

Perbandingan Performa Histogram *Equalization* untuk Peningkatan Kualitas Gambar Minim Cahaya pada Android

Claudia Kenyta¹, Daniel Martomanggolo Wonohadidjojo²

^{1,2} Program Studi Informatika, Universitas Ciputra, Surabaya, Indonesia

¹ claudiakenyta009@gmail.com

² daniel.m.w@ciputra.ac.id

Diterima 15 Juni 2020

Disetujui 18 November 2020

Abstract—When the photos are taken in low light condition, the quality of the results will not meet their expectation. Image Enhancement method can be used to enhance the quality of the photos taken in low light condition. One of the algorithms used is called Histogram Equalization (HE), that works using Histogram basis. The superiority of HE algorithm in enhancing the quality of the photos taken in low light condition is the simplicity of the algorithm itself and it does not need a high specification device for the algorithm to run. One variant of HE algorithm is Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE). This paper shows the implementation of HE algorithm and its performance in enhancing the quality of photos taken in low light condition on Android based application and the comparison with CLAHE algorithm. The results show that, HE algorithm is better than CLAHE algorithm.

Index Terms—Android, histogram equalization, image enhancement

I. PENDAHULUAN

Image Enhancement (IE) merupakan salah satu penerapan dari *image processing* yang bermanfaat untuk meningkatkan kualitas gambar, baik mempertajam gambar buram ataupun gambar dengan pencahayaan minimum [1]. Penerapan *IE* merupakan hal yang penting diterapkan pada bidang sains dan teknik seperti pada diagnosa medis untuk kedokteran, pengenalan obyek jarak jauh untuk keamanan, membantu aktivitas yang terkait dengan eksplorasi sumber daya/lingkungan [2].

IE juga bisa diterapkan pada bidang fotografi. Foto merupakan hasil dari kegiatan fotografi yang digunakan untuk mendokumentasikan suatu kejadian. Di jaman modern, fotografi seringkali dilakukan dengan perangkat kamera yang tersedia pada *smartphone* [3].

Berdasarkan data dari Indonesia Data Center (IDC) pada kuartal-II 2019, jumlah penjualan *smartphone* di Indonesia mencapai 9,7 juta unit di mana mayoritas dari *smartphone* tersebut

menggunakan sistem operasi Android [4]. Dalam menentukan pembelian *smartphone*, harga dan kualitas kamera merupakan hal yang juga menjadi pertimbangan. Harga *smartphone* berbanding lurus dengan kemampuan kamera untuk menangkap gambar [4]. Namun, kamera *smartphone* dengan harga yang tinggi pun seringkali memiliki keterbatasan fitur untuk menangkap gambar pada keadaan cahaya yang minimum karena terbatas berdasarkan kemampuan dari *aperture* dan *shutter speed* [5]. Gambar yang diambil pada tempat minim cahaya akan memiliki elemen yang berwarna gelap sehingga pengguna tidak bisa mengidentifikasi obyek [6]. Hal-hal yang tidak diharapkan seperti itu seringkali membuat pengguna merasa kurang nyaman ketika mengambil gambar di tempat minim cahaya karena keterbatasan kemampuan kamera yang bergantung pada *hardware smartphone*.

Salah satu algoritma *IE* yang dapat digunakan untuk memecahkan permasalahan penangkapan gambar dalam keadaan gelap adalah algoritma *Histogram Equalization (HE)*. Algoritma *HE* memiliki keunggulan pada cara kerja yang efektif terutama pada pengolahan kontras gambar dan juga sederhana sehingga tidak memerlukan perangkat dengan spesifikasi yang tinggi [7]. Kinerja *HE* juga terbukti menghasilkan olahan gambar yang lebih baik dibandingkan algoritma sederhana lainnya [8].

Berdasarkan uraian tersebut maka rumusan masalah yang diangkat dari masalah yang ada yaitu bagaimana kinerja algoritma *HE* untuk meningkatkan kualitas gambar foto dengan kamera *smartphone* yang digunakan dalam keadaan minim cahaya. Manfaat dari penelitian ini selain dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya, juga menyediakan suatu aplikasi di Android yang dapat memperbaiki kualitas gambar foto minim cahaya yang nantinya dapat memudahkan pengguna *smartphone* dan juga membantu untuk pengenalan obyek dari gambar yang memiliki pencahayaan minimum pada beberapa bidang seperti *security* dan fotografi.

II. KAJIAN PUSTAKA

Terkait dengan penelitian yang dilakukan, terdapat beberapa teori dan referensi yang digunakan untuk melakukan analisis awal, desain, sampai pada proses pembuatan aplikasi.

A. Image Enhancement

IE merupakan pemrosesan gambar yang dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas gambar, baik mempertajam gambar yang buram, atau bisa juga pada gambar gelap supaya gambar bisa lebih bermanfaat [1]. Peningkatan kualitas gambar sendiri bisa diambil dari beberapa sudut seperti kontras, ketajaman gambar, kekayaan warna yang disesuaikan dengan keadaan gambar awal dan hasil yang diharapkan untuk gambar akhir [2].

B. Histogram Equalization

HE merupakan salah satu algoritma yang sangat umum digunakan pada metode *IE* dikarenakan memiliki penerapan yang sederhana dan tidak terlalu kompleks [9]. Algoritma *HE* juga terbukti dapat meningkatkan kualitas gambar dengan kebutuhan spesifikasi yang tidak terlalu tinggi [7].

Algoritma *HE* sudah dikembangkan oleh peneliti sejak lama dan sampai sekarang masih digunakan karena performa yang lebih baik dibanding algoritma sederhana lain [8]. Berdasarkan penelitian mengenai perbandingan penggunaan algoritma *HE* dan perkembangannya, *HE* menghasilkan nilai *average contrast* yang paling baik dan memiliki *average processing time* atau waktu pemrosesan yang paling singkat dibanding dengan algoritma perkembangan *HE* [10]. Ketika *HE* dibandingkan dengan algoritma lain seperti *Retinex*, *Camera Response Model* [11], atau basis pengolahan nilai *threshold* [12], *HE* mengolah gambar dengan *computing power* dan *processing time* yang lebih rendah. Dengan keunggulan tersebut, maka *HE* merupakan salah satu algoritma yang cocok untuk di implementasikan ke dalam aplikasi di *smartphone*.

HE bekerja dengan memperluas jangkauan dari basis utama berupa histogram untuk mencapai gambar dengan nilai kontras seimbang yang dapat dilihat dari distribusi histogram secara merata.

Ketika *HE* digunakan untuk mengolah gambar berwarna, *HE* mulai mengolah gambar pada *color space*. *RGB* merupakan salah satu dari *color space* dimana biasanya digunakan untuk menggambarkan warna, tetapi untuk *image processing RGB* tidak diolah secara langsung karena warna *RGB* tidak dapat dikomputasi [13]. Gambar yang akan diproses menggunakan *HE* harus diubah terlebih dulu menjadi *HSV* untuk kemudian dikomputasi pada nilai *V* [14].

C. Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization

CLAHE adalah algoritma yang populer digunakan pada *IE* karena merupakan salah satu algoritma hasil pengembangan dari *HE*, yang menggunakan basis pengolahan yang sama yaitu histogram [15]. Algoritma *CLAHE* digunakan sebagai pembanding terhadap algoritma *HE* karena memiliki basis pengolahan yang sama, dan merupakan algoritma yang digunakan sebagai dasar dari pengembangan algoritma berbasis histogram lain [16].

Perbedaan antara *CLAHE* dengan *HE* terletak pada cara kerja, dimana setelah gambar diuraikan menjadi histogram, *CLAHE* membatasi contrast pada gambar dengan menetapkan nilai *clip point* yang merupakan nilai batas tertinggi dari suatu histogram [17].

D. Android

Android adalah sistem operasi berbasis kernel Linux yang dirilis pada tahun 2007. Android merupakan sistem operasi *open platform* sehingga memungkinkan untuk menciptakan software/aplikasi dan mencoba aplikasi tersebut di perangkat pribadi tanpa memerlukan persetujuan yang terlalu rumit dan dapat disajikan kepada pengguna dari GooglePlay, APK ataupun dari pihak lainnya. Pengembangan aplikasi yang ada di Android menggunakan bahasa pemrograman Java dan menggunakan Android SDK Tools untuk dapat menjadi sebuah APK [18].

E. Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)

PSNR merupakan salah satu teknik pengukuran kualitas yang umum digunakan untuk mengukur kualitas dari hasil pemrosesan gambar. Pengukuran ini melibatkan data asli yang menjadi pembanding dan noise yang menjadi error karena proses kompresi ataupun distorsi yang terjadi selama pemrosesan gambar. *PSNR* digambarkan dengan rumus berikut:

$$PSNR = 10 \log_{10} (\text{peakval}_2) / \text{MSE} \quad (1)$$

Di mana *peakval* adalah nilai maksimum dari data gambar, dan *MSE* merupakan nilai *Mean Square Error* yang memiliki rumus berikut:

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{n=0}^M \sum_{m=1}^N [\hat{g}(n,m) - g(n,m)]^2 \quad (2)$$

Di mana $g(n,m)$ dan $\hat{g}(n,m)$ merupakan perbandingan dua gambar yakni gambar referensi dengan hasil. Berdasarkan rumus tersebut, nilai *PSNR* yang lebih tinggi menunjukkan kualitas gambar yang memiliki lebih sedikit *error* [19].

F. Structural Similarity Index (SSIM)

SSIM merupakan metode penilaian dengan basis persepsi. Dengan metode ini, kita dapat menghitung kemiripan gambar yang dihasilkan dari gambar asli ke gambar hasil pemrosesan berdasarkan perbedaan informasi struktural gambar [19].

Pengukuran SSIM melihat pada tiga index yakni berdasarkan *luminance*, *contrast* dan struktur, dimana perhitungan ketiga index itu dilakukan secaraurut sehingga pada akhirnya menghasilkan rumus SSIM:

$$SSIM(x,y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_x\sigma_y + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)} \quad (3)$$

Di mana pada rumus tersebut, μ dan σ merupakan *local means* dan standar deviasi dari gambar x dan y yang merupakan gambar referensi dan gambar hasil. Dan C merupakan nilai konstan *regularization* [20].

G. Lightness Order Error (LOE)

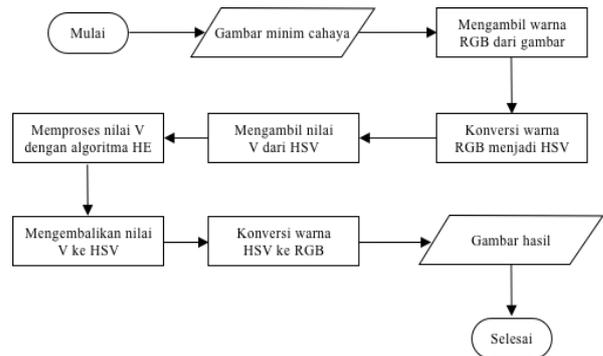
Natural atau tidak hasil *enhancement* pada gambar merupakan salah satu penilaian dasar untuk menilai kualitas proses *enhancement* tersebut. *Lightness Order Error (LOE)* merupakan salah satu *metrics* yang digunakan khusus untuk menilai secara objektif *naturalness preservation* dengan melakukan penilaian terhadap error pada sumber arah cahaya dan variasi pencahayaan dengan cara membandingkan gambar asli dengan gambar hasil proses *enhancement*. Semakin tinggi nilai *LOE* menunjukkan hasil pemrosesan yang kurang natural [21].

III. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, guna mendukung penilaian yang akan dilakukan terhadap kinerja algoritma *HE*, maka ditambahkan algoritma *CLAHE* untuk menjadi algoritma pembanding *HE* yang akan dinilai secara kualitatif dan kuantitatif pada hasil pemrosesan gambar yang dibahas pada bagian hasil penelitian dan pembahasan. Pada aplikasi ini, implementasi dari algoritma *HE* dan *CLAHE* yang disediakan oleh *library OpenCV* untuk Android.

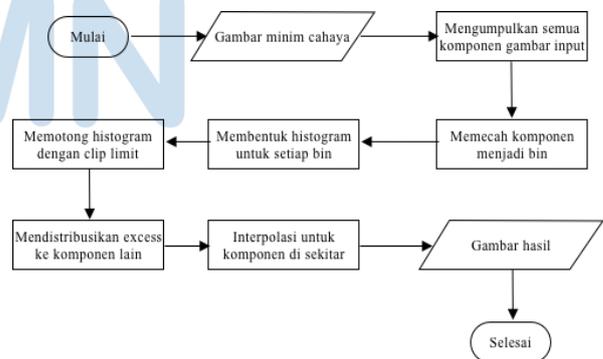
Pada algoritma *HE* yang digunakan sebagai algoritma utama aplikasi *IE* ini, cara kerja pada gambar berwarna yang diterapkan dalam keadaan minim cahaya dilakukan dengan mengambil warna *RGB (Red, Green, Blue)* dari gambar. Warna *RGB* yang sudah diambil nilainya dikonversikan menjadi warna *HSV (Hue, Saturation, Value)*. Dari warna *HSV* tersebut, diambil nilai *V* untuk kemudian diproses menggunakan *HE* dimana pada pemrosesan ini histogram dari nilai *V* di distribusikan agar memiliki histogram yang merata. Hasil pemrosesan nilai *V* kemudian dikembalikan ke *HSV* dan dikonversikan kembali ke *RGB* pada gambar akhir sehingga gambar yang dihasilkan sudah lebih baik karena histogram

yang dimiliki sudah merata [2]. Flowchart alur kerja dari algoritma *HE* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart algoritma *HE*

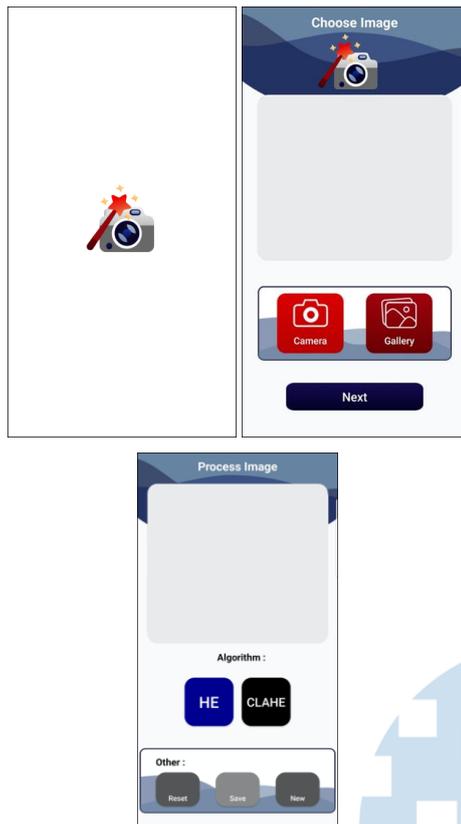
Sedangkan pada algoritma *CLAHE* yang digunakan sebagai pembanding, cara kerjanya yakni, gambar yang akan diproses dipecah menjadi komponen berukuran kecil hampir sama besar yang disebut dengan *bin*. Pada tiap *bin* dibentuk histogramnya masing-masing dan kemudian histogram dari tiap *bin* diambil untuk diproses redistribusi nilai kecerahan. Pada tiap histogram, ditentukan nilai batas kecerahan atau yang disebut *clip limit*, nilai tertinggi dari histogram. Nilai diatas *clip limit* akan dianggap sebagai kelebihan atau *excess*, dimana *excess* didistribusikan ke area bawah histogram. Dari tiap komponen histogram, pemerataan tersebut memiliki nilai kecerahan yang mirip dengan *bin* di sekitarnya. Sehingga akhirnya menjadi satu kesatuan gambar dengan kualitas cahaya yang lebih baik [22]. Flowchart dari algoritma *CLAHE* ada pada Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart algoritma *CLAHE*

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melalui beberapa tahap perancangan dan implementasi dari aplikasi untuk melakukan *enhancement* terhadap gambar yang memiliki pencahayaan kurang, maka berikutnya akan dibahas hasil dari aplikasi dan kinerja dari algoritma *HE* dalam proses *IE*. Berikut ini merupakan *interface* dari aplikasi yang dibuat berdasarkan perancangan yang telah dibuat sebelumnya.



Gambar 3. Tampilan UI aplikasi

Gambar 3 menunjukkan tampilan yang ada pada aplikasi IE. Dimana terdapat tiga tampilan yakni *Splash screen* untuk memberi tanda kepada pengguna jika aplikasi sedang pada proses untuk menjalankan aplikasi, *Home screen* sebagai halaman untuk memasukan *input* baik dari gambar *gallery* maupun mengambil gambar langsung dan melihat gambar yang akan diproses pada *image view* yang tersedia dan *Process screen* yang akan menampilkan pada *image view* gambar yang sudah dipilih serta melakukan pemrosesan gambar dengan menggunakan algoritma, dimana untuk tiap algoritma yang dipilih, pengguna dapat langsung melihat hasilnya pada *image view*. Selain itu terdapat tiga tombol tambahan yang membantu pengguna untuk mengatur ulang gambar, menyimpan gambar yang ada pada *image view*, serta memulai ulang aplikasi dengan kembali ke halaman *home*.

Untuk mengetahui kinerja dari algoritma *HE* yang digunakan dalam aplikasi ini, maka algoritma *CLAHE* digunakan sebagai pembanding. Hasil penilaian algoritma yang ditampilkan berikut adalah hasil dari pengujian penggunaan aplikasi *IE* yang terpasang pada tiga perangkat *smartphone* berbeda dengan tipe *Xiaomi Mi 4LTE*, *Samsung Galaxy Note 8* dan *Oppo R7 Lite*. Pertimbangan yang digunakan untuk memilih ketiga *smartphone* tersebut untuk pengujian adalah besar diafragma kamera yang berbeda. Diafragma tersebut merupakan faktor yang berpengaruh terhadap hasil foto yang didapatkan.

Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian kualitatif data primer dengan keterangan untuk *smartphone* dilambangkan:

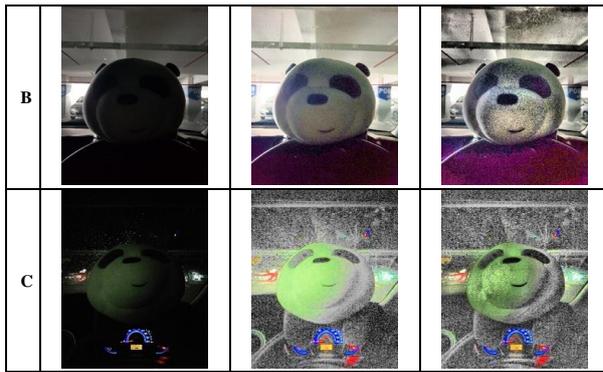
A: *Xiaomi Mi 4LTE* (memiliki $f/1,8$)

B: *Samsung Galaxy Note 8* (memiliki $f/1,7$)

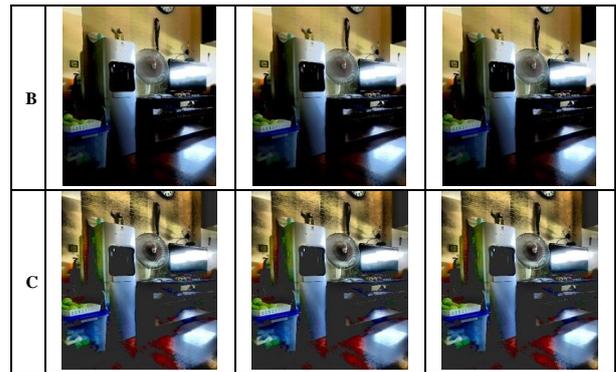
C: *Oppo R7 Lite* (memiliki $f/2,2$)

Tabel 1. Hasil pengujian kualitatif data primer

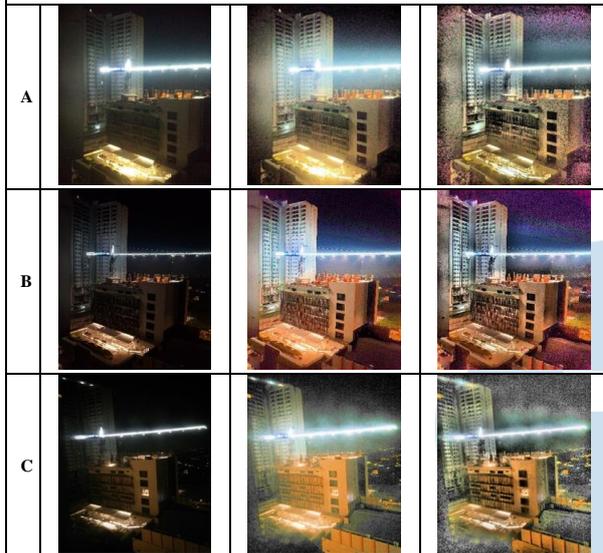
	Asli	HE	CLAHE
A			
B			
C			
(i) Hasil Pengujian Gambar <i>Guitar</i>			
A			
B			
C			
(ii) Hasil Pengujian Gambar <i>Shoes</i>			
A			



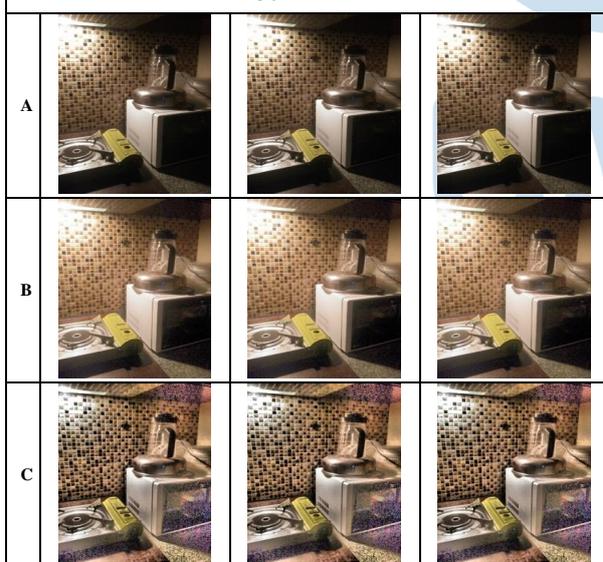
(iii) Hasil Pengujian Gambar Panda



(vi) Hasil Pengujian Gambar Living Room



(iv) Hasil Pengujian Gambar Construction



(v) Hasil Pengujian Gambar Kitchen



Pada Tabel 1 terdapat hasil pengujian kualitatif gambar dari tiga *smartphone* dimana gambar hasil proses dengan algoritma *HE* lebih baik secara visual karena lebih natural dibanding *CLAHE* karena terdapat lebih banyak *noise* berwarna gelap atau *artifact* pada hasil gambar *CLAHE* [8]. Proses *IE* berhasil pada tiga merk *smartphone* dengan tipe berbeda, sehingga dapat disimpulkan bahwa aplikasi ini tidak dibatasi oleh tipe atau merk *smartphone* Android tertentu selama memiliki fitur kamera. Namun, hasil *enhancement* dipengaruhi oleh kualitas kamera dan spesifikasi *smartphone* [23]. Semakin tinggi kualitas kamera dan spesifikasi *smartphone*, gambar yang dihasilkan lebih jernih dan natural. Selain itu, merk *smartphone* yang digunakan mempengaruhi keaslian warna (*color preserving*) pada gambar hasil pemrosesan dibanding gambar asli.

Pada pengujian dengan data primer juga dilakukan secara kuantitatif dengan *mean*, standar deviasi serta *performance metrics* yang digunakan dan ditunjukkan pada Tabel 2 sampai Tabel 5.

Tabel 2. Hasil *mean* dan standar deviasi data primer

Gambar	Smartphone		Mean	Standar Deviasi
Guitar	Mi 4LTE	Asli	9.0103	4.7162
		HE	108.9958	65.7858
		CLAHE	111.1996	61.2154
	Galaxy Note 8	Asli	22.5455	14.3580
		HE	105.2758	65.0662
		CLAHE	108.7421	55.8313
Oppo R7 Lite	Asli	10.8311	8.1894	
	HE	129.1941	67.0544	
	CLAHE	124.7746	58.7583	
Shoes	Mi 4LTE	Asli	55.4917	30.8341
		HE	106.2086	67.9144
		CLAHE	106.1531	60.0753
	Galaxy Note 8	Asli	77.9011	40.7963
		HE	105.5679	69.8837
		CLAHE	103.8315	62.1437
Oppo R7 Lite	Asli	61.4992	53.2411	
	HE	113.9753	68.9296	
	CLAHE	116.1465	58.4133	
Panda	Mi 4LTE	Asli	75.0162	58.3672
		HE	120.2772	72.4413
		CLAHE	122.7920	59.2452
	Galaxy Note 8	Asli	46.0849	49.9928
		HE	120.2245	74.0845
		CLAHE	111.8317	66.4983

Gambar	Smartphone	PSNR		
		HE	CLAHE	
Construction	Oppo R7 Lite	Asli	13.1780	23.9848
		HE	125.4697	59.2355
		CLAHE	114.0610	52.7763
	Mi 4LTE	Asli	64.8116	54.9502
		HE	110.9297	69.5561
		CLAHE	112.3699	55.9869
	Galaxy Note 8	Asli	27.7735	39.2099
		HE	100.9991	70.1045
		CLAHE	96.8584	61.5248
Oppo R7 Lite	Asli	26.5568	41.3056	
	HE	108.2071	63.3782	
	CLAHE	109.2126	53.3671	
Kitchen	Mi 4LTE	Asli	76.8984	70.1507
		HE	106.1392	70.6784
		CLAHE	109.3518	63.2384
	Galaxy Note 8	Asli	60.2472	69.5443
		HE	92.3370	76.1971
		CLAHE	94.5879	67.9380
	Oppo R7 Lite	Asli	76.5912	76.5552
		HE	100.4345	74.2796
		CLAHE	103.2228	68.7534
Living Room	Mi 4LTE	Asli	69.0104	61.3974
		HE	73.5901	78.8124
		CLAHE	86.2008	63.1782
	Galaxy Note 8	Asli	45.4042	47.7824
		HE	98.7154	72.7839
		CLAHE	100.0393	66.5920
	Oppo R7 Lite	Asli	37.9357	57.3713
		HE	109.2988	70.5831
		CLAHE	111.1877	61.7956

Berdasarkan pengujian *mean* dan standar deviasi pada Tabel 2, hampir semua nilai standar deviasi *HE* lebih tinggi daripada *CLAHE*. Hal ini menunjukkan bahwa algoritma *HE* mampu melakukan *enhancement* dengan deviasi (*range*) intensitas piksel yang lebih lebar daripada algoritma *CLAHE*, yang menunjukkan bahwa kemampuan algoritma *HE* lebih baik daripada *CLAHE* untuk digunakan pada peningkatan gambar minim cahaya yang memerlukan jangkauan intensitas piksel yang lebih lebar.

Tabel 3. Hasil pengujian *PSNR* data primer

Gambar	Smartphone	HE	CLAHE
Guitar	Mi 4LTE	6.7412	6.7381
	Galaxy Note 8	8.3180	8.2623
	Oppo R7 Lite	5.6620	6.0966
Shoes	Mi 4LTE	11.9420	11.4310
	Galaxy Note 8	15.5682	14.2083
	Oppo R7 Lite	12.2387	10.6689
Panda	Mi 4LTE	13.6583	10.9040
	Galaxy Note 8	9.7451	9.6782
	Oppo R7 Lite	6.2952	7.1561
Construction	Mi 4LTE	13.0404	11.7087
	Galaxy Note 8	9.3204	9.7958
	Oppo R7 Lite	8.8768	8.7255
Kitchen	Mi 4LTE	17.6111	12.3642
	Galaxy Note 8	16.2729	13.5932
	Oppo R7 Lite	18.9996	13.4894
Living Room	Mi 4LTE	15.2552	14.1336
	Galaxy Note 8	12.0841	11.1520
	Oppo R7 Lite	9.3875	8.4923

Pada pengujian kuantitatif dengan *PSNR* untuk data primer pada Tabel 3, secara keseluruhan hasil pemrosesan gambar dengan *HE* menunjukkan nilai yang lebih tinggi. Hal tersebut menunjukkan bahwa

hasil pemrosesan dengan *HE* lebih baik dibandingkan dengan *CLAHE*, kecuali untuk gambar Construction yang diuji pada Samsung Note 8, dimana hasil gambar dengan *CLAHE* menunjukkan nilai yang lebih tinggi daripada *HE*.

Tabel 4. Hasil pengujian *SSIM* data primer

Gambar	Smartphone	HE	CLAHE
Guitar	Mi 4LTE	0.0424	0.0206
	Galaxy Note 8	0.2252	0.1299
	Oppo R7 Lite	0.0485	0.0310
Shoes	Mi 4LTE	0.6267	0.4134
	Galaxy Note 8	0.8109	0.5849
	Oppo R7 Lite	0.6188	0.4052
Panda	Mi 4LTE	0.7330	0.3800
	Galaxy Note 8	0.3583	0.2589
	Oppo R7 Lite	0.0608	0.0779
Construction	Mi 4LTE	0.6549	0.4633
	Galaxy Note 8	0.2185	0.2164
	Oppo R7 Lite	0.1740	0.2082
Kitchen	Mi 4LTE	0.7630	0.5563
	Galaxy Note 8	0.5854	0.5513
	Oppo R7 Lite	0.7285	0.6310
Living Room	Mi 4LTE	0.3664	0.3914
	Galaxy Note 8	0.4786	0.4037
	Oppo R7 Lite	0.1774	0.1424

Data pada Tabel 4 menunjukkan nilai hasil *enhancement* dari gambar foto yang dinilai dengan *SSIM*. Secara keseluruhan algoritma *HE* lebih unggul. Hal itu menunjukkan bahwa hasil pemrosesan gambar dengan *HE* memiliki nilai kemiripan terhadap gambar asli yang lebih tinggi daripada *CLAHE*.

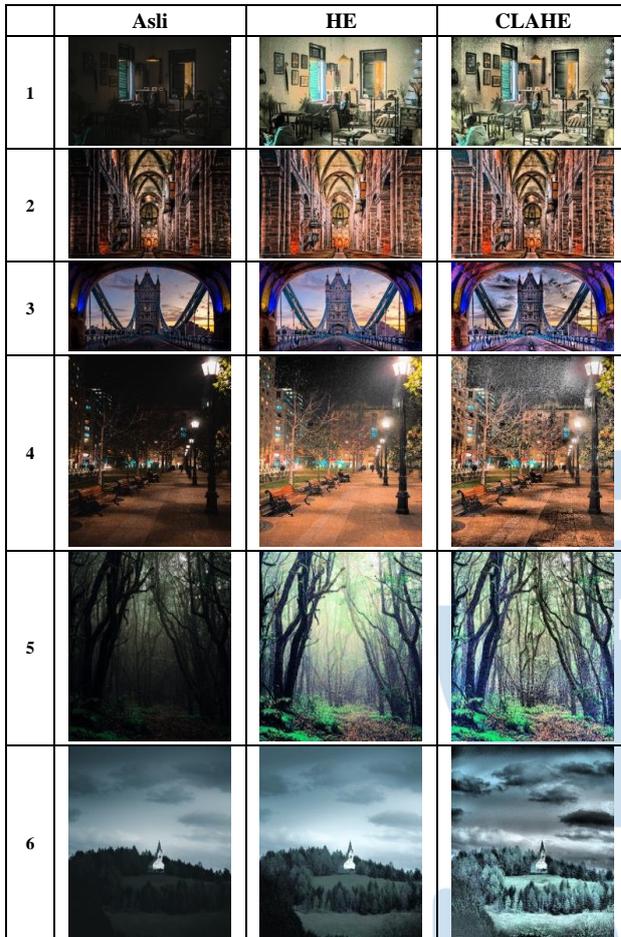
Tabel 5. Hasil pengujian *LOE* data primer

Gambar	Smartphone	HE	CLAHE
Guitar	Mi 4LTE	354.889	1182.8
	Galaxy Note 8	68.8064	1073.3
	Oppo R7 Lite	133.795	719.755
Shoes	Mi 4LTE	50.9148	1273.9
	Galaxy Note 8	60.7006	1095.1
	Oppo R7 Lite	55.4779	1091.6
Panda	Mi 4LTE	27.9176	1521.1
	Galaxy Note 8	64.2718	888.777
	Oppo R7 Lite	278.474	618.007
Construction	Mi 4LTE	31.0797	1191.8
	Galaxy Note 8	130.358	607.885
	Oppo R7 Lite	82.8148	704.831
Kitchen	Mi 4LTE	40.1939	756.052
	Galaxy Note 8	126.165	550.822
	Oppo R7 Lite	75.5330	664.829
Living Room	Mi 4LTE	428.257	691.687
	Galaxy Note 8	88.2945	956.672
	Oppo R7 Lite	434.860	1197.7

Berdasarkan hasil pengujian dengan *LOE* pada Tabel 5, dapat dilihat bahwa hasil gambar yang diproses menggunakan *HE* pada tiga *smartphone* yang digunakan semuanya menunjukkan hasil yang lebih natural dibanding dengan gambar yang diproses dengan *CLAHE*. Hal tersebut diketahui karena pada nilai dari hasil pengukuran tersebut, *HE* memiliki nilai yang lebih kecil dibanding nilai dari *CLAHE*.

Selain pengujian dengan data primer, pengujian juga dilakukan dengan menggunakan data sekunder yang diambil dari internet. Tabel 6 menunjukkan hasil pengujian data sekunder secara kualitatif:

Tabel 6. Hasil pengujian kualitatif data sekunder



Gambar pada Tabel 6 memiliki keterangan:

- 1. Room 3. Bridge 5. Forest
- 2. Chapel 4. Sideway 6. Far Away

Dari hasil pengujian kualitatif pada Tabel 6, dapat dilihat bahwa gambar hasil pemrosesan dengan HE lebih natural dibanding CLAHE karena artifact yang lebih banyak. Namun secara keseluruhan, algoritma HE dan CLAHE berhasil untuk meningkatkan kualitas gambar yang memiliki cahaya minim.

Pada pengujian data sekunder secara kuantitatif, hasil pengujian dengan mean, standar deviasi dan tiga performance metrics yang ditunjukkan pada Tabel 7 sampai Tabel 10.

Tabel 7. Hasil mean dan standar deviasi data sekunder

Gambar		Mean	Standar Deviasi
Room	Asli	26.2660	20.6653
	HE	116.4725	65.4119
	CLAHE	119.5067	61.3306
Chapel	Asli	50.2735	51.0823

Bridge	HE	97.5571	65.8926
	CLAHE	97.5571	64.2494
	Asli	62.4789	61.8424
Sideway	HE	99.5975	72.7160
	CLAHE	101.1675	65.6115
	Asli	35.5186	38.4083
Forest	HE	100.0092	59.0510
	CLAHE	102.4004	55.6733
	Asli	27.4831	30.5417
Far Away	HE	113.3808	70.4934
	CLAHE	112.1079	65.3419
	Asli	82.2608	59.3422
	HE	115.1235	69.6622
	CLAHE	116.5931	56.2926

Berdasarkan pengujian mean dan standar deviasi pada Tabel 7 hampir semua nilai standar deviasi HE lebih tinggi daripada CLAHE. Hal ini menunjukkan bahwa algoritma HE mampu melakukan enhancement dengan deviasi (range) intensitas piksel yang lebih lebar daripada algoritma CLAHE, yang menunjukkan bahwa kemampuan algoritma HE lebih baik daripada CLAHE untuk digunakan pada peningkatan gambar minim cahaya yang memerlukan jangkauan intensitas piksel yang lebih lebar.

Tabel 8. Hasil pengujian PSNR data sekunder

Gambar	HE	CLAHE
Room	7.6963	7.4956
Chapel	13.4588	12.5119
Bridge	15.2898	12.7197
Sideway	10.8304	10.1103
Forest	8.2228	8.1417
Far Away	16.8185	10.9665

Pengujian kuantitatif dengan PSNR pada Tabel 8 menunjukkan bahwa HE secara keseluruhan memiliki nilai yang lebih baik dibanding CLAHE.

Tabel 9. Hasil pengujian SSIM data sekunder

Gambar	HE	CLAHE
Room	0.1855	0.1482
Chapel	0.5988	0.5914
Bridge	0.6838	0.5195
Sideway	0.3683	0.3400
Forest	0.2164	0.2110
Far Away	0.7640	0.5008

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 9, hasil enhancement pada gambar yang diukur dengan SSIM semua data menyatakan bahwa algoritma HE lebih unggul dibanding CLAHE. Hal itu menunjukkan bahwa pada hasil pemrosesan dengan HE memiliki tingkat kemiripan dengan gambar asli, yang lebih dibanding dengan pemrosesan pada CLAHE.

Tabel 10. Hasil pengujian LOE data sekunder

Gambar	HE	CLAHE
Room	193.919172	1331.5
Chapel	411.4644	1459.8
Bridge	214.5684	1673.2
Sideway	323.3429	777.8778

Forest	186.7373	1264.8
Far Away	37.1465	1966.7

Berdasarkan hasil pengujian dengan *LOE* pada Tabel 10, dapat dilihat bahwa hasil gambar yang diproses menggunakan *HE* menghasilkan angka yang lebih kecil dibandingkan *CLAHE*. Hal tersebut menunjukkan hasil pemrosesan gambar dengan menggunakan *HE* lebih natural dibanding *CLAHE*.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif dengan data primer maupun sekunder, dapat diketahui bahwa dalam penelitian ini algoritma *HE* memiliki performa yang lebih baik ketika dibandingkan dengan algoritma pembandingnya yaitu *CLAHE*.

Hal tersebut dilihat dari pengamatan kualitatif dimana hasil gambar yang diproses dengan *HE* memiliki warna lebih natural dan cenderung tidak memiliki *artifact*. Selain itu berdasarkan hasil pengujian kuantitatif dengan *performance metrics PSNR, SSIM* dan *LOE*, algoritma *HE* mayoritas mempunyai hasil perhitungan yang lebih baik.

Pada proses *IE* yang dilakukan dengan menggunakan algoritma *HE* dan *CLAHE*, gambar asli dengan format *RGB* dikonversi terlebih dahulu menjadi *HSV* untuk diambil nilai *V* sebelum diproses. Setiap gambar yang mengalami konversi dari *color image* ke *grayscale image* mengalami penurunan kualitas [24]. Pada pengujian menggunakan aplikasi *IE*, hasil gambar yang diolah pada aplikasi secara keseluruhan mengalami kompresi gambar dengan rincian dimensi ukuran maksimum 400x300 atau sebaliknya, dengan ukuran *file* kurang lebih sebesar 100kb. Gambar hasil pemrosesan *IE* pada aplikasi menunjukkan peningkatan dari gambar asli yang memiliki cahaya minim menjadi gambar dengan kualitas cahaya yang lebih baik dan dapat mengenali objek.

V. SIMPULAN

Proses *enhancement* dapat dilakukan pada gambar minim cahaya dan diterapkan di *smartphone* dengan menggunakan algoritma *HE* atau *CLAHE* yang tidak dibatasi oleh merk dan tipe tertentu. Namun, spesifikasi dan kemampuan *smartphone* yang digunakan mempengaruhi keaslian warna (*color preserving*) dari gambar hasil pemrosesan dengan algoritma ketika dibandingkan dengan obyek asli.

Berdasarkan dari pengujian secara kualitatif, hasil pemrosesan menggunakan *HE* lebih baik daripada dengan *CLAHE* karena hasil pemrosesan gambar dengan menggunakan algoritma *HE* memiliki *artifact* yang lebih sedikit dibanding *CLAHE*.

Pada hasil pengujian kuantitatif, hasil pemrosesan dengan menggunakan *HE* juga lebih baik daripada dengan menggunakan *CLAHE*. Hal tersebut ditunjukkan dari tiga *performance metrics* yang

menunjukkan bahwa hasil pemrosesan gambar dengan menggunakan algoritma *HE* lebih baik dibandingkan *CLAHE* pada aspek *naturalness* dan kemiripan struktur dengan gambar asli.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Cepeda-Negrete, R. E. Sanchez-Yanez, F. E. Correa-Tome, and R. A. Lizarraga-Morales, "Dark Image Enhancement Using Perceptual Color Transfer," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 14935–14945, 2017, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2763898.
- [2] C. Y. Wong *et al.*, "Histogram equalization and optimal profile compression based approach for colour image enhancement," *J. Vis. Commun. Image Represent.*, vol. 38, pp. 802–813, 2016, doi: 10.1016/j.jvcir.2016.04.019.
- [3] W. Zhang, "Smartphone Photography in Urban China," *Int. J. Humanit. Soc. Sci.*, vol. 11, no. 1, pp. 231–239, 2017.
- [4] J. Feng and K. Yu, "Moore's law and price trends of digital products: the case of smartphones," *Econ. Innov. New Technol.*, vol. 0, no. 0, pp. 1–20, 2019, doi: 10.1080/10438599.2019.1628509.
- [5] K. Singh, R. Kapoor, and S. K. Sinha, "Enhancement of low exposure images via recursive histogram equalization algorithms," *Optik (Stuttg.)*, vol. 126, no. 20, pp. 2619–2625, 2015, doi: 10.1016/j.ijleo.2015.06.060.
- [6] M. F. Khan, E. Khan, and Z. A. Abbasi, "Image contrast enhancement using normalized histogram equalization," *Optik (Stuttg.)*, vol. 126, no. 24, pp. 4868–4875, 2015, doi: 10.1016/j.ijleo.2015.09.161.
- [7] C. R. Nithyananda, A. C. Ramachandra, and Preethi, "Review on Histogram Equalization based Image Enhancement Techniques," *Int. Conf. Electr. Electron. Optim. Tech. ICEEOT 2016*, pp. 2512–2517, 2016, doi: 10.1109/ICEEOT.2016.7755145.
- [8] R. P. Singh and M. Dixit, "Histogram Equalization: A Strong Technique for Image Enhancement," *Int. J. Signal Process. Image Process. Pattern Recognit.*, vol. 8, no. 8, pp. 345–352, 2015, doi: 10.14257/ijsp.2015.8.8.35.
- [9] K. Kapoor and S. Arora, "Colour Image Enhancement based on Histogram Equalization," *Electr. Comput. Eng. An Int. J.*, vol. 4, no. 3, pp. 73–82, 2015, doi: 10.14810/ecij.2015.4306.
- [10] S. H. Lim, N. A. Mat Isa, C. H. Ooi, and K. K. V. Toh, "A new histogram equalization method for digital image enhancement and brightness preservation," *Signal, Image Video Process.*, vol. 9, no. 3, pp. 675–689, 2015, doi: 10.1007/s11760-013-0500-z.
- [11] Q. Dai, Y. F. Pu, Z. Rahman, and M. Aamir, "Fractional-order fusion model for low-light image enhancement," *Symmetry (Basel)*, vol. 11, no. 4, 2019, doi: 10.3390/sym11040574.
- [12] O. Appiah and J. Ben Hayfron-Acquah, "Fast Generation of Image's Histogram Using Approximation Technique for Image Processing Algorithms," *Int. J. Image, Graph. Signal Process.*, vol. 10, no. 3, pp. 25–35, 2018, doi: 10.5815/ijigsp.2018.03.04.
- [13] O. Deperioglu, U. Kose, and G. Emre Guraksin, "Underwater Image Enhancement with HSV and Histogram Equalization," *Int. Conf. Adv. Technol. (ICAT 2018)*, no. June, 2018.
- [14] F. García-Lamont, J. Cervantes, A. López-Chau, and S. Ruiz, "Contrast Enhancement of RGB Color Images by Histogram Equalization of Color Vectors' Intensities," *Springer Int. Publ. AG, part Springer Nat. 2018*, vol. 10956, pp. 443–455, 2018, doi: 10.1007/978-3-319-95957-3_47.
- [15] R. A. Manju, G. Koshy, and P. Simon, "Improved Method for Enhancing Dark Images based on CLAHE and Morphological Reconstruction," *Procedia Comput. Sci.*

- vol. 165, no. 2019, pp. 391–398, 2019, doi: 10.1016/j.procs.2020.01.033.
- [16] G. Benitez-Garcia, J. Olivares-Mercado, G. Aguilar-Torres, G. Sanchez-Perez, and H. Perez-Meana, “Face identification based on Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE),” *Proc. 2011 Int. Conf. Image Process. Comput. Vision, Pattern Recognition, IPCV 2011*, vol. 1, no. April, pp. 363–369, 2011.
- [17] 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, no. c, pp. 11782–11792, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2797872.
- [18] S. Holla and M. M. Katti, “Android based Mobile Application Development and its Security,” *Int. J. Comput. Trends Technol.*, vol. 3, no. 3, pp. 486–490, 2012.
- [19] U. Sara, M. Akter, and M. S. Uddin, “Image Quality Assessment through FSIM, SSIM, MSE and PSNR—A Comparative Study,” *J. Comput. Commun.*, vol. 07, no. 03, pp. 8–18, 2019, doi: 10.4236/jcc.2019.73002.
- [20] J. Peng *et al.*, “Implementation of the structural SIMilarity (SSIM) index as a quantitative evaluation tool for dose distribution error detection,” *Med. Phys.*, 2020, doi: 10.1002/mp.14010.
- [21] S. Wang, J. Zheng, H. M. Hu, and B. Li, “Naturalness preserved enhancement algorithm for non-uniform illumination images,” *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 22, no. 9, pp. 3538–3548, 2013, doi: 10.1109/TIP.2013.2261309.
- [22] B. Bhan and S. Patel, “Efficient Medical Image Enhancement using CLAHE Enhancement and Wavelet Fusion,” *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 167, no. 5, pp. 1–5, 2017, doi: 10.5120/ijca2017913277.
- [23] Z. Hui, X. Wang, L. Deng, and X. Gao, “Perception-preserving convolutional networks for image enhancement on smartphones,” *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 11133 LNCS, pp. 197–213, 2019, doi: 10.1007/978-3-030-11021-5_13.
- [24] C. Saravanan, “Color image to grayscale image conversion,” *2010 2nd Int. Conf. Comput. Eng. Appl. ICCEA 2010*, vol. 2, no. April 2010, pp. 196–199, 2010, doi: 10.1109/ICCEA.2010.192.