

## **OPTIMASI *MULTI SCALE RETINEX* CITRA BAWAH AIR DENGAN MENGGUNAKAN *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION***

**Putu Samuel Prihatmajaya<sup>1</sup>, Pulung Nurtantyo Andono<sup>2</sup>, Ricardus Anggi Pramunendar<sup>3</sup>**  
<sup>123</sup>Pasca Sarjana Teknik Informatika Universitas Dian Nuswantoro

### **ABSTRAK**

*Penelitian tentang perbaikan citra sudah sejak lama dilakukan dan hingga saat ini masih dilakukan penelitian tentang perbaikan citra. Beberapa penelitian yang telah dilakukan menghasilkan beberapa usulan metode untuk perbaikan citra. Penelitian di bidang computer vision untuk lingkungan bawah air menjadi tantangan dari beberapa peneliti untuk melakukan image restoration. Karena untuk citra bawah air sering banyak menghadapi permasalahan intensitas cahaya, partikel-partikel yang banyak mengganggu pandangan, ditambah jika terjadi gelombang akan membuat kestabilan dalam mengambil citra terganggu sehingga bisa mengakibatkan noise yang besar jika dibandingkan pengambilan citra di darat. Dalam penelitian ini pembahasan yang dilakukan adalah perbaikan citra bawah air dengan menggunakan MSCR (Multi Scale Retinex) dengan mengoptimalkan pembobotan dari MSCR dengan menggunakan teknik PSO (Particle Swarm Optimization) sebagai teknik optimasinya, sehingga mendapatkan tingkatan error yang lebih rendah. Sehingga hasil MSE (Mean Square Error) yang di dapatkan oleh MSCR adalah sebesar 5218,4249 dan hasil yang didapatkan dengan menggunakan PSO adalah sebesar 4955,0757.*

**Kata kunci:** *multi scale Retinex, particle swarm optimization, measn square error, optimasi, bawah air.*

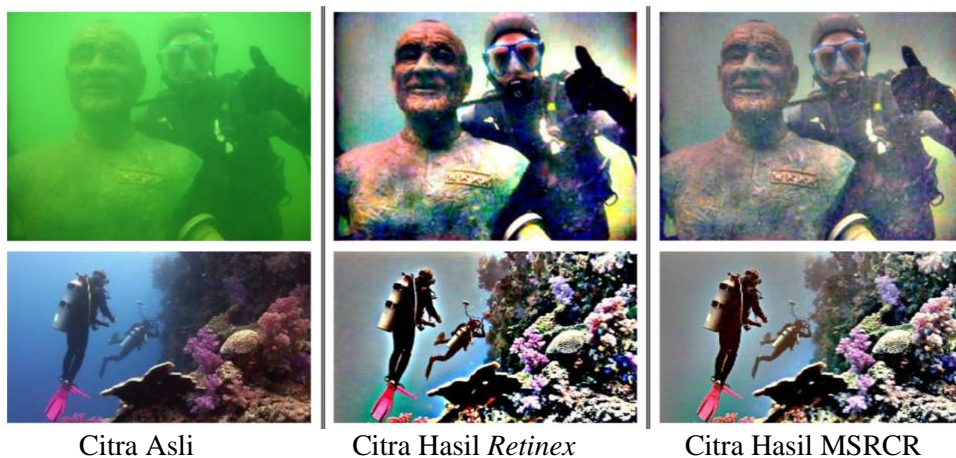
### **1. PENDAHULUAN**

Penelitian tentang perbaikan citra sudah sejak lama dilakukan dan hingga saat ini masih dilakukan penelitian tentang perbaikan citra. Beberapa penelitian yang telah dilakukan menghasilkan beberapa usulan metode untuk perbaikan citra. Penelitian di bidang computer vision untuk lingkungan bawah air menjadi tantangan dari beberapa peneliti untuk melakukan image restoration. Karena untuk citra bawah air sering banyak menghadapi permasalahan intensitas cahaya, partikel-partikel yang banyak mengganggu pandangan, ditambah jika terjadi gelombang akan membuat kestabilan dalam mengambil citra terganggu sehingga bisa mengakibatkan noise yang besar jika dibandingkan pengambilan citra di darat.

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh para peneliti yang melakukan riset untuk perbaikan citra bawah air mengusulkan beberapa metode perbaikan citra penggunaan *wavelength compensation and image dehazing* (WCID) untuk perbaikan citra[1], penggunaan *adaptive filtering* untuk memperbaiki *scale-invariant feature transform* (SIFT) berbasis *image matching*[2], *rayleigh stretching*[3][4], Menurunkan sifat optik pada air[5], hybrid method meliputi pengkoreksian warna dan *image dehazing*[6].

Permasalahan umum yang dihadapi oleh penelitian bawah air adalah masalah kontras dan pencahayaan terhadap citra yang hasil tangkapan kamera. Hal ini disebabkan lingkungan bawah air banyak terdapat partikel-partikel yang menyebabkan cahaya yang masuk ke dalam air diserap dan dihamburkan, sehingga objek di bawah air mengalami gangguan dalam pencahayaan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut memerlukan metode tambahan untuk memperbaiki masalah tersebut, tetapi perbaikan yang diberikan masih sebatas memberikan pencahayaan pada citra yang diproses, tapi jika terlalu terang perlu menambahkan metode lagi untuk memperbaiki citra yang terlalu terang. Untuk mengatasi hal tersebut diusulkan metode perbaikan citra yang bisa memperbaiki jika citra terlalu gelap atau terlalu terang akan disesuaikan sehingga citra yang dihasilkan menjadi baik dengan menggunakan *Retinex*, metode ini diusulkan pertama kali oleh Edwin H. Land dan dikembangkan oleh McCann, Metode ini terinspirasi

dengan sistem penglihatan manusia. Metode ini merupakan metode yang mensimulasikan sistem visual pada manusia[7][8]. Dalam pengembangannya *Retinex* menjadi metode yang diusulkan dalam beberapa penelitian yang meliputi:menyatukan *framework Retinex* untuk implementasi banyak *Retinex* dalam satu model[9], Teori *Retinex* dapat digunakan untuk mengurangi *inhomogeneity*[10], memperbaiki peningkatan citra malam hari[11], peningkatan citra udara yang memiliki jarak penglihatan yang rendah[12],*random sprays Retinex* (RSR) sebagai penyeimbang untuk mencapai ketetapan warna dan perbaikan citra dengan menggunakan *light random srprays Retinex* (LRSR) berdasarkan ukuran yang sama[13], peningkatan kualitas citra mikroskopik[14], sebagai daya kendali operasi log dan dapat mengontrol citra *input* MRS dengan untuk sub-bands yang berbeda yang telah diuraikan[15], untuk mengatasi masalah jarak pandang citra yang berkurang dengan menggunakan *Retinex framework*[16]. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Zhang et al.[16] dapat kita lihat melalui penjelasan lebih lanjut melalui gambar 1.1 dan hasil yang telah didapat dapat dilihat pada table 1.1, dimana dilakukan percobaan terhadap 5 citra dengan membandingkan dengan menggunakan dua metode yang berbeda, yaitu dengan menggunakan *Retinex* biasa dan dengan menggunakan *multi scale Retinex with color resotarion* (MSRCR).



Gambar 1.

Gambar 2. Perbandingan gambar bawah air[16]

Pada gambar 1. merupakan perbandingan antara citra asli pada baris sebelah kiri, selanjutnya dari citra asli pada tersebut dilakukan perbaikan citra dengan menggunakan teori *Retinex* pada bagian tengah gambar dan metode yang diusulkan dalam penelitian tersebut yaitu dengan menggunakan MSRCR pada bagian paling kanan.

Hasil penelitian dengan menggunakan MSE pada gambar 1 dapat dilihat pada tabel 1

Tabel 1. Perbandingan Pengukuran Kualitas Percobaan pada Gambar 1 [16]

		<i>Quality Measurement</i>				
		<i>Row 1</i>	<i>Row 2</i>	<i>Row 3</i>	<i>Row 4</i>	<i>Row 5</i>
MSE	<i>Retinex</i>	736.76	455.96	332.25	490.00	389.91
	MSRCR	455.00	316.27	87.84	312.20	231.36

Dapat dilihat pada tabel bahwa adanya perbedaan. Nilai MSRCR lebih rendah dibandingkan nilai dari *Retinex*. Dari hasil tersebut maka MSE yang lebih kecil menunjukkan tingkat *error* terhadap citra yang asli dengan menggunakan MSRCR lebih rendah jika dibandingkan *Retinex*.

Dari penelitian yang sudah dipaparkan kemungkinan untuk hasil akurasi dapat lebih ditingkatkan dengan menambahkan metode optimasi dalam melakukan perbaikan citra bawah laut. Beberapa metode optimasi yang dikemukakan melalui beberapa penelitian mengusulkan penelitian [17] mengatasi masalah perpindahan panas dengan menggunakan tiga algoritma metaheuristik *ant colony optimization* (ACO), *cuckoo search* dan *particle swarm optimization* (PSO), [18] PSO untuk optimasi aliran waduk yang banyak tujuan, [19] *whale optimization* dan *moth-flame* untuk segmentasi ambang batas bertingkat, [20] campuran metode PSO dengan *genetics algorithm* (GA) untuk mengoptimalkan pemeriksaan pengerasan aspal, [21] Metode gabungan antara PSO, ACO dan algoritma 3-Opt untuk *traveling salesman problem*, [22] algoritma GA untuk mengoptimalkan alat pemotong. Dari penelitian tentang optimasi dipilih PSO, karena PSO mudah diimplementasikan dan hanya membutuhkan parameter sedikit.

Dalam penelitian ini pembahasan yang dilakukan adalah perbaikan citra bawah air dengan menggunakan MSR dengan mengoptimalkan pembobotan dari MSR dengan menggunakan teknik PSO sebagai teknik optimasinya, sehingga mendapatkan tingkatan *error* yang lebih rendah.

Penelitian sebelumnya tingkat *error* yang menggunakan MSCR dalam perbaikan citra yang masih tinggi. Oleh karena itu penelitian ini memiliki tujuan untuk mendapatkan *error* yang lebih rendah dalam perbaikan citra bawah air menggunakan MSCR dengan optimasi PSO. Sehingga memiliki beberapa manfaat seperti :

- a. Sebagai referensi dalam pengembangan perbaikan citra khususnya pencahayaan untuk mendapatkan hasil *error* yang lebih rendah.
- b. Adanya sumbangan metode baru dalam perbaikan citra bawah air dengan menggunakan MSCR dan PSO sebagai metode perbaikan citra.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Penelitian Relevan

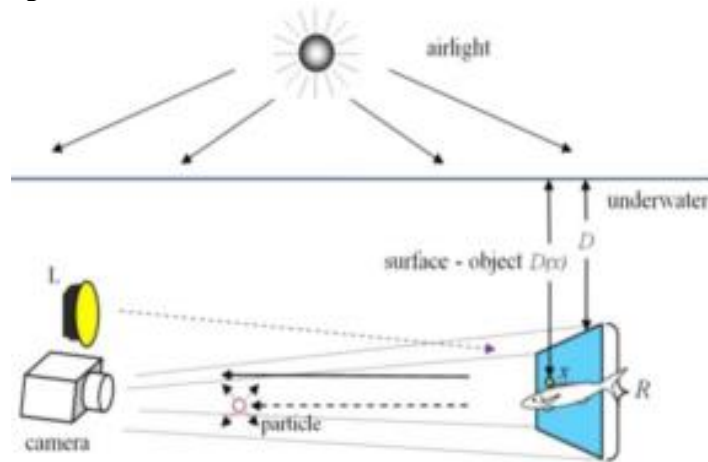
X. Zhao, T. Jin, and S. Qu, "Deriving inherent optical properties from background color and underwater image enhancement," *Ocean Eng.*, vol. 94, pp. 163–172, 2015. Metode yang menurunkan sifat optik yang melekat pada air dari warna latar belakang gambar bawah laut berdasarkan model pembentukan citra bawah laut. Metode yang diusulkan dapat secara efektif memperkirakan sifat optik yang melekat dan dapat digunakan untuk peningkatan citra bawah air dengan kinerja yang baik.

C. Li, J. Guo, C. Guo, R. Cong, and J. Gong, "A hybrid method for underwater image correction," *Pattern Recognit. Lett.*, vol. 94, pp. 62–67, 2017. Metode hibrid, yang meliputi koreksi warna dan penguraian citra bawah laut, diusulkan untuk memperbaiki kualitas visual citra bawah laut yang terdegradasi. Pertama, algoritma koreksi warna yang efisien diterapkan untuk menghilangkan bayangan warna gambar di bawah air. Kemudian, metode pengeringan imitasi di bawah air diusulkan untuk memperbaiki visibilitas gambar bawah laut, yang mencakup algoritma estimasi cahaya latar belakang global yang khusus untuk gambar di bawah air dan algoritma transkripsi transmisi medium yang didasarkan pada kombinasi model regresi dengan karakteristik cahaya. Berpergian di media air. Metode yang diusulkan secara signifikan memperbaiki warna dan jarak pandang citra bawah laut yang terdegradasi, dan sebanding dengan dan bahkan mengungguli beberapa metode mutakhir.

S. Zhang, T. Wang, J. Dong, and H. Yu, "Underwater image enhancement via extended multi-scale *Retinex*," *Neurocomputing*, vol. 245, pp. 1–9, 2017. LAB-MSR, dicapai dengan memodifikasi algoritma *Retinex* asli. Ini menggunakan kombinasi filter bilateral dan filter trilateral pada tiga saluran gambar di ruang warna CIELAB sesuai karakteristik masing-masing saluran. Metode yang diusulkan meringankan artefak halo dalam gambar yang disempurnakan untuk sebagian besar. Artefak halo jelas terlihat pada gambar olahan oleh MSRCR, terutama di mana tepinya tajam. Metode yang diusulkan menekan efek ini

karena pemanfaatan filter dengan pertimbangan distribusi di ketiga aspek tersebut. Selanjutnya, kontras yang terlalu tinggi dihindari untuk gambar yang disempurnakan dengan metode yang diusulkan

Selanjutnya ilustrasi penyebab masalah pengambilan citra bawah air dapat dilihat melalui ilustrasi yang dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 3. Ilustrasi Gangguan Bawah Air[1]

Pada ilustrasi tersebut dapat dilihat pada saat pengambilan citra bawah air jalur kamera dengan objek bawah air mendapat halangan dari partikel-partikel kecil yang membuat hasil tangkapan kamera mengalami gangguan. Hal ini memerlukan metode untuk meminimalkan atau bahkan menghilangkan gangguan tersebut. Sehingga objek hasil tangkapan menjadi lebih baik. Dalam penelitian ini digunakan algoritma WCID sebagai metode perbaikan citra karena dapat efektif dalam mengembalikan keseimbangan warna citra dan menghilangkan kabut.

## 2.2. Landasan teori

### 2.2.1 Particle Swarm Optimization (PSO)

Metode untuk melakukan optimasi, pada metode ini pencarian solusi dilakukan oleh suatu populasi yang terdiri dari beberapa partikel. Populasi dibangkitkan secara random dengan batas nilai terkecil dan nilai terbesar. Setiap partikel merepresentasikan posisi atau solusi dari permasalahan yang dihadapi. Setiap partikel melakukan pencarian solusi yang optimal dengan melintasi ruang pencarian (*search space*). Hal ini dilakukan dengan cara setiap partikel melakukan penyesuaian terhadap posisi terbaik dari partikel tersebut (*local best*) dan penyesuaian terhadap posisi terbaik dari seluruh kawanan (*global best*) selama melintasi ruang pencarian. Jadi penyebaran pengalaman atau informasi terjadi di dalam partikel itu sendiri dan antara suatu partikel dengan partikel terbaik dari seluruh kawanan selama proses pencarian solusi. Setelah itu, dilakukan proses pencarian untuk mencari posisi terbaik setiap partikel dalam sejumlah iterasi tertentu sampai didapatkan posisi yang relatif *steady* atau mencapai batas iterasi yang ditetapkan. Pada setiap iterasi setiap solusi yang direpresentasikan oleh posisi partikel, dievaluasi performanya dengan cara memasukkan solusi tersebut ke dalam *fitness function*.

Berikut ini merupakan formulasi matematika yang menggambarkan posisi dan kecepatan partikel pada suatu dimensi dan ruang tertentu.

$$X_i(t) = x_{i1}(t), x_{i2}(t), \dots, x_{iN}(t) \quad (2.16)$$

$$V_i(t) = v_{i1}(t), v_{i2}(t), \dots, v_{iN}(t) \quad (2.17)$$

Keterangan:

X = posisi partikel

V = kecepatan partikel

$i$  = indeks partikel  
 $t$  = iterasi ke- $t$   
 $N$  = ukuran dimensi ruang

Berikut ini merupakan model matematika yang menggambarkan mekanisme *uplisting* status partikel Kennedy dan Eberhart [1995]:

$$V_i(t) = V_i(t-1) + c_1 r_1 (X_i^L - X_i(t-1)) + c_2 r_2 (X_i^G - X_i(t-1)) \quad (2.18)$$

$$X_i(t) = V_i(t) + X_i(t-1) \quad (2.19)$$

$X_i^L = x_1^L, x_2^L, \dots, x_N^L$  merepresentasikan *local best* dari partikel ke- $i$ . Sedangkan  $X_i^G = x_1^G, x_2^G, \dots, x_N^G$  merepresentasikan *global best* dari seluruh kawananan. Sedangkan  $c_1$  dan  $c_2$  adalah suatu konstanta yang bernilai positif yang biasanya disebut dengan *learning factor*. Kemudian  $r_1$  dan  $r_2$  adalah suatu bilangan random yang bernilai antara 0 sampai 1. Persamaan (2.18) digunakan untuk menghitung kecepatan partikel yang baru berdasarkan kecepatan sebelumnya, jarak antara posisi saat ini dengan posisi terbaik partikel (*local best*), dan jarak antara posisi saat ini dengan posisi terbaik kawananan (*global best*). Kemudian partikel terbang menuju posisi yang baru berdasarkan persamaan (2.19). setelah algoritma PSO ini dijalankan dengan sejumlah iterasi tertentu hingga mencapai kriteria pemberhentian, maka akan di dapatkan solusi yang terletak pada *global best*.

Algoritma PSO memiliki beberapa tahapan atau langkah :

- Bangkitkan posisi awal sejumlah partikel sekaligus kecepatan awalnya secara random.
- Evaluasi *fitness* dari masing – masing partikel berdasarkan posisinya.
- Tentukan partikel dengan *fitness* terbaik, dan tetapkan sebagai *Gbest*. Untuk setiap partikel, *Pbest* awal akan sama dengan posisi awal.

Ulangi langkah berikut sampai *stopping criteria* dipenuhi.

- Menggunakan *Pbest* dan *Gbest* yang ada, perbarui kecepatan setiap partikel menggunakan persamaan (2.18). Lalu dengan kecepatan baru yang didapat, perbarui posisi setiap partikel menggunakan persamaan (2.19).
- Evaluasi *fitness* dari setiap partikel.
- Tentukan dengan *fitness* terbaik, dan tetapkan sebagai *Gbest*. Untuk setiap partikel, tentukan *Pbest* dengan membandingkan posisi sekarang dengan *Pbest* dari iterasi sebelumnya.
- Cek *stopping criteria*. Jika dipenuhi, berhenti. Jika tidak, kembali ke langkah a.

Agar lebih mempermudah dapat kita lakukan dengan contoh berikut ini.

Misalkan kita mempunyai persoalan optimasi dengan satu variabel berikut :

$$\min f(x) = (100 - x)^2 \quad (2.20)$$

$$60 \leq x \leq 120$$

langkahnya adalah :

- Tentukan jumlah partikel  $N = 4$   
 Tentukan nilai populasi awal secara random, misalkan di dapat  
 $x_1(0) = 80,$   
 $x_2(0) = 90,$   
 $x_3(0) = 110,$   
 $x_4(0) = 75.$
- Evaluasi nilai fungsi tujuan untuk setiap partikel  $x_j(0)$  untuk  $j = 1, 2, 3, 4$ . Dan nyatakan dengan  
 $f_1 = f(80) = 400,$   
 $f_2 = f(90) = 100,$   
 $f_3 = f(110) = 100,$

$$f_4 = f(75) = 625.$$

- c. Tentukan kecepatan awal  $v_1(0) = v_2(0) = v_3(0) = v_4(0)$ .  
Tetapkan iterasi  $i = 1$ ; Lalu ke langkah d.

- d. Temukan

$$P_{best,1} = 80,$$

$$P_{best,2} = 90,$$

$$P_{best,3} = 110,$$

$$P_{best,4} = 75,$$

$$G_{best} = 9.$$

Hitung  $v(j)$  dengan  $c_1 = c_2 = 1$ . Misalkan nilai random yang didapat,  $r_1 = 0.4$ ,  $r_2 = 0.5$  dengan rumusan

$$V_j(i) = V_j(i-1) + c_1 r_1 [P_{best,j} - x_j(i-1)] + c_2 r_2 [G_{best} - x_j(i-1)]$$

Diperoleh

$$v_1(1) = 0 + 0.4(80 - 80) + 0.5(90 - 80) = 5$$

$$v_2(1) = 0 + 0.4(90 - 90) + 0.5(90 - 90) = 0$$

$$v_3(1) = 0 + 0.4(110 - 110) + 0.5(90 - 110) = -10$$

$$v_4(1) = 0 + 0.4(75 - 75) + 0.5(90 - 75) = 7.5$$

Sedangkan untuk nilai  $x$  adalah

$$x_1(1) = 80 + 5 = 85$$

$$x_2(1) = 90 + 0 = 90$$

$$x_3(1) = 110 - 10 = 100$$

$$x_4(1) = 75 + 7.5 = 82.5$$

- e. Evaluasi nilai fungsi tujuan sekarang pada partikel  $x_j(1)$ ,

$$f_1(1) = f(85) = 225,$$

$$f_2(1) = f(90) = 100,$$

$$f_3(1) = f(100) = 0,$$

$$f_4(1) = f(82.5) = 625.$$

Sedangkan pada iterasi sebelumnya kita dapatkan

$$f_1(0) = f(80) = 400,$$

$$f_2(0) = f(90) = 100,$$

$$f_3(0) = f(110) = 100,$$

$$f_4(0) = f(75) = 625.$$

Nilai dari  $f$  dari iterasi sebelumnya tidak ada yang lebih baik sehingga  $P_{best}$  untuk masing-masing partikel sama dengan nilai  $x$ -nya.  $G_{best} = 100$ .

Cek apakah solusi  $x$  sudah sudah konvergen, nilai  $x$  saling dekat. Jika tidak, tingkatkan ke iterasi berikutnya  $i = 2$ . Lanjutkan ke langkah d.

- a.  $P_{best,1} = 85,$

$$P_{best,2} = 90,$$

$$P_{best,3} = 100,$$

$$P_{best,4} = 82.5,$$

$$G_{best} = 100$$

Hitung kecepatan baru dengan  $r_1 = 0.3$  dan  $r_2 = 0.6$  ( ini hanya sekedar contoh untuk menjelaskan perhitungan, dalam implementasi angka ini dibangkitkan secara random).

$$v_1(2) = 5 + 0.3(85 - 85) + 0.6(100 - 85) = 14$$

$$v_2(2) = 0 + 0.3(90 - 90) + 0.6(100 - 90) = 6$$

$$v_3(2) = -10 + 0.3(100 - 100) + 0.6(100 - 100) = -10$$

$$v_4(2) = 7.5 + 0.3(82.5 - 82.5) + 0.6(100 - 82.5) = 18$$

Sedangkan untuk nilai x adalah

$$x_1(2) = 85 + 14 = 99$$

$$x_2(2) = 90 + 6 = 96$$

$$x_3(2) = 100 - 10 = 90$$

$$x_4(2) = 82.5 + 18 = 100.5$$

- b. Evaluasi nilai fungsi tujuan sekarang pada partikel  $x_j(2)$

$$f_1(2) = f(99) = 1,$$

$$f_2(2) = f(96) = 16,$$

$$f_3(2) = f(90) = 100,$$

$$f_4(2) = f(100.5) = 0.25.$$

Jika dibandingkan dengan nilai  $f$  dari iterasi sebelumnya, ada nilai yang lebih baik dari nilai  $f$  sekarang yaitu  $f_3(1) = 0$ , sehingga  $P_{best}$  untuk partikel 3 sama dengan 100, dan  $G_{best}$  dicari dari  $\min \{1, 16, 0, 0.25\} = 0$  yang dicapai pada  $x_3(1) = 100$ . Sehingga untuk iterasi berikutnya  $P_{best} = (99, 96, 100, 100.5)$  dan  $G_{best} = 100$ .

Lalu cek solusi sudah konvergen, nilai x saling dekat. Jika belum konvergen,  $seti = 3$ , masuk ke iterasi berikutnya. lanjutkan ke langkah berikutnya dengan menghitung kecepatan v dan ulangi langkah-langkah selanjutnya sampai mencapai konvergen.

### 2.2.2 Retinex

Teori *Retinex* diungkapkan pertama kali oleh Edwin H. Land dan John McCann pada tahun 1971 [25] dan dikembangkan kembali oleh McCann dan kawan kawan pada tahun 1976 [26]. Teori *Retinex* ini berfungsi untuk memperbaiki citra agar sesuai dengan sistem penglihatan pada manusia. *Retinex* diterapkan untuk citra bawah air

Mengacu pada teori pencahayaan [25] Citra yang diamati dapat didekomposisi menjadi dua komponen, yaitu bagian pencahayaan dan pantulannya, seperti yang ditunjukkan padapersamaan(2.21).

$$\log [ S(x, y) ] = \log [ L (x, y) ] + \log [ R (x, y) ] \quad (2.21)$$

$S (x, y)$  adalah piksel yang diamati pada gambar di lokasi  $(x, y)$ .  $L (x, y)$  dan  $R (x, y)$  menunjukkan komponen pencahayaan dan pantulan masing-masing.  $L (x, y)$  bervariasi sesuai dengan iluminasi yang berbeda pada scene, sementara  $R (x, y)$  tetap ada karena berhubungan dengan sifat sifat dari sebuah scene itu sendiri. Tujuan dari *color contancy* adalah untuk mendapatkan komponen  $R (x, y)$  dari  $S (x, y)$  yang diamati. Dalam teori awal MSR, komponen  $L (x, y)$  dapat didekati dengan menerapkan beberapa konvolusi individu dengan Kernel Gauss yang berbeda dengan  $S (x, y)$  dengan bobot yang berbeda, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (2.22), di mana  $\sigma_i$  adalah koordinat Gaussian Kernel, beratnya adalah  $w_i$ , dan n adalah jumlah skalanya. Jumlah semua  $w_i$  harus sama dengan 1,0.

$$\begin{cases} R_{MSR}(x, y) = \sum_{i=1}^n w_i \{ \log[S(x, y)] - \log[F(\sigma_i) \times S(x, y)] \} \\ F(\sigma_i) = \frac{1}{2\pi\sigma_i^2} \exp\left(-\frac{(x-x\_center\_win)^2 + (y-y\_center\_win)^2}{2\pi\sigma_i^2}\right) \end{cases} \quad (2.22)$$

Persamaan (2.22) menunjukkan proses MSR dengan satu Kernel Gaussian dengan satu bobot untuk setiap iterasi. Untuk gambar multi-channel, citra RGB misalnya, MSR dilakukan untuk masing-masing saluran. Kemudian langkah koreksi warna digunakan untuk membuat nada warna mendekati yang asli sebanyak mungkin, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (2.23)

$$\begin{cases} R_{MSRCR}(x, y) = Merge [C_i \times R_{MSR_i}(x, y)] \\ C_i = \beta \log\left[\alpha \times \frac{S_i(x, y)}{\sum_{j \in \{R, G, B\}} S_j(x, y)}\right] \end{cases} \quad (2.23)$$

$C_i$  adalah koefisien untuk setiap saluran. Ini adalah singkatan dari tiga saluran dalam gambar. Disarankan untuk mengatur koefisien  $C_i$  setelah menerapkan MSR ke gambar agar nada warna mendekati yang asli. Fungsi Merge () adalah singkatan dari proses penggabungan tiga gambar saluran tunggal menjadi kanal multi-channel. Sebagai algoritma *Retinex* mentransfer gambar ke dalam domain log, penyesuaian global terhadap hasil akhir dilakukan termasuk *Gain* dan *Offset*. Seperti ditunjukkan pada Persamaan (2.24),  $G$  dan  $b$  adalah nilai *gain* dan *offset* masing-masing.

$$R_{FINAL}(x, y) = G [ R_{MSRCR}(x, y) + b] \quad (2.24)$$

Banyak peneliti mencoba menerapkan teori *Retinex* pada peningkatan atau restorasi citra bawah air [16].

### 2.2.3 Mean Squared Error (MSE)

Penjelasan tentang MSE dari [23] adalah metrik kuantitatif yang digunakan untuk membandingkan gambar dan citra asli yang ditingkatkan. MSE banyak digunakan untuk mengukur tingkat distorsi gambar karena dapat mewakili kesalahan nilai abu-abu keseluruhan yang terdapat pada keseluruhan gambar dan juga dapat dituang secara matematis. Dengan MSE, hanya perbedaan nilai abu-abu antara piksel yang sesuai dengan yang asli dan versi yang terdistorsi dipertimbangkan. Oleh karena itu, berdasarkan pengukuran kuantitatif standar, metode yang diusulkan menggunakan MSE karena merupakan metrik penilaian kualitas yang paling banyak digunakan oleh peneliti sebelumnya dan banyak digunakan dalam evaluasi citra. MSE digunakan sebagai sinyal ketepatan dalam pengukuran. MSE dihitung dengan rata-rata perbedaan intensitas kuadrat dari piksel gambar terdistorsi dan referensi. MSE diberikan oleh Persamaan. (2.25).

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (f_a(i, j) - f_b(i, j))^2 \quad (2.25)$$

Dalam hal ini,

$f_a$  = citra sebelum terkena derau

$f_b$  = citra yang telah direstorasi.

$MN$  = ukuran *pixel* pada citra

$i$  = adalah iterasi dari ukuran *pixel*  $M$

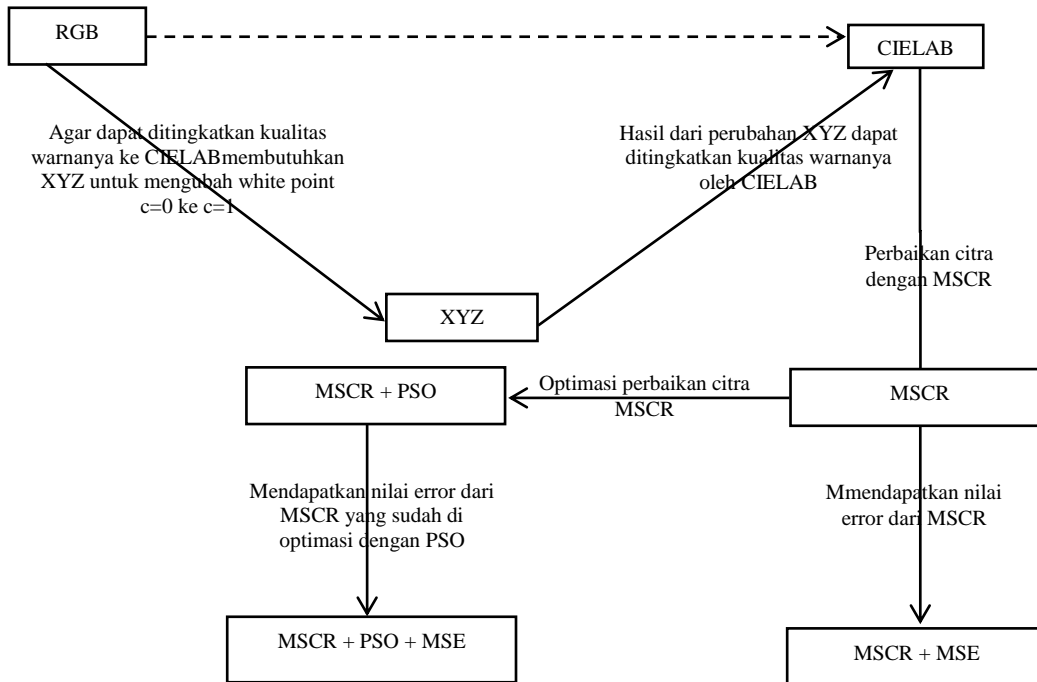
$j$  = adalah iterasi dari ukuran *pixel*  $N$

Semakin kecil nilai MSE, kinerja restorasi citra semakin baik.



### 2.3. Kerangka Pemikiran Optimasi *Multi Scale Retinex* Citra Bawah Air dengan Menggunakan *Particle Swarm Optimization*

Dalam melakukan penelitian ini kerangka berpikir yang dilaksanakan dalam perbaikan citra adalah seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Kerangka Pemikiran

Dalam melakukan perbaikan citra terlebih dahulu dilakukan peningkatan kualitas warna dari citra yang didapat dengan menggunakan RGB, dan hasil dari peningkatan RGB dapat ditingkatkan dengan menggunakan CIELAB. Tetapi untuk mengubah RGB menjadi CIELAB membutuhkan white point  $c=1$  sementara RGB memiliki white point  $c=0$ , untuk mengatasi hal tersebut dilakukan perubahan white point dari  $c=0$  ke  $c=1$  dengan menggunakan metode XYZ untuk dapat dilakukan peningkatan warna dengan menggunakan CIELAB. Dari hasil peningkatan kualitas warna maka dilakukan perbaikan citra dengan menggunakan metode MSCR dan di optimasi dengan menggunakan PSO. MSE digunakan untuk melihat membandingkan besar tingkat *error* yang didapat dari MSCR saja dan berapa besar tingkat *error* yang didapat jika menggunakan PSO.

## 3. METODE PENELITIAN

### 3.1. Metode Pengumpulan Data

Data set untuk proses penelitian yang akan dilakukan di dapat melalui data public dari yang didapat melalui penelitian sebelumnya [16] yang bisa didapat pada <https://www.dropbox.com/s/9qr0g544y67yi4b/underwater%20image%20dataset.rar?dl=0>. Berikut ini contoh citra yang didapat untuk dilakukan proses perbaikan citra :



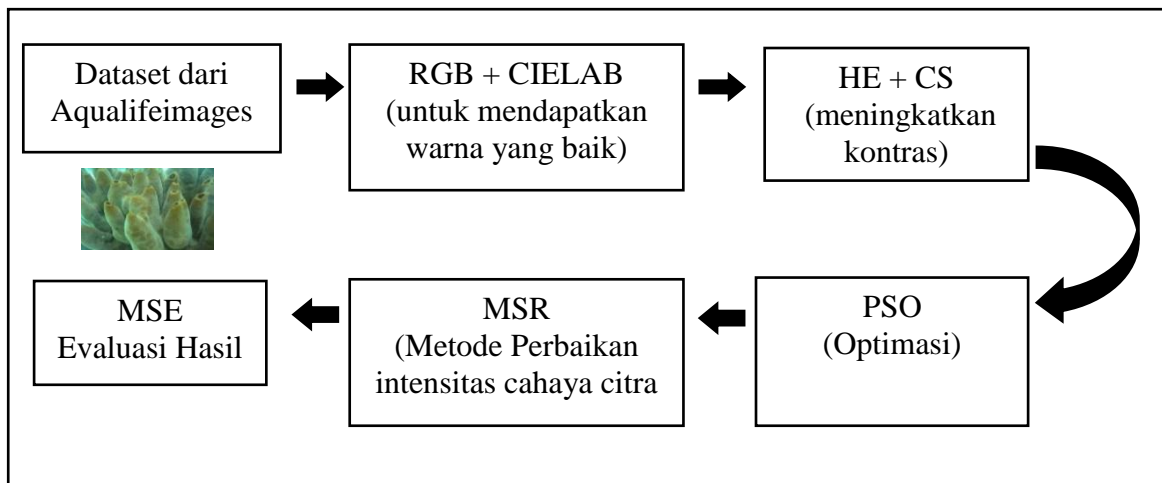
Gambar 5. Citra Coral Reef[16]



Gambar 6. Coral Reef dengan Warna Background Kabur[16]

### 3.2. Ekspsrimen

Model yang diusulkan pada penelitian ini menggunakan metode citra digital dan klasifikasi meliputi preprocessing, optimasi dengan menggunakan PSO, dan Perbaikan citra dengan menggunakan MSR. Langkah-langkah tersebut disusun sedemikian rupa, dan penggambarannya ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Diagram Alir Metode

Dari gambar tersebut, maka tahapan penelitian yang dilakukan dapat dijabarkan sebagai berikut :

- a. Data input yang di ambil dari dataset public pada website [www.aqualifeimages.com](http://www.aqualifeimages.com) dan <https://www.dropbox.com/s/9qr0g544y67yi4b/underwater%20image%20dataset.rar?dl=0> sesuai kualitas citra yang baik.
- b. Pada tahapan ini melakukan peningkatan kualitas warna pada citra digital dengan cara :
  - 1) Pertama melakukan normalisasi citra dengan menggunakan RGB untuk meningkatkan kualitas citra.
  - 2) Lalu kedua mengubah citra ke dalam bentuk CIELAB dengan lebih mempertajam lagi warna RGB yang sudah didapat dari hasil normalisasi.
- c. Pada tahapan ini citra yang telah ditingkatkan kualitasnya dilakukan peningkatan kontras dengan 2 tahapan :
  - 1) Meningkatkan terlebih dahulu tingkat intensitas *brightness* dan *kontras* dengan menggunakan HE.
  - 2) Lalu dengan menggunakan CS meningkatkan kembali nilai rentang kontras dari citra yang telah didapat dari HE.
- d. Tahapan selanjutnya adalah optimasi dengan melakukan optimasi terhadap nilai kontras yang sudah didapatkan dengan menggunakan PSO.
- e. Setelah menemukan hasil optimasi kontras dengan PSO maka dilakukan perbaikan citra dengan menggunakan MSR.
- f. Tahapan terakhir ini adalah menemukan nilai MSE, dimana hasil terbaik dari restorasi citra adalah nilai yang paling kecil. Dan nilai tersebut dibandingkan dengan nilai MSE antara MSR dan MSRPSO.

### 3.3. Evaluasi

Pada tahapan ini dilakukan evaluasi apakah intensitas cahaya yang telah diukur dapat digunakan untuk perbaikan citra yang dilakukan dengan MSR, apakah PSO sudah tepat ditempatkan sesuai meningkatkan kontras. Dari penelitian sebelumnya [16] tingkat akurasi yang didapat sebesar pada grup pertama 67.39% dan lebih tinggi jika dibandingkan sebelum menggunakan MSR yang hanya sebesar 28.75%. dan sudah tentu jika menggunakan PSO sebagai optimasi akan berbeda pula tingkat keakuratannya.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini membahas tentang eksperimen yang dilakukan beserta langkah – langkah yang sudah dimodelkan pada bab sebelumnya. Data set yang digunakan adalah *data set* yang diambil dari *data set* peneliti sebelumnya, citra yang akan digunakan dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 8. Contoh Dataset yang Digunakan dalam Penelitian ini

Eksperimen terbagi menjadi 3 bagian yang meliputi *preprocessing*, *images enhancement*, *measurement*.

#### 4.1. Preprocessing

Tahapan ini adalah melakukan beberapa proses peningkatan citra sebelum dilakukan penelitian untuk perbaikan citra. Dalam *preprocessing* dilakukan 3 tahapan : *Color Quality*, mengubah warna RGB ke CIE LAB.

Citra yang didapat ditingkatkan dahulu kualitas warnanya, warna dari citra yang dimaksud terdiri dari 3 saluran warna yang diwakili dengan R adalah warna merah, G adalah warna hijau dan B adalah warna biru. Ketiga saluran warna tersebut akan diubah ke dalam saluran warna CIE LAB yang lebih dikenal dengan saluran warna  $L^*A^*B$ . Namun  $L^*A^*B$  mengenal persamaan linear yang mengenal *whitepoint* (n), sementara RGB merupakan persamaan *non linear* yang memiliki *whitepoint* (w). Untuk itu perlu diubah menjadi XYZ terlebih dahulu karena dalam persamaan Bradford, nilai XYZ dipetakan dalam D65 untuk dimasukkan kedalam pengaturan yang lain yaitu D50. Sehingga pengaturan warnanya untuk area bawah menggunakan D65 pada awalnya dan kedua pada D50.

Untuk memulai mengubah RGB menjadi XYZ dimulai dengan sampel contoh citra yang telah diubah dalam bentuk nilai yang terdapat pada tabel 4.2. Agar lebih memudahkan dalam memperlihatkan perhitungan manual diambil *sample* dari citra nomor 1 dan di resize ke ukuran 8 x 8.

#### 4.2. Images Enhancement

Memperbaiki citra yang sudah dilakukan *preprocessing* dengan menggunakan MSRCR. Langkah pertama yang dilakukan adalah mengubah citra LAB ke dalam bentuk Grayscale. Setelah di dapat hasil tabel grayscale maka diubah ke dalam bentuk *single scale Retinex* (SSR) terlebih dahulu dengan persamaan.

$$R_i(x,y) = \log I_i(x,y) - \log(F(x,y) * I_i(x,y)) \quad (4.9)$$

$R_i(x,y)$  adalah hasil output dari SSR dan  $I_i(x,y)$  adalah nilai citra grayscale dan  $F(x,y)$  merupakan kontribusi gaussian dengan perhitungan pada persamaan (4.10)

$$F = K \exp((-x^2+y^2)/2 * \text{standart deviasion}^2) \quad (4.10).$$

K merupakan nilai 1 dibagi dengan total nilai pixel grayscale, dan standar deviasi yang digunakan disini dengan menggunakan nilai 0,857684432. Dan hasil yang telah dihitung dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Tabel SSR

X/Y	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-89,93	-91,22	-91,21	-93,92	-96,74	-95,85	-93,55	-90,28
2	-90,30	-91,31	-89,96	-89,62	-95,61	-93,91	-90,87	-87,38
3	-88,85	-88,99	-90,55	-89,25	-88,96	-88,73	-86,22	-83,80
4	-86,72	-87,78	-87,79	-86,85	-84,58	-83,75	-85,12	-83,82
5	-86,14	-86,46	-85,24	-87,16	-92,16	-89,58	-85,16	-82,96
6	-92,69	-88,35	-84,27	-87,44	-95,13	-92,57	-83,17	-83,35
7	-95,38	-92,34	-85,17	-86,15	-89,70	-85,80	-83,16	-88,69
8	-88,77	-87,22	-80,04	-79,64	-80,61	-77,65	-84,53	-87,15

Setelah didapatkan hasil SSR maka dapat dilakukan perubahan dari SSR ke MSR dengan menggunakan persamaan (4.11).

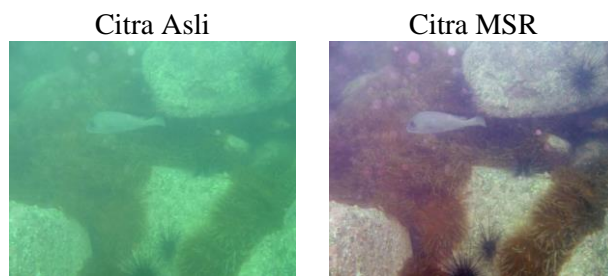
$$FMSR_i = 1/3 * R_i \quad (4.11)$$

FMSR<sub>i</sub> merupakan Output dari MSR yang akan dihitung dan R<sub>i</sub> merupakan output dari SSR. Hasil perhitungan SSR dapat dilihat dalam Tabel berikut.

Tabel 3. Tabel MSR

X/Y	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-29,98	-30,41	-30,40	-31,31	-32,25	-31,95	-31,18	-30,09
2	-30,10	-30,44	-29,99	-29,87	-31,87	-31,30	-30,29	-29,13
3	-29,62	-29,66	-30,18	-29,75	-29,65	-29,58	-28,74	-27,93
4	-28,91	-29,26	-29,26	-28,95	-28,19	-27,92	-28,37	-27,94
5	-28,71	-28,82	-28,41	-29,05	-30,72	-29,86	-28,39	-27,65
6	-30,90	-29,45	-28,09	-29,15	-31,71	-30,86	-27,72	-27,78
7	-31,79	-30,78	-28,39	-28,72	-29,90	-28,60	-27,72	-29,56
8	-29,59	-29,07	-26,68	-26,55	-26,87	-25,88	-28,18	-29,05

Dari perhitungan yang telah dilakukan di atas maka hasil citra yang didapat dapat dilihat pada gambar berikut dengan pembanding dari citra awal.



Gambar 9. Perbandingan Citra Setelah Dilakukan Perbaikan dengan MSR

Sesuai dengan rumusan masalah yang telah dipaparkan pada di depan maka dilakukan perhitungan dengan menggunakan PSO terhadap parameter yang mempengaruhi MSR. MSR paling dominan dipengaruhi oleh kontibusi Gaussian. dengan persamaan (2.16) – (2.19)

Langkah awal membangkitkan bilangan random antara (0,1), kemudian kecepatan awal juga dibangkitkan melalui bilangan random (0,1).

Dari hasil gaussian yang terdapat pada tabel 4.11 diurutkan bilangan random dari yang terkecil. Akhirnya didapatkan nilai seperti pada matriks di bawah ini.

8,4E+89	1,9E+90	1,6E+91	1,6E+91	3,6E+93	8,3E+93	7,1E+95	5,5E+96
2,0E+90	2,4E+87	9,2E+89	2,0E+91	7,4E+90	4,2E+89	8,2E+93	4,1E+95
7,0E+88	6,3E+83	3,6E+90	9,8E+88	1,7E+86	1,8E+89	5,3E+88	9,2E+88
5,2E+86	6,6E+83	6,1E+87	6,0E+87	1,3E+85	7,1E+86	5,6E+83	3,8E+84
1,4E+86	9,0E+82	1,7E+85	2,9E+86	1,4E+85	1,5E+87	3,8E+89	1,4E+92
4,8E+92	2,2E+83	1,8E+84	2,3E+88	1,5E+83	2,8E+87	3,7E+92	1,4E+95
2,4E+95	4,9E+88	1,5E+85	2,2E+92	1,4E+83	1,4E+86	6,3E+85	5,1E+89
5,9E+88	1,4E+87	1,1E+80	1,7E+87	3,4E+84	4,4E+79	4,5E+77	4,1E+80

Sebagai contoh diambil matrik yang pertama

$$Pop1 = [8,4E+89 \ 1,9E+90 \ 1,6E+91 \ 1,6E+91 \ 3,6E+93 \ 8,3E+93 \ 7,1E+95 \ 5,5E+96]$$

Dari turutan tersebut menghasilkan rute 8 – 3 – 2 – 6 – 4 – 7 – 1 – 5. Misalnya jarak minimum terdapat pada partikel ke 4, maka Gbest adalah

$$Gbest = [5,2E+86 \ 6,6E+83 \ 6,1E+87 \ 6,0E+87 \ 1,3E+85 \ 7,1E+86 \ 5,6E+83 \ 3,8E+84]$$

Untuk setiap partikel, Pbest awal akan sama dengan nilai partikel awal. Setelah itu akan dilakukan

update untuk kecepatan. Misalnya kecepatan awal diberikan .

$$V_0 = \begin{bmatrix} 0.1000 & 0.1000 & 0.1000 & 0.1000 & 0.1000 & 0.1000 & 0.1000 & 0.1000 \\ 0.1000 & 0.1000 & 0.1000 & 0.1000 & 0.1000 & 0.1000 & 0.1000 & 0.1000 \\ 0.1000 & 0.1000 & 0.1000 & 0.1000 & 0.1000 & 0.1000 & 0.1000 & 0.1000 \\ 0.1000 & 0.1000 & 0.1000 & 0.1000 & 0.1000 & 0.1000 & 0.1000 & 0.1000 \end{bmatrix}$$

Maka kecepatan

$$V1 =$$

$$(0,9)([0.10.10.10.10.1]) + (0,4)([8,4E+89 \ 1,9E+90 \ 1,6E+91 \ 1,6E+91 \ 3,6E+93 \ 8,3E+93 \ 7,1E+95 \ 5,5E+96] - [8,4E+89 \ 1,9E+90 \ 1,6E+91 \ 1,6E+91 \ 3,6E+93 \ 8,3E+93 \ 7,1E+95 \ 5,5E+96]) + 0,6 ([5,2E+86 \ 6,6E+83 \ 6,1E+87 \ 6,0E+87 \ 1,3E+85 \ 7,1E+86 \ 5,6E+83 \ 3,8E+84] - [8,4E+89 \ 1,9E+90 \ 1,6E+91 \ 1,6E+91 \ 3,6E+93 \ 8,3E+93 \ 7,1E+95 \ 5,5E+96])$$

$$V1 = [0,0E+00 \ 0,0E+00 \ 0,0E+00 \ 0,0E+00 \ 0,0E+00 \ 0,0E+00 \ 0,0E+00 \ 0,0E+00]$$

Untuk partikel 1 lainnya di update dengan

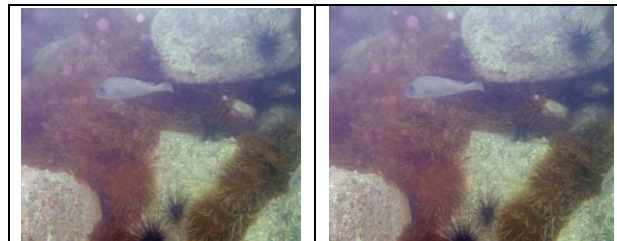
$$Pop1 = Pop1 + V1$$

$$Pop1 = [8,4E+89 \ 1,9E+90 \ 1,6E+91 \ 1,6E+91 \ 3,6E+93 \ 8,3E+93 \ 7,1E+95 \ 5,5E+96] + [0,0E+00 \ 0,0E+00 \ 0,0E+00 \ 0,0E+00 \ 0,0E+00 \ 0,0E+00 \ 0,0E+00 \ 0,0E+00]$$

$$Pop1 = [8,4E+89 \ 1,9E+90 \ 1,6E+91 \ 1,6E+91 \ 3,6E+93 \ 8,3E+93 \ 7,1E+95 \ 5,5E+96]$$

Citra MSR

Citra MSR + PSO



Gambar 10. Hasil MSR Setelah Dilakukan Optimasi dengan PSO

Dapat dilihat hasil antara MSR dan MSR+PSO tidak tampak bedanya namun jika dilakukan perhitungan dengan menggunakan MSE dan PSNR akan terlihat ada yang berbeda dan tabel MSE dan PSNR dari citra hasil penelitian dapat dilihat pada tabel 4.

### 4.3. Measurement

Measurement melakukan pengukuran apakah citra yang sudah diperbaiki mendapatkan nilai yang lebih dekat dengan citra yang aslinya? Disini dilakukan perbandingan antara MSRCR dan MSRCRPSO (MSRCR dengan optimasi PSO).

Tabel 4. Hasil Perhitungan MSE dan PSNR

	MSR	MSR + PSO
MSE	5218,4249	4955,0757
PSNR	-48,81678	-48,50579

Dari hasil percobaan dapat dilihat perbaikan citra dengan menggunakan MSR tingkat MSE nya lebih kecil, namun jika ditambahkan dengan menggunakan PSO akan mendapatkan nilai yang lebih baik

dari MSR yang tidak menggunakan PSO. Jadi boleh dikatakan MSR + PSO mendapatkan tingkat akurasi lebih baik daripada jika tanpa menggunakan PSO.

## 5. PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat dilihat bahwa penggunaan PSO memberikan akurasi lebih baik dibandingkan MSR tanpa PSO. Hasil MSE yang didapatkan oleh MSR adalah sebesar 5218,4249 dan hasil yang didapatkan dengan menggunakan PSO adalah sebesar 4955,0757.

### 5.2. Saran

Untuk penelitian selanjutnya dapat disarankan untuk membandingkan optimasi PSO yang dilakukan dalam penelitian ini dengan metode optimasi yang lainnya. Agar bisa mendapatkan hasil akurasi yang terbaik dengan menggunakan metode MSR ini. Dan tentunya metode yang sudah diteliti ini akan ditambahkan dengan menggunakan *Color Restoration* untuk meningkatkan perbaikan citra dengan menggunakan metode ini.

## PERNYATAAN ORISINALITAS

“ Saya menyatakan dan bertanggung jawab dengan sebenarnya bahwa artikel ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali cuplikan dan ringkasan yang masing-masing telah saya jelaskan sumbernya”  
[Putu Samuel Prihatmajaya]

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Y. Chiang and Y. C. Chen, “Underwater image enhancement by wavelength compensation and dehazing,” *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 21, no. 4, pp. 1756–1769, 2012.
- [2] P. Nurtantio Andono, I. K. Eddy Purnama, and M. Hariadi, “Underwater image enhancement using adaptive filtering for enhanced sift-based image matching,” *J. Theor. Appl. Inf. Technol.*, vol. 52, no. 3, pp. 273–280, 2013.
- [3] A. S. Abdul Ghani and N. A. Mat Isa, “Underwater Image Quality Enhancement Through Composition of Dual-Intensity Image and Rayleigh Stretching,” *SpringerPlus 2014*, pp. 840–866, 2014.
- [4] A. S. Abdul Ghani and N. A. Mat Isa, “Underwater image quality enhancement through integrated color model with Rayleigh distribution,” *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 27, pp. 219–230, 2015.
- [5] X. Zhao, T. Jin, and S. Qu, “Deriving inherent optical properties from background color and underwater image enhancement,” *Ocean Eng.*, vol. 94, pp. 163–172, 2015.
- [6] C. Li, J. Guo, C. Guo, R. Cong, and J. Gong, “A hybrid method for underwater image correction,” *Pattern Recognit. Lett.*, vol. 94, pp. 62–67, 2017.
- [7] E. H. Land, “An alternative technique for the computation of the designator in the *Retinex* theory of color vision (Mach bands),” *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, vol. 83, no. 26, pp. 3078–3080, 1986.
- [8] J. Mccann, “Lessons Learned from Mondrians Applied to Real Images and Color Gamuts,” *IS&T/SID 7th Color Imaging Conf.*, pp. 1–8, 1999.
- [9] D. Zosso, G. Tran, and S. Osher, “A unifying *Retinex* model based on non-local differential operators,” *IS&T/SPIE Electron. Imaging*, vol. 8657, pp. 865702-1–16, 2013.
- [10] G. Wang, Q. Dong, Z. Pan, W. Zhang, J. Duan, L. Bai, and J. Zhang, “*Retinex* theory based active contour model for segmentation of inhomogeneous images,” *Digit. Signal Process. A Rev. J.*, vol. 50, pp. 43–50, 2016.
- [11] H. Lin and Z. Shi, “Multi-scale *Retinex* improvement for nighttime image enhancement,” *Optik (Stuttg.)*, vol. 125, no. 24, pp. 7143–7148, 2014.

- [12] C. Liu, I. Cheng, Y. Zhang, and A. Basu, "Enhancement of low visibility aerial images using histogram truncation and an explicit *Retinex* representation for balancing contrast and color consistency," *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 128, pp. 16–26, 2017.
- [13] N. Banic and S. Loncaric, "Light random sprays *Retinex*: Exploiting the noisy illumination estimation," *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 20, no. 12, pp. 1240–1243, 2013.
- [14] B. Biswas, P. Roy, R. Choudhuri, and B. K. Sen, "Microscopic Image Contrast and Brightness Enhancement Using Multi-scale *Retinex* and Cuckoo Search Algorithm," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 70, pp. 348–354, 2015.
- [15] Y. O. Nam, D. Y. Choi, and B. C. Song, "Power-constrained contrast enhancement algorithm using multiscale *Retinex* for OLED display," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 23, no. 8, pp. 3308–3320, 2014.
- [16] S. Zhang, T. Wang, J. Dong, and H. Yu, "Underwater image enhancement via extended multi-scale *Retinex*," *Neurocomputing*, vol. 245, pp. 1–9, 2017.
- [17] Udayraj, K. Mulani, P. Talukdar, A. Das, and R. Alagirusamy, "Performance analysis and feasibility study of ant colony optimization, particle swarm optimization and cuckoo search algorithms for inverse heat transfer problems," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 89, pp. 359–378, 2015.
- [18] T. Bai, Y. bin Kan, J. xia Chang, Q. Huang, and F. J. Chang, "Fusing feasible search space into PSO for multi-objective cascade reservoir optimization," *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 51, pp. 328–340, 2017.
- [19] M. A. El Aziz, A. A. Ewees, and A. E. Hassanien, "Whale Optimization Algorithm and Moth-Flame Optimization for multilevel thresholding image segmentation," *Expert Syst. Appl.*, vol. 83, pp. 242–256, 2017.
- [20] A. A. Nik, F. M. Nejad, and H. Zakeri, "Hybrid PSO and GA approach for optimizing surveyed asphalt pavement inspection units in massive network," *Autom. Constr.*, vol. 71, no. Part 2, pp. 325–345, 2016.
- [21] M. Mahi, Ö. K. Baykan, and H. Kodaz, "A new hybrid method based on Particle Swarm Optimization, Ant Colony Optimization and 3-Opt algorithms for Traveling Salesman Problem," *Appl. Soft Comput.*, vol. 30, pp. 484–490, 2015.
- [22] W. Ji, Z. Zhao, and X. Liu, "A GA-based Optimization Algorithm for Cutting Tool 'shape-performance-application' Integrated Design Approach," *Procedia CIRP*, vol. 56, pp. 90–94, 2016.
- [23] A. K. Jumaat, *Abdul Kadir Jumaat*, no. August. Yogyakarta: Andi, 2013.
- [24] Sk. Prof. Dr.rer.nat. Achmad Benny Mutiara, SSi, "Pengantar Pengolahan Citra," *Univ. Gunadarma*, pp. 1–10, 2005.
- [25] E. H. L. and J. J. McCann, "Lightnes and *Retinex* Theory," *J. Opt. Soc. Am.*, vol. 61, no. 1, p. 1, 1971.
- [26] J. J. McCann, S. P. McKee, and T. H. Taylor, "Quantitative studies in *Retinex* theory a comparison between theoretical predictions and observer responses to the 'color mondrian' experiments," *Vision Res.*, vol. 16, no. 5, 1976.