

**PENGHAPUSAN KABUT CITRA TUNGGAL GUNUNG KELUD  
MENGUNAKAN METODE *NON-LOCAL DEHAZING***

**SKRIPSI**

**Oleh :  
MUHAMMAD RIZKI UTAMA  
NIM. 16650038**



**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2023**

**PENGHAPUSAN KABUT CITRA TUNGGAL GUNUNG KELUD  
MENGUNAKAN METODE *NON-LOCAL DEHAZING***

**SKRIPSI**

Diajukan kepada:  
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang  
Untuk memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam  
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)

Oleh :  
**MUHAMMAD RIZKI UTAMA**  
**NIM. 16650038**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2023**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

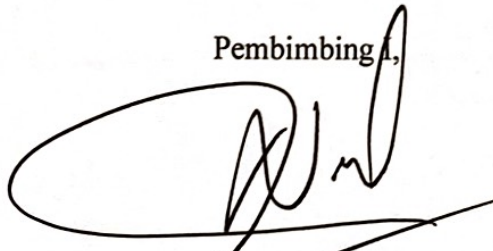
**PENGHAPUSAN KABUT CITRA TUNGGAL GUNUNG KELUD  
MENGUNAKAN METODE *NON-LOCAL DEHAZING***

**SKRIPSI**

Oleh :  
**MUHAMMAD RIZKI UTAMA**  
NIM. 16650038

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:  
Tanggal: 13 Juni 2023

Pembimbing I,



Dr. Fesy Nugroho, M. T  
NIP. 19710722 201101 1 001

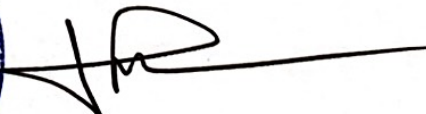
Pembimbing II,



Dr. M. Faisal, M.T  
NIP. 19740510 200501 1 007

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Teknik Informatika  
Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang



  
Dr. Faizul Kurniawan, M.MT, IPM  
NIP. 19771020 200912 1 001

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PENGHAPUSAN KABUT CITRA TUNGGAL GUNUNG KELUD  
MENGUNAKAN METODE *NON-LOCAL DEHAZING***

**SKRIPSI**

**Oleh :  
MUHAMMAD RIZKI UTAMA  
NIM. 16650038**

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi  
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Komputer ( S.Kom )  
Tanggal: 13 Juni 2023

**Susunan Dewan Penguji**

Ketua Penguji : Dr. Yunifa Miftachul Arif, M.T  
NIP. 19830616 201101 1 004

Anggota Penguji I : Juniardi Nur Fadilah, M.T  
NIP. 19920605 201903 1 015

Anggota Penguji II : Dr. Fresy Nugroho, M. T  
NIP. 19710722 201101 1 001

Anggota Penguji III : Dr. M. Faisal, M.T  
NIP. 19740510 200501 1 007

(  
(  
(  
(  
(

Mengetahui dan Mengesahkan,  
Ketua Program Studi Teknik Informatika  
Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang



Dr. Fachrudin Kurniawan, M.MT, IPM  
19771020 200912 1 001

## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Rizki Utama  
NIM : 16650038  
Program Studi : Teknik Informatika  
Fakultas : Sains dan Teknologi  
Judul Skripsi : Penghapusan Kabut Citra Tunggal Gunung Kelud  
Menggunakan Metode *Non-Local Dehazing*

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan data, tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini merupakan hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 22 Juni 2023

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Rizki Utama

NIM.16650038

## KATA PENGANTAR

Dengan bangga, skripsi ini disajikan sebagai hasil penelitian yang berjudul **"Penghapusan Kabut Citra Tunggal Gunung Kelud Menggunakan Metode *Non-Local Dehazing*"**. Penelitian ini dilakukan untuk mengeksplorasi dan mendalami pemahaman tentang teknik pengolahan citra terutama terkait dengan masalah pereduksian kabut. Tujuan dari skripsi ini adalah mengembangkan metode yang efektif dalam mengatasi masalah kabut pada citra digital yang sering mengurangi visibilitas dan kontras gambar.

Harapan penulis adalah agar skripsi ini dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat dalam bidang pengolahan citra, khususnya dalam penghapusan kabut. Skripsi ini diharapkan menjadi referensi dan sumber inspirasi bagi peneliti lain yang tertarik dalam bidang ini. Apresiasi dan terima kasih disampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kontribusi dalam penelitian ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan menjadi langkah awal yang baik dalam perjalanan karier penulis di bidang ilmu komputer dan pengolahan citra.

Malang, Juni 2023

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGAJUAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN</b> .....	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>x</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xiii</b>
<b>المخلص</b> .....	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Pernyataan Masalah .....	5
1.3 Tujuan Penelitian .....	5
1.4 Batasan Masalah .....	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
1.6 Sistematika Penulisan .....	7
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b> .....	<b>8</b>
2.1 Penelitian Terkait.....	8
2.2 <i>Dehazing</i> .....	10
2.2.1 <i>Dark Channel Prior (DCP)</i> .....	10
2.2.2 <i>Color Attenuation Prior</i> .....	11
2.2.3 <i>Non-Local Dehazing</i> .....	12
2.5 Transmission.....	14
2.6 Model Kabut.....	14
2.7 <i>Airlight</i> .....	15
2.8 <i>Peak Signal to Noise Ratio</i> .....	16
2.9 <i>Spherical Coordinates</i> .....	17
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>19</b>
3.1 Desain Sistem .....	19
3.2 Inputan Citra <i>Hazy</i> .....	20
3.3 Cari <i>Haze-Lines</i> .....	20
3.4 Estimasi <i>Transmission Map</i> .....	23
3.5 <i>Regularization</i> .....	25

3.6	<i>Dehazing</i> .....	26
3.7	Perhitungan Performa Hasil.....	27
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>29</b>
4.1	Sumber Data .....	29
4.2	Identifikasi Citra Masukan .....	30
4.2.1	Estimasi <i>Airlight</i> .....	31
4.2.2	Estimasi <i>Haze-lines, Transmission Map, dan Regularization</i> .....	33
4.3	Hasil Visualisasi Implementasi .....	41
4.3.1	Citra Berkabut 03-10-2017 .....	41
4.3.2	Citra Berkabut 04-10-2017 .....	42
4.3.3	Citra Berkabut 06-10-2017 .....	44
4.3.4	Citra Berkabut 07-10-2017 .....	45
4.3.5	Citra Berkabut 08-10-2017 .....	46
4.3.6	Citra Berkabut 09-10-2017 .....	47
4.3.7	Citra Berkabut 10-10-2017 .....	48
4.3.8	Citra Berkabut 11-10-2017 .....	49
4.3.9	Citra Berkabut 12-10-2017 .....	50
4.3.10	Citra Berkabut 13-10-2017 .....	52
4.3	Perhitungan <i>Mean Square Error (MSE)</i> .....	53
4.3.1	<i>Non-Local Dehazing dan Dark Channel Prior</i> .....	53
4.3.2	<i>Non-Local Dehazing dan Color Attenuation Prior</i> .....	54
4.4	Peak Signal-to-Noise Ratio .....	55
4.4.1	<i>Non-Local Dehazing dan Dark Channel Prior</i> .....	56
4.4.2	<i>Non-Local Dehazing dan Color Attenuation Prior</i> .....	57
4.5	Hasil Analisa Pengujian Sistem Dehazing .....	58
4.5.1	Perbandingan Rata-rata MSE setiap Metode .....	59
4.5.2	Perbandingan Rata-rata PSNR setiap Metode.....	60
4.5.3	Diagram Perbandingan MSE.....	61
4.5.4	Diagram Perbandingan PSNR.....	62
4.6	Integrasi Islam dan Sains .....	63
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>67</b>
5.1	Kesimpulan.....	67
5.2	Saran .....	67
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Model fisik dari citra berkabut di gunung Kelud.....	16
Gambar 2.2. Representasi <i>spherical coordinate airlight</i> .....	18
Gambar 3.1. Blok Diagram Desain Sistem <i>Non-Local Dehazing</i> .....	19
Gambar 3.2. <i>Hazy Image</i> .....	20
Gambar 3.3. Estimasi <i>Haze-lines</i> .....	22
Gambar 3.4. Estimasi <i>Transmission Map</i> .....	24
Gambar 3.5. <i>Transmission Map</i> yang telah dilakukan regularisasi.....	26
Gambar 3.6. <i>Dehazed Image</i> .....	27
Gambar 4.1. Diagram Perbandingan Nilai MSE.....	61
Gambar 4.2. Diagram Perbandingan Nilai PSNR.....	62

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Nilai <i>Airlight</i> pada Gambar Masukan.....	22
Tabel 4.1 Nilai <i>Airlight</i> pada 30 Citra Masukan.....	32
Tabel 4.2 <i>Haze-lines, Transmission Map, dan Regularization</i> tanggal 03 - 10-2017.....	33
Tabel 4.3 <i>Haze-lines, Transmission Map, dan Regularization</i> tanggal 04- 10-2017.....	34
Tabel 4.4 <i>Haze-lines, Transmission Map, dan Regularization</i> tanggal 06- 10-2017.....	35
Tabel 4.5 <i>Haze-lines, Transmission Map, dan Regularization</i> tanggal 07- 10-2017.....	36
Tabel 4.6 <i>Haze-lines, Transmission Map, dan Regularization</i> tanggal 08- 10-2017.....	37
Tabel 4.7 <i>Haze-lines, Transmission Map, dan Regularization</i> tanggal 09- 10-2017.....	37
Tabel 4.8 <i>Haze-lines, Transmission Map, dan Regularization</i> tanggal 10- 10-2017.....	38
Tabel 4.9 <i>Haze-lines, Transmission Map, dan Regularization</i> tanggal 11- 10-2017.....	39
Tabel 4.10 <i>Haze-lines, Transmission Map, dan Regularization</i> tanggal 12- 10-2017.....	40
Tabel 4.11 <i>Haze-lines, Transmission Map, dan Regularization</i> tanggal 13- 10-2017.....	40
Tabel 4.12 Percobaan Pada Citra Berkabut tanggal 03-10-2017.....	42
Tabel 4.13 Percobaan Pada Citra Berkabut tanggal 04-10-2017.....	43
Tabel 4.14 Percobaan Pada Citra Berkabut tanggal 06-10-2017.....	44
Tabel 4.15 Percobaan Pada Citra Berkabut tanggal 07-10-2017.....	45
Tabel 4.16 Percobaan Pada Citra Berkabut tanggal 08-10-2017.....	47
Tabel 4.17 Percobaan Pada Citra Berkabut tanggal 09-10-2017.....	48
Tabel 4.18 Percobaan Pada Citra Berkabut tanggal 10-10-2017.....	49
Tabel 4.19 Percobaan Pada Citra Berkabut tanggal 11-10-2017.....	50
Tabel 4.20 Percobaan Pada Citra Berkabut tanggal 12-10-2017.....	51
Tabel 4.21 Percobaan Pada Citra Berkabut tanggal 13-10-2017.....	52
Tabel 4.22 Perbandingan <i>Mean Square Error (MSE) Non-Local Dehazing</i> dan <i>Dark Color Prior</i> .....	54
Tabel 4.23 Perbandingan <i>Mean Square Error (MSE) Non-Local Dehazing</i> dan <i>Color Attenuation Prior</i> .....	55
Tabel 4.24 Perbandingan <i>Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) Non-Local</i> <i>Dehazing</i> dan <i>Dark Color Prior</i> .....	57
Tabel 4.25 Perbandingan <i>Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) Non-Local</i> <i>Dehazing</i> dan <i>Color Attenuation Prior</i> .....	58
Tabel 4.26 Perbandingan MSE dan PSNR antara <i>Non-Local Dehazing</i> dan <i>Dark Color Prior</i> .....	

Tabel 4.27 Perbandingan MSE dan PSNR antara <i>Non-Local Dehazing</i> dan <i>Color Attenuation Prior</i> .....	58
Tabel 4.28 Perbandingan Rata-rata MSE setiap Metode.....	59
Tabel 4.29 Perbandingan Rata-rata PSNR setiap Metode.....	60

## ABSTRAK

Utama, Muhammad Rizki. 2023. **Penghapusan Kabut Citra Tunggal Gunung Kelud Menggunakan Metode *Non-Local Dehazing***. Skripsi. Jurusan Teknik Informatika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Dr. Fresy Nugroho, M. T (II) Dr. M. Faisal, M.T.

---

Kata kunci: Gunung Kelud, kabut, *Non-local Dehazing*, *Peak Signal-to-Noise Ratio*, *Mean Square Error*.

Gunung kelud adalah salah satu gunung berapi yang cukup aktif yang terletak di Jawa Timur, Indonesia. Pemantauan yang dilakukan melalui *close circuit television* (CCTV) merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk melihat aktivitas gunung berapi tersebut. Akan tetapi citra yang ditampilkan oleh CCTV sering sekali kurang akurat karena diakibatkan oleh kabut dan awan yang tebal. Terdapat beberapa metode penghapusan kabut untuk memperbaiki kualitas gambar yang terdegradasi akibat masalah tersebut, salah satunya adalah *Non-Local Dehazing*. Metode *Non-Local Dehazing* memiliki beberapa kelebihan yang dapat menutupi kekurangan metode penghapusan yang lain seperti dihasilkannya gambar yang lebih konsisten pada berbagai kondisi cahaya. Penelitian ini menggunakan gambar Gunung Kelud dalam jangka waktu 10 hari dari tanggal 03-10-2017 hingga tanggal 13-10-2017. Hasil pengujian mengacu pada nilai *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR) dan juga *Mean Square Error* (MSE) dimana semakin tinggi nilai PSNR maka semakin baik kualitas citra hasil pemrosesan serta nilai MSE yang lebih kecil menunjukkan bahwa citra hasil pengolahan mendekati citra asli. Metode *non-local dehazing* memiliki nilai PSNR dan MSE yang lebih baik dari metode *dark channel prior* namun masih kurang baik dari metode *color attenuation prior*. Sehingga metode *non-local dehazing* efektif dan dapat dijadikan salah satu metode dalam mengurangi kabut pada Gunung Kelud.

## ABSTRACT

Utama, Muhammad Rizki. 2023. **Single Image Fog Removal of Mount Kelud using Non-local Dehazing Method**. Theses. Jurusan Teknik Informatika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor: (I) Dr. Fresy Nugroho, M. T (II) Dr. M. Faisal, M.T.

---

Keywords: Mount Kelud, fog, Non-local Dehazing, Peak Signal-to-Noise Ratio, Mean Square Error.

Mount Kelud is one of the active volcanoes located in East Java, Indonesia. Monitoring conducted through closed-circuit television (CCTV) is one of the methods that can be used to observe the volcano's activity. However, the images displayed by the CCTV are often inaccurate due to thick fog and clouds. There are several methods for haze removal to improve the degraded image quality caused by these issues, one of which is Non-Local Dehazing. The Non-Local Dehazing method has several advantages that can overcome the shortcomings of other haze removal methods, such as producing more consistent images under various lighting conditions. This study uses images of Mount Kelud taken over a period of 10 days from October 3, 2017, to October 13, 2017. The test results are based on the Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) and Mean Square Error (MSE), where higher PSNR values indicate better quality of the processed image, and smaller MSE values indicate that the processed image approaches the original image. The non-local dehazing method has better PSNR and MSE values compared to the dark channel prior method but is still inferior to the color attenuation prior method. Therefore, the non-local dehazing method is effective and can be considered as one of the methods for reducing haze on Mount Kelud.

## الملخص

أوتاما، محمد رزقي . ٢٠٢٣. إزالة الضباب في صورة واحدة لجبل كيلود باستخدام طريقة إزالة الضباب غير المحلية. رسالة ماجستير. قسم هندسة المعلوماتية، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة إسلامية نيجيريا مولانا مالك إبراهيم مالانغ. المشرف: (١) الدكتور فريسي نوغروهو، م.ت (٢) الدكتور إم. فيصل، م.ت.

الكلمات الرئيسية: جبل كيلود، الضباب، إزالة الضباب غير المحلية، نسبة الإشارة إلى الضوضاء القصوى، متوسط مربع الخطأ.

جبل كيلود هو أحد البراكين النشطة الموجودة في شرق جاوة، إندونيسيا. يُعد المراقبة عبر التلفزيون المغلق (CCTV) أحد الأساليب التي يمكن استخدامها لمراقبة نشاط البركان. ومع ذلك، فإن الصور التي تعرضها كاميرات CCTV غالبًا ما تكون غير دقيقة بسبب الضباب الكثيف والسحب. هناك العديد من الأساليب لإزالة الضباب لتحسين جودة الصورة المتدهورة نتيجة لهذه المشكلات، واحدة منها هي طريقة إزالة الضباب غير المحلية. تتمتع طريقة إزالة الضباب غير المحلية بعدة مزايا تمكنها من التغلب على نقائص طرق إزالة الضباب الأخرى، مثل إنتاج صور أكثر اتساقًا في ظروف الإضاءة المختلفة. تستخدم هذه الدراسة صورًا لجبل كيلود التقطت على مدار ١٠ أيام من ٢٠١٧-١٠-٠٣ إلى ٢٠١٧-١٠-١٣. تستند نتائج الاختبار إلى قيمة نسبة الإشارة إلى الضوضاء القصوى (PSNR) ومتوسط مربع الخطأ (MSE)، حيث تشير قيم PSNR الأعلى إلى جودة أفضل للصورة المعالجة، وقيم MSE الأقل تشير إلى اقتراب الصورة المعالجة من الصورة الأصلية. تحقق طريقة إزالة الضباب غير المحلية من قيم PSNR و MSE أفضل من طريقة القناة المظلمة المسبقة ولكنها لا تزال أدنى من طريقة الاحتجاز اللوني المسبقة. لذا، فإن طريقة إزالة الضباب غير المحلية فعالة ويمكن اعتبارها واحدة من الأساليب للحد من الضباب على جبل كيلود.

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Gunung Kelud adalah salah satu gunung berapi yang terletak di Jawa Timur, Indonesia. Dengan ketinggian sekitar 1.731 meter di atas permukaan laut, Gunung Kelud merupakan salah satu gunung berapi yang cukup aktif di Indonesia dan pernah meletus beberapa kali dalam sejarahnya. Keindahan Gunung Kelud yang memukau dan pemandangan alamnya yang menakjubkan telah menjadi daya tarik bagi banyak wisatawan untuk berkunjung ke sana. Terdapat beberapa jalur pendakian yang dapat dilalui untuk mencapai puncak Gunung Kelud, dengan pilihan jalur pendakian yang berbeda-beda tergantung pada tingkat kesulitan dan jarak yang ingin ditempuh. (Yusuf, 2021)

Selain keindahan alamnya yang memukau, Gunung Kelud juga memiliki sejarah yang kaya dan menarik. Pada abad ke-15, Gunung Kelud pernah meletus dan menimbulkan bencana alam yang dahsyat. Letusan ini dikatakan sebagai salah satu letusan gunung berapi terbesar dalam sejarah Indonesia, dengan jangkauan lava mencapai jarak lebih dari 20 kilometer dari puncak gunung. Letusan Gunung Kelud pada tahun 2014 juga menjadi peristiwa penting dalam sejarah gunung berapi di Indonesia. Letusan ini mengakibatkan kerusakan yang cukup besar pada daerah sekitar, termasuk desa-desa yang berada di dekat lereng gunung. Namun, berkat upaya pemerintah dan masyarakat setempat, daerah-daerah tersebut berhasil direhabilitasi dan kembali beraktivitas. (Pratomo, 2006)

Pemantauan gunung Kelud menggunakan CCTV adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk memantau aktivitas gunung berapi. CCTV (*Closed Circuit Television*) adalah kamera yang terhubung dengan sistem pengawasan yang dapat memantau daerah sekitar gunung berapi secara terus-menerus. Tidak jarang gambar yang diambil oleh CCTV di sekitar Gunung Kelud terlihat berkabut, terutama saat cuaca sedang buruk seperti saat hujan atau awan tebal menyelimuti area pemantauan. Kabut dan awan tebal dapat menyulitkan pengambilan gambar dengan jelas dan akurat. Oleh karena itu diperlukan citra yang jelas agar dapat membantu pemantauan terhadap gunung Kelud tersebut. (Putra, 2017)

Citra yang jelas sangat penting dalam memantau kondisi sebuah kawah gunung berapi karena dapat membantu masyarakat dan otoritas terkait untuk memahami resiko dan ancaman yang terkait dengan erupsi gunung berapi tersebut. Dengan citra yang jelas, masyarakat dan otoritas dapat mengidentifikasi dan mengevaluasi daerah yang rentan terhadap erupsi gunung berapi dan ancaman yang terkait dengan erupsi tersebut. Hal ini dapat membantu dalam menyusun rencana evakuasi yang efektif dan mengurangi dampak erupsi terhadap masyarakat. Pihak otoritas juga dapat memantau aktivitas gunung berapi secara terus-menerus dan memperkirakan waktu dan intensitas erupsi. Hal ini dapat membantu dalam memperkirakan dampak erupsi pada lingkungan dan masyarakat, serta memberikan peringatan dini bagi masyarakat yang berada di daerah yang terkena dampak erupsi. (Putra & Musthafa, 2019)

Seperti yang telah dikatakan dalam Al-Quran dalam surah as-Syura ayat 30 yang berbunyi:

وَمَا أَصَابَكُمْ مِّنْ مُّصِيبَةٍ فَبِمَا كَسَبَتْ أَيْدِيكُمْ وَيَعْفُوا عَنْ كَثِيرٍ

“Dan apa saja musibah yang menimpa kamu maka adalah disebabkan oleh perbuatan tanganmu sendiri, dan Allah memaafkan sebagian besar (dari kesalahan-kesalahanmu).”

Dari ayat tersebut disampaikan bahwa musibah adalah hasil dari perbuatan manusia sendiri. Maka dari itu kita harus menjaga dan meminimalisir dampak musibah apabila musibah itu datang. Salah satunya adalah dengan cara memantau musibah itu sedini mungkin seperti yang dilakukan dalam pemantauan kawah gunung berapi tersebut.

Metode penghapusan kabut pada gambar atau *image dehazing* adalah suatu metode dalam pengolahan citra yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas gambar yang terpengaruh oleh kabut atau asap yang menyebabkan kehilangan detail dan kontras pada gambar. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk melakukan *dehazing* seperti *Dark Channel Prior (DCP)*, *Color Attenuation Prior (CAP)*, dan terutama adalah *Non-Local Dehazing*. (Berman et al., 2016)

*Dark channel prior (DCP)* sebagai algoritma *dehazing* citra tunggal kurang efektif ketika terdapat area terang yang luas pada citra berkabut karena tidak dapat memperoleh toleransi secara adaptif sesuai dengan karakteristik citra. Ini akan menyebabkan peningkatan transmisi gambar yang tidak mencukupi, sehingga sulit untuk menghilangkan distorsi warna dan memblokir efek pada gambar yang dipulihkan sepenuhnya. Selain itu, ketika area kabut tebal atau sumber cahaya langsung pihak ketiga (sinar matahari, lampu depan, dan pantulan *glare* cahaya) akan salah diartikan sebagai area langit, penggunaan toleransi akan menyebabkan

efek penghilangan cahaya yang lebih rendah seperti hilangnya detail. (Yang & Tang, 2020)

*Color Attenuation Prior* (CAP) sebagai algoritma *dehazing* citra tunggal juga memiliki beberapa kekurangan seperti rentan terhadap *noise* pada citra yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh penggunaan algoritma koreksi warna yang dapat memperkuat *noise* pada citra. Kemudian metode CAP juga kurang efektif pada citra yang terlalu cerah atau terlalu gelap. Hal ini disebabkan oleh penggunaan algoritma koreksi warna yang mengasumsikan bahwa suatu warna pada citra memiliki tingkat kecerahan yang sama. Kemudian metode CAP juga tidak mampu menangani kasus khusus seperti citra yang hanya terdiri dari satu warna atau citra yang sangat gelap (monokrom). Metode CAP juga memerlukan parameter yang disesuaikan secara manual oleh pengguna. Hal ini dapat membuat proses *dehazing* menjadi lebih sulit dan memakan waktu. (Fattal, 2014)

*Non-Local Dehazing* sebagai algoritma *dehazing* citra tunggal memiliki beberapa kelebihan yang dapat menutupi kekurangan algoritma *dehazing* untuk citra tunggal lainnya. Metode *Non-Local Dehazing* tidak terlalu sensitif terhadap kecerahan citra, sehingga dapat menghasilkan hasil yang lebih konsisten pada berbagai kondisi cahaya. Metode *Non-Local Dehazing* dapat menangani kasus khusus seperti citra yang terdiri dari objek berwarna monokromatik dan citra yang memiliki kontras rendah. Metode *Non-Local Dehazing* juga tidak memerlukan parameter yang rumit seperti metode CAP dan DCP, sehingga dapat mengurangi waktu dan usaha yang dibutuhkan untuk menentukan parameter yang tepat. Metode *Non-Local Dehazing* juga dapat menghasilkan citra yang lebih jelas dan detail, serta

mengurangi efek kabut pada citra dikarenakan pemindaian dilakukan secara non-lokal. (Berman et al., 2016)

Dari perbandingan di atas, dapat disimpulkan bahwa metode *Non-local Dehazing* memiliki beberapa kelebihan dibandingkan metode DCP dan CAP. Menurut Berman et al. (2016), metode ini mampu menghasilkan citra yang lebih baik, tidak sensitif terhadap kecerahan citra, dan mampu menangani kasus khusus. Selain itu, metode *Non-local Dehazing* tidak memerlukan parameter yang rumit sehingga lebih mudah digunakan. Oleh karena itu, metode *Non-local Dehazing* akan dijadikan pilihan metode utama untuk proses *dehazing* pada citra.

## **1.2 Pernyataan Masalah**

Diperlukan perbandingan hasil analisis metode *non-local dehazing*, *dark channel prior*, dan *color attenuation prior* dalam konteks penghilangan kabut pada citra tunggal Gunung Kelud?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini yaitu menguji kinerja metode *non-local dehazing* dalam menghilangkan kabut pada citra tunggal Gunung Kelud dan menganalisis perbandingan hasil penghapusan kabut antara metode *non-local dehazing* dengan metode *dehazing konvensional*, serta menganalisis pengaruh parameter pada metode *non-local dehazing* terhadap kualitas hasil penghapusan kabut pada citra tunggal Gunung Kelud.

## **1.4 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Citra yang digunakan adalah citra gunung kelud.
2. Citra yang berkabut diambil dari Fresy (2017), yang diperoleh dalam kurun waktu 10 hari sejak tanggal 03-01-2017 sampai 13-10-2017.

Dengan memahami batasan masalah tersebut, pembaca akan lebih memahami fokus dan lingkup penelitian ini.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan solusi dalam mengatasi masalah kabut pada citra tunggal Gunung Kelud: Kabut pada citra gunung berapi dapat menyulitkan pengamatan dan penilaian aktivitas vulkanik yang terjadi. Metode *non-local dehazing* yang dikembangkan dalam penelitian ini dapat membantu menghilangkan kabut pada citra dan memperbaiki kualitas citra untuk memudahkan pengamatan dan penilaian aktivitas vulkanik.
2. Meningkatkan akurasi pengamatan dan penilaian aktivitas vulkanik: Dengan menggunakan metode *non-local dehazing*, citra yang telah di-*dehaze* memiliki kualitas yang lebih baik dan lebih mudah dibaca. Hal ini dapat meningkatkan akurasi pengamatan dan penilaian aktivitas vulkanik, sehingga dapat memberikan informasi yang lebih akurat dan dapat diandalkan bagi para peneliti atau pengamat gunung berapi.
3. Memberikan alternatif dalam pengolahan citra: Metode *non-local dehazing* yang dikembangkan dalam penelitian ini dapat dijadikan alternatif dalam pengolahan citra gunung berapi yang terdapat kabut atau *noise*. Metode ini dapat diaplikasikan pada penelitian atau observasi gunung berapi lainnya.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Berikut adalah sistematika dalam penulisan laporan ini:

**Bab I Pendahuluan:** berisi latar belakang penelitian, rumusan masalah berdasarkan latar belakang, tujuan penelitian, batasan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

**Bab II Tinjauan Pustaka:** berisi teori-teori yang memuat penjelasan yang berhubungan dengan penelitian ini. Teori yang dikemukakan berupa definisi dari animasi serta metode yang digunakan untuk melakukan penghapusan kabut.

**Bab III Metodologi Penelitian:** berisi kerangka konsep, sistem dan metode yang digunakan dalam penelitian, dan prosedur dalam penghapusan kabut.

**Bab IV Hasil dan Pembahasan:** berisi analisis dan pembahasan mengenai hasil dari penghapusan kabut dengan menggunakan metode *non-local dehazing*.

**Bab V Penutup:** berisi kesimpulan laporan yang didapatkan dari hasil penelitian serta saran yang dapat diberikan agar berguna untuk penelitian selanjutnya.

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Penelitian Terkait

Berbagai pendekatan telah dilakukan untuk memecahkan masalah penghapusan kabut ini. Beberapa metode bahkan memerlukan informasi tambahan yang banyak untuk menghapus kabut pada sebuah gambar, seperti mengambil berbagai gambar dalam berbagai kondisi cuaca yang berbeda atau dua gambar yang berbeda status polarisasinya. Sebuah metode penghapusan kabut pada citra tunggal akan tersedia dan bergantung pada penelitian sebelumnya.

Kabut akan mengurangi kontras pada gambar, dan berbagai metode akan bergantung pada observasi ini untuk melakukan restorasi pada gambar. Tan (2008) memaksimalkan kontras pada setiap *patch* ketika mempertahankan citra global secara koheren. Pada penelitian yang dilakukan oleh Park et al. (2013), banyaknya kabut yang diestimasi dari perbedaan antara kanal RGB yang akan berkurang seiring meningkatnya kabut. Pada penelitian yang dilakukan oleh Zhu et al. (2014) menunjukkan kabut sebagai estimasi berdasarkan observasi pada area yang berkabut yang berkarakteristik kecerahan tinggi dan saturasi rendah.

Sebagian metode menggunakan *prior* pada kedalaman gambar. Sebuah *prior* yang disebut *smoothness prior* pada *airlight* telah digunakan pada Tarel & Hautiere (2009) yang diasumsikan segala-galanya *smooth* kecuali untuk diskontinuitas kedalaman. Diasumsikan juga bahwa *scene albedo* dan kedalaman secara independensi statistika dan menggabungkan keduanya untuk digunakan *prior* pada keduanya. *Prior* pada albedo diasumsikan sebagai distribusi gradien dari

sebuah *natural scene* yang memerlukan distribusi *heavy-tail*, dan itu diperkirakan sebagai sebuah generalisasi normal pada sebuah distribusi. Kedalaman *prior* pada sebuah *scene-dependant* akan dipilih secara manual, baik sebagai konstanta yang sepotong-sepotong sebagai pemandangan perkotaan atau konstanta halus bervariasi untuk selain pemandangan perkotaan. (Nishino et al., 2012)

Beberapa metode mengasumsikan bahwa transmisi dan radian adalah konstanta sepotong-sepotong, dan menerapkan sebuah *prior* yang berbasis *patch*. Pada *dark channel prior* (DCP) mengasumsikan bahwa dalam sebuah *patch* gambar kecil akan ada paling tidak satu piksel dengan sebuah *dark color channel* dan menggunakan ini sebagai nilai minimal untuk menentukan sebuah kabut yang muncul. *Prior* ini bekerja dengan sangat baik, kecuali dalam area dengan kecerahan yang sangat tinggi dimana *prior* ini tidak dapat bekerja dengan baik.

Pada Gibson & Nguyen (2013), warna *ellipsoids* akan cocok dengan ruang RGB pada tiap *patch*-nya. Warna *ellipsoids* ini akan digunakan untuk memberikan sebuah pendekatan yang terstruktur untuk metode-metode penghapusan kabut pada citra tunggal sebelum-sebelumnya dan sebuah metode baru akan menggunakannya untuk mengukur transmisi di tiap *ellipsoid*-nya.

Pada Fattal (2008), garis warna akan cocok juga dengan ruang RGB pada tiap *patch*-nya. *Prior* ini akan berdasarkan observasi yang menyatakan piksel-piksel pada citra yang tidak berkabut berdasarkan garis warna pada ruang warna RGB. Garis ini akan melewati *origin* dan *stem* dari berbagai variasi *shading* pada objek. Seperti yang ditunjukkan pada penelitian yang sama, garis warna pada citra yang berkabut tidak melewati *origin* lagi, dikarenakan tebalnya komponen kabut. Pada

dalam sebuah area *patch* kecil yang mengandung piksel-piksel pada sebuah jarak yang seragam dari kamera, garis-garis ini bergeser dari *origin* dikarenakan oleh *airlight*. Dengan mencocokkan sebuah garis pada tiap *patch*, maka transmisi di dalam tiap *patch* akan diestimasi menggunakan pergeseran garisnya dari *origin*.

## **2.2 Dehazing**

*Dehazing* atau penghapusan kabut pada citra adalah salah satu masalah yang sering dihadapi dalam pengolahan citra digital. Kabut dapat terbentuk karena faktor lingkungan seperti debu, asap, atau udara yang lembab. Kabut dapat membuat citra menjadi kabur dan mengurangi kontras antara objek di latar depan dan latar belakang. Oleh karena itu, *dehazing* penting dilakukan dalam pengolahan citra untuk memperbaiki kualitas citra. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk melakukan *dehazing* seperti *Dark Channel Prior (DCP)*, *Color Attenuation Prior (CAP)*, dan *Non-Local Dehazing*. (Berman et al., 2016)

### **2.2.1 Dark Channel Prior (DCP)**

Teknik DCP bekerja dengan mengasumsikan bahwa setiap piksel pada citra outdoor yang terpengaruh oleh kabut memiliki nilai minimum dalam salah satu saluran warna, yang disebut sebagai *Dark Channel*. *Dark Channel* dihitung dengan memperoleh nilai minimum dari piksel-piksel di sekitarnya pada setiap saluran warna citra. Kemudian, nilai *Dark Channel* diambil sebagai representasi dari derajat kekaburan pada piksel tersebut. (He et al., 2011)

Pada tahap selanjutnya, DCP memanfaatkan prioritas cahaya, yang menunjukkan bahwa intensitas cahaya asli pada citra outdoor harus selalu lebih

tinggi dari intensitas cahaya yang diterima oleh citra yang terpengaruh oleh kabut. Dengan menggunakan nilai *Dark Channel* dan prioritas cahaya, DCP menghasilkan sebuah penapisan (*filtering*) pada citra yang mengurangi kekaburan pada citra dan meningkatkan kontras citra.

Metode DCP telah terbukti efektif dalam menghilangkan efek kabut pada citra dengan hasil yang cukup baik. Sebagai contoh, sebuah penelitian yang dilakukan oleh He et al. (2011) menggunakan metode DCP untuk memperbaiki citra yang terkena efek kabut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode DCP berhasil meningkatkan kualitas citra dengan mengurangi tingkat kekaburan dan meningkatkan kontras citra.

### 2.2.2 *Color Attenuation Prior*

*Color Attenuation Prior* (CAP) adalah salah satu metode *dehazing* yang dapat digunakan untuk menghilangkan kabut pada gambar. Metode ini didasarkan pada asumsi bahwa kecerahan (*brightness*) pada citra yang dikabutkan memiliki korelasi terbalik dengan jarak antara objek dan kamera. Dengan demikian, semakin dekat jarak antara objek dan kamera, semakin cerah objek tersebut pada citra yang terlihat kabur. (Zhu et al., 2014)

Rumus umum dari *Color Attenuation Prior* adalah sebagai berikut:

$$I(x, y) = L(x, y) * A(R, G, B)^t \quad (2.1)$$

dimana:

- $I(x,y)$  = intensitas piksel pada koordinat (x,y) pada gambar asli.
- $L(x,y)$  = intensitas cahaya alami pada titik tersebut.

- $\mathbf{A(R,G,B)}$  = vektor warna yang menunjukkan warna pada titik tersebut dalam model warna RGB.
- $\mathbf{T}$  = vektor koefisien yang menunjukkan pengaruh dari warna pada pencahayaan.

Dalam praktiknya, koefisien  $\mathbf{t}$  dapat ditentukan dengan menggunakan metode regresi linear dari data sampel pada gambar yang diketahui dengan tepat pencahayaannya, seperti gambar yang diambil dalam kondisi pencahayaan yang merata. Dengan menghitung faktor pencahayaan yang merubah intensitas cahaya dengan menggunakan CAP, kita dapat memperbaiki gambar yang terkena pencahayaan yang tidak merata dan meningkatkan kualitas visual dari gambar tersebut. (Zhu et al., 2014)

Dengan menggunakan metode CAP, kabut pada citra dapat dikurangi atau dihilangkan sehingga citra menjadi lebih jelas dan informasi pada citra menjadi lebih mudah untuk diproses dan dianalisis.

### **2.2.3 Non-Local Dehazing**

*Non-local dehazing* adalah metode pengolahan citra yang digunakan untuk menghilangkan kabut pada citra dengan cara memanfaatkan kesamaan citra pada area yang berbeda atau non-lokal. Metode ini mempertimbangkan kesamaan dan perbedaan citra pada area yang tidak berdekatan untuk menghilangkan kabut pada citra. (Berman et al., 2016)

Metode *non-local dehazing* terdiri dari beberapa langkah sebagai berikut:

1. Estimasi transmisi medium: Langkah pertama adalah mengestimasi transmisi medium atau rasio antara intensitas cahaya yang sampai ke

kamera dan intensitas cahaya asli yang dipancarkan oleh objek. Estimasi transmisi medium dapat dilakukan dengan menggunakan teknik yang sama dengan metode CAP atau metode lain yang digunakan untuk menghilangkan kabut pada citra.

2. Menentukan area non-lokal: Langkah selanjutnya adalah menentukan area non-lokal atau area yang memiliki kesamaan citra dengan area yang ingin di-*dehaze*. Area non-lokal dapat ditemukan dengan menggunakan teknik pencocokan citra.
3. Menghitung bobot citra: Setelah menentukan area non-lokal, langkah selanjutnya adalah menghitung bobot citra atau similarity weight pada area non-lokal dan area yang ingin di-*dehaze*. Bobot citra dapat dihitung dengan menggunakan teknik pencocokan citra.
4. Menghitung nilai intensitas cahaya asli: Setelah mendapatkan bobot citra, nilai intensitas cahaya asli pada area yang ingin di-*dehaze* dapat dihitung dengan menggunakan rumus

$$I(x) = \left(\frac{1}{Z(x)}\right) * \sum(W(x, y)) * \frac{J(y)}{t(y)} \quad (2.2)$$

Dimana  $\mathbf{I(x)}$  adalah nilai intensitas cahaya asli pada piksel  $\mathbf{x}$ ,  $\mathbf{Z(x)}$  adalah normalisasi bobot citra pada piksel  $\mathbf{x}$ ,  $\mathbf{W(x, y)}$  adalah bobot citra pada piksel  $\mathbf{x}$  dan  $\mathbf{y}$ ,  $\mathbf{J(y)}$  adalah nilai intensitas cahaya pada piksel  $\mathbf{y}$  pada citra yang dikaburkan, dan  $\mathbf{t(y)}$  adalah nilai transmisi medium pada piksel  $\mathbf{y}$ .

Metode non-local *dehazing* dapat menghasilkan citra yang lebih jelas dan detail yang lebih baik dibandingkan dengan metode *dehazing* konvensional.

Namun, metode ini membutuhkan waktu pemrosesan yang lebih lama karena melibatkan perhitungan bobot citra pada area non-lokal.

## 2.5 Transmission

*Transmission* (transmisi) dalam konteks *dehazing* mengacu pada persentase cahaya yang dapat diteruskan (*transmitted*) melalui medium yang menyebabkan efek kabut/*haze* (seperti udara berdebu atau berawan). Dalam gambar kabur, *transmission* mengacu pada seberapa banyak cahaya dari objek di latar belakang dapat menembus lapisan kabut untuk mencapai kamera dan direkam. Semakin rendah nilai *transmission*, semakin banyak kabut yang harus dihapus untuk menghasilkan gambar yang jernih. (Fattal, 2014)

## 2.6 Model Kabut

Pada dasarnya, model pembentukan gambar berkabut yang umum digunakan adalah

$$I(x) = t(x) \cdot J(x) + [1 - t(x)] \cdot A, \quad (2.3)$$

Yang dimana citra asli yang berkabut  $\mathbf{I}(\mathbf{x})$ , radiasi sebenarnya dari titik di dalam gambar  $\mathbf{J}(\mathbf{x})$ , dan cahaya atmosfer  $A$ . Model ini menggambarkan bagaimana cahaya yang dipantulkan oleh partikel kabut dan molekul di medium atmosferik mempengaruhi citra yang terlihat. (Putra, 2017)

Model tersebut dinyatakan dalam persamaan (2.3), di mana citra asli  $I(x)$  dapat dinyatakan sebagai hasil kali antara *transmission map*  $\mathbf{t}(\mathbf{x})$  dan radiasi sebenarnya  $\mathbf{J}(\mathbf{x})$ , ditambah dengan hasil kali antara *transmission map* yang disesuaikan dengan cahaya atmosfer,  $\mathbf{1 - t}(\mathbf{x})$  dan  $A$ . Persamaan ini menggambarkan

bagaimana cahaya yang dipantulkan oleh kabut dapat mempengaruhi citra asli yang diamati.

$$t(x) = e^{-\beta d(x)} \quad (2.4)$$

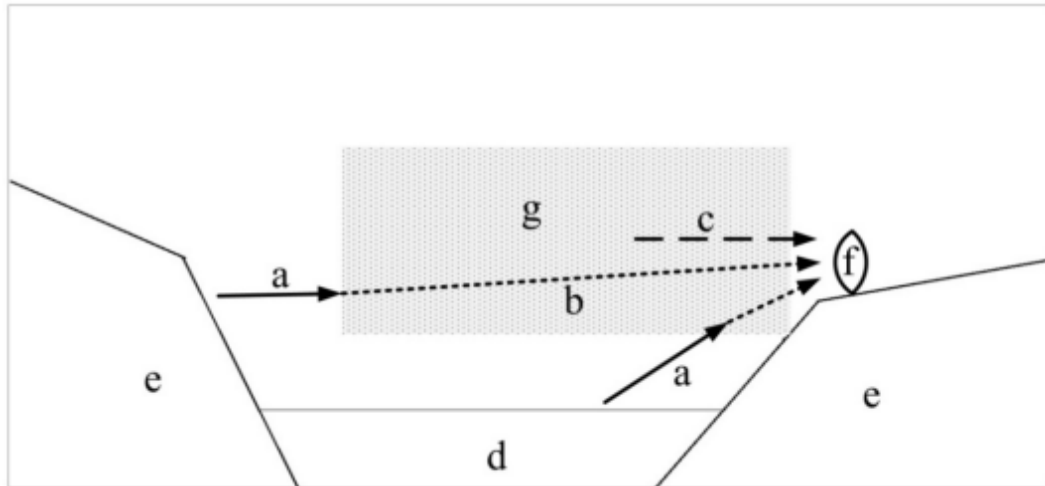
Transmission map  $\mathbf{t}(\mathbf{x})$  dalam persamaan (2.4) adalah koefisien penghalang antara radiasi sebenarnya  $\mathbf{J}(\mathbf{x})$  dan cahaya atmosfer  $A$ . Nilai transmission map per-pixel  $\mathbf{x}$  bergantung pada jarak antara titik tersebut dengan pengamat, yang diwakili oleh  $\mathbf{d}(\mathbf{x})$ . Persamaan ini menggambarkan bagaimana kabut di atmosfer mempengaruhi penyebaran cahaya dalam citra. (Berman et al., 2016)

Persamaan (2.3) memiliki tiga observasi yang diketahui, yaitu citra asli  $\mathbf{I}(\mathbf{x})$ , sementara terdapat empat variabel yang tidak diketahui, yaitu radiasi sebenarnya  $\mathbf{J}(\mathbf{x})$ , transmission map  $\mathbf{t}(\mathbf{x})$ , dan cahaya atmosfer  $A$ . Karena itu, permasalahan estimasi nilai radiasi sebenarnya, transmission map, dan cahaya atmosfer menjadi tidak terdeterminasi dan memerlukan teknik pengolahan citra yang canggih untuk mengatasinya. (Berman et al., 2016)

## 2.7 Airlight

*Airlight* atau cahaya atmosferik adalah cahaya yang disebarkan oleh partikel-partikel atmosferik seperti debu, uap air, asap, dan sebagainya. *Airlight* sangat mempengaruhi citra udara, terutama pada kondisi kabut, asap, atau polusi. Dalam pemrosesan citra, *airlight* sering kali dianggap sebagai intensitas cahaya yang berasal dari sumber cahaya di luar citra. Pada kondisi kabut atau asap, *airlight* seringkali menjadi masalah dalam proses *dehazing* atau pengurangan efek kabut. Seperti istilah kedua dari persamaan (2.3) yaitu  $A(1 - t(x))$  yang disebut *airlight*.

Oleh karena itu, penting untuk dapat mengestimasi nilai *airlight* yang akurat untuk melakukan proses *dehazing* yang tepat pada citra udara. (Putra, 2017)



Gambar 2.1. Model fisik dari citra berkabut di gunung Kelud. Dimana **a** adalah cahaya pantulan dari objek latar, **b** adalah pelemahan langsung, **c** adalah airlight, **d** adalah air danau kawah, **e** adalah daratan tepi danau, **f** adalah kamera pemantau, dan **g** adalah kabut yang berada di atas kawah. (Putra, 2017)

## 2.8 Peak Signal to Noise Ratio

*PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio)* adalah sebuah metrik yang digunakan untuk mengukur kualitas sebuah citra atau video secara numerik. Metrik ini mengukur perbedaan antara citra asli dengan citra yang telah diolah atau dikompresi. Semakin kecil nilai perbedaan antara dua citra, semakin baik kualitas citra hasil pengolahan atau kompresi. (Huynh-Thu & Ghanbari, 2008)

PSNR dihitung berdasarkan perbandingan antara nilai piksel maksimum dan nilai MSE (*Mean Squared Error*) antara dua citra. Formula umum PSNR adalah sebagai berikut:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left( \frac{c^2_{max}}{MSE} \right) \quad (2.7)$$

Dimana:

- **MAX** = nilai piksel maksimum yang dimiliki oleh citra (misalnya 255 untuk citra 8-bit).
- **MSE** = rata-rata dari selisih kuadrat antara setiap piksel dalam dua citra. Semakin kecil nilai **MSE**, semakin baik kualitas citra.

Rumus **MSE** dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n (At-Ft)^2}{n} \quad (2.8)$$

Nilai PSNR umumnya dinyatakan dalam satuan desibel (dB), dan semakin tinggi nilai PSNR, semakin baik kualitas citra. Misalnya, nilai PSNR sebesar 30 dB menunjukkan kualitas citra yang cukup baik, sedangkan nilai PSNR di atas 40 dB menunjukkan kualitas citra yang sangat baik.

## 2.9 Spherical Coordinates

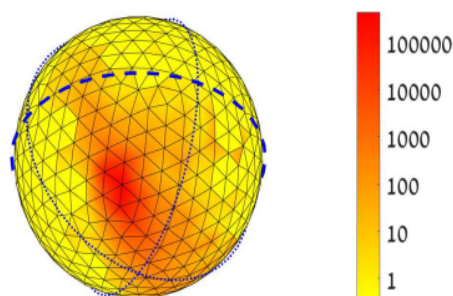
*Spherical coordinates* adalah sistem koordinat tiga dimensi yang digunakan untuk merepresentasikan posisi sebuah titik pada bola. *Spherical coordinates* didefinisikan oleh tiga variabel: radius ( $r$ ), sudut azimuth ( $\theta$ ), dan sudut elevasi ( $\phi$ ). Radius ( $r$ ) merepresentasikan jarak titik tersebut dari pusat bola, sedangkan sudut azimuth ( $\theta$ ) merepresentasikan rotasi titik tersebut terhadap sumbu z dan sudut elevasi ( $\phi$ ) merepresentasikan rotasi titik tersebut terhadap sumbu y. (Berman et al., 2016)

Dalam *non-local dehazing*, *spherical coordinates* digunakan untuk merepresentasikan posisi titik pada citra *hazy*. Penggunaan *spherical coordinates* pada citra *hazy* ini bertujuan untuk menghilangkan efek kabut pada citra tersebut

dengan menggunakan metode *non-local dehazing*. Metode *non-local dehazing* menggunakan metode pepadanan citra untuk menghilangkan efek kabut dari citra. Pada metode ini, citra *hazy* dibagi menjadi blok-blok kecil dan kemudian dilakukan pencocokan blok-blok tersebut dengan blok-blok lain pada citra *hazy*. Spherical coordinates digunakan untuk merepresentasikan posisi titik pada blok-blok citra *hazy* dan kemudian digunakan untuk menghitung kesamaan antara blok-blok citra tersebut. (Berman et al., 2016)

Dalam proses pencocokan blok-blok citra, blok-blok yang memiliki kemiripan yang tinggi akan digunakan untuk memperbaiki citra *hazy*. Pada proses ini, spherical coordinates digunakan untuk menentukan posisi titik yang akan diambil dari blok-blok pencocokan. Dengan menggunakan metode ini, efek kabut pada citra dapat dihilangkan secara efektif dan akurat. (Berman et al., 2016)

*Spherical coordinates* dalam *non-local dehazing* memiliki keunggulan dalam merepresentasikan posisi titik pada citra *hazy* secara akurat dan efisien. Penggunaan spherical coordinates dalam metode *non-local dehazing* memungkinkan untuk menghilangkan efek kabut pada citra dengan lebih akurat dan efisien dibandingkan dengan metode penghilangan kabut lainnya. (Berman et al., 2016)



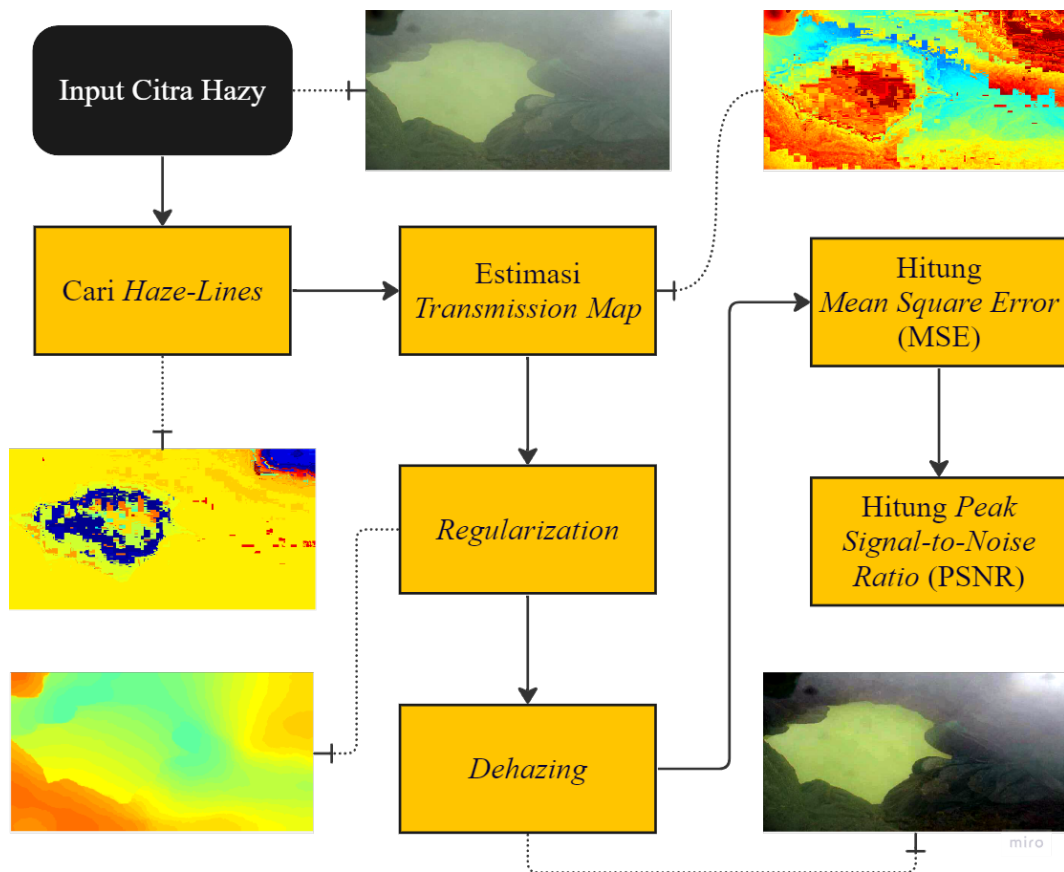
Gambar 2.2 Representasi *spherical coordinate airlight* (Berman et al., 2016)

# BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Desain Sistem

Blok diagram dibawah adalah blok diagram desain sistem pada *non-local dehazing*. Ada 4 langkah elemen yang paling penting dalam melakukan algoritma ini, yaitu: klastering piksel menjadi *haze-lines*, estimasi *transmission map*, *regularization*, dan melakukan *dehazing*. Kemudian hasil *dehazing* akan dihitung menggunakan *Mean Square Error* (MSE) dan *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR).



Gambar 3.1 Blok Diagram Desain Sistem *Non-Local Dehazing*

### 3.2 Inputan Citra *Hazy*

Citra *hazy* adalah citra atau gambar yang didalamnya terdapat kabut yang dapat membuat sebuah citra atau gambar menjadi tidak jelas untuk dilihat dan dipantau. Oleh karena itu citra *hazy* ini akan dilakukan penghapusan kabut agar dapat digunakan dan diproses informasi didalamnya secara lebih jelas.



Gambar 3.2 *Hazy Image*. Sampel gambar inputan berkabut yang akan dilakukan penghapusan kabut.

### 3.3 Cari *Haze-Lines*

*Haze-lines* adalah garis horizon *virtual* yang menandai batas antara area terpengaruh kabut dan area yang tidak terpengaruh kabut pada citra. *Haze-lines* dapat digunakan sebagai referensi dalam proses penghapusan efek kabut pada citra digital.

Pada citra, *haze-lines* biasanya terbentuk oleh batas antara langit yang cerah dan area yang terpengaruh kabut. *Haze-lines* dapat menjadi penting dalam proses *dehazing* karena mereka membantu mengidentifikasi area yang terkena efek kabut dan area yang tidak terkena efek kabut.

Untuk mendeteksi posisi *haze-line* pada citra, digunakan teknik pengolahan citra yang mengambil fitur-fitur seperti edge dan kontras untuk mendeteksi garis horizon. Ada beberapa teknik yang dapat digunakan untuk mendeteksi posisi *haze-*

*lines* pada citra, seperti algoritma yang berbasis pada perhitungan nilai kontras, algoritma yang berbasis pada gradient, atau algoritma yang menggunakan kombinasi kedua teknik tersebut.

Setelah posisi *haze-lines* berhasil dideteksi, nilai intensitas piksel pada citra yang berada di bawah *haze-lines* dapat dihitung dan kemudian digunakan untuk menghitung transmission map. *Transmission map* menunjukkan seberapa banyak cahaya yang ditransmisikan pada setiap piksel pada citra dan kemudian digunakan untuk menghilangkan efek kabut dari citra.

Dalam praktiknya, penggunaan *haze-lines* dalam proses dapat membantu meningkatkan akurasi dan efektivitas proses *dehazing*. Dengan menggunakan informasi *haze-lines*, proses *dehazing* dapat menjadi lebih tepat dan lebih efisien dalam menghilangkan efek kabut pada citra udara atau citra lanskap.

Pada dasarnya, model pembentukan gambar berkabut yang umum digunakan seperti pada persamaan (2.3) pada bab sebelumnya dimana  $x$  adalah koordinat piksel,  $I$  adalah gambar kabur yang diamati, dan  $J$  adalah pancaran sebenarnya dari titik pemandangan yang dicitrakan pada poin  $x$ .  $A$  adalah satu warna yang mewakili *airlight* di area gambar di mana  $t = 0$ .

Untuk mendefinisikan  $I_A$  maka akan menggunakan:

$$I_A(x) = I(x) - A \quad (3.1)$$

Dan akan mendefinisikan  $I_A$  dalam *spherical coordinates* sebagai:

$$I_A(x) = [r(x), \theta(x), \phi(x)] \quad (3.2)$$

Dimana  $r$  adalah jarak ke asalnya,  $\theta$  dan  $\phi$  adalah lintang dan bujur.

Warna piksel sekarang direpresentasikan dalam sistem *spherical coordinates* di sekitar *airlight*. Warna mewakili jumlah piksel yang menunjuk ke setiap arah. Garis khatulistiwa ( $\varphi = 0$ ) ditandai dengan garis biru putus-putus tebal, sedangkan garis bujur  $\theta = 0, \frac{\pi}{2}$  ditandai dengan garis biru putus-putus. Triangulasi dijelaskan kemudian. Pemetaan warna bersifat logaritmik untuk tujuan ilustrasi.

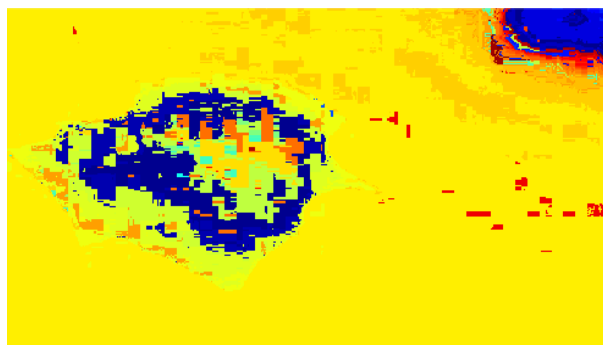
Tabel 3.1 Nilai *Airlight* pada gambar masukan

Saluran Warna		
Merah	Hijau	Biru
0,7	0,79	0,68

Untuk nilai  $\mathbf{J}$  dan  $\mathbf{A}$  yang diberikan, titik pemandangan pada jarak yang berbeda dari kamera hanya berbeda pada nilai  $t$ . Dalam sistem *spherical coordinates* yang didefinisikan, perubahan  $t$  hanya memengaruhi  $\mathbf{r}(\mathbf{x})$  tanpa mengubah  $\phi(x)$  atau  $\theta(x)$ . Dengan kata lain, piksel  $x$  dan  $y$  memiliki nilai RGB serupa pada gambar bebas kabut yang mendasarinya jika  $[\varphi, \theta]$  keduanya serupa:

$$J(x) \approx J(y) \Rightarrow \{\phi(x) \approx \phi(y), \theta(x) \approx \theta(y)\}, \forall t \quad (3.3)$$

Oleh karena itu, piksel termasuk dalam *haze-lines* yang sama jika nilai  $[\theta(x), \phi(x)]$  mereka serupa.



Gambar 3.3 Estimasi *Haze-lines*.

### 3.4 Estimasi *Transmission Map*

Estimasi *transmission map* dilakukan dengan memanfaatkan informasi dari seluruh citra, bukan hanya sekitar satu piksel seperti pada metode estimasi *transmission map* lokal. Hal ini dilakukan dengan cara mencari piksel-piksel yang memiliki kemiripan atau kesamaan dengan piksel yang sedang diestimasi, lalu melakukan perhitungan rata-rata intensitas pada piksel-piksel tersebut. Proses ini dilakukan pada seluruh piksel pada citra, sehingga didapatkan *transmission map* yang merepresentasikan seberapa banyak cahaya yang dapat menembus medium kabut pada setiap piksel citra.

Dalam jurnal *Non-Local Image Dehazing* oleh Dana Berman (2016), estimasi *transmission map* dilakukan dengan menggunakan algoritma *K-means clustering* pada citra terkontaminasi oleh kabut. Algoritma ini digunakan untuk mengelompokkan piksel-piksel pada citra terkontaminasi berdasarkan kemiripannya, sehingga piksel-piksel yang memiliki karakteristik yang mirip akan dikelompokkan ke dalam satu kelompok. Setelah itu, dilakukan perhitungan rata-rata intensitas pada setiap kelompok piksel, dan hasilnya digunakan sebagai estimasi *transmission map*.

Untuk *haze-lines* tertentu yang telah didefinisikan oleh  $\mathbf{J}$  dan  $\mathbf{A}$ ,  $\mathbf{r}(\mathbf{x})$  bergantung pada jarak objek yaitu:

$$r(x) = r(x) \|\mathbf{J}(x) - \mathbf{A}\|, 0 \leq t(x) \leq 1 \quad (3.4)$$

Jadi,  $\mathbf{t} = 1$  sesuai dengan koordinat radial terbesar yaitu:

$$r_{max} = \|\mathbf{J} - \mathbf{A}\| \quad (3.5)$$

Menggabungkan persamaan (3.5 dan 3.6) menghasilkan ekspresi untuk transmisi berdasarkan jari-jari di *haze-lines* tersebut yang berarti:

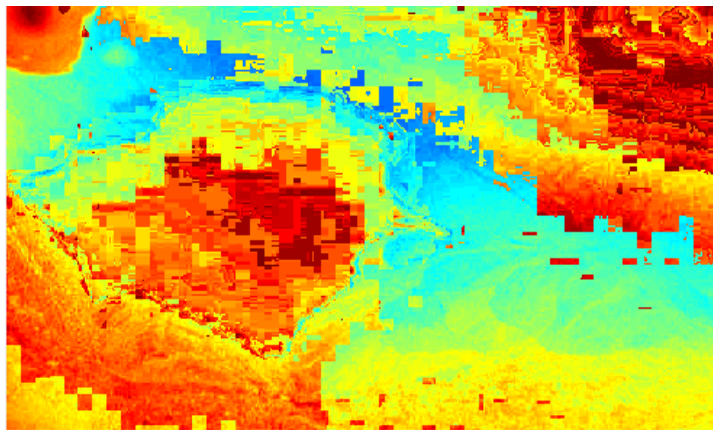
$$t(x) = r(x)/r_{max} \quad (3.6)$$

Jika *haze-lines* H tidak memiliki piksel yang tidak berkabut, maka  $\hat{r}_{max}$  adalah radius maksimal dari *haze-lines* tersebut, yang dinyatakan sebagai:

$$\hat{r}_{max}(x) = \max_{x \in H} \{r(x)\} \quad (3.7)$$

Dimana estimasi dilakukan pada tiap *haze-line* H. Diasumsikan bahwa piksel terjauh dari *airlight* merupakan piksel yang bebas kabut, dan piksel semacam itu ada untuk setiap *haze-line*. Asumsi ini tidak berlaku untuk semua *haze-line* dalam sebuah gambar, namun langkah regularisasi akan sedikit mengkompensasinya. Dengan menggabungkan persamaan. (3.6) dan persamaan (3.7) akan menghasilkan estimasi transmisi per piksel seperti dibawah:

$$\underline{t}(x) = r(x)/\hat{r}_{max}(x) \quad (3.8)$$



Gambar 3.4 Estimasi *Transmission Map*. Gambar estimasi transmisi map yang telah dilakukan percobaan estimasi transmisi.

### 3.5 Regularization

Regularisasi digunakan untuk mencegah *overfitting* pada model yang digunakan untuk mendapatkan *transmission map*. Hal ini dilakukan dengan memasukkan prior pengetahuan yang sudah diketahui sebelumnya, seperti batas-batas alamiah dari *transmission map* dan distribusi sparsitas *transmission map*. Regularisasi dapat membantu meningkatkan kualitas dan ketepatan hasil *dehazing*.

*Regularization* digunakan untuk memperbaiki hasil *dehazing* yang terdistorsi atau tidak wajar. Hal ini dapat terjadi karena adanya *noise* pada citra atau kesalahan dalam proses *dehazing*. Regularisasi yang tepat dapat memperbaiki hasil *dehazing* yang terdistorsi dan membuat hasil yang lebih akurat.

Karena  $J$  bernilai positif ( $J \geq 0$ ) maka ini akan memberikan batas bawah terhadap transmisi yang dinyatakan seperti:

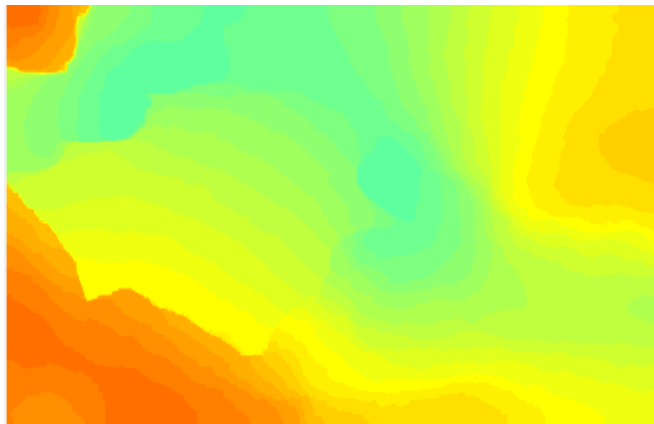
$$t_{LB}(x) = 1 - \min_{c \in \{R, G, B\}} \{I_c(x)/A_c\} \quad (3.9)$$

Estimasi ini didasarkan oleh sebuah versi  $t_{LB}$  yang telah tererosi. Batasan ini diberlakukan pada perkiraan transmisi yang per pikselnya dinyatakan seperti:

$$\hat{t}_{LB}(x) = \max\{\hat{t}(x), t_{LB}(x)\} \quad (3.10)$$

Estimasi pada persamaan (3.9) dilakukan secara piksel per piksel tanpa bergantung pada koherensi spasial. Estimasi ini tidak akan akurat jika sebagian kecil piksel dipetakan pada *haze-lines* tertentu, atau bahkan pada bagian yang memiliki kabut yang sangat tebal, dimana  $r(x)$  sangat kecil dan *noise* dapat mengganggu serta mempengaruhi sudut penglihatan secara signifikan. Secara matematis, akan diminimalisirkan seperti persamaan berikut.  $\hat{t}(x)$ :

$$\sum_x \frac{[\hat{t}(x) - t_{LB}(x)]^2}{\sigma^2(x)} + \lambda \sum_x \sum_{y \in N_x} \frac{[\hat{t}(x) - \hat{t}(y)]^2}{\|I(x) - I(y)\|^2} \quad (3.11)$$



Gambar 3.5 *Transmission Map* yang telah dilakukan regularisasi. Gambar estimasi transmisi map yang telah dilakukan percobaan estimasi transmisi dan regularisasi.

### 3.6 Dehazing

Pertama-tama, dilakukan normalisasi pada *transmission map* untuk memastikan bahwa nilainya berada dalam rentang  $[0,1]$ . Kemudian, dilakukan proses inversi pada *transmission map* untuk mendapatkan *inverse transmission map*. *Inverse transmission map* digunakan untuk menghilangkan efek kabut pada citra dengan mengalikan invers *transmission map* dengan nilai piksel pada citra asli. Hasilnya adalah citra yang telah ter-*dehazed*.

Selanjutnya, dilakukan proses post-processing pada citra hasil *dehazing* untuk menghilangkan *noise* dan memperbaiki kontras pada citra. Proses post-processing ini meliputi penghilangan *noise* dengan menggunakan filter Gaussian, dan peningkatan kontras dengan menggunakan teknik *adaptive histogram equalization*.

Setelah  $\hat{t}(x)$  dikalkulasikan pada persamaan (3.11) maka dapat dilakukan perhitungan gambar yang akan di-*dehazed* dengan menggunakan kalkulasi sebagai berikut:

$$\hat{J}(x) = \{I(x) - [1 - \hat{t}(x)]A\} / \hat{t}(x) \quad (3.12)$$



Gambar 3.6 *Dehazed Image*. Hasil coba keluaran gambar yang telah dilakukan penghapusan kabut.

### 3.7 Perhitungan Performa Hasil

Untuk menghitung data hasil penelitian ini akan dilakukan dua jenis hasil, yakni hasil kualitatif dan hasil kuantitatif. Hasil kualitatif akan ditunjukkan dalam bentuk gambar-gambar perbandingan antara citra asli, citra yang terkena kabut, dan citra yang telah di-*dehaze* menggunakan algoritma *non-local dehazing*.

Gambar-gambar perbandingan ini memberikan informasi tentang kemampuan algoritma dalam menghilangkan kabut dari citra. Citra yang telah di-*dehaze* akan terlihat lebih jelas, tajam, dan memiliki kontras yang lebih tinggi. Pada hasil kualitatif, dapat dilihat perbedaan antara citra yang telah di- menggunakan algoritma *non-local dehazing* dengan citra yang di-*dehaze* menggunakan metode lain, seperti metode *dehazing* berbasis model fisika.

Selain itu, hasil kualitatif juga dapat memberikan informasi tentang kelemahan dari algoritma *non-local dehazing*, seperti peningkatan tingkat *noise* pada beberapa bagian citra atau penghapusan detail kecil pada citra. Hasil kualitatif

dapat membantu dalam mengevaluasi keefektifan dan kehandalan algoritma dalam menghilangkan kabut pada citra.

Pada penelitian ini akan memberikan hasil kuantitatif yang menunjukkan kinerja metode yang diusulkan. Penelitian ini juga akan menggunakan matrik kuantitatif berbeda untuk mengevaluasi kinerja *dehazing* non-lokal yang diusulkan yaitu *peak signal-to-noise ratio* (PSNR). Penelitian ini akan membandingkan hasil PSNR antara algoritma *non-local dehazed* dengan beberapa algoritma lainnya seperti *dark channel prior* (DCP) dan *color attenuation prior* (CAP). Perhitungan MSE dan PSNR sendiri dapat dilakukan masing-masing menggunakan persamaan 2.7 dan 2.8 yang telah dikemukakan pada bab sebelumnya.

Pada segi kualitas akan dilihat bagaimana visibilitas dari setiap metode sebelum penghapusan dan sesudah penghapusan. Sedangkan pada pengukuran kuantitas dari proses *dehazing* dapat ditunjukkan dengan nilai PSNR dan MSE.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Kabut merupakan fenomena alam yang dapat menyebabkan visibilitas yang buruk dan sulitnya mendapatkan informasi aktual tentang kondisi Gunung Kelud. Kabut yang menutupi kawah gunung dapat mengaburkan citra yang dihasilkan oleh sensor atau kamera, membuat pengamatan dan analisis yang akurat menjadi sulit. Oleh karena itu, menghapus kabut dari citra Gunung Kelud menjadi penting dalam upaya mitigasi bencana alam.

Menghapus kabut dari citra Gunung Kelud merupakan langkah penting dalam upaya mitigasi bencana alam. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan melakukan upaya untuk menghapus kabut dengan beberapa metode, diantaranya adalah *dark channel prior*, *color attenuation prior*, dan *non-local dehazing*.

#### **4.1 Sumber Data**

Penelitian yang berkualitas didasarkan pada data yang akurat, reliabel, dan relevan. Sumber data merupakan elemen penting dalam penelitian, dan terdapat dua jenis utama, yaitu data primer dan data sekunder.

Data primer merujuk pada informasi yang dikumpulkan secara langsung dari sumber awal dalam rangka memecahkan masalah penelitian yang sedang dipelajari. Sumber data primer dapat berasal dari penelitian survei, wawancara, observasi langsung, eksperimen, atau pengumpulan data langsung oleh peneliti. Keunggulan utama dari data primer adalah bahwa data tersebut dirancang secara khusus untuk tujuan penelitian tertentu dan memberikan kontrol penuh kepada

peneliti atas metode pengumpulan dan analisis datanya. Data primer juga memberikan informasi yang aktual dan relevan, sesuai dengan konteks penelitian yang sedang dilakukan.

Dalam penelitian ini akan memakai data primer yang didapatkan dari Fresy (2017), yang didalamnya terdapat 2501 gambar gunung kelud yang telah diperoleh. Data tersebut diperoleh dalam jangka waktu 10 hari sejak tanggal 03-10-2017 hingga tanggal 13-10-2017, dan dalam penelitian ini akan digunakan data pada tiap harinya sebagai sampel dari pengujian.

Selanjutnya, dilakukan pengolahan terhadap data primer yang terdiri dari 2501 gambar Gunung Kelud untuk dijadikan data sekunder. Dari data tersebut, dipilih 30 sampel gambar yang akan digunakan dalam eksperimen penghapusan kabut. Proses pemilihan sampel dilakukan dengan mempertimbangkan gambar-gambar yang diambil pada periode waktu mulai pagi hingga sore hari. Hal ini dikarenakan citra yang diambil pada malam hari memiliki kondisi gelap yang tidak dapat diolah sama sekali dalam percobaan penghapusan kabut.

#### **4.2 Identifikasi Citra Masukan**

Dalam proses *dehazing*, terdapat beberapa langkah penting yang perlu dilakukan untuk mendapatkan hasil yang optimal. Pertama-tama, identifikasi citra masukan melalui estimasi *airlight* menjadi langkah kritis. Estimasi *airlight* dilakukan dengan memperhatikan karakteristik kabut pada citra, seperti bagian cerah dari langit atau daerah cahaya yang kuat. Hal ini penting karena *airlight* berfungsi sebagai acuan untuk menghilangkan efek kabut dan memulihkan kualitas visual citra yang sebenarnya.

Selanjutnya, proses identifikasi *haze-lines* juga menjadi langkah penting dalam dehazing. *Haze-lines* menggambarkan garis-garis yang merepresentasikan keberadaan kabut pada citra. Dengan mengidentifikasi dan memisahkan *haze-lines*, kita dapat lebih fokus pada penghapusan kabut yang terkonsentrasi pada bagian tersebut.

Selain itu, estimasi *transmission map* juga merupakan langkah penting dalam proses dehazing. *Transmission map* menggambarkan tingkat kejernihan pada setiap piksel citra. Dengan memperoleh estimasi *transmission map* yang akurat, kita dapat memahami sejauh mana kabut mempengaruhi setiap piksel dan menggunakan informasi ini untuk menghilangkan efek kabut secara efektif.

Terakhir, melakukan regularisasi pada *transmission map* juga menjadi bagian yang tak kalah penting. Regularisasi bertujuan untuk menghilangkan *noise* atau ketidaksempurnaan dalam *transmission map* yang mungkin terjadi selama proses estimasi. Hal ini membantu dalam menghasilkan *transmission map* yang lebih halus dan konsisten, sehingga dapat meningkatkan kualitas akhir dari citra yang telah di-*dehaze*.

#### **4.2.1 Estimasi *Airlight***

Langkah awal yang krusial dalam proses dehazing adalah melakukan estimasi nilai *airlight* dari citra masukan. Estimasi ini melibatkan identifikasi piksel-piksel terang yang tidak terpengaruh oleh kabut, seperti langit cerah atau daerah cahaya yang kuat. *Airlight* tersebut akan digunakan sebagai acuan dalam menghilangkan efek kabut dan memulihkan kualitas visual citra. Estimasi *airlight* yang akurat sangat penting untuk mencapai hasil dehazing yang optimal. Setiap

citra masukan memiliki *airlight* masing-masing yang akan digunakan dalam proses *dehazing*.

Tabel 4.1 Nilai *Airlight* pada 30 Citra Masukan

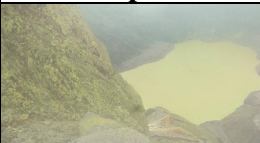
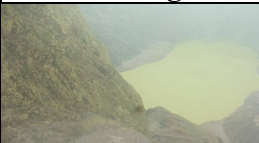
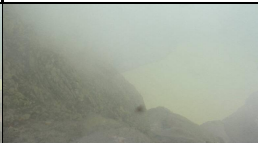
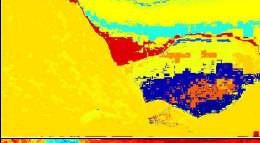
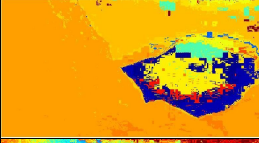

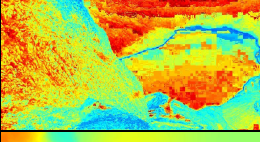
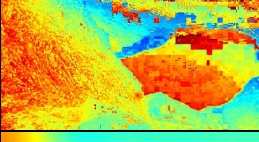
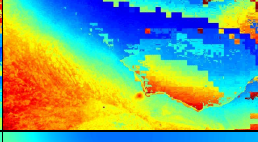
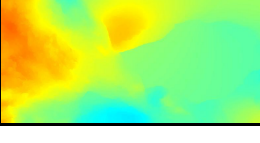
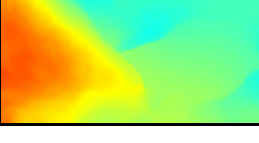
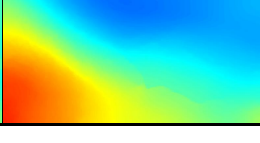
Tanggal	Saluran Warna	Jenis Kabut		
		Tipis	Sedang	Tebal
3	Merah	0,86	0,82	0,78
	Hijau	0,87	0,85	0,83
	Biru	0,76	0,82	0,80
4	Merah	0,82	0,86	0,80
	Hijau	0,85	0,85	0,80
	Biru	0,82	0,76	0,86
6	Merah	0,92	0,80	0,80
	Hijau	0,91	0,85	0,83
	Biru	0,74	0,80	0,80
7	Merah	0,92	0,90	0,82
	Hijau	0,93	0,87	0,87
	Biru	0,74	0,74	0,82
8	Merah	0,86	0,82	0,80
	Hijau	0,89	0,83	0,81
	Biru	0,80	0,80	0,78
9	Merah	0,84	0,90	0,86
	Hijau	0,89	0,91	0,89
	Biru	0,86	0,74	0,86
10	Merah	0,92	0,86	0,84
	Hijau	0,93	0,85	0,85
	Biru	0,80	0,78	0,82
11	Merah	0,92	0,86	0,80
	Hijau	0,91	0,83	0,85
	Biru	0,82	0,80	0,82
12	Merah	0,84	0,88	0,82
	Hijau	0,89	0,93	0,87
	Biru	0,82	0,88	0,86
13	Merah	1,00	0,88	0,88
	Hijau	0,99	0,89	0,91
	Biru	0,74	0,70	0,90

Tabel 4.1 menampilkan hasil estimasi *airlight* pada seluruh citra masukan yang diambil dari tanggal 03-10-2017 hingga tanggal 13-10-2017 yang masing-masing ruang RGB-nya memiliki nilai yang terpisah. Setiap ranah warna merah, hijau, dan biru memiliki nilai masing-masing yang berbeda.

#### 4.2.2 Estimasi *Haze-lines*, *Transmission Map*, dan *Regularization*

Pada proses *dehazing*, terdapat beberapa tahapan penting yang meliputi estimasi *haze-lines*, *transmission map*, dan *regularisasi*. Estimasi *haze-lines* bertujuan untuk mengidentifikasi garis-garis kabut pada citra, sedangkan *transmission map* digunakan untuk menggambarkan tingkat kejernihan pada setiap piksel. Selain itu, regularisasi dilakukan untuk memperbaiki estimasi yang tidak sempurna dan menghilangkan ketidaksempurnaan dalam hasil *dehazing*. Berikut adalah tabel yang memperlihatkan hasil estimasi *haze-lines*, *transmission map*, dan *regularization* pada tanggal 03-10-2017.

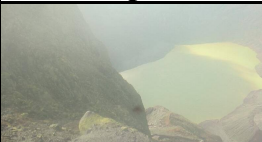
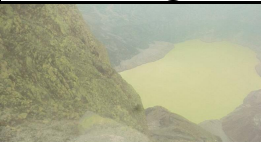
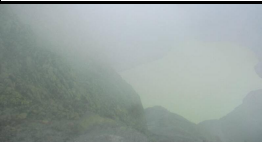

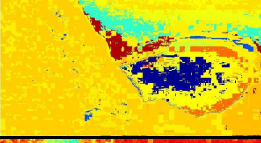

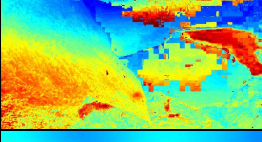
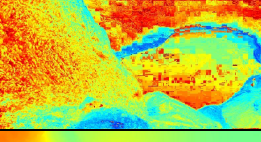
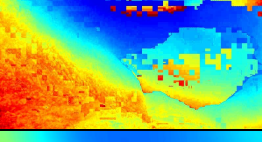
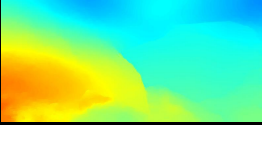
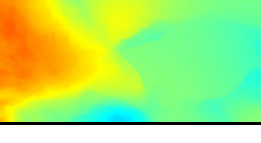
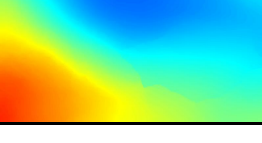
Tabel 4.2 Haze-lines, Transmission Map, dan Regularization tanggal 03-10-2017

	<b>Tipis</b>	<b>Sedang</b>	<b>Tebal</b>
<b>Asli</b>			
<b><i>Haze-lines</i></b>			
<b><i>Transmission Map</i></b>			
<b><i>Regularization</i></b>			

Tabel 4.2 memperlihatkan gambar awal dan gambar hasil setelah menerapkan estimasi *haze-lines*, *transmission map*, dan *regularization*. Citra tersebut diambil menggunakan kamera CCTV yang dimiliki oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) Jawa Timur pada tanggal 03-10-2017. Citra kabut tipis diambil pada pukul 08.11, diikuti oleh citra berkabut yang diambil pada pukul 14.50, dan terakhir citra berkabut tebal diambil pada pukul 15.06.

Berikut adalah tabel yang memperlihatkan hasil estimasi *haze-lines*, *transmission map*, dan *regularization* pada tanggal 04-10-2017.




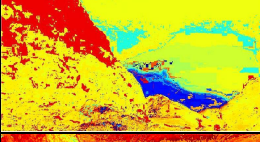
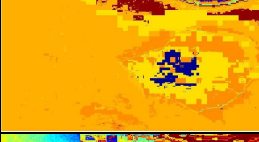
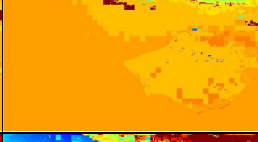
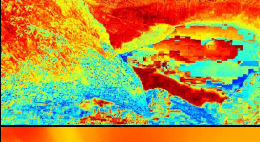
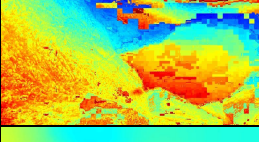
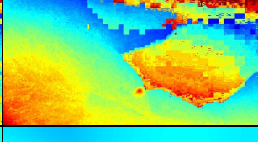
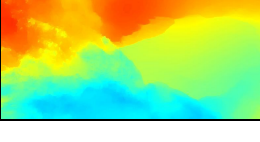
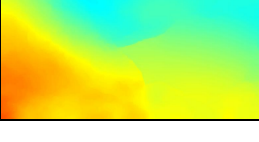
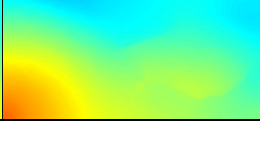
Tabel 4.3 *Haze-lines*, *Transmission Map*, dan *Regularization* tanggal 04-10-2017

	<b>Tipis</b>	<b>Sedang</b>	<b>Tebal</b>
<b>Asli</b>			
<b><i>Haze-lines</i></b>			
<b><i>Transmission Map</i></b>			
<b><i>Regularization</i></b>			

Tabel 4.3. memperlihatkan gambar awal dan gambar hasil setelah melakukan estimasi *haze-lines*, *transmission map*, dan *regularization*. Citra tersebut diambil menggunakan kamera CCTV yang dimiliki oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) Jawa Timur pada tanggal 04-10-2017. Citra kabut tipis diambil pada pukul 07.23, diikuti oleh citra berkabut yang diambil pada pukul 14.13, dan terakhir citra berkabut tebal diambil pada pukul 15.44.

Berikut adalah tabel yang memperlihatkan hasil estimasi *haze-lines*, *transmission map*, dan *regularization* pada tanggal 06-10-2017.

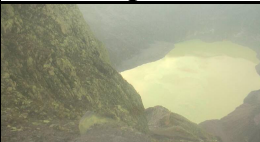
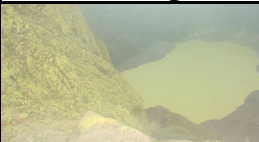
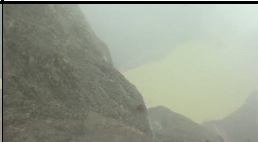
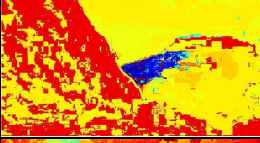
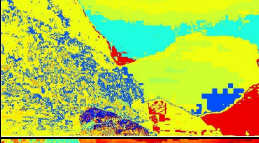

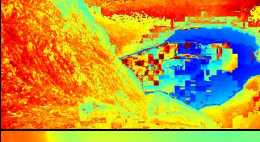
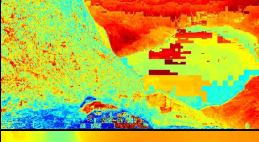
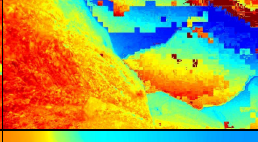
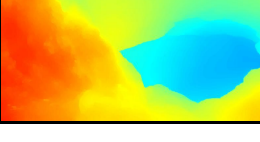
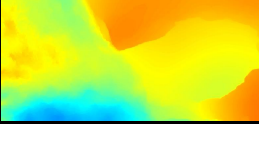
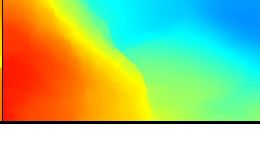
Tabel 4.4 *Haze-lines*, *Transmission Map*, dan *Regularization* tanggal 06-10-2017

	<b>Tipis</b>	<b>Sedang</b>	<b>Tebal</b>
<b>Asli</b>			
<i>Haze-lines</i>			
<i>Transmission Map</i>			
<i>Regularization</i>			

Tabel 4.4 memperlihatkan gambar awal dan gambar hasil setelah melakukan estimasi *haze-lines*, *transmission map*, dan *regularization*. Citra tersebut diambil menggunakan kamera CCTV yang dimiliki oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) Jawa Timur pada tanggal 06-10-2017. Citra dengan kabut tipis diambil pada pukul 08.38, diikuti oleh citra berkabut pada pukul 14.19, dan terakhir citra dengan kabut tebal diambil pada pukul 14.40.

Berikut adalah tabel yang memperlihatkan hasil estimasi *haze-lines*, *transmission map*, dan *regularization* pada tanggal 07-10-2017.

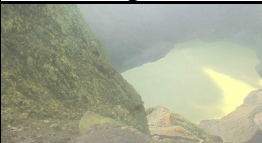
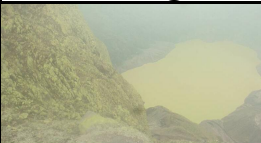
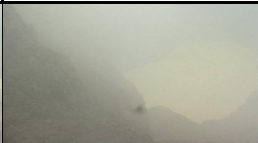
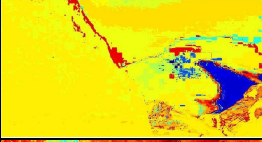
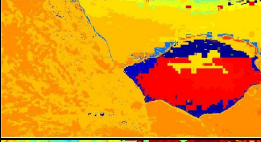

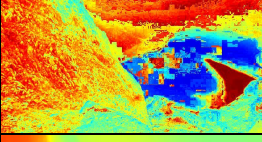
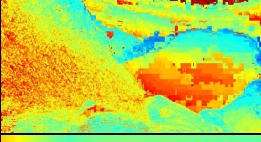
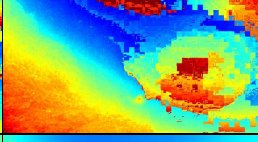
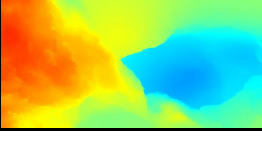
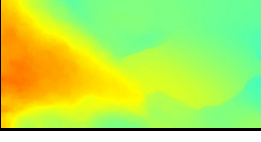
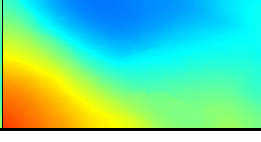
Tabel 4.5 *Haze-lines*, *Transmission Map*, dan *Regularization* tanggal 07-10-2017

	<b>Tipis</b>	<b>Sedang</b>	<b>Tebal</b>
<b>Asli</b>			
<b><i>Haze-lines</i></b>			
<b><i>Transmission Map</i></b>			
<b><i>Regularization</i></b>			

Tabel 4.5 memperlihatkan gambar awal dan gambar hasil setelah melakukan estimasi *haze-lines*, *transmission map*, dan *regularization*. Citra tersebut diambil menggunakan kamera CCTV yang dimiliki oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) Jawa Timur pada tanggal 07-10-2017. Citra kabut tipis diambil pada pukul 05.23, diikuti oleh citra berkabut yang diambil pada pukul 13.05, dan terakhir citra berkabut tebal diambil pada pukul 15.19.

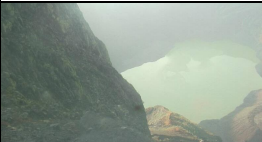

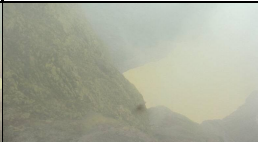
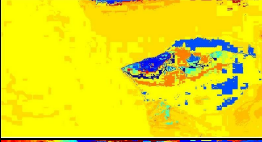
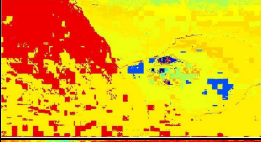
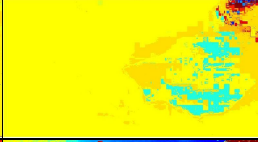
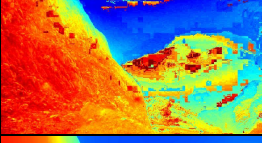
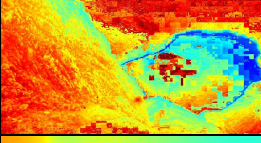
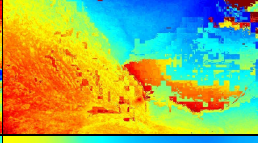
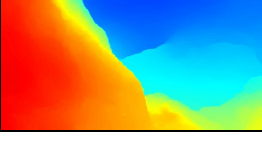
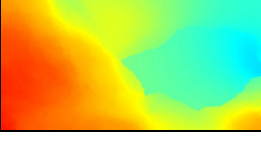
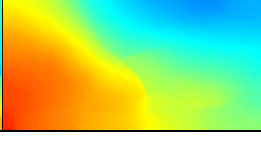
Tabel 4.6 memperlihatkan gambar awal dan gambar hasil setelah melakukan estimasi *haze-lines*, *transmission map*, dan *regularization*. Citra tersebut diambil menggunakan kamera CCTV yang dimiliki oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) Jawa Timur pada tanggal 08-10-2017. Citra kabut tipis diambil pada pukul 07.05, diikuti oleh citra berkabut yang diambil pada pukul 11.21, dan terakhir citra berkabut tebal diambil pada pukul 15.48.

Tabel 4.6 *Haze-lines*, *Transmission Map*, dan *Regularization* tanggal 08-10-2017

	<b>Tipis</b>	<b>Sedang</b>	<b>Tebal</b>
<b>Asli</b>			
<b><i>Haze-lines</i></b>			
<b><i>Transmission Map</i></b>			
<b><i>Regularization</i></b>			

Berikut adalah tabel yang memperlihatkan hasil estimasi *haze-lines*, *transmission map*, dan *regularization* pada tanggal 09-10-2017.

Tabel 4.7 *Haze-lines*, *Transmission Map*, dan *Regularization* tanggal 09-10-2017




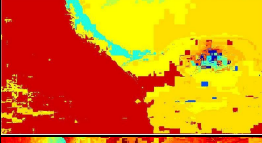
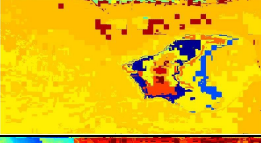

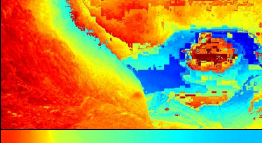
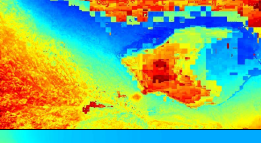
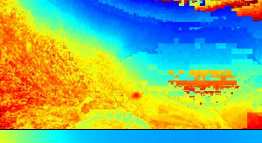
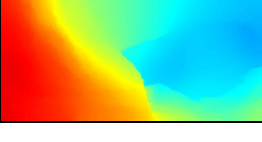
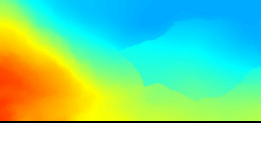
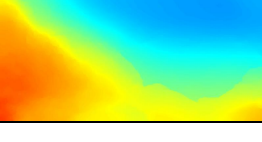
	<b>Tipis</b>	<b>Sedang</b>	<b>Tebal</b>
<b>Asli</b>			
<b><i>Haze-lines</i></b>			
<b><i>Transmission Map</i></b>			
<b><i>Regularization</i></b>			

Tabel 4.7 memperlihatkan gambar awal dan gambar hasil setelah melakukan estimasi *haze-lines*, *transmission map*, dan *regularization*. Citra

tersebut diambil menggunakan kamera CCTV yang dimiliki oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) Jawa Timur pada tanggal 09-10-2017. Citra kabut tipis diambil pada pukul 06.29, diikuti oleh citra berkabut yang diambil pada pukul 08.53, dan terakhir citra berkabut tebal diambil pada pukul 09.14.

Berikut adalah tabel yang memperlihatkan hasil estimasi *haze-lines*, *transmission map*, dan *regularization* pada tanggal 10-10-2017.

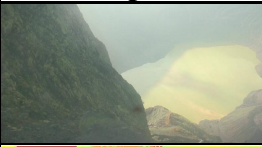


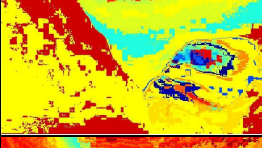
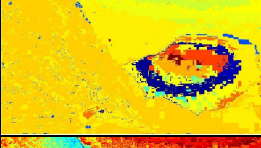
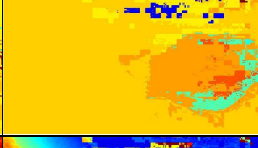
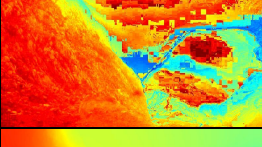
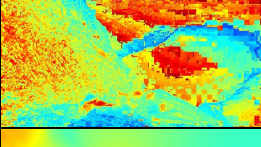
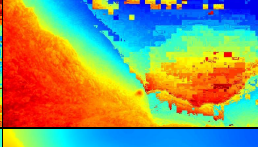
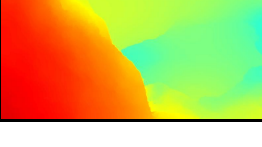
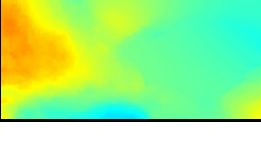
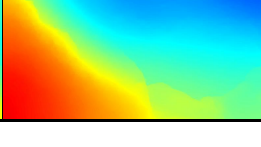
Tabel 4.8 *Haze-lines*, *Transmission Map*, dan *Regularization* tanggal 10-10-2017

	<b>Tipis</b>	<b>Sedang</b>	<b>Tebal</b>
<b>Asli</b>			
<i>Haze-lines</i>			
<i>Transmission Map</i>			
<i>Regularization</i>			

Tabel 4.8 memperlihatkan gambar awal dan gambar hasil setelah melakukan estimasi *haze-lines*, *transmission map*, dan *regularization*. Citra tersebut diambil menggunakan kamera CCTV yang dimiliki oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) Jawa Timur pada tanggal 10-10-2017. Citra kabut tipis diambil pada pukul 06.55, diikuti oleh citra berkabut yang diambil pada pukul 09.03, dan terakhir citra berkabut tebal diambil pada pukul 11.11.

Berikut adalah tabel yang memperlihatkan hasil estimasi *haze-lines*, *transmission map*, dan *regularization* pada tanggal 11-10-2017.

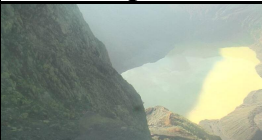
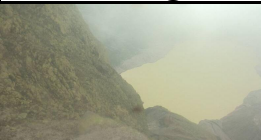
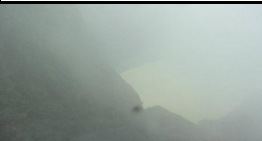
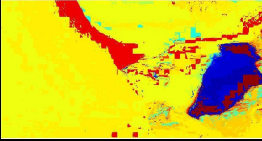
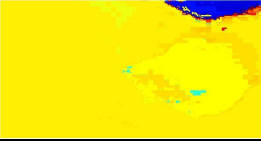

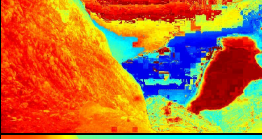
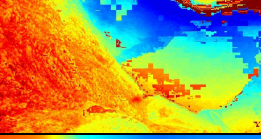
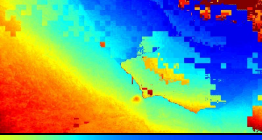
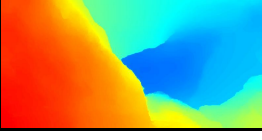
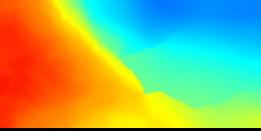
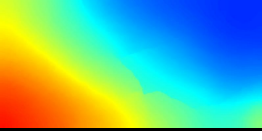
Tabel 4.9 *Haze-lines, Transmission Map, dan Regularization* tanggal 11-10-2017

	<b>Tipis</b>	<b>Sedang</b>	<b>Tebal</b>
<b>Asli</b>			
<i>Haze-lines</i>			
<i>Transmission Map</i>			
<i>Regularization</i>			

Tabel 4.9 memperlihatkan gambar awal dan gambar hasil setelah melakukan estimasi *haze-lines*, *transmission map*, dan *regularization*. Citra tersebut diambil menggunakan kamera CCTV yang dimiliki oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) Jawa Timur pada tanggal 11-10-2017. Citra kabut tipis diambil pada pukul 06.48 diikuti oleh citra berkabut yang diambil pada pukul 10.42, dan terakhir citra berkabut tebal diambil pada pukul 11.51.

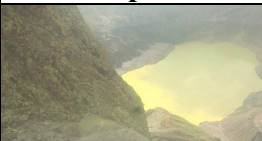
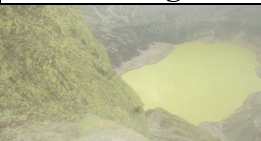
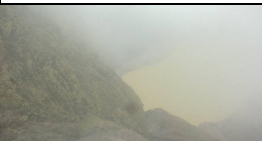
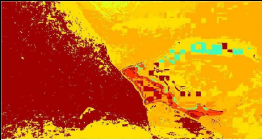
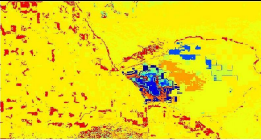
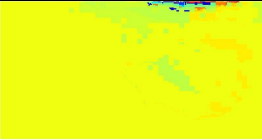
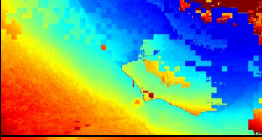
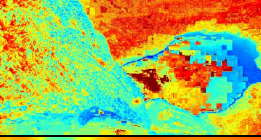
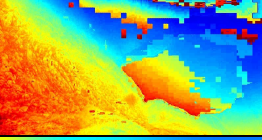
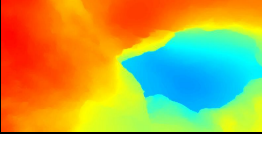
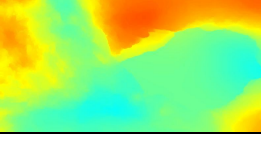
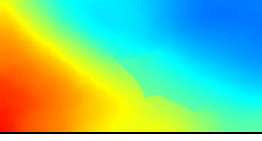
Tabel 4.10 memperlihatkan gambar awal dan gambar hasil setelah melakukan estimasi *haze-lines*, *transmission map*, dan *regularization*. Citra tersebut diambil menggunakan kamera CCTV yang dimiliki oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) Jawa Timur pada tanggal 12-10-2017. Citra kabut tipis diambil pada pukul 06.37 diikuti oleh citra berkabut yang diambil pada pukul 15.24, dan terakhir citra berkabut tebal diambil pada pukul 15.56.

Tabel 4.10 *Haze-lines, Transmission Map, dan Regularization* tanggal 12-10-2017

	<b>Tipis</b>	<b>Sedang</b>	<b>Tebal</b>
<b>Asli</b>			
<i>Haze-lines</i>			
<i>Transmission Map</i>			
<i>Regularization</i>			

Tabel 4.11 memperlihatkan gambar awal dan gambar hasil setelah melakukan estimasi *haze-lines*, *transmission map*, dan *regularization*. Citra tersebut diambil menggunakan kamera CCTV yang dimiliki oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) Jawa Timur pada tanggal 13-10-2017.

Tabel 4.11 *Haze-lines, Transmission Map, dan Regularization* tanggal 13-10-2017

	<b>Tipis</b>	<b>Sedang</b>	<b>Tebal</b>
<b>Asli</b>			
<i>Haze-lines</i>			
<i>Transmission Map</i>			
<i>Regularization</i>			

Citra kabut tipis diambil pada pukul 08.13 diikuti oleh citra berkabut yang diambil pada pukul 13.21, dan terakhir citra berkabut tebal diambil pada pukul 16.56. Berikut adalah tabel yang memperlihatkan hasil estimasi *haze-lines*, *transmission map*, dan *regularization* pada tanggal 13-10-2017.

### **4.3 Hasil Visualisasi Implementasi**

Dalam rangka memvisualisasikan hasil kinerja sistem dalam mengatasi kabut pada citra kawah Gunung Kelud, berikut akan menampilkan perbandingan visual dari implementasi metode *non-local dehazing*, *dark color prior*, dan *color attenuation prior*. Tujuan dari visualisasi ini adalah untuk melihat secara langsung bagaimana setiap metode mampu menghilangkan kabut pada citra kawah Gunung Kelud.

#### **4.3.1 Citra Berkabut 03-10-2017**

Tabel 4.12 merupakan visualisasi untuk menunjukkan gambar awal dan gambar hasil setelah menerapkan berbagai metode pada citra kawah Gunung Kelud yang tertutup kabut. Citra tersebut diambil menggunakan kamera CCTV yang dimiliki oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) Jawa Timur pada tanggal 03-10-2017.

Tabel 4.12 menunjukkan gambar awal dan gambar hasil setelah menerapkan berbagai metode pada citra kawah Gunung Kelud yang tertutup kabut. Citra kabut tipis diambil pada pukul 08.11, diikuti oleh citra berkabut yang diambil pada pukul 14.50, dan terakhir citra berkabut tebal diambil pada pukul 15.06.

Tabel 4.12 Percobaan Pada Citra Berkabut tanggal 03-10-2017



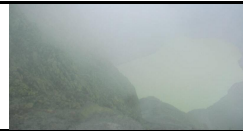



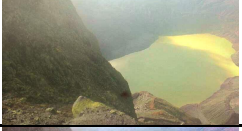
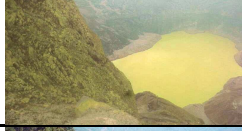

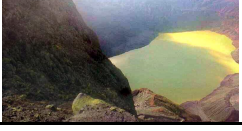


Metode	Tipis	Sedang	Tebal
Asli			
<i>Dark Channel Prior</i>			
<i>Color Attenuation Prior</i>			
<i>Non-Local Dehaze</i>			

Pada pandangan awal, terlihat bahwa metode *dark channel prior* memiliki kontras yang tinggi dan cenderung gelap, menyebabkan perubahan warna kawah menjadi kuning dan gambar kabut tebal tampak sangat gelap. Di sisi lain, metode *color attenuation prior* menghasilkan gambar yang masih terlihat berkabut dibandingkan dengan metode *non-local dehazing*, yang menghasilkan gambar yang lebih jelas dan menjaga warnanya tetap mendekati aslinya.

#### 4.3.2 Citra Berkabut 04-10-2017

Berikut adalah visualisasi untuk menunjukkan gambar awal dan gambar hasil setelah menerapkan berbagai metode pada citra kawah Gunung Kelud yang tertutup kabut. Citra tersebut diambil menggunakan kamera CCTV yang dimiliki oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) Jawa Timur pada tanggal 04-10-2017.

Tabel 4.13 Percobaan Pada Citra Berkabut tanggal 04-10-2017

Metode	Tipis	Sedang	Tebal
Asli			
<i>Dark Channel Prior</i>			
<i>Color Attenuation Prior</i>			
<i>Non-Local Dehaze</i>			

Tabel 4.13 menunjukkan gambar awal dan gambar hasil setelah menerapkan berbagai metode pada citra kawah Gunung Kelud yang tertutup kabut. Citra kabut tipis diambil pada pukul 07.23, diikuti oleh citra berkabut yang diambil pada pukul 14.13, dan terakhir citra berkabut tebal diambil pada pukul 15.44.

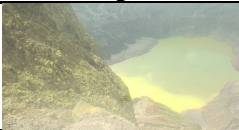
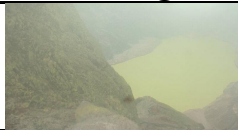

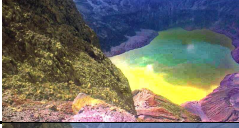
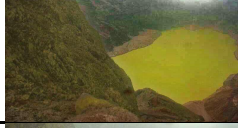

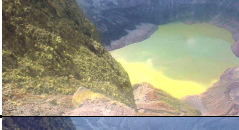


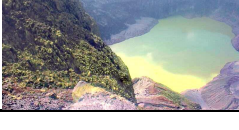


Pada pandangan awal, sama seperti hari sebelumnya yakni terlihat bahwa metode *dark channel prior* memiliki kontras yang tinggi dan cenderung gelap, menyebabkan perubahan warna kawah menjadi kuning dan gambar kabut tebal tampak sangat gelap. Di sisi lain, metode *color attenuation prior* menghasilkan gambar yang masih terlihat berkabut dibandingkan dengan metode *non-local dehazing*, yang menghasilkan gambar yang lebih jelas dan menjaga warnanya tetap mendekati aslinya.

### 4.3.3 Citra Berkabut 06-10-2017

Berikut adalah visualisasi untuk menunjukkan gambar awal dan gambar tBF diambil menggunakan kamera CCTV yang dimiliki oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) Jawa Timur pada tanggal 06-10-2017.

Dalam Tabel 4.14, terdapat gambar hasil setelah menerapkan beberapa metode pada citra kawah Gunung Kelud yang terkena kabut. Terdapat tiga jenis citra yang diambil, yaitu citra dengan kabut tipis pada pukul 08.38, citra dengan kabut lebih tebal pada pukul 14.19, dan citra dengan kabut sangat tebal pada pukul 14.40.

Tabel 4.14 Percobaan Pada Citra Berkabut tanggal 06-10-2017

Metode	Tipis	Sedang	Tebal
Asli			
<i>Dark Channel Prior</i>			
<i>Color Attenuation Prior</i>			
<i>Non-Local Dehaze</i>			

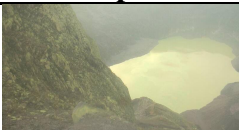
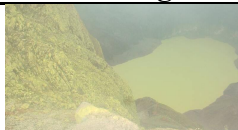
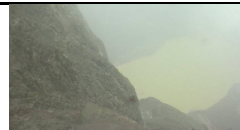
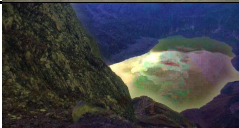
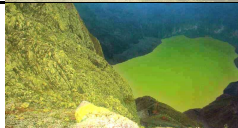
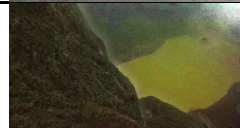
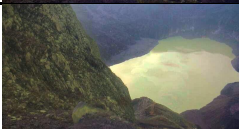
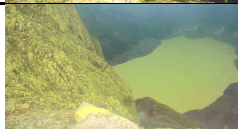
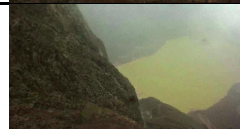
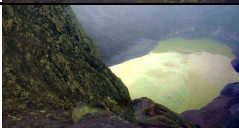


Seperti sebelumnya, pada pandangan awal terlihat bahwa metode *dark channel prior* tetap memiliki kontras yang tinggi dan cenderung gelap. Dampaknya adalah perubahan warna kawah menjadi kuning dan bahkan menghasilkan warna hijau serta pada gambar kabut tebal terlihat sangat gelap, sama seperti hari sebelumnya. Namun, metode *color attenuation prior* masih menghasilkan gambar

yang memiliki keberkabutan yang tampak, dibandingkan dengan metode *non-local dehazing* yang menghasilkan gambar yang lebih jelas dan mempertahankan keaslian warna yang mendekati gambar aslinya.

#### 4.3.4 Citra Berkabut 07-10-2017

Berikut adalah visualisasi untuk menunjukkan gambar awal dan gambar hasil setelah menerapkan berbagai metode. Citra tersebut diambil menggunakan kamera CCTV yang dimiliki oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) Jawa Timur pada tanggal 07-10-2017.

Tabel 4.15 Percobaan Pada Citra Berkabut tanggal 07-10-2017

Metode	Tipis	Sedang	Tebal
Asli			
<i>Dark Channel Prior</i>			
<i>Color Attenuation Prior</i>			
<i>Non-Local Dehaze</i>			

Dalam Tabel 4.15, disajikan gambar awal dan gambar hasil setelah menerapkan berbagai metode pada citra kawah Gunung Kelud yang terkena kabut. Citra dengan kabut tipis diambil pada pukul 05.23, diikuti oleh citra berkabut pada pukul 13.05, dan terakhir citra dengan kabut tebal diambil pada pukul 15.19.

Sama seperti hari sebelumnya, pada pandangan awal terlihat bahwa metode *dark channel prior* tetap memiliki kontras yang tinggi dan cenderung gelap.

Dampaknya adalah perubahan warna kawah menjadi sangat tidak natural dan pada gambar kabut tebal tampak sangat gelap, serupa dengan observasi sebelumnya. Namun, metode *color attenuation prior* menghasilkan gambar yang masih terlihat berkabut jika dibandingkan dengan metode *non-local dehazing*, yang menghasilkan gambar yang lebih jelas dan mempertahankan keaslian warna yang mendekati gambar aslinya.

#### **4.3.5 Citra Berkabut 08-10-2017**


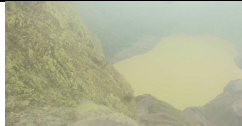






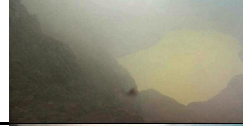



Berikut adalah visualisasi untuk menunjukkan gambar awal dan gambar hasil setelah menerapkan berbagai metode pada citra kawah Gunung Kelud yang tertutup kabut. Citra tersebut diambil menggunakan kamera CCTV yang dimiliki oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) Jawa Timur pada tanggal 04-10-2017.

Tabel 4.16 menunjukkan gambar awal dan gambar hasil setelah menerapkan berbagai metode pada citra kawah Gunung Kelud yang tertutup kabut. Citra tersebut diambil menggunakan kamera CCTV yang dimiliki oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) Jawa Timur pada tanggal 08-10-2017. Citra kabut tipis diambil pada pukul 07.05, diikuti oleh citra berkabut yang diambil pada pukul 11.21, dan terakhir citra berkabut tebal diambil pada pukul 15.48.

Pada pandangan awal, seperti sebelumnya, terlihat bahwa metode *dark channel prior* tetap memiliki kontras yang tinggi dan cenderung gelap. Dampaknya adalah perubahan warna kawah menjadi kuning dan bahkan menghasilkan warna hijau. Selain itu, pada gambar dengan kabut tebal, terlihat sangat gelap, mengulangi pengamatan dari hari sebelumnya. Namun, metode *color attenuation prior* masih

menghasilkan gambar yang tetap memiliki keberkabutan yang terlihat, jika dibandingkan dengan metode *non-local dehazing* yang menghasilkan gambar yang lebih jelas dan tetap mempertahankan keaslian warna yang mendekati gambar aslinya.

Tabel 4.16 Percobaan Pada Citra Berkabut tanggal 08-10-2017

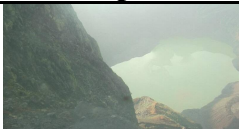
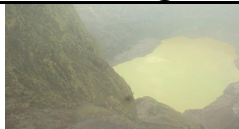
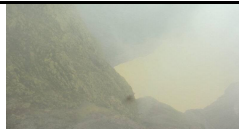
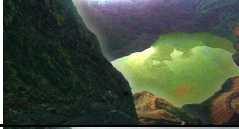

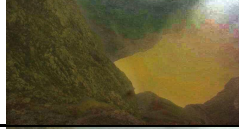
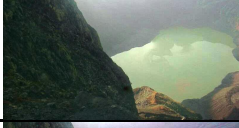
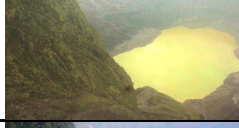
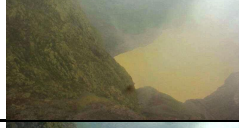



Metode	Tipis	Sedang	Tebal
Asli			
<i>Dark Channel Prior</i>			
<i>Color Attenuation Prior</i>			
<i>Non-Local Dehaze</i>			

#### 4.3.6 Citra Berkabut 09-10-2017

Tabel 4.17 menunjukkan gambar awal dan gambar hasil setelah menerapkan berbagai metode pada citra kawah Gunung Kelud yang tertutup kabut. Citra tersebut diambil menggunakan kamera CCTV yang dimiliki oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) Jawa Timur pada tanggal 09-10-2017.

Berikut adalah visualisasi untuk menunjukkan gambar awal dan gambar hasil setelah menerapkan berbagai metode pada citra kawah Gunung Kelud yang tertutup kabut. Citra kabut tipis diambil pada pukul 06.29, diikuti oleh citra berkabut yang diambil pada pukul 08.53, dan terakhir citra berkabut tebal diambil pada pukul 09.14.

Tabel 4.17 Percobaan Pada Citra Berkabut tanggal 09-10-2017

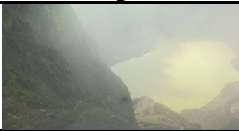

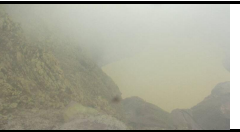



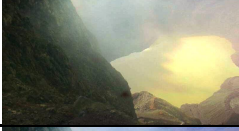

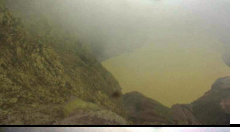
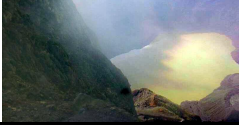


Metode	Tipis	Sedang	Tebal
Asli			
<i>Dark Channel Prior</i>			
<i>Color Attenuation Prior</i>			
<i>Non-Local Dehaze</i>			

Pada pandangan awal, seperti sebelumnya, terlihat bahwa metode *dark channel prior* tetap memiliki kontras yang tinggi dan cenderung gelap. Namun, metode *color attenuation prior* masih menghasilkan gambar yang tetap memiliki keberkabutan yang terlihat, jika dibandingkan dengan metode *non-local dehazing* yang menghasilkan gambar yang lebih jelas dan mempertahankan keaslian warna yang mendekati gambar aslinya.

#### 4.3.7 Citra Berkabut 10-10-2017

Berikut adalah visualisasi untuk menunjukkan gambar awal dan gambar hasil setelah menerapkan berbagai metode pada citra kawah Gunung Kelud yang tertutup kabut. Citra tersebut diambil menggunakan kamera CCTV yang dimiliki oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) Jawa Timur pada tanggal 10-10-2017.

Tabel 4.18 Percobaan Pada Citra Berkabut tanggal 10-10-2017

Metode	Tipis	Sedang	Tebal
Asli			
<i>Dark Channel Prior</i>			
<i>Color Attenuation Prior</i>			
<i>Non-Local Dehaze</i>			

Tabel 4.18 menunjukkan gambar awal dan gambar hasil setelah menerapkan berbagai metode pada citra kawah Gunung Kelud yang tertutup kabut. Citra kabut tipis diambil pada pukul 06.55, diikuti oleh citra berkabut yang diambil pada pukul 09.03, dan terakhir citra berkabut tebal diambil pada pukul 11.11.

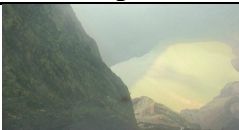
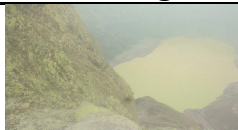
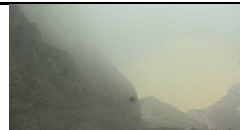



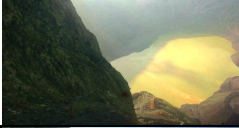

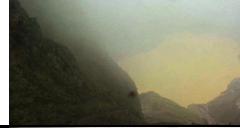



Pada awalnya, mirip dengan sebelumnya, metode *dark channel prior* tetap menunjukkan tingkat kontras yang tinggi dan cenderung menghasilkan gambar yang gelap. Namun, metode *color attenuation prior* masih menghasilkan gambar dengan tingkat keberkabutan yang terlihat, jika dibandingkan dengan metode *non-local dehazing* yang menghasilkan gambar yang lebih jelas dan mempertahankan keaslian warna yang mendekati citra aslinya.

#### 4.3.8 Citra Berkabut 11-10-2017

Berikut adalah visualisasi untuk menunjukkan gambar awal dan gambar hasil setelah menerapkan berbagai metode pada citra kawah Gunung Kelud yang tertutup kabut. Citra tersebut diambil menggunakan kamera CCTV yang dimiliki

oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) Jawa Timur pada tanggal 11-10-2017.

Tabel 4.19 Percobaan Pada Citra Berkabut tanggal 11-10-2017

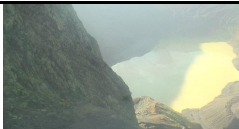
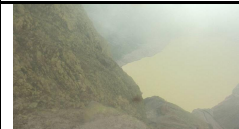
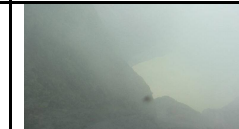




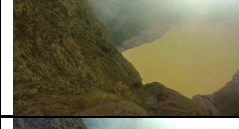

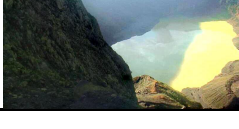
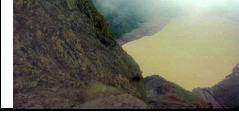
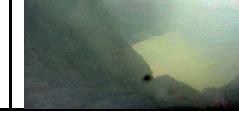
<b>Metode</b>	<b>Tipis</b>	<b>Sedang</b>	<b>Tebal</b>
<b>Asli</b>			
<b><i>Dark Channel Prior</i></b>			
<b><i>Color Attenuation Prior</i></b>			
<b><i>Non-Local Dehaze</i></b>			

Tabel 4.19 menunjukkan gambar awal dan gambar hasil setelah menerapkan berbagai metode pada citra kawah Gunung Kelud yang tertutup kabut. Citra tersebut diambil menggunakan kamera CCTV yang dimiliki oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) Jawa Timur pada tanggal 11-10-2017. Citra kabut tipis diambil pada pukul 06.48, diikuti oleh citra berkabut yang diambil pada pukul 10.42, dan terakhir citra berkabut tebal diambil pada pukul 11.51.

#### **4.3.9 Citra Berkabut 12-10-2017**

Berikut adalah visualisasi untuk menunjukkan gambar awal dan gambar hasil setelah menerapkan berbagai metode. Citra tersebut diambil menggunakan kamera CCTV yang dimiliki oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) Jawa Timur pada tanggal 12-10-2017.

Tabel 4.20 Percobaan Pada Citra Berkabut tanggal 12-10-2017













Metode	Tipis	Sedang	Tebal
Asli			
<i>Dark Channel Prior</i>			
<i>Color Attenuation Prior</i>			
<i>Non-Local Dehaze</i>			

Tabel 4.20 menunjukkan gambar awal dan gambar hasil setelah menerapkan berbagai metode pada citra kawah Gunung Kelud yang tertutup kabut. Citra kabut tipis diambil pada pukul 06.37 diikuti oleh citra berkabut yang diambil pada pukul 15.24, dan terakhir citra berkabut tebal diambil pada pukul 15.56.

Saat melihat dengan sekilas, dapat dilihat bahwa hasilnya mirip dengan sebelumnya. Metode *dark channel prior* tetap memiliki kontras yang tinggi dan cenderung menghasilkan gambar yang gelap. Dampaknya adalah perubahan warna kawah menjadi kuning dan bahkan menghasilkan warna hijau. Namun, metode *color attenuation prior* masih menghasilkan gambar yang tetap terlihat kabur, jika dibandingkan dengan metode *non-local dehazing* yang menghasilkan gambar yang lebih jelas dan menjaga keaslian warna yang mendekati citra aslinya.

#### 4.3.10 Citra Berkabut 13-10-2017

Tabel 4.21 Percobaan Pada Citra Berkabut tanggal 13-10-2017

Metode	Tipis	Sedang	Tebal
Asli			
<i>Dark Channel Prior</i>			
<i>Color Attenuation Prior</i>			
<i>Non-Local Dehaze</i>			

Tabel 4.21 memperlihatkan gambar awal dan gambar hasil setelah menerapkan berbagai metode pada citra kawah Gunung Kelud yang tertutup kabut. Citra tersebut diambil menggunakan kamera CCTV yang dimiliki oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) Jawa Timur pada tanggal 13-10-2017. Citra dengan kabut tipis diambil pada pukul 08.13, diikuti oleh citra berkabut pada pukul 13.21, dan terakhir citra dengan kabut tebal diambil pada pukul 16.56.

Pada pandangan awal, terlihat bahwa hasilnya mirip dengan sebelumnya. Metode *dark channel prior* tetap memiliki kontras yang tinggi dan menghasilkan gambar yang gelap. Pada metode *color attenuation prior* masih menghasilkan gambar yang terlihat kabur, jika dibandingkan dengan metode *non-local dehazing* yang menghasilkan gambar yang lebih jelas dan mempertahankan keaslian warna yang mendekati citra aslinya.

### 4.3 Perhitungan *Mean Square Error* (MSE)

*Mean Squared Error* (MSE) adalah metrik evaluasi yang umum digunakan dalam pengolahan citra untuk mengukur sejauh mana perbedaan antara citra asli dengan citra yang dihasilkan setelah melalui proses pengolahan. MSE menghitung rata-rata kuadrat perbedaan intensitas piksel antara kedua citra.

Pada dasarnya, MSE mengukur rata-rata kesalahan kuadrat antara intensitas piksel pada kedua citra. Metrik ini memberikan informasi tentang tingkat kesamaan antara citra asli dan citra hasil pengolahan. Nilai MSE yang lebih kecil menunjukkan bahwa citra hasil pengolahan lebih mendekati citra asli. MSE sangat berguna dalam berbagai aplikasi pengolahan citra, termasuk restorasi citra, segmentasi citra, kompresi citra, dan pemrosesan citra digital lainnya. Dalam penghapusan kabut pada citra Gunung Kelud, MSE dapat digunakan untuk mengukur sejauh mana kabut telah dihilangkan dan seberapa baik hasil pengolahan mencerminkan citra asli. Semakin rendah nilai MSE, semakin baik kualitas citra hasil pengolahan. MSE juga diperlukan untuk perhitungan PSNR kedepannya.

#### 4.3.1 *Non-Local Dehazing dan Dark Channel Prior*

Dalam rangka menghitung *Mean Square Error* (MSE), dilakukan serangkaian percobaan untuk setiap tingkat citra dan metode berdasarkan hari pengambilan data selama periode 10 hari. Hasil dari kesepuluh percobaan tersebut diambil nilai rata-ratanya guna dibandingkan, dan dapat ditemukan dalam Tabel 4.22. Penulisan "MSE3" mengindikasikan nilai MSE pada tanggal 3.

Tabel 4.22 Perbandingan *Mean Square Error (MSE) Non-Local Dehazing* dan *Dark Color Prior*

MSE	<i>Non-Local Dehazing</i>			<i>Dark Channel Prior</i>		
	<b>Kabut Tipis</b>	<b>Kabut Sedang</b>	<b>Kabut Tebal</b>	<b>Kabut Tipis</b>	<b>Kabut Sedang</b>	<b>Kabut Tebal</b>
MSE3	2.452	2.410	2.555	4.488	4.703	6.735
MSE4	5.152	2.258	3.133	6.387	3.404	8.425
MSE6	2.142	4.801	6.637	5.226	7.259	7.948
MSE7	3.640	4.289	2.960	7.951	5.414	8.016
MSE8	3.106	2.296	3.013	5.314	4.463	7.449
MSE9	3.426	3.197	6.069	7.047	4.183	8.681
MSE0	2.383	3.220	3.688	4.775	5.543	7.726
MSE11	1.861	2.436	1.462	5.722	4.063	5.620
MSE12	2.536	2.849	2.246	5.110	8.053	9.541
MSE13	3.213	2.870	3.549	4.507	4.426	9.266
<b>Jumlah</b>	<b>29.911</b>	<b>30.625</b>	<b>35.312</b>	56.527	51.512	79.406
<b>Rata-Rata</b>	<b>2.991</b>	<b>3.062</b>	<b>3.531</b>	5.653	5.151	7.941

Tabel 4.22 menyajikan perbandingan antara implementasi *non-local dehazing* dan implementasi metode *dark color prior* dalam hal nilai *Mean Square Error (MSE)*. Dari tabel tersebut, terlihat bahwa implementasi *non-local dehazing* menghasilkan nilai MSE yang lebih rendah dibandingkan dengan implementasi metode *dark color prior*.

#### 4.3.2 *Non-Local Dehazing* dan *Color Attenuation Prior*

Untuk menghitung *Mean Square Error (MSE)*, dilakukan serangkaian percobaan pada setiap tingkat citra dan metode selama periode 10 hari. Berikut adalah tabel perbandingan antara metode *non-local dehazing* dan *color attenuation prior*. Penulisan "MSE3" menunjukkan nilai MSE pada tanggal 3.

Tabel 4.23 Perbandingan *Mean Square Error* (MSE) *Non-Local Dehazing* dan *Color Attenuation Prior*

MSE	<i>Non-Local Dehazing</i>			<i>Color Attenuation Prior</i>		
	Kabut Tipis	Kabut Sedang	Kabut Tebal	Kabut Tipis	Kabut Sedang	Kabut Tebal
MSE3	2.452	2.410	2.555	1.054	1.400	1.826
MSE4	5.152	2.258	3.133	1.633	713	2.220
MSE6	2.142	4.801	6.637	1.406	2.187	1.841
MSE7	3.640	4.289	2.960	2.744	1.121	3.108
MSE8	3.106	2.296	3.013	1.460	989	1.545
MSE9	3.426	3.197	6.069	2.571	1.084	3.119
MSE0	2.383	3.220	3.688	1.652	1.205	2.451
MSE11	1.861	2.436	1.462	2.075	871	1.839
MSE12	2.536	2.849	2.246	2.034	3.880	2.883
MSE13	3.213	2.870	3.549	1.186	780	3.461
<b>Jumlah</b>	29.911	30.625	35.312	<b>17.815</b>	<b>14.231</b>	<b>24.293</b>
<b>Rata-Rata</b>	2.991	3.062	3.531	<b>1.782</b>	<b>1.423</b>	<b>2.429</b>

Tabel 4.23 menyajikan perbandingan antara implementasi *non-local dehazing* dan implementasi metode *color attenuation prior* dalam hal nilai *Mean Square Error* (MSE). Dari tabel tersebut, terlihat bahwa implementasi *non-local dehazing* menghasilkan nilai MSE yang lebih tinggi dibandingkan dengan implementasi metode *color attenuation prior*.

#### 4.4 *Peak Signal-to-Noise Ratio*

*Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR) adalah metrik yang umum digunakan dalam pengolahan citra untuk mengukur kualitas citra hasil pemrosesan dengan membandingkannya dengan citra asli. PSNR menghitung perbandingan antara nilai puncak sinyal dengan nilai derau pada citra.

Nilai PSNR akan dinyatakan dalam satuan desibel (dB). Semakin tinggi nilai PSNR, semakin baik kualitas citra hasil pemrosesan karena artinya perbedaan antara citra asli dan citra hasil pemrosesan lebih kecil.

PSNR memiliki keuntungan dalam memberikan informasi kualitatif tentang tingkat kehilangan informasi atau distorsi pada citra hasil pemrosesan. Metrik ini berguna dalam berbagai aplikasi pengolahan citra, termasuk kompresi citra, restorasi citra, dan pemrosesan citra digital lainnya. PSNR dapat membantu dalam memilih dan membandingkan berbagai metode pemrosesan citra untuk memastikan kualitas yang optimal.

#### **4.4.1 *Non-Local Dehazing dan Dark Channel Prior***

Dalam rangka menghitung *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR), dilakukan serangkaian percobaan untuk setiap tingkat citra dan metode berdasarkan hari pengambilan data selama periode 10 hari. Hasil dari kesepuluh percobaan tersebut diambil nilai rata-ratanya guna dibandingkan, dan dapat ditemukan dalam Tabel 4.24. Penulisan "PSNR3" mengindikasikan nilai PSNR pada tanggal 3. Berikut adalah tabel perbandingan antara metode *non-local dehazing* dan *color attenuation prior*.

Tabel 4.24 menyajikan perbandingan antara implementasi *non-local dehazing* dan implementasi metode *dark color prior* dalam hal nilai *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR). Dari tabel tersebut, terlihat bahwa implementasi *non-local dehazing* menghasilkan nilai PSNR yang lebih tinggi dibandingkan dengan implementasi metode *dark color prior*.

Tabel 4.24 Perbandingan *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR) *Non-Local Dehazing* dan *Dark Color Prior*

PSNR	<i>Non-Local Dehazing</i>			<i>Dark Channel Prior</i>		
	<b>Kabut Tipis</b>	<b>Kabut Sedang</b>	<b>Kabut Tebal</b>	<b>Kabut Tipis</b>	<b>Kabut Sedang</b>	<b>Kabut Tebal</b>
PSNR3	14,23	14,31	14,05	11,61	11,4	9,84
PSNR4	11,01	14,59	13,17	10,07	12,81	8,87
PSNR6	14,82	11,31	9,91	10,94	9,52	9,12
PSNR7	12,52	11,8	13,41	9,12	10,79	9,09
PSNR8	13,2	14,52	13,34	10,87	11,63	9,4
PSNR9	12,78	13,08	10,29	9,65	11,91	8,74
PSNR10	14,35	13,05	12,46	11,34	10,69	9,25
PSNR11	15,43	14,26	16,48	10,55	12,04	10,63
PSNR12	14,08	13,58	14,61	11,04	9,07	8,33
PSNR13	13,06	13,55	12,62	11,59	11,67	8,46
<b>Jumlah</b>	<b>135,48</b>	<b>134,05</b>	<b>130,34</b>	106,78	111,53	91,73
<b>Rata-Rata</b>	<b>13,55</b>	<b>13,41</b>	<b>13,03</b>	10,68	11,15	9,17

#### 4.4.2 *Non-Local Dehazing* dan *Color Attenuation Prior*

Dalam rangka menghitung *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR), dilakukan serangkaian percobaan untuk setiap tingkat citra dan metode berdasarkan hari pengambilan data selama periode 10 hari. Hasil dari kesepuluh percobaan tersebut diambil nilai rata-ratanya guna dibandingkan, dan dapat ditemukan dalam Tabel 4.25. Penulisan "PSNR3" mengindikasikan nilai PSNR pada tanggal 3. Berikut adalah tabel perbandingan antara metode *non-local dehazing* dan *color attenuation prior*.

Tabel 4.25 menyajikan perbandingan antara implementasi *non-local dehazing* dan implementasi metode *color attenuation prior* dalam hal nilai *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR). Dari tabel tersebut, terlihat bahwa implementasi

*non-local dehazing* menghasilkan nilai PSNR yang lebih rendah dibandingkan dengan implementasi metode *color attenuation prior*.

Tabel 4.25 Perbandingan *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR) *Non-Local Dehazing* dan *Color Attenuation Prior*

PSNR	<i>Non-Local Dehazing</i>			<i>Color Attenuation Prior</i>		
	Kabut Tipis	Kabut Sedang	Kabut Tebal	Kabut Tipis	Kabut Sedang	Kabut Tebal
PSNR3	14,23	14,31	14,05	17,9	16,66	15,51
PSNR4	11,01	14,59	13,17	16	19,59	14,66
PSNR6	14,82	11,31	9,91	16,64	14,73	15,48
PSNR7	12,52	11,8	13,41	13,74	17,63	13,2
PSNR8	13,2	14,52	13,34	16,48	18,17	16,24
PSNR9	12,78	13,08	10,29	14,03	17,78	13,19
PSNR10	14,35	13,05	12,46	15,95	17,31	14,23
PSNR11	15,43	14,26	16,48	14,96	18,73	15,48
PSNR12	14,08	13,58	14,61	15,04	12,24	13,53
PSNR13	13,06	13,55	12,62	17,39	19,2	12,73
<b>Jumlah</b>	135,48	134,05	130,34	<b>158,13</b>	<b>172,04</b>	<b>144,25</b>
<b>Rata-Rata</b>	13,55	13,41	13,03	<b>15,81</b>	<b>17,20</b>	<b>14,43</b>

#### 4.5 Hasil Analisa Pengujian Sistem *Dehazing*

Hasil pengujian sistem penghilangan kabut pada citra menggunakan implementasi *non-local dehazing* dan implementasi *dark channel prior* dengan ukuran citra 421 x 800 piksel dari 30 percobaan sebelumnya dapat dirujuk pada Tabel 4.26 dan Tabel 4.27 di bawah ini.

Tabel 4.26 Perbandingan MSE dan PSNR antara *Non-Local Dehazing* dan *Dark Color Prior*

	<i>Non-Local Dehazing</i>			<i>Dark Channel Prior</i>		
	Kabut Tipis	Kabut Sedang	Kabut Tebal	Kabut Tipis	Kabut Sedang	Kabut Tebal
<b>MSE</b>	2.991	3.062	3.531	5.653	5.151	7.941
<b>PSNR(dB)</b>	13,55	13,41	13,03	10,68	11,15	9,17

Tabel 4.26 menyajikan perbandingan antara implementasi *non-local dehazing* dan metode *dark color prior* dalam hal nilai MSE dan PSNR. Dari hasil tabel, dapat diamati bahwa implementasi *non-local dehazing* menghasilkan nilai MSE yang lebih rendah dibandingkan dengan metode *dark color prior*. Selain itu, implementasi *non-local dehazing* juga memberikan nilai PSNR yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode *dark color prior*.

Tabel 4.27 Perbandingan MSE dan PSNR antara *Non-Local Dehazing* dan *Color Attenuation Prior*

	<i>Non-Local Dehazing</i>			<i>Color Attenuation Prior</i>		
	Kabut Tipis	Kabut Sedang	Kabut Tebal	Kabut Tipis	Kabut Sedang	Kabut Tebal
<b>MSE</b>	2.991	3.062	3.531	1.782	1.423	2.429
<b>PSNR(dB)</b>	13,55	13,41	13,03	15,81	17,20	14,43

Tabel 4.27 menyajikan perbandingan antara implementasi *non-local dehazing* dan metode *color attenuation prior* dalam hal nilai MSE dan PSNR. Dari hasil tabel, dapat diamati bahwa implementasi *non-local dehazing* menghasilkan nilai MSE yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode *color attenuation prior*. Selain itu, implementasi *non-local dehazing* juga memberikan nilai PSNR yang lebih rendah dibandingkan dengan metode *color attenuation prior*.

#### 4.5.1 Perbandingan Rata-rata MSE setiap Metode

Pada tabel 2.28 menunjukkan hasil perbandingan yang menunjukkan bahwa pada kondisi kabut tipis, metode *dark channel prior* memiliki nilai rata-rata yang paling tinggi, sedangkan metode *color attenuation prior* memiliki nilai rata-rata yang paling rendah. Pada kondisi kabut sedang, metode *dark channel prior* memiliki nilai rata-rata yang paling tinggi, sementara metode *color attenuation*

*prior* memiliki nilai rata-rata yang paling rendah. Pada kondisi kabut tebal, metode *dark channel prior* juga memiliki nilai rata-rata yang paling tinggi, sedangkan metode *color attenuation prior* memiliki nilai rata-rata yang paling rendah. Hal ini menunjukkan bahwa metode *color attenuation prior* lebih mendekati citra asli dalam perbandingan berdasarkan perhitungan MSE (*Mean Squared Error*). Berikut adalah tabel perbandingan antara ketiga metode yaitu, *non-local dehazing*, *dark channel prior*, dan *color attenuation prior*.

Tabel 4.28 Perbandingan Rata-rata MSE setiap Metode

Metode	Kabut Tipis	Kabut Sedang	Kabut Tebal
<i>Non-Local Dehazing</i>	2.991	3.062	3.531
<i>Dark Color Prior</i>	5.653	5.151	7.941
<i>Color Attenuation Prior</i>	<b>1.782</b>	<b>1.423</b>	<b>2.429</b>

#### 4.5.2 Perbandingan Rata-rata PSNR setiap Metode

Berikut adalah tabel perbandingan antara ketiga metode yaitu, *non-local dehazing*, *dark channel prior*, dan *color attenuation prior*.

Tabel 4.29 Perbandingan Rata-rata PSNR setiap Metode

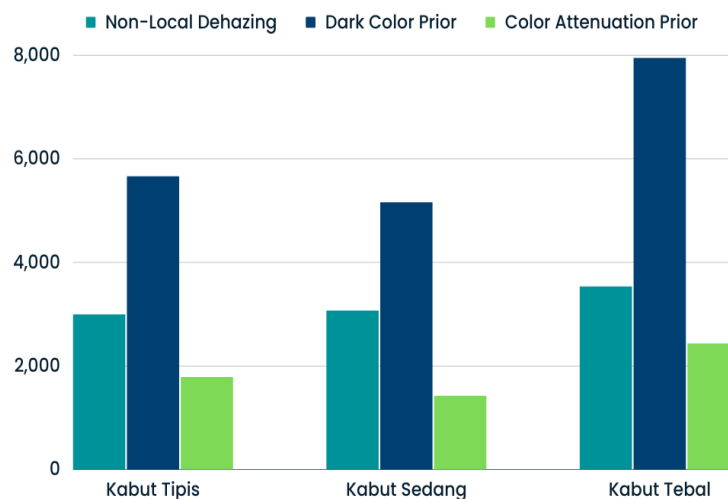
Metode	Kabut Tipis	Kabut Sedang	Kabut Tebal
<i>Non-Local Dehazing</i>	13,55	13,41	13,03
<i>Dark Color Prior</i>	10,68	11,15	9,17
<i>Color Attenuation Prior</i>	<b>15,81</b>	<b>17,20</b>	<b>14,43</b>

Hasil perbandingan menunjukkan bahwa pada kondisi kabut tipis, metode *dark channel prior* memiliki nilai rata-rata yang paling rendah, sedangkan metode *color attenuation prior* memiliki nilai rata-rata yang paling tinggi. Pada kondisi kabut sedang, metode *dark channel prior* memiliki nilai rata-rata yang paling

rendah, sementara metode *color attenuation prior* memiliki nilai rata-rata yang paling tinggi. Pada kondisi kabut tebal, metode *dark channel prior* juga memiliki nilai rata-rata yang paling rendah, sedangkan metode *color attenuation prior* memiliki nilai rata-rata yang paling tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa metode *color attenuation prior* memiliki kualitas citra yang lebih mendekati citra asli dalam perbandingan berdasarkan perhitungan PSNR (*Peak Signal-to-Noise Ratio*).

#### 4.5.3 Diagram Perbandingan MSE

Untuk memberikan gambaran yang jelas tentang perbandingan kinerja metode tersebut, berikut sebuah diagram yang menampilkan perbandingan MSE antara metode *non-local dehazing*, *dark color prior*, dan *color attenuation prior*. Diagram berikut menggambarkan secara visual perbedaan nilai MSE yang dihasilkan oleh ketiga metode dalam penghapusan kabut pada citra.



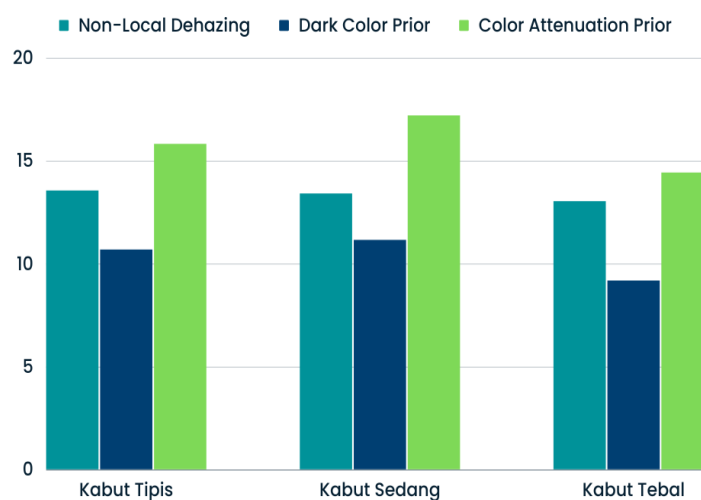
Gambar 4.1 Diagram Perbandingan Nilai MSE

Berdasarkan hasil diagram, dapat disimpulkan bahwa pada kondisi kabut tipis, metode *dark channel prior* memiliki nilai rata-rata tertinggi, sementara

metode *color attenuation prior* memiliki nilai rata-rata terendah. Pada kondisi kabut sedang, metode *dark channel prior* juga memiliki nilai rata-rata tertinggi, sedangkan metode *color attenuation prior* memiliki nilai rata-rata terendah. Sementara itu, pada kondisi kabut tebal, metode *dark channel prior* kembali memiliki nilai rata-rata tertinggi, sedangkan metode *color attenuation prior* memiliki nilai rata-rata terendah. Hal ini menunjukkan bahwa metode *color attenuation prior* lebih mendekati citra asli jika dibandingkan dengan metode *dark channel prior* berdasarkan perhitungan MSE (*Mean Squared Error*).

#### 4.5.4 Diagram Perbandingan PSNR

Untuk memberikan gambaran yang jelas tentang perbandingan kinerja metode tersebut, berikut sebuah diagram yang menampilkan perbandingan nilai PSNR antara metode *non-local dehazing*, *dark color prior*, dan *color attenuation prior*. Diagram ini menggambarkan secara visual perbedaan nilai PSNR yang dihasilkan oleh ketiga metode dalam penghapusan kabut pada citra.



Gambar 4.2 Diagram Perbandingan Nilai PSNR

Berdasarkan hasil diagram, dapat disimpulkan bahwa pada kondisi kabut tipis, metode *dark channel prior* memiliki nilai rata-rata terendah, sementara metode *color attenuation prior* memiliki nilai rata-rata tertinggi. Pada kondisi kabut sedang, metode *dark channel prior* juga memiliki nilai rata-rata terendah, sedangkan metode *color attenuation prior* memiliki nilai rata-rata tertinggi. Sementara itu, pada kondisi kabut tebal, metode *dark channel prior* kembali memiliki nilai rata-rata terendah, sedangkan metode *color attenuation prior* memiliki nilai rata-rata tertinggi. Hal ini menunjukkan bahwa metode *color attenuation prior* memberikan hasil yang lebih dekat dengan citra asli dalam perbandingan dengan metode *dark channel prior* berdasarkan perhitungan PSNR (*Peak Signal-to-Noise Ratio*).

#### **4.6 Integrasi Islam dan Sains**

Gunung Kelud, sebagai salah satu gunung berapi aktif di Indonesia, memiliki potensi bahaya yang perlu diperhatikan oleh masyarakat sekitarnya. Dalam konteks penghapusan kabut pada citra Gunung Kelud untuk menghindari bencana, terdapat nilai-nilai dalam Islam yang relevan dan mendorong tindakan pencegahan serta perlindungan diri. Islam mengajarkan pentingnya mengambil tindakan yang bijaksana, menjaga keselamatan diri, serta berdoa kepada Allah untuk memohon perlindungan dan keselamatan.

Dalam melaksanakan tanggung jawab pencegahan dan perlindungan diri, umat Muslim dianjurkan untuk berdoa kepada Allah, memohon perlindungan dan keselamatan. Melalui sikap yang bijaksana dan tanggap terhadap situasi, masyarakat Muslim dapat menjalankan ajaran Islam dalam menghadapi risiko

bencana. Menggabungkan pengetahuan tentang potensi bahaya Gunung Kelud, tindakan preventif yang tepat.

Letusan-letusan Gunung Kelud dapat menghasilkan ancaman serius bagi kehidupan dan lingkungan sekitarnya. Dalam konteks penghapusan kabut pada citra Gunung Kelud untuk menghindari bencana, terdapat nilai-nilai dalam Islam yang relevan dan mendorong tindakan pencegahan serta perlindungan diri. Dalam esai ini, kita akan menjelajahi integrasi antara ayat Al-Qur'an, khususnya As-Syura ayat 30, yang berbunyi:

وَمَا أَصَابَكُمْ مِّنْ مُّصِيبَةٍ فَبِمَا كَسَبَتْ أَيْدِيكُمْ وَيَعْفُوا عَنْ كَثِيرٍ

*“Dan apa saja musibah yang menimpa kamu maka adalah disebabkan oleh perbuatan tanganmu sendiri, dan Allah memaafkan sebagian besar (dari kesalahan-kesalahanmu).”*

As-Syura ayat 30 menyampaikan pesan penting tentang tanggung jawab individu terhadap tindakan dan konsekuensinya. Ayat ini menyatakan, "Dan apa saja musibah yang menimpa kamu maka adalah disebabkan oleh perbuatan tanganmu sendiri, dan Allah memaafkan sebagian besar (dari kesalahan-kesalahanmu)." Dalam konteks Gunung Kelud, pesan dari ayat ini tetap relevan dan memuat beberapa implikasi yang penting.

Menurut Tafsir Al-Mukhtashar, di bawah pengawasan Syaikh Dr. Shalih bin Abdullah bin Humaid (Imam Masjidil Haram) ayat tersebut berarti: "Apa saja yang menimpa kalian -wahai manusia- baik musibah pada diri atau harta kalian, maka itu adalah disebabkan oleh perbuatan maksiat dari tangan kalian sendiri, dan

Allah memaafkan banyak dari kesalahan-kesalahan dan tidak menghukum kalian karenanya.”

Ayat ini juga menunjukkan bahwa keburukan atau musibah yang menimpa kita adalah akibat dari kesalahan diri sendiri. Dalam konteks Gunung Kelud, kesalahan ini dapat berupa kurangnya kewaspadaan terhadap kondisi gunung, penundaan dalam mengambil tindakan preventif, atau ketidaktahuan tentang bahaya kabut vulkanik. Oleh karena itu, individu perlu memiliki kesadaran diri yang tinggi dan mengambil tanggung jawab pribadi untuk melindungi diri dari bahaya yang dapat dihindari.

Dalam konteks penghapusan kabut pada citra Gunung Kelud, integrasi antara surah As-Syura ayat 30 dan tindakan pencegahan bencana dapat terlihat jelas. Pertama, dengan menyadari bahwa segala kebajikan berasal dari Allah, individu harus menghargai anugerah ini dan mengambil tindakan preventif yang tepat. Ini termasuk mengikuti petunjuk dan peringatan dari pihak berwenang, memantau perkembangan situasi Gunung Kelud, dan memiliki persiapan darurat yang memadai.

Kedua, dengan menyadari bahwa keburukan yang menimpa kita adalah akibat dari kesalahan diri sendiri, individu harus memiliki kesadaran diri yang tinggi dan menjaga kewaspadaan terhadap potensi bahaya kabut vulkanik. Ini melibatkan pemahaman tentang karakteristik Gunung Kelud, mengakses informasi yang diperlukan, dan mengambil tindakan yang sesuai untuk melindungi diri sendiri dan orang lain.

Integrasi dari As-Syura ayat 30 dengan penghapusan kabut pada citra Gunung Kelud dalam perspektif Islam menggarisbawahi pentingnya tanggung jawab individu, kesadaran diri, dan tindakan preventif dalam menjaga keselamatan diri dan orang lain. Ayat ini mengajarkan bahwa segala kebajikan yang kita peroleh adalah anugerah dari Allah, sedangkan keburukan atau musibah yang menimpa kita adalah akibat dari kesalahan diri sendiri. Dalam konteks Gunung Kelud, integrasi ini mendorong umat Muslim untuk mengambil tindakan preventif yang bijaksana, memiliki pengetahuan tentang bahaya kabut vulkanik, dan mengikuti contoh Rasulullah sebagai teladan dalam menjaga keselamatan dan membantu orang lain.

Dengan memahami dan menerapkan pesan dari surah As-Syura ayat 30, umat Muslim dapat berkontribusi secara positif dalam upaya penghapusan kabut pada citra Gunung Kelud dan menjaga keselamatan diri serta lingkungan sekitar. Penting bagi individu untuk mengambil tanggung jawab pribadi, meningkatkan kesadaran diri, mengambil tindakan preventif yang tepat, dan mencari bimbingan dari ajaran dan contoh yang diberikan oleh Rasulullah. Dalam hal ini, Islam memberikan landasan spiritual dan moral yang kuat dalam menjaga keamanan dan kesejahteraan umat manusia di tengah potensi bahaya alam.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Metode *non-local dehazing* mencapai MSE sebesar 2.991 pada kabut tipis, 3.062 pada kabut sedang, dan 3.531 pada kabut tebal. Hasil ini lebih baik daripada metode *dark channel prior* dengan MSE 5.653 pada kabut tipis, 5.151 pada kabut tebal, dan 7.941 pada kabut tebal. Namun, *non-local dehazing* masih kalah dengan metode *color attenuation prior* yang memiliki MSE 1.782 pada kabut tipis, 1.423 pada kabut sedang, dan 2.429 pada kabut tebal. Pada pengukuran PSNR, *non-local dehazing* memperoleh nilai 13.55 pada kabut tipis, 13.41 pada kabut sedang, dan 13.03 pada kabut tebal. Hasil ini lebih baik daripada *dark channel prior*, tetapi masih lebih rendah daripada *color attenuation prior* yang memiliki PSNR 15.81 pada kabut tipis, 17.20 pada kabut sedang, dan 14.43 pada kabut tebal. Pada hasil kajian kualitatif, memang pada metode *color attenuation prior* memiliki kualitas penghapusan kabut citra yang lebih bagus dibandingkan kedua metode lainnya, tetapi warna yang dihasilkan metode tersebut sangat berubah dibandingkan citra aslinya.

#### 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian pengujian sistem penghapusan kabut dan analisis implementasi metode *non-local dehazing* pada citra kawah Gunung Kelud, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan. Pertama, penting untuk melakukan ekspansi pengujian dengan memperluas jumlah sampel citra kawah yang

digunakan. Dengan mengambil lebih banyak citra yang mewakili berbagai kondisi pencahayaan, cuaca, dan tingkat kabut yang berbeda, akan memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang kinerja metode *non-local dehazing*.

Selanjutnya, penting juga untuk melakukan komparasi dengan metode penghapusan kabut lainnya selain *dark channel prior* dan *color attenuation prior*. Dengan membandingkan metode *non-local dehazing* dengan metode-metode alternatif, akan memungkinkan evaluasi yang lebih baik terkait keunggulan dan kelemahan masing-masing metode dalam mengatasi masalah penghapusan kabut. Selain itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pemilihan parameter yang optimal untuk metode *non-local dehazing*. Parameter seperti ukuran jendela dan bobot *non-local* dapat dioptimalkan untuk meningkatkan hasil penghapusan kabut.

Untuk memperoleh pandangan subjektif, analisis visual oleh manusia terlatih dapat dilakukan untuk membandingkan kualitas visual citra hasil penghapusan kabut menggunakan metode *non-local dehazing* dengan metode lainnya. Hal ini akan memberikan wawasan tambahan tentang kepuasan pengamat terhadap hasil penghapusan kabut yang dihasilkan oleh metode yang berbeda.

Terakhir, perlu juga menjelajahi potensi penerapan metode *non-local dehazing* pada aplikasi lain yang membutuhkan penghapusan kabut, seperti penglihatan mesin, deteksi objek, dan pengolahan citra medis. Dengan melakukan penelitian lebih lanjut pada berbagai domain aplikasi, dapat diketahui efektivitas metode ini dan kontribusinya dalam pengembangan teknik penghapusan kabut pada citra.

## DAFTAR PUSTAKA

- Berman, D., Treibitz, T., & Avidan, S. (2016). Non-local Image Dehazing. *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 1674–1682. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.185>
- Fattal, R. (2008). Single image dehazing. *ACM Transactions on Graphics*, 27(3), 1–9. <https://doi.org/10.1145/1360612.1360671>
- Fattal, R. (2014). Dehazing Using Color-Lines. *ACM Transactions on Graphics*, 34(1), 1–14. <https://doi.org/10.1145/2651362>
- Fresy, N., & Juniardi, N. F. (2017). *Peningkatan Visibilitas Pada Penghilangan Haze Berbasis Perbedaan Warna Untuk Citra Digital Tunggal Danau Kawah Gunung Kelud*.
- Gibson, K. B., & Nguyen, T. Q. (2013). An analysis of single image defogging methods using a color ellipsoid framework. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, 2013(1), 37. <https://doi.org/10.1186/1687-5281-2013-37>
- He, K., Sun, J., & Tang, X. (2011). *Single Image Haze Removal Using Dark Channel Prior*.
- Huynh-Thu, Q., & Ghanbari, M. (2008). Scope of validity of PSNR in image/video quality assessment. *Electronics Letters*, 44(13), 800. <https://doi.org/10.1049/el:20080522>
- Komite Ulama Tafsir. *Al-Mukhtashar fi Tafsir al-Qur`ân al-Karîm*. Tafsir Center for Quranic Studies.
- Nishino, K., Kratz, L., & Lombardi, S. (2012). Bayesian Defogging. *International Journal of Computer Vision*, 98(3), 263–278. <https://doi.org/10.1007/s11263-011-0508-1>
- Park, D., Han, D. K., Jeon, C., & Ko, H. (2013). Fast Single Image De-Hazing Using Characteristics of RGB Channel of Foggy Image. *IEICE Transactions on Information and Systems*, E96.D(8), 1793–1799. <https://doi.org/10.1587/transinf.E96.D.1793>
- Pratomo, I. (2006). Klasifikasi gunung api aktif Indonesia, studi kasus dari beberapa letusan gunung api dalam sejarah. *Indonesian Journal on Geoscience*. <https://doi.org/10.17014/ijog.vol1no4.20065>
- Putra, O. V. (2017). *Reduksi Kabut pada Citra Kawah Gunung Berapi Kelud*

*Berbasis Dark Channel Prior*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Putra, O. V., & Musthafa, A. (2019). Dehazing Citra Kabut Gunung Berapi Kelud Dengan Color Attenuation Prior Dan Adaptive Gamma Correction. *Fountain of Informatics Journal*, 4(2), 69. <https://doi.org/10.21111/fij.v4i2.3511>

Tan, R. T. (2008). *Visibility in Bad Weather from A Single Image*.

Tarel, J.-P., & Hautiere, N. (2009). Fast visibility restoration from a single color or gray level image. *2009 IEEE 12th International Conference on Computer Vision*, 2201–2208. <https://doi.org/10.1109/ICCV.2009.5459251>

Yang, F., & Tang, S. (2020). Adaptive Tolerance Dehazing Algorithm Based on Dark Channel Prior. *Algorithms*, 13(2), 45. <https://doi.org/10.3390/a13020045>

Yusuf, M. (2021). *Gunung Kelud: Proses dan Budayanya*.

Zhu, Q., Mai, J., & Shao, L. (2014). *Single Image Dehazing Using Color Attenuation Prior*.