

Penerapan Filter Dehazing pada Citra Lanskap dengan menggunakan Image Entropy dan Information Fidelity

Rayhan Kinan Muhannad – 13520065

Program Studi Teknik Informatika
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha 10 Bandung
E-mail (gmail): rayhankinan@gmail.com

Abstrak—Kualitas citra yang diambil pada lingkungan luar ruangan umumnya akan bergantung pada kondisi lingkungan saat itu. Salah satu factor terbesar dalam penentuan kualitas citra yang diambil pada kondisi tersebut adalah cahaya atmosfer yang mendispersi cahaya yang berasal dari matahari, sehingga citra akan terlihat kabur akibat adanya kondisi *haze*. Oleh karena itu, teknik *image dehazing* dapat dilakukan untuk menghilangkan kondisi *haze* pada citra tersebut. Salah satu teknik yang dapat digunakan untuk melakukan *image dehazing* adalah dengan memaksimalkan *image entropy* dan *information fidelity* pada citra hasil rekonstruksi. Terdapat beberapa langkah yang dilakukan untuk menghasilkan citra yang bebas *haze*, yaitu pencarian warna dari cahaya atmosfer, penentuan matriks transmisi, perbaikan kontras citra dengan teknik *contrast stretching*, serta perhitungan metrik kualitatif dari citra hasil rekonstruksi dengan menggunakan PSNR dan SSIM. Teknik *image dehazing* yang telah dilakukan tersebut dapat dengan cukup baik meningkatkan tingkat kualitas citra dengan menghilangkan *haze* pada citra tersebut.

Kata kunci—*image dehazing*; *image entropy*; *information fidelity*

I. PENDAHULUAN

Kualitas dari citra yang diambil pada keadaan luar ruangan umumnya akan bergantung pada efek lingkungan, seperti asap yang menghalangi pemandangan, kabut yang mengurangi jarak pandang, atau terdapat debu dan partikel lainnya yang dapat mengubah warna dasar yang dapat ditangkap oleh citra. Ketika efek tersebut mengurangi kualitas dari citra yang ditangkap dengan mengubah arah cahaya yang berasal dari latar belakang dengan melakukan penghamburan, sehingga hanya sedikit cahaya yang tiba pada kamera penangkap citra. Tidak hanya itu, cahaya yang berasal dari atmosfer juga dapat berinterferensi dengan cahaya yang dipantulkan oleh objek, sehingga warna yang dihasilkan oleh objek tersebut tidak lagi menjadi tajam. Warna yang dihasilkan akibat interferensi cahaya atmosfer tidak hanya blur, namun juga terdapat degradasi dari sisi homogenitas akibat dari efek penghamburan yang tidak seragam pada medium lingkungan.

Tidak hanya manusia, kualitas citra yang ditangkap pada luar ruangan juga akan mempengaruhi akurasi dari model pembelajaran mesin, seperti *computer vision*, yang dijalankan

pada lingkungan luar ruangan tersebut. Sebagai contoh, model *computer vision* yang digunakan pada *autonomous vehicle* sangat bergantung pada kualitas citra yang ditangkap untuk melakukan *object recognition* terhadap lingkungan di sekitar kendaraan tersebut. Hal tersebut akan sulit dilakukan apabila citra yang ditangkap oleh model mengalami degradasi kualitas akibat efek lingkungan yang menyebabkan objek susah dikenali. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu teknik khusus yang dapat digunakan baik manusia maupun model *computer vision* untuk meningkatkan kualitas citra yang ditangkap pada kondisi luar ruangan.



Gambar 1. Citra Lanskap Kota dengan Kondisi *Haze*

Salah satu teknik yang dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas citra pada kondisi tersebut adalah dengan melakukan penghilangan *haze* (atau *dehazing*). Teknik *dehazing* bekerja dengan menghilangkan efek dari cahaya yang tidak diinginkan, dimana umumnya cahaya tersebut berasal dari interferensi atmosfer pada lingkungan. Terdapat dua pendekatan yang umum digunakan oleh teknik *dehazing*, yaitu *single image dehazing* dan *multiple image dehazing* yang memiliki kelebihan dan kekurangan masing – masing.

Kedua pendekatan tersebut dapat digunakan berdasarkan dengan jumlah data yang tersedia. Di dalam *single image dehazing*, hanya satu citra buram yang tersedia. Namun, dalam *multiple image dehazing* tersedia beberapa citra buram dari objek atau pemandangan sama yang digunakan untuk membentuk satu citra rekonstruksi. Kelebihan dari *single image dehazing* adalah teknik yang diaplikasikan pada citra umumnya lebih sederhana dibandingkan dengan *multiple image*

dehazing. *Single image dehazing* umumnya bekerja berdasarkan teori warna yang lebih mudah diimplementasikan sebagai suatu program. Namun, karena jumlah informasi yang diterima oleh *single image dehazing* cenderung lebih sedikit dibandingkan dengan *multiple image dehazing*, maka terdapat kemungkinan munculnya sebuah pola palsu yang terdapat pada citra hasil rekonstruksi. Hal tersebut dapat menyebabkan adanya ambiguitas pada pengguna ataupun model yang menggunakan citra tersebut. Oleh karena itu, algoritma yang digunakan oleh *single image dehazing* harus dapat menangani segala *corner case* yang mungkin muncul pada citra.

Pendekatan kedua yang dapat dilakukan adalah *multiple image dehazing*. Di dalam *multiple image dehazing*, biasanya terdapat algoritma generalisasi, seperti model pembelajaran mesin, yang digunakan untuk mendapatkan pola yang lebih meliputi *corner case*. Hal tersebut mengakibatkan *multiple image dehazing* cenderung memiliki citra rekonstruksi yang lebih mendekati sebagaimana aslinya jika dibandingkan dengan hasil rekonstruksi dari *single image dehazing* jika citra yang digunakan cukup berbeda antara satu dengan lainnya. Namun, teknik yang digunakan oleh *multiple image dehazing* umumnya lebih kompleks dan membutuhkan waktu eksekusi yang lebih lama dibandingkan dengan *single image dehazing*.

Secara intuitif, teknik *multiple image dehazing* akan memiliki kinerja yang lebih baik untuk digunakan pada kasus ini. Namun, untuk beberapa kasus tertentu, biaya komputasi yang dibutuhkan oleh *multiple image dehazing* akan meningkat secara beberapa kali lipat jika dibandingkan dengan *single image dehazing*. Selain itu, *multiple image dehazing* tidak memberikan jaminan bahwa citra hasil rekonstruksi yang dihasilkan akan memiliki kualitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan citra hasil rekonstruksi dari *single image dehazing*, terlebih lagi apabila kumpulan citra yang digunakan oleh *multiple image dehazing* tidak terlalu berbeda antara satu dengan lainnya. Oleh karena itu, teknik *single image dehazing* lebih sering digunakan pada aplikasi yang dijalankan pada lingkungan luar ruangan, seperti pada kamera *surveillance* dan kamera telepon genggam.

II. STUDI LITERATUR

A. Hazy Image Modelling

Secara umum, kondisi interferensi dan dispersi dari cahaya akibat pengaruh atmosfer dari suatu lingkungan terbilang cukup sulit untuk dimodelkan secara eksak, dimana jenis, ukuran, orientasi, dan distribusi partikel *haze* serta panjang gelombang, keadaan polarisasi, dan arah cahaya yang terdapat pada lingkungan tersebut harus diperhitungkan. Oleh karena itu, dibutuhkan model matematis yang lebih sederhana dan masih dapat memodelkan kondisi tersebut. Berikut merupakan persamaan model matematis yang akan digunakan pada makalah ini.

$$I(x) = J(x) \cdot t(x) + A \cdot [1 - t(x)] \quad (1)$$

Dimana x merupakan lokasi spasial pada citra, $I(x)$ merupakan matriks dari citra dengan *haze*, dan $J(x)$ merupakan matriks dari citra yang telah bebas dari *haze*. Terdapat dua parameter penting pada model tersebut, yaitu variabel A yang merepresentasikan matriks cahaya atmosfer dan variabel $t(x)$

yang merepresentasikan matriks transmisi. Selain itu, variabel $t(x)$ umumnya dapat didefinisikan dengan menggunakan koefisien hamburan yang direpresentasikan sebagai β dan jarak antara objek dan kamera yang direpresentasikan sebagai $d(x)$.

$$t(x) = e^{-\beta \cdot d(x)} \quad (2)$$

Ide di balik model matematis tersebut adalah cahaya yang terdapat pada atmosfer akan dihamburkan oleh partikel – partikel yang tersuspensi di udara sebagai kabut (*haze*) sebelum mencapai lensa kamera. Jumlah cahaya yang benar – benar tertangkap oleh kamera akan bergantung dengan seberapa banyak kabut yang ada, direpresentasikan sebagai β , dan juga seberapa jauh kamera tersebut dari objek yang ditangkap, direpresentasikan sebagai $d(x)$.

Diketahui dari persamaan (1) bahwa total cahaya yang diterima oleh kamera merupakan jumlah dari cahaya langsung yang dipantulkan oleh objek, direpresentasikan sebagai $J(x) \cdot t(x)$, dengan cahaya terdispersi yang berasal dari atmosfer, direpresentasikan sebagai $A \cdot [1 - t(x)]$. Ketika nilai variabel $t(x)$ mengecil, maka jumlah cahaya atmosfer akan semakin terkumpul, serta semakin buram *haze* yang terdapat pada citra. Pada dasarnya, tujuan dari teknik penghilangan *haze* pada suatu citra adalah menemukan nilai $J(x)$ yang dapat dituliskan sebagai persamaan sebagai berikut.

$$J(x) = \frac{I(x) - A}{t(x)} + A \quad (3)$$

Oleh karena itu, citra hasil rekonstruksi $J(x)$ dapat dipulihkan dari citra $I(x)$ dengan melakukan perkiraan terhadap cahaya atmosfer A dan nilai transmisi $t(x)$.

B. Atmospheric Light Estimation

Cahaya atmosfer merupakan cahaya *ambient* yang dihasilkan oleh proses interferensi dan dispersi dari cahaya matahari yang mengenai udara. Umumnya, cahaya atmosfer merupakan warna paling cerah di dalam suatu citra yang hendak direkonstruksi. Namun, objek yang terlalu terang dalam citra tersebut dapat menyebabkan pemilihan warna yang tidak diinginkan. Untuk melakukan prediksi cahaya atmosfer yang lebih akurat, digunakan langkah – langkah dari metode sebagai berikut.

Untuk mendapatkan cahaya atmosfer yang lebih akurat, dapat diasumsikan bahwa cahaya atmosfer tersebar pada sebagian besar dari citra dan intensitas dari cahaya tersebut akan maksimal pada suatu *local region*. Oleh karena itu, langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan *dark channel* dari citra dengan mengubah citra tersebut menjadi *grayscale* dan membaginya menjadi beberapa blok dengan ukuran $M \times M$ yang tidak saling tumpang tindih. Dimisalkan bahwa terdapat citra *grayscale* L yang didapatkan dari citra berwarna dengan *haze* yang direpresentasikan sebagai I . Maka, seluruh piksel di dalam setiap blok, didefinisikan sebagai L_k^{block} , akan disubstitusi nilai keabuannya dengan nilai keabuan terkecil yang terdapat di dalam blok tersebut, seperti pada persamaan berikut.

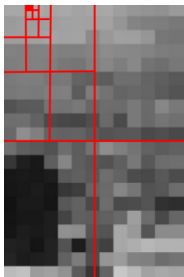
$$T_k^{block} = \min_{y \in L_k^{block}} L(y) \quad (4)$$

Secara rata – rata, citra hasil transformasi T akan memiliki intensitas yang lebih rendah jika dibandingkan dengan citra *grayscale* L . Hal tersebut akan mengurangi adanya kemungkinan dari pemilihan warna dari suatu objek yang memiliki intensitas yang tinggi sebagai cahaya atmosfer yang digunakan untuk tahap – tahap selanjutnya.



Gambar 2. Proses Partisi Blok pada Citra *Grayscale*

Tahap kedua yang dilakukan adalah melakukan *hierarchal searching* pada citra I dengan mengimplementasikan *quad-tree subdivision* untuk mencari *subregion* dengan intensitas tertinggi. Pertama – tama, citra akan dibagi menjadi empat subdivisi yang sama besar. Kemudian, pada masing – masing subdivisi tersebut akan dihitung nilai rata – rata dari nilai keabuan berdasarkan nilai dari setiap piksel yang dimiliki. Selanjutnya, akan dipilih sebuah subdivisi dengan nilai rata – rata keabuan terbesar dari keempat subdivisi yang ada. Kemudian, tahap *quad-tree subdivision* akan diulangi kembali pada subdivisi yang terpilih tersebut hingga kondisi rekursi berakhir (umumnya hingga *threshold* tercapai). Pada akhir proses rekursi, akan terpilih sebuah subdivisi dengan ukuran terkecil yang memiliki nilai intensitas terbesar.



Gambar 3. Proses *Quad-tree Subdivision* pada Citra *Grayscale*

Tahap terakhir yang dilakukan adalah mencari warna dari cahaya atmosfer yang paling optimum. Hal ini dilakukan dengan melakukan iterasi terhadap setiap nilai piksel pada subdivisi yang telah terpilih sebelumnya, dimana warna pada piksel ke- i direpresentasikan sebagai vektor (r_i, g_i, b_i) . Warna pada piksel ke- i akan terpilih sebagai cahaya atmosfer apabila nilai *Euclidean norm* dari vektor tersebut, yaitu $L_2 = \|(r_i, g_i, b_i) - (255, 255, 255)\|$, bernilai minimum lokal pada subdivisi tersebut. Dengan meminimumkan jarak antara vektor warna milik piksel dengan vektor dengan warna putih $(255, 255, 255)$, maka cahaya atmosfer yang didapatkan akan memiliki warna yang seterang dan seputih mungkin.

C. Transmission Estimation

Untuk melakukan perkiraan terhadap nilai transmisi yang memungkinkan proses *dehazing* untuk mendapatkan citra

dengan kontras yang baik, akan didefinisikan dua fungsi objektif yang bertujuan untuk meminimalisir *information loss* pada citra. Fungsi objektif yang pertama adalah perhitungan nilai entropi dari citra, didefinisikan sebagai $f_{entropy}$, yang berfungsi untuk mengukur tingkat kontras pada citra tersebut. Diketahui bahwa suatu citra yang tidak memiliki *haze* akan memiliki nilai entropi yang lebih besar dari citra dengan *scene* yang sama namun dengan *haze*. Hal tersebut terbukti benar karena citra yang tidak memiliki *haze* akan memiliki distribusi intensitas yang lebih acak dibandingkan dengan citra dengan *haze*. Berikut ini merupakan persamaan entropi yang diekspresikan sebagai fungsi dari nilai transmisi t .

$$f_{entropy}(t) = - \sum_{i=0}^{255} \frac{h_i(t)}{N} \cdot \log_2 \frac{h_i(t)}{N} \quad (5)$$

Dimana N merupakan jumlah piksel pada citra dan $h_i(t)$ merupakan jumlah piksel dengan intensitas i pada citra *grayscale* dari citra J yang dihitung dengan menggunakan persamaan (2). Tetapi, nilai piksel pada citra tersebut dapat saja melebihi batas nilai keabuan $(0 - 255)$ ketika nilai $I(x) - A$ dibagi dengan nilai transmisi $t(x)$. Dalam kasus seperti itu, nilai piksel yang lebih kecil maupun lebih besar dari batas nilai keabuan harus dipotong. Namun, jumlah pemotongan nilai keabuan yang berlebihan akan menyebabkan kesalahan dalam perkiraan nilai transmisi dan menghasilkan warna yang terdistorsi pada gambar hasil rekonstruksi.

Oleh karena itu, didefinisikan fungsi objektif kedua yang digunakan untuk perhitungan nilai *information fidelity* dari citra, didefinisikan sebagai $f_{fidelity}$, yang berfungsi untuk menghasilkan citra rekonstruksi yang meminimalisir jumlah dari nilai piksel yang lebih kecil maupun lebih besari dari batas nilai keabuan. Berikut ini merupakan persamaan *information fidelity* yang diekspresikan sebagai fungsi dari nilai transmisi t .

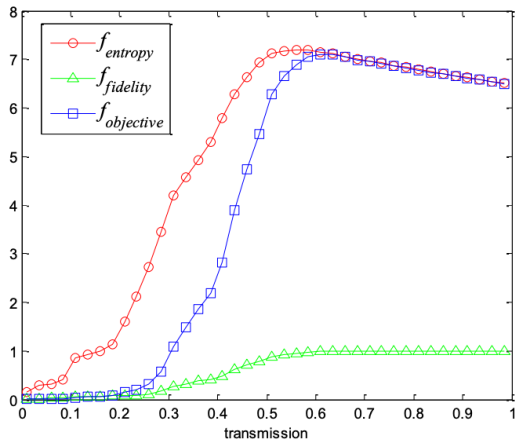
$$f_{fidelity}(t) = \min_{c \in \{r, g, b\}} s^c(t) \quad (6)$$

$$s^c(t) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{p=1}^N \delta(p), \quad \delta(p) = \begin{cases} 1, & 0 \leq J^c(p) \leq 255 \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (7)$$

Dimana $s^c(t)$ merupakan rasio dari jumlah piksel yang terdapat pada batas nilai keabuan $(0 - 255)$ pada setiap kanal warna pada citra hasil rekonstruksi J . Fungsi $f_{fidelity}(t)$ merupakan rasio minimum dari jumlah piksel yang nilai keabuannya tidak dipotong di antara kanal warna RGB pada citra J . Dengan kata lain, jumlah pemotongan nilai keabuan yang dilakukan pada proses *dehazing* dapat diminimalisir dengan memaksimalkan nilai fungsi $f_{fidelity}(t)$. Berikut ini merupakan fungsi objektif yang menggabungkan nilai entropi dengan nilai *information fidelity*.

$$f_{objective}(t) = f_{entropy}(t) \cdot f_{fidelity}(t) \quad (8)$$

Dengan memaksimalkan persamaan (8), nilai transmisi dapat diestimasi akan menghasilkan citra rekonstruksi yang memiliki kontras yang baik dengan meminimalkan jumlah pemotongan nilai keabuan pada piksel yang dapat menyebabkan distorsi terhadap warna citra.

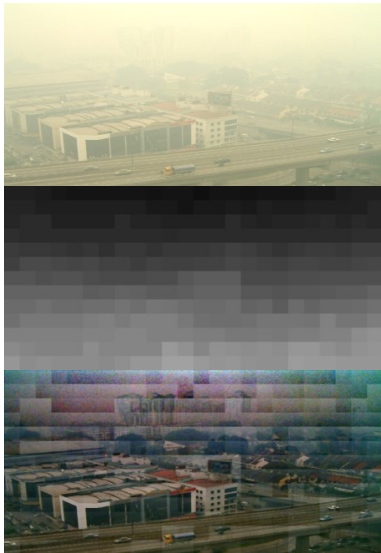


Gambar 4. Grafik Fungsi Objektif untuk Menemukan Nilai Transmisi Optimum

Namun, karena nilai transmisi pada citra tidak bersifat homogen dan dapat berubah – ubah bergantung dengan posisi, maka nilai transmisi akan dihitung secara lokal pada blok – blok dengan ukuran $M \times M$ yang tidak saling tumpang tindih. Persamaan berikut merepresentasikan perhitungan nilai transmisi pada setiap blok dengan nilai konstanta kecil ε untuk mencegah pembagian dengan nol.

$$t_k^{block} = \arg \max_{\varepsilon \leq t \leq 1} f_{objective}(t) \quad (9)$$

Dimana t_k^{block} merupakan nilai transmisi pada blok ke- k . Ukuran dari blok yang digunakan pada tahap ini tidak boleh terlalu besar maupun terlalu kecil untuk menjaga akurasi dari nilai transmisi. Jika ukuran blok terlalu besar, blok tersebut mungkin mencakup wilayah dengan nilai transmisi yang berbeda. Sementara itu, ukuran blok yang terlalu kecil akan menyebabkan nilai transmisi yang tidak tepat karena jumlah piksel yang tidak mencukupi.



Gambar 5. Matriks Transmisi Sebelum Dilakukan Proses Smoothing

Kemudian, setelah setiap blok telah menetapkan nilai transmisi, maka tahap selanjutnya adalah melakukan *smoothing*

terhadap matriks transmisi yang telah didapatkan. Hal tersebut dilakukan untuk menghilangkan batas – batas antar blok yang dapat memperburuk kualitas dari citra hasil rekonstruksi. Dalam kasus ini, akan digunakan filter untuk melakukan *smoothing* namun *edge-preserving* berdasarkan *Weighted Least Square* (WLS). Berikut ini merupakan fungsi objektif yang akan diminimalisir oleh pengaplikasian filter WLS pada matriks transmisi.

$$\sum_p \left((t_p - \tilde{t}_p)^2 + \lambda \cdot \left(w_{x,p}(h) \cdot \left(\frac{\partial t}{\partial x} \right)_p^2 + w_{y,p}(h) \cdot \left(\frac{\partial t}{\partial y} \right)_p^2 \right) \right) \quad (10)$$

Dengan bentuk subscript p merupakan posisi dari piksel, \tilde{t} merupakan matriks transmisi yang belum dilakukan *smoothing*, t merupakan matriks transmisi yang telah dilakukan *smoothing*, dan λ merupakan nilai *smoothing rate*. Semakin tinggi nilai λ , maka semakin *smooth* pula citra yang dihasilkan. Kemudian, bobot *smoothness* untuk $w_{x,p}(h)$ dan $w_{y,p}(h)$ dapat didefinisikan sebagai berikut.

$$w_{x,p}(h) = \left(\left| \frac{\partial h}{\partial x} \right|_p^\alpha + \varepsilon \right)^{-1}, w_{y,p}(h) = \left(\left| \frac{\partial h}{\partial y} \right|_p^\alpha + \varepsilon \right)^{-1} \quad (11)$$

Dengan h merupakan citra dengan *haze* yang diproses dengan menggunakan *morphological grayscale reconstruction*, nilai eksponen α yang mengatur parameter *sensitivity*, dan nilai konstanta kecil ε untuk mencegah pembagian dengan nol. Selanjutnya, operasi *smoothing* terhadap matriks transmisi dengan menggunakan filter WLS dapat didefinisikan sebagai berikut.

$$r = \left(I + \lambda \cdot \left(D_x^T \cdot A_x \cdot D_x + D_y^T \cdot A_y \cdot D_y \right) \right)^{-1} \cdot \tilde{r} \quad (12)$$

Dengan matriks A_x dan A_y merupakan matriks diagonal yang mengandung bobot *smoothness* $w_x(h)$ dan $w_y(h)$ serta matriks D_x dan D_y merupakan operator turunan pertama dalam bentuk diskrit.



Gambar 6. Matriks Transmisi Setelah Dilakukan Proses Smoothing

III. IMPLEMENTASI

Solusi untuk permasalahan ini akan diimplementasikan pada program MATLAB. Program tersebut akan menerima citra masukan yang akan dilakukan algoritma *dehazing* untuk menghilangkan *haze* yang mungkin terdapat pada citra masukan tersebut. Kemudian, program akan menampilkan citra hasil rekonstruksi *dehazing*, visualisasi dari nilai *haze* yang mungkin terdapat pada citra tersebut, nilai *Peak-Signal-to-Ratio* (PSNR), serta nilai *Structural Similarity* (SSIM) yang keduanya dapat digunakan sebagai metrik pengukuran kuantitatif untuk melakukan evaluasi terhadap citra yang dihasilkan oleh algoritma *dehazing*. Program tersebut dapat diakses pada *repository* GitHub yang dapat diakses dengan pranala yang terletak pada bagian akhir dari makalah ini.

A. Penentuan Warna Atmospheric Light

File “computeAtmLight.m” berisi kode program yang mendefinisikan algoritma untuk melakukan partisi blok terhadap citra *grayscale*, *quad-tree subdivision* secara rekursif untuk menentukan subdivisi dengan *region* yang mengandung cahaya atmosfer, dan penentuan warna dari cahaya atmosfer tersebut dengan mencari piksel dengan nilai *Euclidean norm* paling kecil. Kode program yang didefinisikan pada file ini merupakan implementasi dari algoritma penentuan warna *atmospheric light* yang terdapat pada makalah “Single Image Dehazing with Image Entropy and Information Fidelity” (Dubok et al., 2014).

B. Penentuan Nilai Transmission Estimation

File “algImgguidedFilter.m” berisi kode program yang mendefinisikan algoritma untuk melakukan partisi blok terhadap citra berwarna, mencari nilai transmisi yang akan mengoptimalkan fungsi objektif pada setiap partisi blok, menggabungkan seluruh nilai transmisi pada blok menjadi sebuah matriks transmisi, melakukan *smoothing* dengan menggunakan filter WLS terhadap matriks transmisi. Kode program yang didefinisikan pada file ini merupakan implementasi dari algoritma penentuan estimasi nilai transmisi yang terdapat pada makalah “Fast Guided Filter” (He & Sun, 2015).

C. Perbaikan Warna dengan Contrast Stretching

File “globalStretching.m” berisi kode program yang mendefinisikan algoritma untuk melakukan *contrast stretching* dengan melebarkan nilai keabuan yang terdapat pada citra. Kode program tersebut digunakan untuk memperbaiki kontras dari citra hasil rekonstruksi yang mungkin saja tidak memiliki kontras yang bagus yang disebabkan oleh penghilangan cahaya atmosfer.

D. Penggabungan Metode Dehazing

File “dehaze.m” berisi kode program yang menggabungkan seluruh algoritma yang digunakan untuk melakukan *image dehazing*. Seluruh fungsi yang didefinisikan pada file sebelumnya dipanggil pada file ini dengan nilai parameter yang telah ditentukan sebelumnya. Terdapat tiga luaran yang dihasilkan oleh fungsi pada file ini, yaitu citra hasil rekonstruksi dari proses *dehazing*, citra visualisasi dari *haze* yang terdapat

pada citra, serta vektor warna dari cahaya atmosfer yang dideteksi pada citra.

E. Evaluation Metrics

Dalam kasus ini, metrik pengukuran kuantitatif *Peak-Signal-to-Ratio* (PSNR) dan *Structural Similarity* (SSIM) digunakan untuk melakukan evaluasi terhadap citra yang dihasilkan oleh algoritma *dehazing*. Metrik PSNR adalah metrik objektif yang digunakan untuk mengukur tingkat distorsi sinyal antara citra hasil rekonstruksi *dehazing* dengan citra masukan. Secara matematis, metrik PSNR dapat didefinisikan sebagai berikut.

$$PSNR(I, J) = 20 \cdot \log\left(\frac{M}{rms(I, J)}\right) \quad (13)$$

Dengan fungsi *rms* merupakan fungsi perbedaan *root mean square* di antara kedua citra dan *M* merupakan nilai keabuan maksimum dalam sebuah citra (untuk gambar RGB 8-bit, didefinisikan nilai $M = 255$). Semakin tinggi nilai PSNR (dalam satuan desibel), maka semakin baik kualitas dari citra hasil rekonstruksi dari proses *dehazing*.

Namun, metrik pengukuran PSNR tidak efektif dapat merepresentasikan kualitas citra yang dapat ditangkap oleh indra visual manusia. Oleh karena itu, akan digunakan pula metrik pengukuran kuantitatif SSIM yang merupakan ukuran subjektif untuk mengevaluasi kinerja dari algoritma *dehazing* dari segi kontras, pencahayaan, serta koherensi struktural antara citra masukan dengan citra hasil rekonstruksi. Secara matematis, metrik SSIM dapat didefinisikan sebagai berikut.

$$SSIM(I, J) = \frac{(2 \cdot \mu_I \cdot \mu_J + k_1) \cdot (2 \cdot \sigma_{I, J} + k_2)}{(\mu_I^2 + \mu_J^2 + k_1) \cdot (\sigma_I^2 + \sigma_J^2 + k_2)} \quad (14)$$

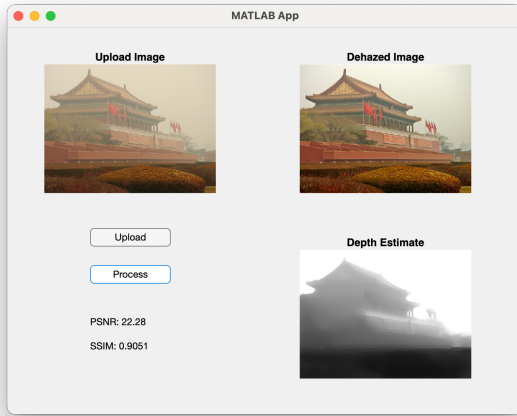
Dengan μ_I dan μ_J merupakan nilai rata-rata dari piksel pada citra yang bersesuaian, σ_I^2 dan σ_J^2 merupakan nilai varians dari piksel pada citra yang bersesuaian, $\sigma_{I, J}$ merupakan nilai kovarians antara citra masukan dengan citra hasil rekonstruksi, serta k_1 dan k_2 merupakan nilai kecil untuk menstabilisasikan pembagian dengan berperan sebagai *weak denominators*. Nilai SSIM berkisar antara 0 dan 1, dimana semakin tinggi nilai SSIM antara kedua citra, maka koherensi struktural antara kedua citra tersebut juga akan semakin besar serta kualitas dari hasil rekonstruksi *dehazing* juga akan semakin baik.

IV. HASIL EKSPERIMEN DAN ANALISIS

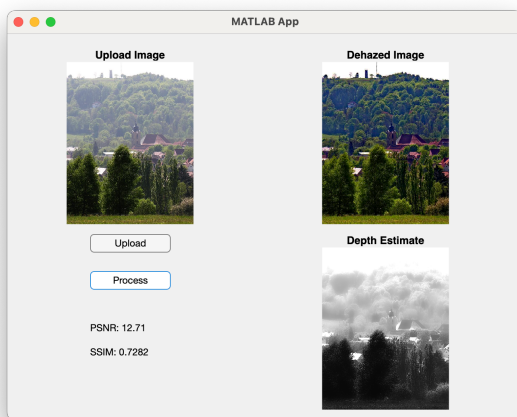
Pada bagian ini akan dipaparkan hasil proses *dehazing* yang diaplikasikan pada beberapa sampel citra dengan kondisi *haze*. Seluruh citra yang digunakan pada bagian ini dapat diakses pada folder “images” di dalam *repository* GitHub yang dapat diakses dengan menggunakan pranala yang terletak pada bagian akhir dari makalah ini. Berikut ini merupakan beberapa contoh dari penggunaan program untuk melakukan proses *dehazing* terhadap citra masukan.

V. KESIMPULAN

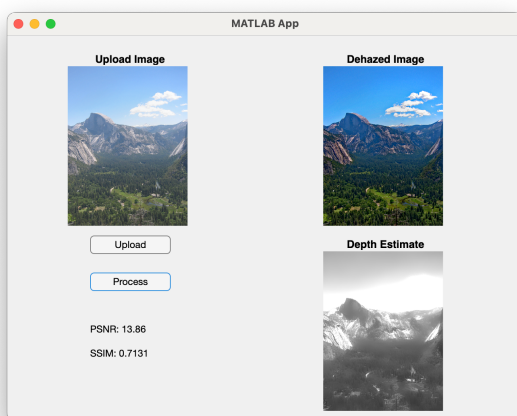
Metode *image dehazing* dengan menggunakan entropi citra dan *information fidelity* dapat secara efektif menghilangkan *haze* yang terdapat pada citra masukan, dimana nilai metrik kuantitatif PSNR dan SSIM yang dihitung pada citra masukan dengan citra hasil rekonstruksi menunjukkan hasil yang cukup tinggi. Metode ini dapat bekerja dengan baik jika dibandingkan dengan metode *single image dehazing* lainnya karena terdapat proses partisi blok pada citra yang dapat memaksimalkan *spatial locality* dari suatu citra untuk menghindari pemilihan cahaya atmosfer yang tidak tepat. Meskipun begitu, metode *image dehazing* ini terbilang cukup kompleks jika dibandingkan dengan metode *single image dehazing* lainnya karena terdapat proses *smoothing* yang membutuhkan perkalian matriks secara menyeluruh pada proses pencarian matriks transmisi.



Gambar 7. Proses *Dehazing* untuk Citra “tiananmen1.png”



Gambar 8. Proses *Dehazing* untuk Citra “manor.jpg”



Gambar 9. Proses *Dehazing* untuk Citra “y01_photo.png”

PRANALA VIDEO PADA YOUTUBE

https://youtu.be/fLndsEPjV_k

PRANALA KODE PADA GITHUB

<https://github.com/rayhankinan/matlab-image-dehazing>

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan kasih karunia-Nya yang telah memberikan kesehatan dan kesempatan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan makalah ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih sebesar – besarnya kepada seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan makalah ini, diantaranya adalah:

1. Dr. Ir. Rinaldi Munir, M.T selaku dosen pengampu mata kuliah IF4073 Interpretasi dan Pengolahan Citra.
2. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah berkontribusi baik secara langsung maupun tidak langsung dalam membantu penyelesaian makalah ini.

REFEERENSI

- [1] D. Park, H. Park, D. K. Han, and H. Ko, “Single image dehazing with image entropy and information fidelity,” *Centre National De La Recherche Scientifique (CNRS)*, Oct. 2014, doi: 10.1109/icip.2014.7025820.
- [2] J. H. Kim, J.-Y. Sim, and C.-S. Kim, “Single image dehazing based on contrast enhancement,” *2011 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, May 2011, doi: 10.1109/icassp.2011.5946643.
- [3] D. Park, D. K. Han, and H. Ko, “Single image haze removal with WLS-based edge-preserving smoothing filter,” *2013 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, May 2013, doi: 10.1109/icassp.2013.6638099.
- [4] K. He and J. Sun, “Fast guided filter.,” *arXiv (Cornell University)*, May 2015, [Online]. Available: <https://arxiv.org/pdf/1505.00996.pdf>

- [5] R. Kundu, "Deep learning for image dehazing- the what, why, and how," *Paperspace Blog*, Aug. 08, 2022. <https://blog.paperspace.com/image-dehazing-the-what-why-and-how/>

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Bandung, 19 Desember 2023



Rayhan Kinan Muhannad
13520065