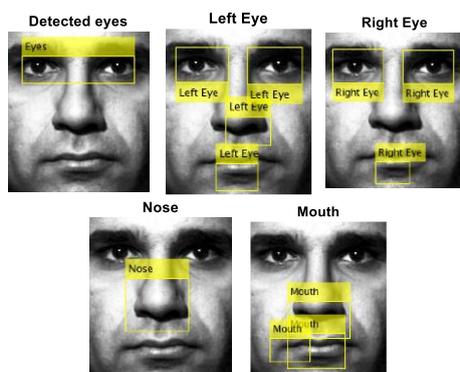
Gambar 6. Hasil Penerapan CLAHE: (kiri) gambar asli (kanan) gambar setelah CLAHE

Gambar 7. (a) histogram citra asli, (b) histogram citra setelah HE, dan (c) histogram citra setelah CLAHE

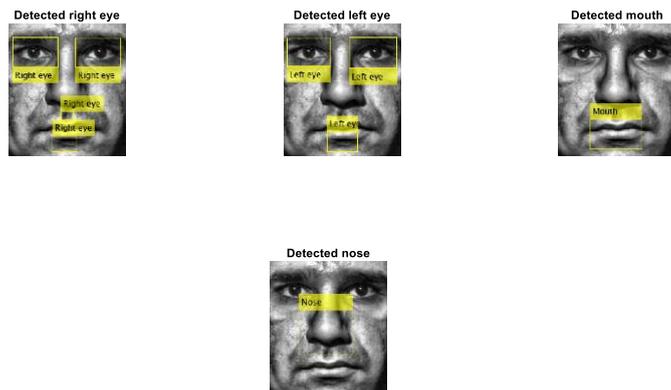
Setelah dilakukan ekualisasi dengan HE dan CLAHE maka percobaan deteksi bagian fitur wajah akan dilakukan kembali. Terlihat pada Gambar 8 hasil pra-proses dengan HE bahwa walaupun berangkat dari gambar asli masih terdapat error pada pendeteksian fitur wajah, akan tetapi hasil proses dengan HE

terlihat dapat mendeteksi hidung dengan benar. Pada Gambar 9, terlihat penerapan CLAHE telah memperbaiki hasil deteksi metode Viola-Jones yang dapat secara akurat mendeteksi bagian mulut dan hidung, akan tetapi masih terdapat error dalam mendeteksi bagian mata kiri saja atau mata kanan saja.

Percobaan selanjutnya dilakukan dengan memperbanyak area pembagian fitur wajah pada metode CLAHE, sebelumnya dilakukan pembagian ukuran tiles sebesar [8,8] yang dapat dilihat pada Gambar 9. Pada Gambar 10, metode Viola-Jones berhasil mendeteksi lebih baik walau belum 100% akurat mata kiri saja dan kanan saja dengan memperbesar ukuran tiles menjadi sebesar [30,30].



Gambar 8. Hasil Deteksi Fitur Wajah setelah menggunakan metode pra-proses HE



Gambar 9. Hasil Deteksi Fitur Wajah setelah menggunakan metode pra-proses CLAHE



Gambar 10. Hasil Deteksi Fitur Wajah setelah menggunakan metode pra-proses CLAHE dengan ukuran tiles [30,30]

V. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dibandingkan metode pra-proses dengan Histogram Equalization dan Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) sebagai tahap awal dalam mendeteksi fitur di wajah seperti mata (kiri dan kanan), hidung dan mulut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil CLAHE memperlihatkan histogram yang tidak serata HE akan tetapi lebih berhasil mendeteksi bagian fitur wajah, terutama pada fitur hidung dan mulut. CLAHE sebagai metode ekualisasi histogram yang secara lokal pada destinasi tiles dengan ukuran yang dapat disesuaikan terlihat dapat memperbaiki hasil pendeteksi fitur pada wajah. Diharapkan dengan deteksi fitur wajah yang lebih akurat akan mendukung sistem pengenalan wajah yang lebih stabil dan minim error.

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah dengan memperbanyak variasi parameter pada metode CLAHE, seperti variasi nilai tiles dan batas cropping, dan menggabungkannya dengan metode pra-proses lainnya sehingga lebih baik dalam mendeteksi fitur wajah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung dan didanai oleh skema penelitian internal LPPM Universitas Mercu Buana Jakarta tahun 2023.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Ouarda, H. Trichili, A. M. Alimi and B. Solaiman, "Face recognition based on geometric features using Support Vector Machines," 2014 6th International Conference of Soft Computing and Pattern Recognition (SoCPaR), 2014, pp. 89-95, doi: 10.1109/SOCPAR.2014.7007987.
- [2] S. Guennoui, A. Mansouri, and A. Ahaitouf, Biometric Systems and Their Applications. Visual Impairment and Blindness - What We Know and What We Have to Know," 2019 <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.84845>.
- [3] G. Palestra, et al. "Improved performance in facial expression recognition using 32 geometric features." International Conference on Image Analysis and Processing, Springer, Cham, 2015.
- [4] A. Aryal, and B. Becerik-Gerber, "Skin Temperature Extraction Using Facial Landmark Detection and Thermal Imaging for Comfort Assessment," Proceedings of the 6th ACM International Conference on Systems for Energy-Efficient Buildings, Cities, and Transportation. <https://doi.org/10.1145/3360322.3360848>.
- [5] P. Terhorst, J. Kolf, M. Huber, F. Kirchbuchner, N. Damer, A. Morales, J. Fierrez, and A. Kuijper, "A Comprehensive Study on Face Recognition Biases Beyond Demographics." IEEE Transactions on Technology and Society, 3, 16-30. 2021. <https://doi.org/10.1109/ts.2021.3111823>.
- [6] P. Karczmarek, W. Pedrycz, A. Kiersztyn, A. P. Rutka, "A study in facial features saliency in face recognition: an analytic hierarchy process approach," Soft Comput. 2017, 21, 7503–7517.
- [7] M. Chaudhari, M. Deshmukh, G. Ramrakhiani, and R. Parvatikar, "Face Detection Using Viola Jones Algorithm and Neural Networks." 2018 Fourth International Conference on Computing Communication Control and Automation (ICCUBEA), 1-6. 2018. <https://doi.org/10.1109/ICCUBEA.2018.8697768>.
- [8] P. Tome, J. Fierrez, R. Vera-Rodriguez, J. Ortega-Garcia, "Combination of Face Regions in Forensic Scenarios," J. Forensic Sci. 60, 1046–1051. 2015.
- [9] Y. Omer, R. Sapir, Y. Hatuka, and G. Yovel, "What Is a Face? Critical Features for Face Detection," Perception, 48, 437 - 446. 2019. <https://doi.org/10.1177/0301006619838734>.
- [10] H. Shah, A. Dinesh, and T. Sharmila, "Analysis of Facial Landmark Features to determine the best subset for finding Face Orientation," 2019 International Conference on Computational Intelligence in Data Science (ICCIDS), 1-4. <https://doi.org/10.1109/ICCIDS.2019.8862093>.

- [11] V. M, S. Rajkumar, M. V. . Kalyan Reddy, and V. . Janesh, "Detection of Post COVID-Pneumonia Using Histogram Equalization, CLAHE Deep Learning Techniques", ia, vol. 26, no. 72, pp. 137–145, Sep. 2023.
- [12] F.M. Hana, I.D. Maulida, "Analysis of contrast limited adaptive histogram equalization (CLAHE) parameters on finger knuckle print identification," InJournal of Physics: Conference Series 2021 Feb 1 (Vol. 1764, No. 1, p. 012049). IOP Publishing.
- [13] A.S. Georghiades, P. N. Belhumeur and D. J. Kriegman, "From few to many: illumination cone models for face recognition under variable lighting and pose," in IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 23, no. 6, pp. 643-660, June 2001, doi: 10.1109/34.927464.
- [14] K. C. Lee, J. Ho, and D.J. Kriegman, "Acquiring linear subspaces for face recognition under variable lighting," IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, 27(5), 684-698. 2005.
- [15] P. Viola and M. Jones, "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features," Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. CVPR 2001, Kauai, HI, USA, 2001, pp. I-I, doi: 10.1109/CVPR.2001.990517.
- [16] K. Zuiderveld, "Contrast limited adaptive histogram equalization". Graphics gems, 474-485. 1994.