

Penerapan Histogram Normalisasi untuk Peningkatan Kontras Pencahayaan pada Pengamatan Visual CCTV

Saluky^{1*)}, Yoni Marine², Nurul Bahiyah³

¹Jurusan Tadris Matematika, FITK, IAIN Syekh Nurjati, Cirebon

²Research&Development, Etunas Sukses Sistem, Cirebon

³Jurusan IAT, FUAD, IAIN Syekh Nurjati, Cirebon

^{1,3}Jln. Perjuangan ByPass Sunyaragi, Cirebon, Indonesia

²Jln. Perjuangan ByPass Sunyaragi, Cirebon, Indonesia

email: ¹saluky@syekhnurjati.ac.id, ²yonimarine@etunas.com, ³nurulbahiyah@syekhnurjati.ac.id

Abstract- Visual observation through Closed-Circuit Television (CCTV) systems is an important method for security and monitoring in various fields such as transportation, banking and public security. However, in lighting situations that are not ideal, the image quality produced by CCTV can decrease due to low lighting contrast. Therefore, an effective image processing technique is needed to increase lighting contrast and optimize visual information that can be obtained from CCTV footage. This paper proposes the application of the histogram normalization method as a solution to increase lighting contrast in visual observations through CCTV. By normalizing the histogram, the exposure contrast is significantly increased, so that details hidden by low lighting become more visible. This method is applied adaptively to each frame of CCTV footage, resulting in a consistent increase in contrast throughout the footage. To evaluate the performance of the normalized histogram method, experiments were carried out on a number of CCTV recordings with varying lighting conditions. The experimental results show that the application of a normalized histogram effectively increases the lighting contrast in CCTV footage. Compared to the original recording, the recording that has been processed with a normalized histogram shows improved sharpness, legibility, and better object identification ability. By using the normalized histogram method, CCTV systems can produce clearer images and more useful visual information in low lighting conditions. This increase in lighting contrast has the potential to improve the performance of surveillance systems, identify important objects, and support more accurate decision making in the field of security and monitoring.

Keywords: histogram normalization, contrast enhancement, image, image quality.

Abstrak- Pengamatan visual melalui sistem Closed-Circuit Television (CCTV) menjadi metode yang penting untuk keamanan dan pemantauan di berbagai bidang seperti transportasi, perbankan, dan keamanan publik. Namun, dalam situasi pencahayaan yang tidak ideal, kualitas gambar yang dihasilkan oleh CCTV dapat menurun akibat kontras pencahayaan yang rendah. Oleh karena itu, diperlukan teknik pemrosesan citra yang efektif untuk meningkatkan kontras pencahayaan dan mengoptimalkan informasi visual yang dapat diperoleh dari rekaman CCTV. Paper ini mengusulkan penerapan metode histogram normalisasi sebagai solusi untuk meningkatkan kontras pencahayaan pada pengamatan visual melalui CCTV. Dengan melakukan normalisasi histogram, kontras pencahayaan meningkat secara signifikan, sehingga

detail yang tersembunyi akibat pencahayaan yang rendah menjadi lebih terlihat. Metode ini diterapkan secara adaptif pada setiap frame rekaman CCTV, sehingga menghasilkan peningkatan kontras yang konsisten pada seluruh rekaman. Untuk mengevaluasi kinerja metode histogram normalisasi, dilakukan eksperimen pada sejumlah rekaman CCTV dengan kondisi pencahayaan yang bervariasi. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa penerapan histogram normalisasi secara efektif meningkatkan kontras pencahayaan dalam rekaman CCTV. Dibandingkan dengan rekaman asli, rekaman yang telah diproses dengan histogram normalisasi menunjukkan peningkatan ketajaman, keterbacaan, dan kemampuan identifikasi objek yang lebih baik. Dengan menggunakan metode histogram normalisasi, sistem CCTV dapat menghasilkan gambar yang lebih jelas dan informasi visual yang lebih berguna dalam kondisi pencahayaan yang rendah. Peningkatan kontras pencahayaan ini berpotensi meningkatkan kinerja sistem pengawasan, mengidentifikasi objek yang penting, serta mendukung pengambilan keputusan yang lebih akurat dalam bidang keamanan dan pemantauan.

Kata kunci: normalisasi histogram, peningkatan kontras, citra, kualitas citra.

I. PENDAHULUAN

Peningkatan Kontras Pencahayaan dengan Menggunakan Histogram Normalisasi didasarkan pada peran pentingnya kualitas visual dalam aplikasi berbagai bidang, seperti pengawasan keamanan [1], [2], industri media dan entertainment [3], serta bidang ilmu pengetahuan dan teknologi. Dalam beberapa aplikasi, seperti sistem pengawasan CCTV[4], video yang diperoleh sering kali memiliki tingkat kontras yang rendah dan detail yang tidak jelas [5], [6], [7] yang menyulitkan identifikasi dan analisis gambar. Oleh karena itu, sangat penting untuk meningkatkan kualitas visual dari video untuk memastikan hasil yang akurat dan dapat diandalkan.

Metode normalisasi histogram adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan kontras pada video[8]. Metode ini mengoreksi distribusi intensitas piksel dalam video, sehingga memungkinkan kontras yang lebih baik dan visual yang lebih jelas. Normalisasi histogram mengoreksi intensitas piksel dalam video dengan mengubah distribusi intensitas piksel menjadi distribusi intensitas yang lebih uniform [9]. Pada penelitian sebelumnya, deteksi objek melalui CCTV hanya menggunakan penentuan region of

*) penulis korespondensi: Saluky
Email: saluky@syekhnurjati.ac.id

interest (ROI) untuk mengurangi kebisingan di sekitar objek yang dideteksi [10], [11], dengan cara ini kontrasi dari frame masih belum ditingkatkan sehingga masih banyak informasi yang terlewatkan karena keterbatasan deteksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas metode normalisasi histogram dalam meningkatkan kontras pada video dan membandingkannya dengan metode peningkatan kontras lainnya[12], [13]. Studi ini akan melibatkan aplikasi metode normalisasi histogram pada video yang diperoleh dari sistem pengawasan CCTV dan hasil akan dibandingkan dengan video sebelum diterapkan normalisasi histogram. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan metode yang lebih baik untuk meningkatkan kualitas visual pada video yang diperoleh dari sistem pengawasan CCTV dan aplikasi lainnya.

II. PENELITIAN YANG TERKAIT

Ada banyak penelitian yang telah dilakukan mengenai penggunaan histogram normalisasi untuk meningkatkan kontras pencahayaan pada gambar digital. Berikut ini adalah beberapa contoh penelitian terkait:

- *A comparison of contrast enhancement techniques*[14], [15], [16]. Penelitian ini membahas teknik peningkatan kontras pada gambar retina menggunakan histogram normalisasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknik histogram normalisasi dapat meningkatkan kontras dan kualitas gambar retina secara signifikan[17].
- *Optimized Contrast Enhancement*[18],[19] Penelitian ini membahas teknik peningkatan kontras pada gambar inframerah menggunakan histogram normalisasi [20]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknik histogram normalisasi dapat meningkatkan kontras gambar inframerah secara efektif dan secara signifikan meningkatkan kualitas gambar inframerah[21].
- *Comparison of Image Enhancement Techniques* [22], [23] Penelitian ini membahas teknik peningkatan kontras pada gambar kendaraan menggunakan histogram normalisasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknik histogram normalisasi dapat meningkatkan kontras gambar kendaraan dan secara signifikan meningkatkan akurasi deteksi kendaraan menggunakan sistem visi berbasis gambar.

Pada penelitian tersebut menunjukkan bahwa histogram normalisasi adalah teknik yang efektif untuk meningkatkan kontras pencahayaan pada berbagai jenis gambar digital. Dalam setiap penelitian, teknik histogram normalisasi terbukti mampu meningkatkan kualitas gambar dengan meningkatkan kontras dan meningkatkan deteksi objek pada gambar. Namun, perlu diingat bahwa efektivitas teknik histogram normalisasi sangat tergantung pada jenis gambar dan kondisi pencahayaan, sehingga perlu dilakukan pengujian dan eksperimen yang cermat untuk menentukan pengaturan yang paling tepat dalam penerapan teknik histogram normalisasi [24], [25].

III. METODE PENELITIAN

Histogram normalisasi adalah salah satu teknik pemrosesan citra yang digunakan untuk meningkatkan

kontras gambar dengan mengubah distribusi intensitas piksel pada gambar. Metode ini didasarkan pada asumsi bahwa sebuah gambar yang baik memiliki distribusi intensitas piksel yang merata di seluruh rentang intensitas. Oleh karena itu, teknik histogram normalisasi bertujuan untuk mengubah distribusi intensitas piksel[26] agar merata di seluruh rentang intensitas [27].

Ada dua metode yang umum digunakan dalam teknik histogram normalisasi, yaitu:

A. Global histogram normalisasi

Metode ini melibatkan normalisasi histogram seluruh gambar [28]. Pertama, histogram gambar dihitung, yaitu distribusi frekuensi intensitas piksel di seluruh gambar. Kemudian, histogram tersebut diubah sedemikian rupa sehingga distribusi intensitas piksel menjadi merata di seluruh rentang intensitas. Metode ini sangat sederhana dan mudah diimplementasikan, namun mungkin tidak efektif untuk gambar yang memiliki area yang gelap atau terang secara signifikan.

Normalisasi Histogram menskalakan nilai piksel secara linear untuk menggunakan secara penuh jangkauan yang tersedia.

$$S_k = \frac{n_k - \min(n)}{\max(n) - \min(n)} \times (L - 1) \quad (1)$$

Dimana

n_k = nilai grayscale dari piksel ke k ($k = 0, 1, 2, 3, \dots$)

$\min$ = nilai grayscale terkecil yang diperoleh dari histogram

$\max$ = nilai grayscale terbesar

L = range nilai grayscale citra

Berikut adalah contoh implementasi Global Histogram Normalisasi pada gambar menggunakan bahasa pemrograman Python dan library OpenCV:

```
1 import cv2
2 # membaca gambar
3 img = cv2.imread('gambar.png')
4 # konversi gambar ke grayscale
5 gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
6
7 # menghitung histogram gambar
8 hist = cv2.calcHist([gray], [0], None, [256], [0, 256])
9 # menormalisasi histogram
10 hist_norm = cv2.normalize(hist, hist, 0, 255, cv2.NORM_MINMAX)
11 # membuat lookup table
12 lut = cv2.LUT(gray, hist_norm)
13 # menampilkan gambar hasil normalisasi
14 cv2.imshow('Normalisasi Histogram', lut)
15 cv2.waitKey(0)
16 cv2.destroyAllWindows()
```

Gbr 1: Global Histogram Normalisasi

Beberapa langkah yang dilakukan, yaitu:

- Membaca gambar dengan menggunakan fungsi `cv2.imread()` dari library OpenCV.
- Mengonversi gambar menjadi grayscale dengan menggunakan fungsi `cv2.cvtColor()`.
- Menghitung histogram gambar menggunakan fungsi `cv2.calcHist()`. Argumen pertama adalah gambar yang akan dihitung histogramnya, argumen kedua adalah channel yang akan dihitung histogramnya (0 untuk grayscale), argumen ketiga adalah mask (jika tidak ada mask, gunakan None), argumen keempat adalah jumlah bin histogram, dan argumen kelima adalah range nilai histogram.
- Menormalisasi histogram menggunakan fungsi `cv2.normalize()`. Argumen pertama dan kedua adalah

histogram yang akan dinormalisasi dan histogram normalisasi, argumen ketiga dan keempat adalah range nilai output histogram.

- Membuat lookup table untuk mengaplikasikan perubahan pada gambar menggunakan fungsi `cv2.LUT()`.
- Menampilkan gambar hasil normalisasi menggunakan fungsi `cv2.imshow()`, `cv2.waitKey()`, dan `cv2.destroyAllWindows()`.

B. Local histogram equalization

Metode ini melibatkan normalisasi histogram pada setiap bagian gambar secara independen. Pertama, gambar dibagi menjadi beberapa sub-bagian atau blok. Kemudian, histogram pada setiap sub-bagian dihitung dan diubah sehingga distribusi intensitas piksel menjadi merata di seluruh rentang intensitas. Metode ini lebih kompleks dan membutuhkan lebih banyak sumber daya komputasi, namun lebih efektif dalam meningkatkan kontras pada area yang gelap atau terang secara signifikan.

Implementasi Local Histogram Equalization pada gambar menggunakan bahasa pemrograman Python dan library OpenCV:

```
1 import cv2
2 import numpy as np
3 # membaca gambar
4 img = cv2.imread('gambar.png')
5 # konversi gambar ke grayscale
6 gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
7 # melakukan local histogram equalization pada gambar
8 clahe = cv2.createCLAHE(clipLimit=2.0, tileGridSize=(8, 8))
9 cl = clahe.apply(gray)
10 # menampilkan gambar hasil normalisasi
11 cv2.imshow('Local Histogram Equalization', cl)
12 cv2.waitKey(0)
13 cv2.destroyAllWindows()
```

Gbr 2: Local histogram equalization

Beberapa langkah yang dilakukan, yaitu:

- Membaca gambar dengan menggunakan fungsi `cv2.imread()` dari library OpenCV.
- Mengonversi gambar menjadi grayscale dengan menggunakan fungsi `cv2.cvtColor()`.
- Melakukan local histogram equalization pada gambar menggunakan fungsi `cv2.createCLAHE()`. Argumen `clipLimit` adalah nilai batas untuk kontras lokal yang akan diterapkan pada citra, dan argumen `tileGridSize` adalah ukuran grid yang digunakan untuk histogram equalization.
- Menampilkan gambar hasil normalisasi menggunakan fungsi `cv2.imshow()`, `cv2.waitKey()`, dan `cv2.destroyAllWindows()`.

Dalam metode Local Histogram Equalization [29] [30], citra dibagi menjadi beberapa sub-blok, kemudian histogram equalization diterapkan pada setiap sub-blok tersebut. Hal ini dapat membantu meningkatkan kontras pada bagian citra yang terlalu gelap atau terlalu terang. Dalam contoh di atas, ukuran sub-blok yang digunakan adalah 8x8 piksel.

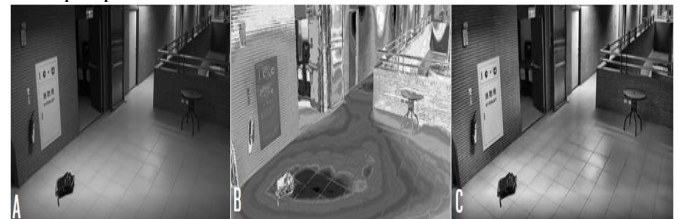
Kedua metode ini dapat diterapkan pada berbagai jenis gambar digital dan sering digunakan dalam aplikasi pengolahan citra, termasuk pada peningkatan kontras pencahayaan untuk meningkatkan kualitas gambar. Namun, perlu diingat bahwa setiap metode memiliki kelebihan dan kekurangan tertentu, dan pemilihan metode yang tepat tergantung pada jenis gambar dan tujuan pemrosesan citra yang ingin dicapai.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari peningkatan kontras pencahayaan dengan menggunakan histogram normalisasi adalah peningkatan kontras pada citra, yang dapat membuat gambar menjadi lebih jelas dan terlihat lebih detail. Histogram normalisasi bertujuan untuk mengubah distribusi intensitas piksel pada gambar agar memiliki rentang nilai yang lebih optimal, yaitu antara 0 hingga 255.

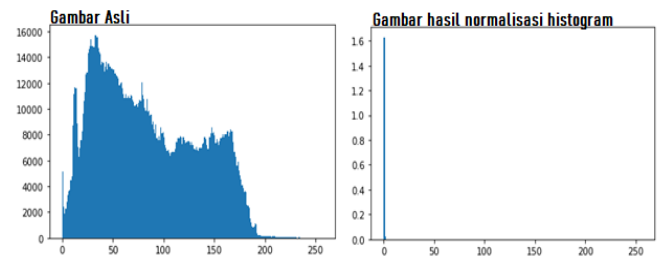
Dalam proses normalisasi histogram, nilai intensitas piksel pada seluruh citra diperbarui dengan cara memetakan intensitas piksel yang asli ke nilai yang lebih optimal dalam rentang 0 hingga 255. Dengan mengubah distribusi intensitas piksel, maka nilai intensitas piksel pada citra yang sebelumnya terlalu gelap atau terlalu terang dapat diatur ulang sehingga terlihat lebih terang atau lebih gelap sesuai dengan kebutuhan.

Dalam metode global histogram equalization, pengaturan nilai intensitas piksel dilakukan pada seluruh citra secara keseluruhan, sedangkan pada metode local histogram equalization, pengaturan nilai intensitas piksel dilakukan pada sub-blok citra, sehingga lebih fokus pada detail-detail yang terdapat pada sub-blok tersebut.



Gbr 3: A. Gambar asli, B. Gambar hasil global histogram equalization, C. Local histogram equalization. Sumber gambar dari dataset ABODA [31].

Pada hasil penggambaran gambar asli dengan hasil histogram ditunjukkan pada gambar 2.



Gbr 4: Perbandingan histogram dari gambar asli dengan gambar hasil normalisasi

Dengan menggunakan histogram normalisasi, gambar yang tadinya kurang jelas dan kontras dapat ditingkatkan sehingga lebih mudah untuk diamati dan dianalisis, terutama pada gambar yang memiliki kontras rendah dan kurang detail. Hasil dari peningkatan kontras dengan local histogram normalisasi lebih baik dibandingkan dengan global histogram normalisasi, hal ini disebabkan karena peningkatan bersifat umum pada semua piksel sehingga menghasilkan warna yang terlalu kontras pada global histogram normalisasi.

V. KESIMPULAN

Penggunaan teknik peningkatan kontras pencahayaan dengan menggunakan histogram normalisasi dapat meningkatkan kualitas citra pada berbagai aplikasi pengolahan citra, seperti di bidang keamanan, industri, pertanian, dan lain sebagainya. Dalam proses normalisasi histogram, teknik-teknik seperti global histogram equalization dan local histogram equalization dapat digunakan untuk mengatur distribusi intensitas piksel pada citra. Selain itu, berbagai variasi teknik histogram equalization seperti adaptive histogram equalization, contrast limited adaptive histogram equalization (CLAHE), dan modified histogram equalization (MHE) juga telah dikembangkan untuk meningkatkan performa teknik histogram equalization dalam mengatasi kekurangan pada metode konvensional. Namun, perlu diingat bahwa penggunaan teknik histogram normalisasi juga memiliki kelemahan, terutama pada citra dengan variasi intensitas piksel yang sangat ekstrem atau terlalu kontras. Oleh karena itu, untuk mengatasi masalah tersebut, perlu dikombinasikan dengan teknik pengolahan citra lainnya seperti teknik filtering, morphological operation, atau teknik segmentasi citra. Dalam keseluruhan, teknik peningkatan kontras pencahayaan dengan menggunakan histogram normalisasi menjadi salah satu teknik penting dalam pengolahan citra, yang dapat meningkatkan kualitas citra dan memberikan dampak positif pada berbagai aplikasi yang memanfaatkan teknologi pengolahan citra.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Chumuang, M. Ketcham, and T. Yingthawornsuk, "CCTV based surveillance system for railway station security," in *2018 International Conference on Digital Arts, Media and Technology (ICDAMT)*, Phayao: IEEE, Feb. 2018, pp. 7–12. doi: 10.1109/ICDAMT.2018.8376486.
- [2] Saluky, S. H. Supangkat, and F. F. Lubis, "Moving Image Interpretation Models to Support City Analysis," in *2018 International Conference on ICT for Smart Society (ICISS)*, Semarang: IEEE, Oct. 2018, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICTSS.2018.8550012.
- [3] H. Aditya, T. Gayatri, T. Santosh, S. Ankalaki, and J. Majumdar, "Performance analysis of video segmentation," in *2017 4th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS)*, Coimbatore, India: IEEE, Jan. 2017, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICACCS.2017.8014567.
- [4] S. Saluky, "A Survey on Abandoned Objects Detection from CCTV Surveillance," *ITEJ Inf. Technol. Eng. J.*, vol. 5, no. 2, pp. 105–118, Dec. 2020, doi: 10.24235/itej.v5i2.53.
- [5] E. S. Yelmanova and Y. M. Romanyshyn, "Adaptive enhancement of monochrome images with low-contrast objects," in *2017 12th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*, Lviv: IEEE, Sep. 2017, pp. 421–424. doi: 10.1109/STC-CSIT.2017.8098820.
- [6] Y. Zhu, Y. Wang, X. Tao, and W. Tang, "Utility of apparent diffusion coefficient histogram analysis in differentiating benign and malignant palate lesions," *Eur. J. Radiol.*, vol. 157, p. 110566, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.ejrad.2022.110566.
- [7] T. Njølstad, K. Jensen, A. Dybwad, Ø. Salvesen, H. K. Andersen, and A. Schulz, "Low-contrast detectability and potential for radiation dose reduction using deep learning image reconstruction—A 20-reader study on a semi-anthropomorphic liver phantom," *Eur. J. Radiol. Open*, vol. 9, p. 100418, 2022, doi: 10.1016/j.ejro.2022.100418.
- [8] L. Zhang, W. Zhou, J. Li, J. Li, and X. Lou, "Histogram of Oriented Gradients Feature Extraction Without Normalization," in *2020 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems (APCCAS)*, Ha Long, Vietnam: IEEE, Dec. 2020, pp. 252–255. doi: 10.1109/APCCAS50809.2020.9301715.
- [9] A. Shifa et al., "Joint Crypto-Stego Scheme for Enhanced Image Protection With Nearest-Centroid Clustering," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 16189–16206, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2815037.
- [10] Y. Tian, R. S. Feris, H. Liu, A. Hampapur, and M.-T. Sun, "Robust Detection of Abandoned and Removed Objects in Complex Surveillance Videos," *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part C Appl. Rev.*, vol. 41, no. 5, pp. 565–576, Sep. 2011, doi: 10.1109/TSMCC.2010.2065803.
- [11] W. Liu, P. Liu, C. Xiao, and R. Hu, "General-purpose Abandoned Object Detection Method without Background Modeling," in *2021 IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques (IST)*, Kaohsiung, Taiwan: IEEE, Aug. 2021, pp. 1–5. doi: 10.1109/IST50367.2021.9651400.
- [12] G. Hemalatha and C. P. Sumathi, "Preprocessing techniques of facial image with Median and Gabor filters," in *2016 International Conference on Information Communication and Embedded Systems (ICICES)*, Chennai, Tamilnadu, India: IEEE, Feb. 2016, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICICES.2016.7518860.
- [13] M.-D. Yang, T.-C. Su, N.-F. Pan, and P. Liu, "Feature extraction of sewer pipe defects using wavelet transform and Co-occurrence matrix," *Int. J. Wavelets Multiresolution Inf. Process.*, vol. 09, no. 02, pp. 211–225, Mar. 2011, doi: 10.1142/S0219691311004055.
- [14] Aliaa A. A. Youssif, Atef Z. Ghalwash, and Amr S. Ghoneim, "Comparative Study of Contrast Enhancement and Illumination Equalization Methods for Retinal Vasculature Segmentation," *PROC CAIRO Int. Biomed. Eng. Conf. 2006*©.
- [15] E. S. Varnousfaderani, S. Yousefi, A. Belghith, and M. H. Goldbaum, "Luminosity and contrast normalization in color retinal images based on standard reference image," presented at the SPIE Medical Imaging, M. A. Styner and E. D. Angelini, Eds., San Diego, California, United States, Mar. 2016, p. 97843N. doi: 10.1117/12.2217131.
- [16] K. Akila, L. S. Jayashree, and A. Vasuki, "Mammographic Image Enhancement Using Indirect Contrast Enhancement Techniques – A Comparative Study," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 47, pp. 255–261, 2015, doi: 10.1016/j.procs.2015.03.205.
- [17] A. A.-H. A.-R. Youssif, A. Z. Ghalwash, and A. A. S. A.-R. Ghoneim, "Optic Disc Detection From Normalized Digital Fundus Images by Means of a Vessels' Direction Matched Filter," *IEEE Trans. Med. Imaging*, vol. 27, no. 1, pp. 11–18, 2008, doi: 10.1109/TMI.2007.900326.
- [18] C. Liu, X. Sui, X. Kuang, Y. Liu, G. Gu, and Q. Chen, "Optimized Contrast Enhancement for Infrared Images Based on Global and Local Histogram Specification," *Remote Sens.*, vol. 11, no. 7, p. 849, Apr. 2019, doi: 10.3390/rs11070849.
- [19] L. Maurya, V. Lohchab, P. Kumar Mahapatra, and J. Abonyi, "Contrast and brightness balance in image enhancement using Cuckoo Search-optimized image fusion," *J. King Saud Univ. - Comput. Inf. Sci.*, vol. 34, no. 9, pp. 7247–7258, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.jksuci.2021.07.008.

- [20] A. Mariampillai *et al.*, "Optimized speckle variance OCT imaging of microvasculature," *Opt. Lett.*, vol. 35, no. 8, p. 1257, Apr. 2010, doi: 10.1364/OL.35.001257.
- [21] B. Neupane, T. Horanont, and N. D. Hung, "Deep learning based banana plant detection and counting using high-resolution red-green-blue (RGB) images collected from unmanned aerial vehicle (UAV)," *PLOS ONE*, vol. 14, no. 10, p. e0223906, Oct. 2019, doi: 10.1371/journal.pone.0223906.
- [22] J. Saenpaen, S. Arwatchananukul, and N. Aunsri, "A Comparison of Image Enhancement Methods for Lumbar Spine X-ray Image," in *2018 15th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, Chiang Rai, Thailand: IEEE, Jul. 2018, pp. 798–801. doi: 10.1109/ECTICon.2018.8620040.
- [23] Z. Nabi, R. Chavan, M. Ramchandani, S. Darisetty, and D. N. Reddy, "Endoscopic submucosal dissection and tunneling procedures using novel image-enhanced technique," *VideoGIE*, vol. 7, no. 4, pp. 158–163, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.vgie.2021.11.005.
- [24] K. Osorio, A. Puerto, C. Pedraza, D. Jamaica, and L. Rodríguez, "A Deep Learning Approach for Weed Detection in Lettuce Crops Using Multispectral Images," *AgriEngineering*, vol. 2, no. 3, pp. 471–488, Aug. 2020, doi: 10.3390/agriengineering2030032.
- [25] T. Kaur and R. K. Sidhu, "Performance Evaluation of Fuzzy and Histogram Based Color Image Enhancement," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 58, pp. 470–477, 2015, doi: 10.1016/j.procs.2015.08.009.
- [26] M. A. Hameed, M. Hassaballah, S. Aly, and A. I. Awad, "An Adaptive Image Steganography Method Based on Histogram of Oriented Gradient and PVD-LSB Techniques," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 185189–185204, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2960254.
- [27] Q. Chen *et al.*, "A Survey on an Emerging Area: Deep Learning for Smart City Data," *IEEE Trans. Emerg. Top. Comput. Intell.*, vol. 3, no. 5, pp. 392–410, Oct. 2019, doi: 10.1109/TETCI.2019.2907718.
- [28] S. Agrawal, R. Panda, P. K. Mishro, and A. Abraham, "A novel joint histogram equalization based image contrast enhancement," *J. King Saud Univ. - Comput. Inf. Sci.*, vol. 34, no. 4, pp. 1172–1182, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.jksuci.2019.05.010.
- [29] P. Jagannathan, S. Rajkumar, J. Frnda, P. B. Divakarachari, and P. Subramani, "Moving Vehicle Detection and Classification Using Gaussian Mixture Model and Ensemble Deep Learning Technique," *Wirel. Commun. Mob. Comput.*, vol. 2021, pp. 1–15, May 2021, doi: 10.1155/2021/5590894.
- [30] F. Daumas-Ladouce, M. García-Torres, J. L. Vázquez Noguera, D. P. Pinto-Roa, and H. Legal-Ayala, "Multi-Objective Pareto Histogram Equalization," *Electron. Notes Theor. Comput. Sci.*, vol. 349, pp. 3–23, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.entcs.2020.02.010.
- [31] K. Lin, S.-C. Chen, C.-S. Chen, D.-T. Lin, and Y.-P. Hung, "Abandoned Object Detection via Temporal Consistency Modeling and Back-Tracing Verification for Visual Surveillance," *IEEE Trans. Inf. Forensics Secur.*, vol. 10, no. 7, pp. 1359–1370, Jul. 2015, doi: 10.1109/TIFS.2015.2408263.