

Penerapan Metode *Color Invariant* untuk Penghapusan Bayangan pada Citra Digital

Saskia Rizkiana Putri dan Dwi Ratna Sulistyningrum
Departemen Matematika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: dwiratna@gmail.com

Abstrak—Bayangan terjadi ketika cahaya dari sebuah sumber cahaya terhalangi oleh sebuah objek. Pada pengolahan citra digital bayangan dapat menyebabkan banyak kendala dan kesalahan informasi. Terlebih saat ada sebuah objek yang terhalangi oleh bayangan. Hal tersebut dapat menyebabkan kesalahan dalam proses deteksi atau pengenalan objek. Salah satu solusi dalam mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan melakukan proses reduksi bayangan. Metode *Color Invariant* digunakan untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Langkah pertama dari metode ini adalah menentukan kromatisitas log dari citra *input*. Selanjutnya adalah mendapatkan citra *illumination invariant* 1D dengan menggunakan minimasi entropi. Setelahnya akan dihasilkan citra kromatisitas dimana bayangan sudah tereduksi. Pada tugas akhir ini, citra kromatisitas diubah menjadi citra *grayscale* untuk memperoleh nilai RMSE. Namun, hasil citra output masih kurang bagus dari sisi visual karena tingkat kecerahan yang berbeda dengan citra *input* tanpa bayangan. Nilai RMSE tertinggi yang didapat adalah 0,361 dan terendah 0,013.

Kata Kunci—Bayangan, *Color Invariant*, Entropi, *Root Mean Square Error* (RMSE).

I. PENDAHULUAN

PADA era sekarang ini, mengabadikan sebuah peristiwa adalah hal yang seakan wajib untuk dilakukan. Kebanyakan orang mengabadikan peristiwa berharga mereka dengan menggunakan kamera. Kamera adalah suatu alat yang dapat mengangkap serta merekam momen dalam bentuk gambar maupun video. Saat ini Kamera bukanlah hal yang susah untuk didapatkan dan bahkan sekarang semua *smartphone* pun sudah dilengkapi dengan kamera. Hal tersebut meningkatkan kemungkinan banyak nya peristiwa yang terekam dalam bentuk foto atau video.

Bayangan merupakan salah satu jenis penghalang dalam pengambilan gambar. Bayangan dapat membuat hasil foto menjadi kurang optimal karena objek foto tertutupi bagian gelap dari bayangan. Akibatnya, informasi yang seharusnya bisa didapatkan dari foto tersebut menjadi kurang valid. Padahal dari sebuah foto, bisa didapat informasi yang sangat berguna. Foto dapat diolah untuk selanjutnya dilakukan deteksi, identifikasi dan klasifikasi objek. Salah satu permasalahan nyata yang terjadi adalah bayangan yang menghalangi kerusakan jalan yang berupa retakan dan lubang. Apabila foto kerusakan jalan tersebut langsung diolah untuk proses identifikasi maupun klasifikasi jenis kerusakan jalan maka akibatnya hasil akurasi kurang optimal dan bisa terjadi kesalahan dalam pengklasifikasian. Oleh karena itu dibutuhkan suatu media untuk mengurangi atau bahkan menghilangkan bayangan yang tertangkap oleh kamera pada saat pengambilan foto.

Sampai saat ini, sudah ada beberapa penelitian yang

membahas tentang penghapusan bayangan pada foto. Pada tahun 2013, Qiang He dkk. melakukan penelitian penghapusan bayangan dengan menggunakan *K-Means Method* dan *Fisher Linear Discriminant* [1]. Selanjutnya pada tahun 2014, Zhang Yali dkk. juga melakukan penelitian penghapusan bayangan dengan menggunakan metode lain dengan menerapkan *Histogram Matching* dan *Color Model Recovery* [2]. Sedangkan pada tahun 2017, Abbas Nasrabadi dan Mahdi Vaezi melakukan penelitian lainnya dengan menggunakan *Gabor Texture Filtering* dan *Color Segmentation* [3].

Color invariant adalah metode terbaru tentang pengenalan berbasis warna menemukan deskriptor invarian warna (*color invariant*) dari distribusi warna tanpa menggunakan algoritma ketetapan warna (*color constancy*) *full-blown*. *Color invariant* tidak memperkirakan penggambaran cahaya dan pantulan permukaan secara langsung. Sebaliknya mereka merupakan fitur yang tidak berubah dengan perubahan cahaya. Ada berbagai cara untuk mendapatkan fitur invarian antara lain : menormalkan lokasi citra dengan referensi RGB, dengan menggunakan rasio warna , dan hue [4].

Oleh karena itu, berdasarkan paparan latar belakang diatas, maka pada penelitian ini dilakukan penghapusan bayangan pada citra digital dengan menggunakan metode *Color Invariant*.

II. DASAR TEORI

A. Citra

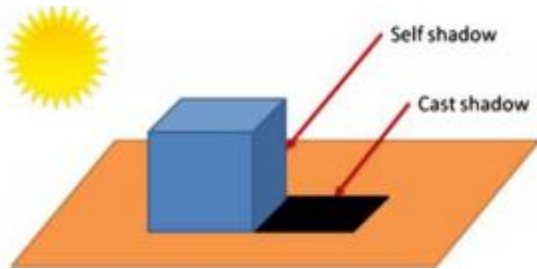
Suatu citra dapat didefinisikan sebagai fungsi $f(x,y)$ berukuran M baris dan N kolom, dengan x dan y sebagai koordinat spasial, dan amplitude f di titik koordinat (x,y) dinamakan intensitas atau tingkat keabuan dari citra pada titik tersebut [5]. Apabila nilai x, y, dan nilai amplitude f secara keseluruhan berhingga (*finite*) dan bernilai diskrit maka dapat dikatakan bahwa citra tersebut adalah citra digital.

B. Bayangan

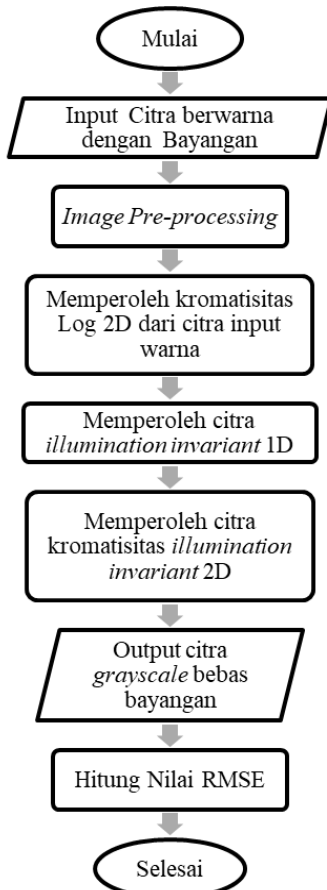
Bayangan terjadi ketika suatu objek sebagian atau seluruhnya menghalangi cahaya langsung dari sumber penerangan [6]. Bayangan dapat dibagi menjadi dua kelas yaitu *self shadow* dan *cast shadow*. *Self shadow* dan *cast shadow* memiliki tingkat kecerahan yang berbeda. Ilustrasi *self shadow* dan *cast shadow* dapat dilihat pada Gambar 1.

Self shadow merupakan daerah bayangan pada objek itu sendiri . *Self shadow* juga biasanya memiliki tingkat kecerahan yang lebih tinggi daripada *cast shadow* karena bagian tersebut mendapatkan lebih banyak pencahayaan sekunder dari benda-benda disekitarnya.

Cast shadow terdiri dari dua bagian yaitu umbra dan penumbra. *Umbra* adalah bagian dari *cast shadow* dimana



Gambar 1. Ilustrasi *self shadow* dan *cast shadow*.



Gambar 2. Diagram alir penghapusan bayangan dengan metode *color invariant*.

cahaya langsung sepenuhnya diblokir atau terhalangi oleh objek. Sedangkan *penumbra* adalah bagian dari *cast shadow* dimana cahaya langsung hanya terhalangi secara parsial atau sebagian.

C. *Color Invariant*

Color Invariant merupakan metode yang berfokus pada warna. Warna dianggap bisa menjadi petunjuk yang baik untuk mendeteksi sebuah objek [4]. *Color Invariant* sebelumnya juga pernah digunakan untuk mendeteksi bangunan dari gambar udara.

Color Invariant bisa didekati dengan beberapa cara yaitu dengan Normalisasi Warna, pendekatan secara statistik dan pendekatan dengan Hue.

D. *Entropi*

Teori informasi yang memberikan landasan teoritis untuk mengukur konten informasi, atau ketidakpastian, dari variabel acak yang direpresentasikan sebagai distribusi [7]. Diberikan X variabel acak diskrit dengan alfabet χ dan

probabilitas fungsi massa $p(x), x \in \chi$. Entropi *Shannon* dari X didefinisikan sebagai berikut

$$H(X) = - \sum_{x \in \chi} p(x) \log p(x)$$

Dengan $p(x) \in [0.0, 1.0], \sum_{x \in \chi} p(x) = 1.0$, dan $-\log p(x)$ melambangkan informasi yang terkait dengan kemunculan tunggal dari x . Satuan dari informasi disebut dengan *bit*. Umumnya, logaritma diambil pada *base 2* atau *e*. Untuk kontinuitas probabilitas nol tidak membantu pada entropi, *i.e.*, $0 \log 0 = 0$. Sebagai ukuran rata-rata ketidakpastian dalam X , entropi selalu bernilai positif atau tidak negatif, dan menunjukkan jumlah *bit* rata-rata yang diperlukan untuk mendeskripsikan variabel acak. Semakin tinggi entropi, semakin banyak informasi dari sebuah variabel. Sifat penting dari entropi adalah bahwa $H(x)$ adalah fungsi cekung dan mencapai nilai maksimum $\log|\chi|$ jika dan hanya jika $p(x)$ sama untuk semua x , yaitu ketika distribusi probabilitas bernilai seragam. Kunci dari menerapkan konsep entropi untuk masalah visualisasi terletak pada bagaimana cara menentukan secara acak variabel X dan fungsi probabilitas $p(x)$. Dalam kebanyakan kasus, fungsi probabilitas ini bisa didefinisikan secara heuristik untuk memenuhi kebutuhan aplikasi individual.

E. *Root Mean Square Error (RMSE)*

Sebelum menghitung RMSE perlu diketahui terlebih dahulu tentang *Mean Square Root (MSE)*. MSE merupakan ukuran yang digunakan untuk menilai baik buruknya sebuah metode untuk melakukan rekonstruksi atau restorasi citra relatif terhadap citra aslinya [5]. Perhitungan nilai MSE dapat dilakukan dengan persamaan dibawah ini :

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [f_1(x, y) - f_2(x, y)]^2$$

dengan M dan N adalah jumlah baris dan kolom pada citra *input* serta $f_1(x, y)$ dan $f_2(x, y)$ adalah citra asli dan citra *output* yang sudah diproses. Semakin kecil nilai dari MSE, menunjukkan bahwa hasil pemrosesan citra semakin bagus.

Untuk perhitungan nilai RMSE (*Root Mean Square Root*) dapat dilakukan dengan persamaan berikut :

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [f_1(x, y) - f_2(x, y)]^2}$$

sama seperti pada MSE dengan M dan N adalah jumlah baris dan kolom pada citra *input* serta $f_1(x, y)$ dan $f_2(x, y)$ adalah citra asli dan citra *output* yang sudah diproses. Semakin kecil nilai dari RMSE, juga menunjukkan bahwa hasil pemrosesan citra semakin bagus.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bagian ini menguraikan objek dan data yang digunakan dalam penelitian penghapusan bayangan dengan menggunakan metode *Color Invariant* pada citra digital serta langkah – langkah sistematis yang dilakukan dalam proses pengerjaan penelitian ini. Diagram alir penghapusan

Tabel 1.
Contoh data citra dari tiap kasus citra

No	Kasus Citra	Citra Input 200 x 200 piksel
1	Citra bayangan dengan background cenderung hitam atau abu-abu	
2	Citra bayangan dengan background berwarna	
3	Citra bayangan dengan objek	
4	Citra bayangan dengan objek pembentuknya	
5	Citra bayangan dengan objek warna mirip bayangan,	
6	Citra bayangan pada kerusakan jalan	

bayangan dengan metode *Color Invariant* dapat dilihat pada Gambar 2.

A. Pengumpulan Data

Objek penelitian dalam penelitian ini adalah citra berwarna dengan bayangan yang didapat dari pengambilan data citra sendiri dan github yaitu ISTD Dataset dan USR Dataset. Bayangan yang akan dilakukan proses penghapusan adalah cast shadow yaitu area yang diproyeksikan oleh objek yang searah dengan cahaya langsung.

B. Input dan Preprocessing Data

Dari hasil pengumpulan data citra berwarna dengan bayangan, citra – citra tersebut masih memiliki ukuran piksel asli yang cukup besar. Sehingga diperlukan proses *resize* atau pengurangan ukuran piksel. Pada penelitian ini citra *input* diubah menjadi ukuran 200 x 200 piksel. Proses *resize* ini dilakukan untuk mempercepat waktu komputasi.

C. Memperoleh Kromatisitas Log 2D dari Citra Input

Berikut merupakan langkah – langkah untuk mendapatkan kromatisitas Log 2D dari citra *input* [4]:

1. Menormalisasi channels R, G dan B dari citra input dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$R' = \frac{R}{R+G+B} \tag{1a}$$

$$G' = \frac{G}{R+G+B} \tag{1b}$$

$$B' = \frac{B}{R+G+B} \tag{1c}$$

Keterangan :

R, G, B = Tiga *channels* warna dari citra input

R', G', B' = Tiga *band* citra *color invariant*

2. Menghitung nilai log dari tiap *channels* yang sudah dinormalisasi, sebagai berikut :

$$\rho_1 = \log(R') \tag{2a}$$

$$\rho_2 = \log(G') \tag{2b}$$

$$\rho_3 = \log(B') \tag{2c}$$

3. Memproyeksikan nilai – nilai ρ ke dalam bidang 2D dengan menggunakan persamaan dibawah ini [4] :

$$x_1 = \rho_1 * \frac{1}{\sqrt{2}} - \rho_2 * \frac{1}{\sqrt{2}} \tag{3a}$$

$$x_2 = \rho_1 * \frac{1}{\sqrt{6}} + \rho_2 * \frac{1}{\sqrt{6}} - \rho_3 * \frac{2}{\sqrt{6}} \tag{3b}$$

D. Memperoleh Citra Illumination Invariant 1D

Berikut persamaan untuk memperoleh citra *illumination invariant* 1D :

$$I_{inv} = x_1 \cos(\theta) + x_2 \sin(\theta) \tag{4}$$

Selanjutnya akan digunakan minimasi entropi untuk mendapatkan sudut proyeksi (θ) terbaik, dengan algoritma sebagai berikut :

1. Untuk $\theta_k = 1 \dots 180$. Proyeksikan data kedalam bidang 1D menggunakan persamaan (4) dan menghitung entropi (η_k) dengan persamaan sebagai berikut :

$$\eta = -\sum(P_1(I_{inv}) * \log P_1(I_{inv})) \tag{5}$$

2. Nilai dari θ_k yang memiliki entropi minimum akan dipilih menjadi sudut proyeksi (θ) , sehingga menjadi persamaan sebagai berikut :

$$\theta = \min_k(\eta_k) \tag{6}$$

3. Proyeksikan x dalam sudut θ untuk mendapatkan citra *illumination invariant* 1D.

E. Memperoleh Citra Kromatisitas Illumination Invariant 2D

Berikut merupakan algoritma untuk memperoleh citra kromatisitas *illumination invariant* 2D :

1. Mencari rata – rata dari x_1 atau x_2

$$x = \frac{\max(x_2) + \min(x_2)}{2} \tag{7}$$

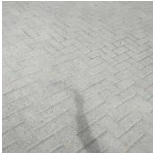

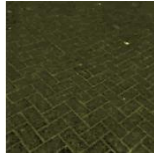

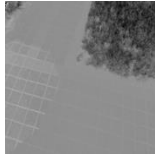


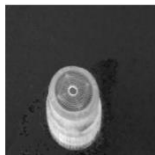
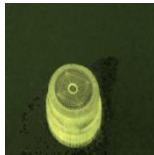

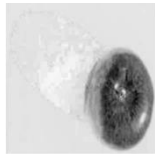
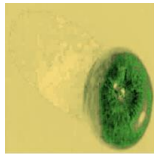
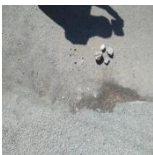
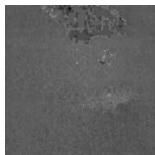
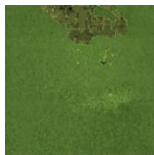

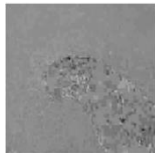
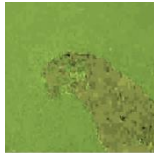
2. Gunakan x untuk membagi nilai x_2 dan ambil nilai tengah dari keduanya.

$$c_1 = \text{nilai} - \text{nilai dari } x_2 \geq x \tag{8a}$$

$$c_2 = \text{nilai} - \text{nilai dari } x_2 < x \tag{8b}$$

$$m_1 = \text{median}(c_1) \tag{8c}$$

Tabel 2.
Citra input , citra illumination invariant 1D dan citra kromatisitas illumination invariant 2D

No	Citra Input	Citra Illumination Invariant 1D	Citra Kromatisitas Illumination Invariant 2D
1			
2			
3			
4			
5			
6			

$$m_2 = \text{median}(c_2) \tag{8d}$$

3. Rekonstruksi citra kromatisitas dengan menggunakan citra *invariant* 1D, sebagai berikut :

Jika $x_2 \geq x$ maka

$$RG = I_{inv} \cos(-\theta) + m_2 \sin(-\theta) \tag{9a}$$

$$BG = -I_{inv} \sin(-\theta) + m_2 \cos(-\theta) \tag{9b}$$

Jika $x_2 < x$ maka

$$RG = I_{inv} \cos(-\theta) + m_2 \sin(-\theta) \tag{10a}$$

$$BG = -I_{inv} \sin(-\theta) + m_2 \cos(-\theta) \tag{10b}$$

4. Karena *RG* dan *BG* berada pada domain logaritma, sehingga harus didapatkan nilai eksponensial dari *RG* dan *BG* untuk menghasilkan citra kromatisitas *illumination invariant* 2D yang sudah berkurang efek gelap bayangannya.

F. Merekonstruksi Citra Kromatisitas Illumination Invariant 2D menjadi Citra Grayscale

Pada penelitian ini citra kromatisitas *illumination invariant* 2D yang sudah berkurang efek bayangannya diubah menjadi citra *grayscale*.

G. Menghitung Nilai RMSE

RMSE atau *Root Mean Square Error* digunakan untuk membandingkan antara bagian bayangan dan non bayangan dari citra asli tanpa bayangan dan citra hasil penghapusan bayangan.


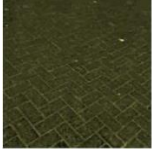



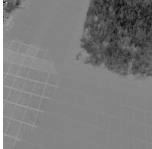

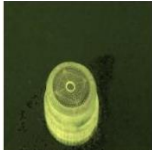


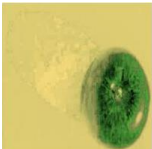
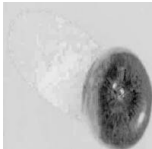
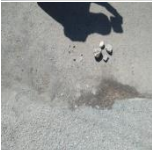
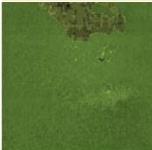
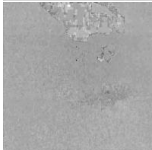

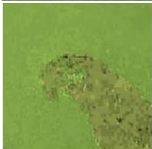
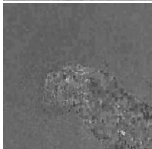
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini menguraikan hasil serta pembahasan dari langkah – langkah penelitian pada metodologi penelitian.

A. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data citra warna dengan bayangan yang didapat dari pengambilan oleh penulis sendiri serta dari yang diperoleh dari *github* yaitu ISTD dataset dan USR dataset. Data citra tersebut dibagi menjadi enam kasus yaitu citra bayangan dengan *background* cenderung hitam atau abu-abu, citra bayangan dengan *background* berwarna, citra bayangan dengan objek, citra bayangan dengan objek pembentuknya, citra bayangan dengan objek warna mirip bayangan, dan citra bayangan pada kerusakan jalan. Contoh data-data diatas akan dijabarkan pada Tabel 1.

Tabel 3.
Citra input, citra kromatisitas *illumination invariant* 2D dan citra *grayscale* bebas bayangan

No	Citra Input	Citra Kromatisitas <i>illumination invariant</i> 2D	Citra <i>Grayscale</i> Bebas bayangan (Output)
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Tabel 4.
Hasil RMSE dengan parameter epsilon

No	Epsilon	RMSE			Waktu Komputasi
		Bayangan	Non bayangan	Total	
1	0,001	0,013	0,064	0,066	3,204
	0,01	0,013	0,063	0,064	3,035
	0,1	0,021	0,101	0,103	3,053
2	0,001	0,064	0,144	0,158	2,878
	0,01	0,073	0,140	0,158	2,894
	0,1	0,073	0,140	0,158	2,915
3	0,001	0,222	0,285	0,361	2,934
	0,01	0,222	0,285	0,361	2,851
	0,1	0,222	0,285	0,361	2,910
4	0,001	-	0,129	-	2,992
	0,01	-	0,129	-	2,712
	0,1	-	0,129	-	2,752
5	0,001	0,031	0,077	0,083	2,808
	0,01	0,101	0,188	0,213	2,873
	0,1	0,098	0,153	0,182	3,243
6	0,001	0,095	0,180	0,204	2,813
	0,01	0,081	0,176	0,194	3,041
	0,1	0,081	0,176	0,194	3,051

B. Input dan Preprocessing Data

Data input citra warna yang awalnya berukuran besar akan diubah ukurannya (*resize*) menjadi 200 x 200 piksel. Langkah tersebut dilakukan untuk mempersept waktu komputasi. Penjabaran data citra input warna yang telah di-*resize* berada pada Tabel 1.

C. Memperoleh Citra *illumination invariant* 1D

Setelah didapatkan kromatisitas log 2D, selanjutnya adalah

membentuk citra *illumination invariant* 1D menggunakan persamaan 4.

D. Memperoleh Citra Kromatisitas *illumination invariant* 2D

Langkah selanjutnya adalah membentuk citra kromatisitas *illumination invariant* 2D dengan mengikuti algoritma yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya. Pada Tabel 2 dibawah ini menjabarkan contoh hasil dari citra *input* menjadi

citra *illumination invariant* 1D dan citra kromatisitas *illumination invariant* 2D.

E. Merekonstruksi Citra Kromatisitas *Illumination Invariant* 2D menjadi Citra *Grayscale*

Selanjutnya setelah didapat citra kromatisitas *illumination invariant* 2D, pada penelitian ini citra – citra tersebut diubah menjadi citra *grayscale* yang akan ditunjukkan pada Tabel 3.

F. Menghitung Nilai RMSE

Pada penelitian ini, terdapat tiga nilai RMSE yaitu pada daerah bayangan, non bayangan dan total [8]. RMSE juga dihitung berdasarkan parameter ϵ (epsilon) 0,001 , 0,01 dan 0,1[9]. Hasil RMSE bayangan, non bayangan dan total akan dipaparkan pada Tabel 4.

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Kesimpulan yang didapat setelah melakukan uji coba dan mendapatkan hasil dari penelitian penghapusan bayangan menggunakan metode *Color Invariant* adalah sebagai berikut : (1)Penelitian ini melakukan implementasi penghapusan bayangan pada citra digital dengan menggunakan metode *Color Invariant*. Langkah yang dilakukan adalah melakukan penormalan pada tiap *channel* R,G, dan B pada sebuah citra lalu dicari nilai log dari tiap hasil penormalan lalu dengan minimasi entropi citra bayangan akan diubah menjadi citra *illumination Invariant* 1D. Selanjutnya citra tersebut akan diubah menjadi citra kromatisitas. Tetapi , citra kromatisitas tersebut tidak dapat diolah untuk perhitungan RMSE , sehingga citra kromatisitas tersebut diubah menjadi citra *grayscale*. RMSE dihitung berdasarkan citra asli tanpa bayangan *grayscale* dan citra *output*; (2)Pada penelitian tentang penghapusan bayangan ini, dibagi menjadi enam kasus yaitu citra bayangan dengan *background* hitam atau abu-abu, citra bayangan dengan *background* berwarna, citra bayangan dengan objek dan citra bayangan dengan objek pembentuknya, citra bayangan dengan objek warna mirip

bayangan, dan citra bayangan pada kerusakan jalan. Keenam kasus tersebut diproses dengan nilai epsilon (ϵ) 0,001 , 0,01 dan 0,1. Hasil terbaik diperoleh pada percobaan citra bayangan dengan *background* hitam atau abu-abu dengan nilai RMSE bayangan terkecil 0,013, RMSE non bayangan terkecil 0,063 dan RMSE total terkecil 0,064 dengan nilai epsilon (ϵ) 0,01. Waktu komputasi metode ini memerlukan waktu berkisar 2,7 sampai 3,7 *second* Sehingga dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan metode *Color Invariant* cukup optimal untuk penghapusan bayangan pada citra digital.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Q. He and C.-H. H. Chu, "A new shadow removal method for color images," *Adv. Remote Sens.*, vol. 2, no. 2, pp. 77–84, 2013, doi: 10.4236/ars.2013.22011.
- [2] Y. Zhang, Y. Zhao, P. Xiao, Y. Yuan, X. Yang, and Y. Lu, "Shadow removal of single texture region using histogram matching and color model recovery," in *12th International Conference on Signal Processing Proceedings (ICSP)*, 2014, pp. 871–874.
- [3] A. Nasrabadi and M. Vaezi, "Shadow removal using texture and color clustering," *Int. J. Environ. Sci. Educ.*, vol. 12, no. 4, pp. 701–709, 2017.
- [4] A. Krishnan, P. Jayadevan, and J. V Panicker, "Shadow removal from single image using color invariant method," in *2017 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*, Apr. 2017, pp. 583–587, doi: 10.1109/ICCSP.2017.8286425.
- [5] P. N. Andono and T. S. Muljono, *Pengolahan Citra Digital*. Yogyakarta: Andi, 2017.
- [6] V. Chondagar, H. Pandya, M. Panchal, R. Patel, D. Sevak, and K. Jani, "A review: shadow detection and removal," *Int. J. Comput. Sci. Inf. Technol.*, vol. 6, no. 6, pp. 5536–5541, 2015.
- [7] C. Wang and H. W. Shen, "Information theory in scientific visualization," *Entropy*, vol. 13, no. 1, pp. 254–273, 2011, doi: 10.3390/e13010254.
- [8] S. Murali, G. V K, and S. Kalady, "A survey on shadow removal techniques for single image," *Int. J. Image, Graph. Signal Process.*, vol. 8, no. 12, pp. 38–46, 2016, doi: 10.5815/ijigsp.2016.12.05.
- [9] P. C. Nikkil Kumar and P. Malathi, "A survey on various shadow detection and removal methods," in *International Conference On Computational Vision and Bio Inspired Computing ICCVIBIC 2019: Computational Vision and Bio-Inspired Computing*, 2020, vol. 1108 AISC, pp. 395–401, doi: 10.1007/978-3-030-37218-7_45.