

## PENINGKATAN KUALITAS CITRA MALARIA MENGGUNAKAN METODE *CONTRAST ENHANCEMENT* BERBASIS HISTOGRAM

Doni Setyawan<sup>1</sup>, Aryati Wuryandari<sup>2</sup>, Rahmat Ari Wibowo<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Informatika, Universitas Widya Dharma, Klaten, Indonesia  
Email: <sup>1</sup>doniset@unwidha.ac.id, <sup>2</sup>aryatiwuryandari@unwidha.ac.id, <sup>3</sup>rahmatariwibowo14@gmail.com

(Naskah masuk: 24 Oktober 2022, diterima untuk diterbitkan: 10 November 2022)

### Abstrak

Akusisi citra digital malaria dapat menghasilkan citra dengan kontras rendah. Hal ini dapat disebabkan karena pengaturan pencahayaan pada mikroskop yang rendah dan penyesuaian parameter pada *image capturing software* yang tidak tepat. Citra malaria dengan kontras rendah dapat menjadikan segmentasi eritrosit dan plasmodium dari *background* menjadi tidak akurat. Segmentasi yang tidak akurat juga berdampak terhadap proses ekstraksi fitur dan klasifikasi pada sistem diagnosis malaria otomatis. Oleh karena itu, diperlukan *contrast enhancement* pada tahap pra pemrosesan untuk menghasilkan citra dengan kualitas yang baik. Pada penelitian ini, kinerja metode *contrast enhancement* berbasis histogram, yaitu *Histogram Equalization* (HE), *Adaptive Histogram Equalization* (AHE), dan *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE) diuji pada citra malaria untuk mengetahui metode yang menghasilkan citra dengan kualitas terbaik. Hasil pengujian pada dataset MP-IBD, metode CLAHE memberikan hasil yang terbaik dengan nilai MSE 482,35 dan PSNR 21,62. Perbaikan kontras menggunakan CLAHE dapat menghasilkan citra dengan visual eritrosit dan plasmodium yang lebih jelas dan *noise* yang minimal.

**Kata kunci:** malaria, contrast enhancement, HE, AHE, CLAHE

## IMPROVEMENT OF MALARIA IMAGES USING HISTOGRAM-BASED CONTRAST ENHANCEMENT METHOD

### Abstract

The low exposure settings of the microscope and the improper adjustment of parameters in the image-capturing software during the digital malaria image acquisition process can produce low-contrast images. Low-contrast malaria images can make the segmentation of erythrocytes and plasmodium from the background inaccurate. Inaccurate segmentation also affects the feature extraction and classification process in automated malaria diagnosis systems. Therefore, contrast enhancement is needed at the pre-processing stage to produce good-quality images. In this study, the performance of histogram-based contrast enhancement methods, namely Histogram Equalization (HE), Adaptive Histogram Equalization (AHE), and Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE), was tested on malaria images to determine which method produces the best quality images. The test results on the MP-IBD dataset, the CLAHE method gave the best results with MSE values of 482.35 and PSNR of 21.62. Contrast improvement using CLAHE produces images with clearer visuals of erythrocytes and plasmodium and minimal noise.

**Keywords:** malaria, contrast enhancement, HE, AHE, CLAHE

### 1. PENDAHULUAN

Malaria adalah penyakit yang ditularkan oleh nyamuk Anopheles betina yang terinfeksi parasit Plasmodium di wilayah beriklim tropis dan subtropis [1]. Terdapat lima jenis plasmodium yang menyebabkan penyakit malaria pada manusia, yaitu plasmodium falciparum, plasmodium vivax, plasmodium malariae, plasmodium ovale, dan plasmodium knowlesi. Setiap plasmodium ini dalam siklus hidupnya akan melalui stadium ring,

trophozoite, schizont, dan gametocyte selama fase infeksi dalam darah tepi [2]. Malaria masih menjadi beban kesehatan global, berdasarkan *World Malaria Report*, pada tahun 2020 diperkirakan sebanyak 627.000 jiwa meninggal akibat malaria [3].

Standar emas dalam pemeriksaan malaria adalah pengamatan visual pada sediaan darah tebal dan tipis menggunakan mikroskop konvensional [4]. Kelebihan penggunaan mikroskop yaitu dapat mengidentifikasi semua spesies plasmodium,

mengetahui resistensi obat, menghitung parasitemia, dan biaya yang lebih murah dibandingkan teknik lainnya [5]. Pemeriksaan mikroskopis juga memiliki kelemahan, yaitu sensitivitas bergantung dari ahli patologi. Selain itu, pemeriksaan dapat menjadi lama apabila kekurangan ahli patologi dan terdapat banyak slide sediaan darah yang harus diperiksa, terutama di fasilitas kesehatan dengan beban yang berlebih. Oleh karena itu, *Computer-aided diagnosis* (CADx) merupakan solusi alternatif dengan biaya rendah untuk mengatasi permasalahan ini [6].

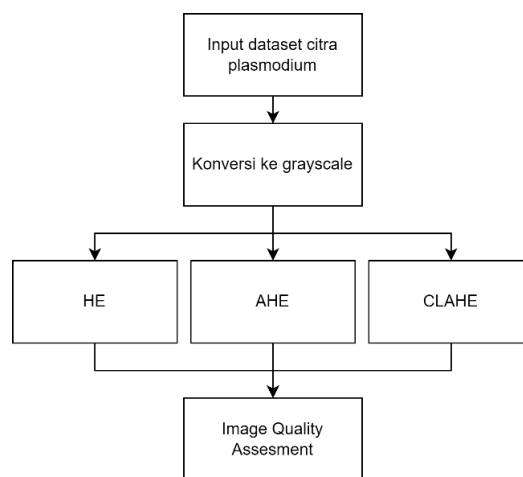
CADx untuk malaria terdiri dari lima tahapan, yaitu akuisisi citra digital sediaan darah, pra pemrosesan citra, segmentasi eritrosit dan plasmodium, ekstraksi fitur, and klasifikasi eritrosit terinfeksi plasmodium beserta spesies plasmodium dan stadiumnya [7]. Pada tahap akuisisi citra digital sediaan darah, dapat menghasilkan citra dengan kontras rendah. Citra berkontras rendah dapat membuat segmentasi eritrosit dan plasmodium menjadi tidak akurat. Pada tahap selanjutnya, segmentasi yang tidak akurat juga berdampak terhadap proses ekstraksi fitur dan klasifikasi pada CADx malaria. Oleh karena itu, diperlukan *contrast enhancement* pada tahap pra pemrosesan untuk menghasilkan citra dengan kualitas yang baik.

Berbagai metode telah dikembangkan untuk meningkatkan kontras citra mikroskopis malaria, seperti *Histogram Equalization* (HE) [8], [9], *Adaptive Histogram Equalization* (AHE) [10], [11], dan *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE) [12], [13]. HE dapat meningkatkan kontras, tetapi rata-rata kecerahan citra menjadi di tengah jangkauan tingkat keabuan [14]. Selain itu, HE tidak memiliki mekanisme untuk mengatur level *enhancement*, sehingga dapat menjadikan citra *over enhanced* pada beberapa region [15]. AHE merupakan versi adaptif dari HE yang beroperasi pada sub region citra. AHE meningkatkan kontras citra dengan mencegah perubahan yang signifikan pada tingkat keabuan. Namun, AHE mengakibatkan *noise* di region yang relatif homogen. CLAHE merupakan varian dari AHE yang bekerja dengan membatasi amplifikasi kontras, sehingga dapat meminimalkan *noise* [16].

Metode HE, AHE, dan CLAHE telah digunakan pada penelitian sebelumnya untuk meningkatkan kontras citra malaria, tetapi kinerjanya belum diperbandingkan. Pada penelitian ini, kinerja dari metode HE, AHE, dan CLAHE akan diuji pada citra malaria yang sama, sehingga dapat diukur manakah metode yang memberikan hasil terbaik pada proses *contrast enhancement* citra digital sediaan darah tipis malaria. Untuk membuktikan kinerja *contrast enhancement* dari setiap metode, digunakan dua *Image Quality Assessments* (IQA), yaitu *Mean Squared Error* (MSE) dan *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR).

## 2. METODE PENELITIAN

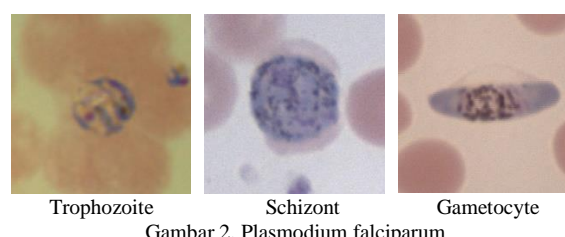
Penelitian ini tersusun dari tahapan input dataset citra plasmodium, konversi ke *grayscale*, *contrast enhancement*, dan *image quality assesment* sebagaimana yang disajikan pada Gambar 1. Metode HE, AHE, dan CLAHE merupakan *non-linear contrast enhancement methods*. Kelemahan dari metode *non-linear* adalah setiap nilai pada citra input dapat memiliki beberapa nilai pada citra output, sehingga objek pada *original scene* dapat kehilangan nilai kecerahan relatif yang tepat [17]. Oleh karena itu melakukan pemisahan dan ekualisasi pada setiap komponen warna tidak tepat untuk metode HE, AHE, dan CLAHE, sehingga pada penelitian ini *contrast enhancement* dilakukan pada citra *grayscale*.



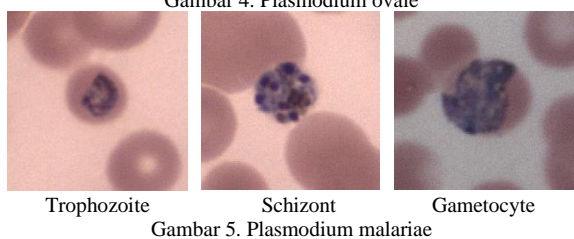
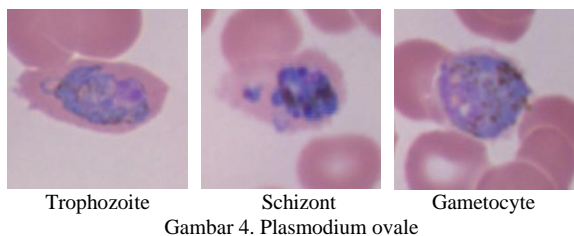
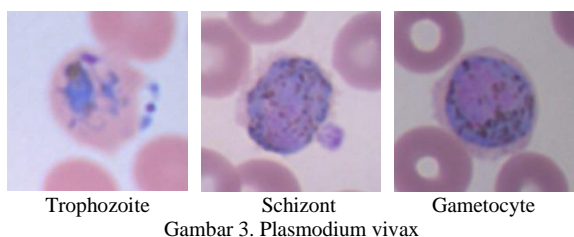
Gambar 1. Tahapan penelitian

### 2.1. Dataset Citra Plasmodium

Penelitian ini menggunakan dataset public dari *Malaria Parasite Image Database* (MP-IDB) for *Image Processing and Analysis* [18], yang dapat diakses pada <https://github.com/andrealoddo/MP-IDB-The-Malaria-Parasite-Image-Database-for-Image-Processing-and-Analysis>. Dataset diperoleh menggunakan mikroskop optik Leica DM2000 dengan *built in* kamera dan *software* pada *Centre Hospitalier Universitaire Vaudois* (CHUV). Setiap citra disimpan dalam format PNG dengan resolusi 2592×1944 piksel dan 24-bit *colour depth*. Pada penelitian ini, *Region of Interest* (ROI) dari plasmodium di *crop* dengan resolusi 300×300 piksel sehingga diperoleh 12 citra yang terdiri dari citra Plasmodium falciparum, Plasmodium vivax, Plasmodium ovale, dan Plasmodium malariae pada stadium trophozoite, schizont, dan gametocyte sebagaimana disajikan pada Gambar 2-5.



Gambar 2. Plasmodium falciparum



## 2.2. Grayscale Conversion

Konversi citra berwarna ke *grayscale* bertujuan untuk menyederhanakan model citra [19]. Citra berwarna terdiri dari komponen *Red*, *Green*, dan *Blue* (RGB), sedangkan citra *grayscale* hanya terdiri dari 1 komponen sehingga lebih mudah diproses pada tahap segmentasi. Segmentasi pada citra *grayscale* hanya membutuhkan sebuah nilai *threshold*, sedangkan pada citra RGB minimal membutuhkan 3 nilai *threshold*. Citra *grayscale* dapat dibentuk menggunakan persamaan (1).

$$G = 0,299 \times R + 0,587 \times G + 0,114 \times B \quad (1)$$

## 2.3. Contrast Enhancement

Metode *contrast enhancement* yang diuji pada penelitian ini merupakan metode berbasis histogram terdiri dari HE, AHE, dan CLAHE.

### 2.3.1. Histogram Equalization (HE)

Histogram menggambarkan distribusi tingkat keabuan suatu citra. Histogram dapat dihitung menggunakan persamaan (2) [20].

$$P(j) = \frac{n_j}{MN}, j = 0, 1, \dots, L - 1 \quad (2)$$

Pada persamaan (2),  $j$  merupakan nilai tingkat keabuan,  $n_j$  adalah jumlah piksel dengan intensitas keabuan  $j$ , dan  $MN$  adalah jumlah keseluruhan piksel pada citra. HE menjadikan histogram citra memenuhi *dynamic range* secara seragam sebagaimana diformulasikan pada persamaan (3).

$$s_k = T(k) = (L - 1) \sum_{j=0}^k P(j) \quad (3)$$

Pada persamaan (3),  $T(k)$  adalah fungsi yang memetakan setiap piksel  $k$  ke dalam  $s_k$  dan  $L$  adalah intensitas maksimal dari tingkat keabuan, untuk citra 8-bit maka  $L = 2^8$ , yaitu 256.

### 2.3.2. Adaptive Histogram Equalization (AHE)

AHE bekerja dengan membagi citra menjadi beberapa region, kemudian melakukan operasi HE pada setiap region. Oleh karena itu, pada AHE lebih dari satu histogram yang diproses, dimana setiap histogram merepresentasikan suatu region yang berbeda-beda dari sebuah citra. AHE dapat meningkatkan kontras lokal dari citra yang memungkinkan pengamatan yang lebih detail [21].

### 2.3.3. Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE)

CLAHE bekerja dengan menerapkan pembatasan kontras pada setiap region yang bertujuan untuk mengatasi noise yang ditimbulkan dari operasi AHE. Pada operasi CLAHE, setiap histogram lokal dipotong menggunakan nilai *clip limit* yang dihitung menggunakan persamaan (4) [22].

$$\beta = \frac{M}{N} \left( 1 + \frac{\alpha}{100} S_{max} \right) \quad (4)$$

Pada persamaan (3),  $M$  adalah jumlah piksel pada setiap region,  $N$  adalah nilai *dynamic range* dari region,  $S_{max}$  adalah nilai dari *maximum slope*, dan  $\alpha$  adalah nilai dari *clip factor*.

## 2.4. Image Quality Assessment (IQA)

Pada penelitian ini dilakukan IQA menggunakan Mean Squared Error (MSE) dan Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) untuk mengukur kinerja metode *contrast enhancement* dalam meningkatkan kualitas citra [23]. MSE merepresentasikan rata-rata eror kuadrat antara citra masukan dengan citra hasil *enhancement*. MSE dihitung dengan membandingkan nilai-nilai piksel pada lokasi yang sama antara citra masukan dan hasil perbaikan. Persamaan (5) digunakan untuk menghitung nilai MSE.

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (I(i, j) - E(i, j))^2 \quad (5)$$

Pada persamaan (5),  $I$  dan  $E$  merupakan citra masukan dan citra hasil perbaikan,  $i$  dan  $j$  merupakan posisi piksel pada citra, dan  $MN$  merupakan ukuran dari citra. PSNR adalah perbandingan antara jangkauan dinamis dari nilai intensitas piksel dan *noise* yang mempengaruhi citra. PSNR digunakan untuk mengukur kualitas citra hasil proses *enhancement*. Semakin besar nilai PSNR maka

semaik baik kualitas citra yang dihasilkan. PSNR dapat dihitung menggunakan persamaan (6).

$$PSNR = 10 \log_{10} \left( \frac{(L-1)^2}{MSE} \right) \quad (6)$$

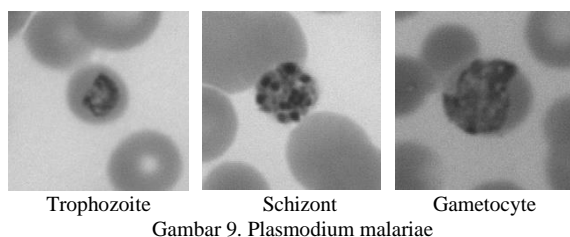
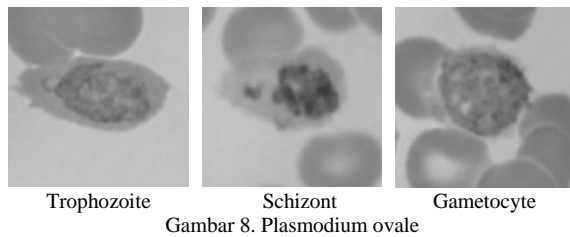
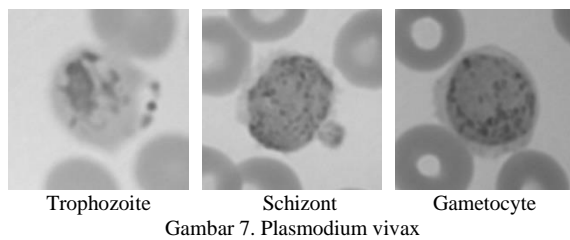
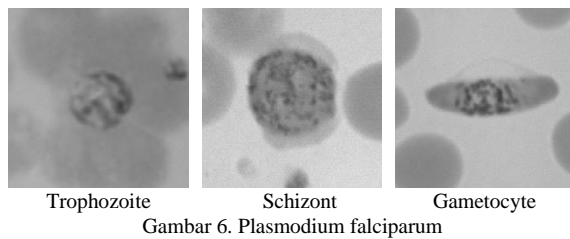
Pada persamaan (5),  $L$  merupakan jangkauan dinamis dari tingkat keabuan pada citra.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini diuraikan hasil *contrast enhancement* pada citra plasmodium menggunakan metode berbasis histogram, yaitu HE, AHE, dan CLAHE. Selanjutnya kinerja dari setiap metode dianalisis menggunakan pengukuran MSE dan PSNR.

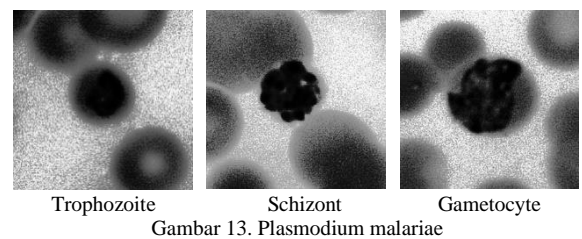
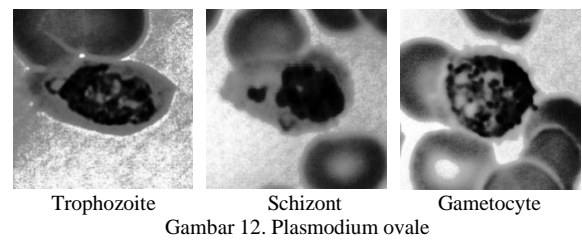
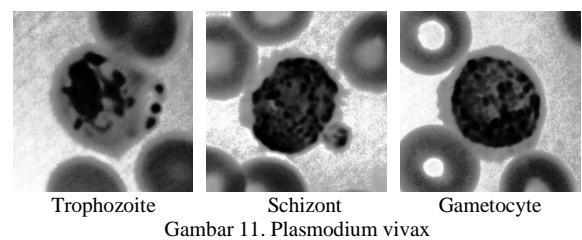
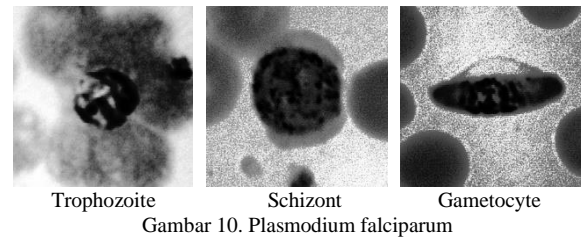
#### 3.1. Konversi Citra RGB Plasmodium Menjadi Citra Grayscale

Sebelum dilakukan *contrast enhancement*, citra RGB plasmodium dikonversi terlebih dahulu menjadi citra *grayscale*. Gambar 6-9 menampilkan hasil citra *grayscale* dari setiap plasmodium pada stadium trophozoite, schizont, dan gametocyte.



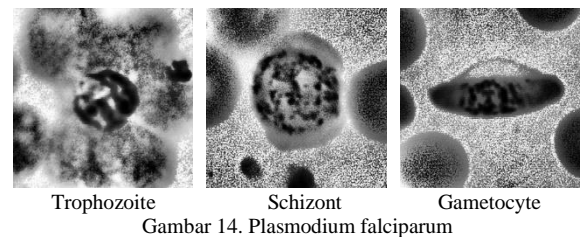
#### 3.2. Contrast Enhancement Dengan Metode HE

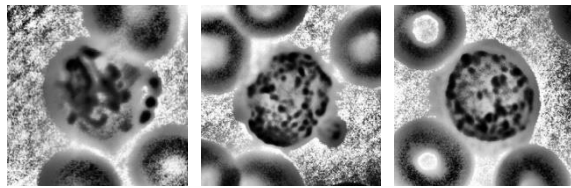
Citra *grayscale* selanjutnya menjadi masukan untuk proses *contrast enhancement*. Gambar 10-13 menampilkan citra hasil *contrast enhancement* menggunakan metode HE dari setiap plasmodium pada stadium trophozoite, schizont, dan gametocyte.



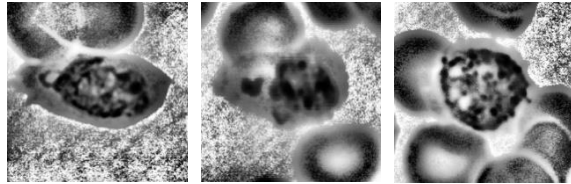
#### 3.3. Contrast Enhancement Dengan Metode AHE

Gambar 14-17 menampilkan citra hasil *contrast enhancement* menggunakan metode AHE dari setiap plasmodium pada stadium trophozoite, schizont, dan gametocyte.

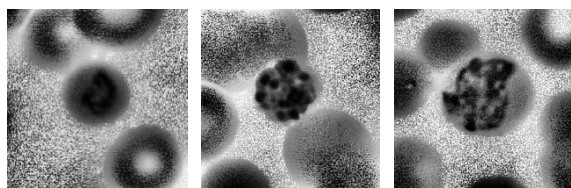




Trophozoite Schizont Gametocyte  
Gambar 15. Plasmodium vivax



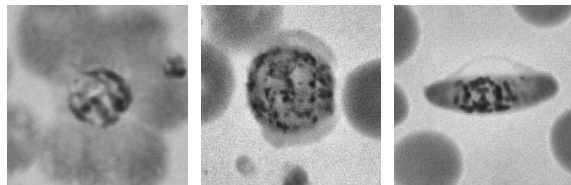
Trophozoite Schizont Gametocyte  
Gambar 16. Plasmodium ovale



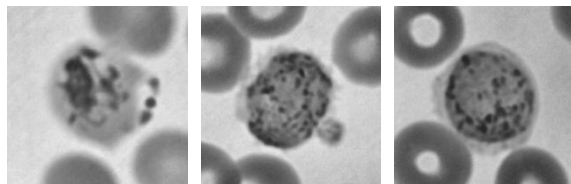
Trophozoite Schizont Gametocyte  
Gambar 17. Plasmodium malariae

### 3.4. Contrast Enhancement Dengan Metode CLAHE

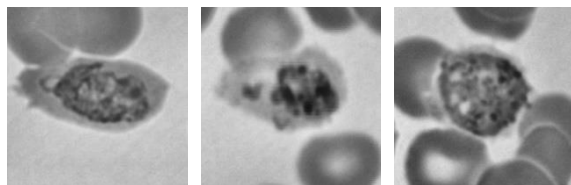
Gambar 18-21 menampilkan citra hasil *contrast enhancement* menggunakan metode CLAHE dari setiap plasmodium pada stadium trophozoite, schizont, dan gametocyte.



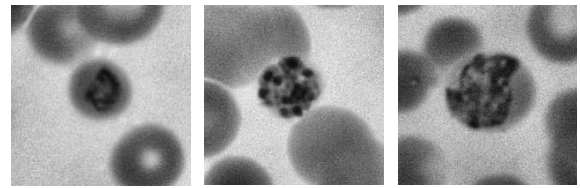
Trophozoite Schizont Gametocyte  
Gambar 18. Plasmodium falciparum



Trophozoite Schizont Gametocyte  
Gambar 19. Plasmodium vivax



Trophozoite Schizont Gametocyte  
Gambar 20. Plasmodium ovale



Trophozoite Schizont Gametocyte  
Gambar 21. Plasmodium malariae

### 3.5. Pengukuran Kinerja Metode HE, AHE, dan CLAHE

Berdasarkan pengamatan visual pada citra hasil *contrast enhancement*, metode HE menjadikan citra *over enhanced* sehingga detail penampakan tekstur plasmodium menjadi kurang terlihat. Metode AHE menghasilkan penampakan detail plasmodium yang lebih baik daripada HE, tetapi AHE menimbulkan *noise* pada citra. Metode CLAHE menghasilkan penampakan plasmodium yang lebih jelas daripada metode HE dan AHE, selain itu *noise* juga dapat diminimalkan.

Tabel 1 menyajikan hasil pengukuran nilai MSE untuk metode HE, AHE, dan CLAHE.

Tabel 1. Pengukuran Nilai MSE

Citra	HE	AHE	CLAHE
P. falciparum trophozoite	4481,07	4341,86	354,59
P. falciparum schizont	4194,20	4890,68	726,92
P. falciparum gametocyte	3536,56	2911,53	205,90
P. malariae trophozoite	1877,56	2107,65	538,89
P. malariae schizont	2305,35	3378,74	413,90
P. malariae gametocyte	4093,99	4639,46	627,37
P. ovale trophozoite	2672,20	2859,26	574,95
P. ovale schizont	3412,40	3215,77	422,35
P. ovale gametocyte	3830,50	3881,97	210,58
P. vivax trophozoite	2446,65	2547,23	459,67
P. vivax schizont	3810,81	3923,77	671,26
P. vivax gametocyte	6153,55	5377,83	581,78
<b>Average</b>	<b>3567,90</b>	<b>3672,98</b>	<b>482,35</b>

Pada pengukuran MSE, nilai MSE semakin kecil menunjukkan eror yang semakin kecil, ini berarti kualitas citra akan semakin baik apabila nilai MSE semakin kecil. Rata-rata nilai MSE paling kecil dihasilkan oleh metode CLAHE, yaitu 482,35, sedangkan nilai MSE untuk HE dan AHE adalah 3567,90 dan 3672,98. Berdasarkan nilai MSE, metode CLAHE menghasilkan citra dengan kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan metode HE dan AHE.

Tabel 2 menyajikan hasil pengukuran nilai PSNR untuk metode HE, AHE, dan CLAHE.

Tabel 2. Pengukuran Nilai PSNR

Citra	HE	AHE	CLAHE
P. falciparum trophozoite	11,63	11,77	22,68
P. falciparum schizont	11,90	11,24	19,54
P. falciparum gametocyte	12,64	13,49	25,00
P. malariae trophozoite	15,40	14,90	20,84
P. malariae schizont	14,51	12,85	22,00
P. malariae gametocyte	12,01	11,47	20,18
P. ovale trophozoite	13,86	13,57	20,53
P. ovale schizont	12,80	13,06	21,87
P. ovale gametocyte	12,30	12,25	24,90
P. vivax trophozoite	14,24	14,08	21,50
P. vivax schizont	12,32	12,20	19,86

P. vivax gametocyte	10,24	10,83	20,48
<b>Average</b>	12,82	12,64	21,62

Pada pengukuran PSNR, nilai PSNR yang semakin besar menunjukkan kualitas citra yang lebih baik. Rata-rata nilai PSNR yang paling besar dihasilkan oleh metode CLAHE yaitu 21,62, sedangkan nilai PSNR untuk HE dan AHE adalah 12,82 dan 12,64. Berdasarkan nilai PSNR, metode CLAHE menghasilkan citra dengan kualitas yang lebih baik dibandingkan metode HE dan AHE.

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini membandingkan kinerja metode perbaikan kontras pada citra plasmodium grayscale. Metode yang diuji pada penelitian ini adalah HE, AHE, dan CLAHE. Secara visual metode CLAHE memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan metode HE dan AHE. Metode CLAHE menghasilkan citra dengan penampakan plasmodium yang lebih jelas dengan *noise* yang minimal. Berdasarkan pengukuran nilai MSE dan PSNR pada *dataset* MP-IDB, metode CLAHE memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan metode HE dan AHE. Metode CLAHE menghasilkan nilai MSE 482,35 dan PSNR 21,62. Metode HE dan AHE menghasilkan nilai MSE dan PSNR yang tidak jauh berbeda. Nilai MSE dan PSNR dari metode HE yaitu 3567,90 dan 12,82. Sedangkan nilai MSE dan PSNR untuk metode AHE yaitu 3672,98 dan 12,64. Penggunaan metode CLAHE dapat digunakan untuk meningkatkan kontras citra plasmodium sehingga penampakan tekstur plasmodium menjadi lebih jelas dengan tetap meminimalkan *noise* pada citra.

Pada penelitian selanjutnya dapat dikembangkan model perbaikan citra dengan menambahkan teknik *filtering* yang diintegrasikan dengan teknik perbaikan kontras untuk mendapatkan kombinasi yang terbaik dari metode perbaikan kontras dan teknik *filtering* sehingga menghasilkan citra dengan kontras yang baik dan *noise* yang minimal.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Hawadak, R. R. Dongang Nana, and V. Singh, "Global trend of Plasmodium malariae and Plasmodium ovale spp. malaria infections in the last two decades (2000–2020): a systematic review and meta-analysis," *Parasit Vectors*, vol. 14, no. 1, pp. 1–14, Dec. 2021, doi: 10.1186/S13071-021-04797-0/TABLES/2.
- [2] A. Loddo, C. di Ruberto, and M. Kocher, "Recent Advances of Malaria Parasites Detection Systems Based on Mathematical Morphology," *Sensors*, vol. 18, no. 2, p. 513, Feb. 2018, doi: 10.3390/s18020513.
- [3] A. Monroe, N. A. Williams, S. Ogoma, C. Karema, and F. Okumu, "Reflections on the 2021 World Malaria Report and the future of malaria control," *Malar J*, vol. 21, no. 1, pp. 1–6, May 2022, doi: 10.1186/S12936-022-04178-7.
- [4] N. Tangpukdee, C. Duangdee, P. Wilairatana, and S. Krudsood, "Malaria Diagnosis: A Brief Review," *Korean J Parasitol*, vol. 47, no. 2, pp. 93–102, 2009, doi: 10.3347/KJP.2009.47.2.93.
- [5] M. Poostchi, K. Silamut, R. J. Maude, S. Jaeger, and G. Thoma, "Image analysis and machine learning for detecting malaria," *Translational Research*, vol. 194, pp. 36–55, Apr. 2018, doi: 10.1016/J.TRSL.2017.12.004.
- [6] A. Rahman, H. Zunair, T. R. Reme, M. S. Rahman, and M. R. C. Mahdy, "A comparative analysis of deep learning architectures on high variation malaria parasite classification dataset," *Tissue Cell*, vol. 69, p. 101473, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.tice.2020.101473.
- [7] Z. Jan, A. Khan, M. Sajjad, K. Muhammad, S. Rho, and I. Mehmood, "A review on automated diagnosis of malaria parasite in microscopic blood smears images," *Multimed Tools Appl*, vol. 77, no. 8, pp. 9801–9826, 2018, doi: 10.1007/s11042-017-4495-2.
- [8] S. E. V. Haryanto, M. Y. Mashor, A. S. A. Nasir, and H. Jaafar, "Malaria parasite detection with histogram color space method in Giemsa-stained blood cell images," in *2017 5th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM)*, Aug. 2017, pp. 1–4. doi: 10.1109/CITSM.2017.8089291.
- [9] P. Aggarwal, A. Khatter, and G. Vyas, "An Intensity Threshold based Image Segmentation of Malaria Infected Cells," in *2018 Second International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, Feb. 2018, pp. 549–553. doi: 10.1109/ICCMC.2018.8487494.
- [10] Y. Purwar, S. L. Shah, G. Clarke, A. Almgairi, and A. Muehlenbachs, "Automated and unsupervised detection of malarial parasites in microscopic images," *Malar J*, vol. 10, no. 1, p. 364, Dec. 2011, doi: 10.1186/1475-2875-10-364.
- [11] J. E. Arco, J. M. Górriz, J. Ramírez, I. Álvarez, and C. G. Puntonet, "Digital image analysis for automatic enumeration of malaria parasites using morphological operations," *Expert Syst Appl*, vol. 42, no. 6, pp. 3041–3047, Apr. 2015, doi: 10.1016/j.eswa.2014.11.037.
- [12] M. Harris, Bonhwa Ku, Chaeseung Lim, and Hansoek Ko, "Automated malaria cell counter using Hough transform based method," in *2017 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, 2017, pp. 404–405. doi: 10.1109/ICCE.2017.7889372.
- [13] S. v. Militante, "Malaria Disease Recognition through Adaptive Deep Learning Models of Convolutional Neural Network," in *2019 IEEE 6th International Conference on Engineering Technologies and Applied Sciences (ICETAS)*,

- Dec. 2019, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICETAS48360.2019.9117446.
- [14] W. A. Mustafa and H. Yazid, “Image Enhancement Technique on Contrast Variation: A Comprehensive Review,” *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering*, vol. 9, no. 3, pp. 199–204, 2017, Accessed: Jul. 16, 2022. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/320322102>
- [15] B. Gupta and M. Tiwari, “Minimum mean brightness error contrast enhancement of color images using adaptive gamma correction with color preserving framework,” *Optik (Stuttg)*, vol. 127, no. 4, pp. 1671–1676, Feb. 2016, doi: 10.1016/j.ijleo.2015.10.068.
- [16] D. Asamoah, E. Ofori, S. Opoku, and J. Danso, “Measuring the Performance of Image Contrast Enhancement Technique,” *Int J Comput Appl*, vol. 181, no. 22, pp. 6–13, Oct. 2018, doi: 10.5120/IJCA2018917899.
- [17] K. R. Chandpa, A. M. Jani, and G. I. Prajapati, “Comparative Study of Linear and Non-linear Contrast Enhancement Techniques,” *International Journal of Research and Scientific Innovation*, vol. I, no. VI, pp. 37–41, 2014, [Online]. Available: [www.rsisinternational.org/IJRSI.html](http://www.rsisinternational.org/IJRSI.html)
- [18] A. Loddo, C. di Ruberto, M. Kocher, and G. Prod'hom, “MP-IDB: The Malaria Parasite Image Database for Image Processing and Analysis,” in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 11379, Springer, Cham, 2019, pp. 57–65. doi: 10.1007/978-3-030-13835-6\_7.
- [19] M. Hamid, alfa nugrah A. H. Usman, S. Lutfi, A. Fuad, and A. Mubarak, “Penerapan Metode Peningkatan Kualitas Citra Contrast Stretching Dan Histogram Equalization Untuk Identifikasi Keaslian Citra Sertipikat Hak Atas Tanah,” *Jurnal Informatika dan Komputer*, vol. 5, no. 2, pp. 92–98, Aug. 2022, doi: 10.33387/JIKO.V5I2.4635.
- [20] R. K. Hapsari, M. I. Utoyo, R. Rulaningtyas, and H. Suprajitno, “Comparison of Histogram Based Image Enhancement Methods on Iris Images,” *J Phys Conf Ser*, vol. 1569, no. 2, p. 022002, Jul. 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1569/2/022002.
- [21] S. Gupta and Y. Kaur, “Review of Different Local and Global Contrast Enhancement Techniques for a Digital Image,” *Int J Comput Appl*, vol. 100, no. 18, pp. 975–8887, 2014.
- [22] Y. Chang, C. Jung, P. Ke, H. Song, and J. Hwang, “Automatic Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization with Dual Gamma Correction,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 11782–11792, Jan. 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2797872.
- [23] J. V.L and R. Gopikakumari, “IEM: A New Image Enhancement Metric for Contrast and Sharpness Measurements,” *Int J Comput Appl*, vol. 79, no. 9, pp. 1–9, Oct. 2013, doi: 10.5120/13766-1620.