

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Citra

Citra merupakan representasi (gambaran), kemiripan, atau bisa dikatakan imitasi dari suatu objek. Citra memiliki 3 sifat keluaran dari suatu sistem perekaman data yang berbeda yaitu, bersifat optik berupa foto, bersifat analog berupa sinyal-sinyal video seperti gambar pada monitor televisi, atau bersifat digital yang dapat langsung disimpan pada suatu media penyimpanan. Citra atau gambar merupakan suatu bagian yang cukup penting bagi kehidupan manusia, karena dengan citra akan banyak didapat informasi yang mungkin tidak dapat dilukiskan dengan kata-kata. Selain memberikan informasi, citra juga dapat memberikan kepuasan bathin bagi manusia. Misalnya sebuah citra dengan pemandangan yang indah dapat menjadikan suasana hati seseorang menjadi tenang dan hening (Sutoyo, et. al., 2009).

Terdapat beberapa pengertian citra salah satunya adalah kumpulan dari titik yang mempunyai intensitas tertentu untuk membentuk satu kesatuan perpaduan yang mempunyai arti, baik secara "artistik" maupun "intrinsik", citra juga dapat dikatakan sebagai suatu representasi dari sebuah objek. Citra yang baik adalah citra yang dapat menampilkan gambar yang dimaksud seutuhnya. Gambar yang dimaksud tersebut merupakan keindahan gambar (artistik) serta kejelasan gambar untuk penganalisaan dan maksud-maksud lainnya (intrinsik). Pada saat ini citra sudah banyak yang diolah secara digital, karena dengan pengolahan citra secara digital citra akan mudah dimanipulasi, misalnya merubah warna, merubah ukuran merubah kecerahan warna ataupun yang lainnya. Salah satu cara untuk memanipulasi citra adalah dengan melakukan transformasi *wavelet* (Sutoyo, et. al., 2009).

Dengan transformasi *wavelet* kita dapat merubah ukuran citra, menggosok citra, memutar citra, ataupun melakukan pencerminan terhadap citra tersebut. Citra juga merupakan proyeksi *Scene* tiga dimensi ke dalam permukaan dua dimensi. *Scene* didefinisikan sebagai kumpulan objek tiga dimensi dengan pengaturan geometris dan biasanya diatur secara fisik oleh hukum alam. Dengan kata lain citra merupakan fungsi kontinu dari intensitas cahaya pada bidang dua dimensi (Sutoyo, et. al., 2009).

2.1.1 Representasi Citra

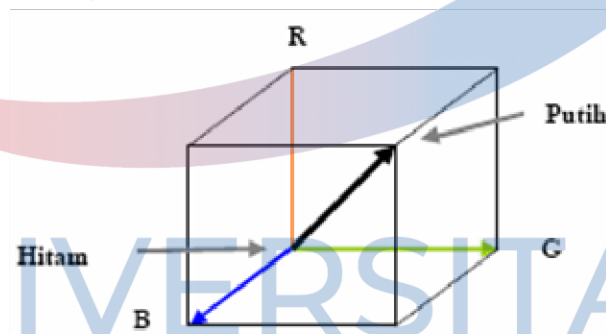
Citra dapat direpresentasikan ke dalam citra analog dan citra digital (Sutoyo, et. al., 2009).

1. Citra Analog adalah citra yang terdiri dari sinyal-sinyal frekuensi elektromagnetis yang belum dibedakan sehingga pada umumnya tidak dapat ditentukan ukurannya. Dimana fungsinya adalah kontinu sehingga belum dapat dideteksi titik-pertitik (piksel) bagian terkecil dari citra tersebut. Citra analog merupakan citra yang bersifat kontinu, seperti gambar pada monitor televisi, foto sinar-X, foto yang tercetak di kertas foto, lukisan, hasil CT scan, gambar-gambar yang terekam pada pita kaset, dan lain sebagainya. Citra analog tidak dapat direpresentasikan dalam komputer, sehingga tidak bisa diproses di komputer secara langsung. Oleh sebab itu, agar citra analog dapat diproses di komputer, maka proses konversi citra analog ke citra digital perlu dilakukan terlebih dahulu. Citra analog ini dihasilkan dari alat-alat analog seperti: video kamera analog, kamera foto analog, WebCam, CT scan, sensor untuk foto thorax, sensor gelombang pendek pada sistem radar, sensor ultrasound pada sistem USG, dan lain sebagainya (Sutoyo, et. al., 2009).
2. Citra Digital adalah citra yang terdiri dari sinyal-sinyal frekuensi elektromagnetis yang sudah di *sampling*, sehingga dapat ditentukan ukuran titik gambar tersebut yang pada umumnya disebut dengan piksel. Dimana fungsinya sudah diskrit sehingga nilai (warna) titik-pertitik, piksel-perpiksel sudah dapat dideteksi. Secara umum, pengolahan citra digital merujuk pada pemrosesan gambar dua dimensi dengan menggunakan komputer. Citra digital merupakan sebuah larik (*array*) yang berisikan nilai-nilai real maupun kompleks yang direpresentasikan dengan deretan bit tertentu. Sebuah citra dapat didefinisikan sebagai suatu fungsi $f(x,y)$ berukuran M kolom dan N baris, dengan x dan y adalah koordinat spasial, dan amplitude f di titik koordinat (x,y) dinamakan intensitas atau tingkat keabuan dari citra pada titik tersebut. Suatu citra dapat dikatakan sebagai citra digital apabila nilai x,y, dan nilai amplitude f secara keseluruhan berhingga (*finite*) dan bernilai diskrit (Darma Putra, 2010). Citra sebagai keluaran suatu sistem perekaman data dapat bersifat optik berupa foto, bersifat analog berupa sinyal-sinyal video seperti gambar pada monitor televisi, atau bersifat digital yang dapat langsung disimpan pada pita magnetik. Menurut presisi yang digunakan untuk menyatakan titik-titik koordinat pada domain spasial atau bidang dan untuk menyatakan nilai keabuan atau warna suatu citra, maka secara teoritis citra dapat dikelompokkan menjadi empat kelas citra, yaitu citra kontinu-kontinu, kontinu-diskrit, diskrit-kontinu, dan diskrit-diskrit, di mana label pertama menyatakan presisi dari titik-titik koordinat pada bidang citra sedangkan label kedua menyatakan presisi nilai keabuan atau warna. Kontinu dinyatakan dengan presisi angka tak terhingga, sedangkan diskrit dinyatakan dengan presisi angka terhingga (Darma Putra, 2010). Komputer digital bekerja dengan angka-angka presisi terhingga, dengan demikian hanya citra dari kelas diskrit-diskrit yang dapat diolah dengan

komputer, citra dari kelas tersebut lebih dikenal sebagai citra digital. Citra digital merupakan suatu array dua dimensi atau suatu matriks yang elemen-elemennya menyatakan tingkat keabuan dari elemen gambar, jadi informasi yang terkandung bersifat diskrit. Citra digital tidak selalu merupakan hasil langsung data rekaman suatu sistem. Kadang-kadang hasil rekaman data bersifat kontinu seperti gambar pada monitor televisi, foto sinar-X, dan lain sebagainya. Dengan demikian untuk mendapatkan suatu citra digital diperlukan suatu proses konversi, sehingga citra tersebut selanjutnya dapat diproses dengan komputer (Putra, 2010).

2.1.2 Intensitas Warna

Citra merupakan demensi spasial yang berisi informasi warna dan tidak bergantung pada waktu. Citra merupakan sekumpulan titik-titik dari gambar, yang disebut *pixel* (*picture element*). Titik-titik tersebut menggambarkan posisi koordinat dan mempunyai intensitas yang dapat dinyatakan dengan bilangan. Intensitas pada gambar 2.9 ini menunjukkan warna citra, melalui penjumlahan (*Red, Green dan Blue / RGB*) (Putra, 2010).



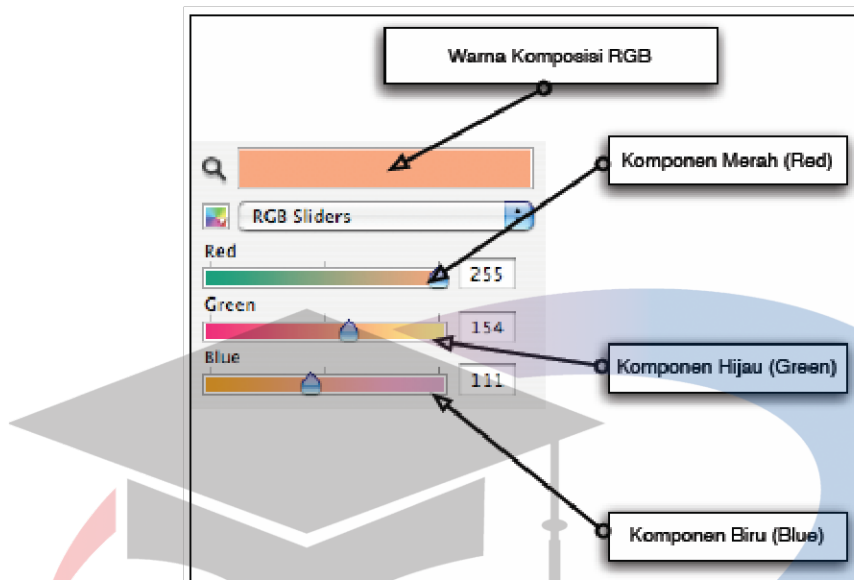
Gambar 2. 1 Koordinat RGB
(Sumber: Putra, 2010)

Koordinat memberikan informasi warna pixel berdasarkan; *Brightness* (ketajaman) warna cahaya (hitam, abu-abu, putih) dari sumber, *Hue* (corak warna) yang ditimbulkan oleh warna (merah, kuning, hijau dll) dan merupakan panjang gelombang dominan dari sumber (Putra, 2010).

Misalnya citra dengan 8 bit per pixel mempunyai 256 warna dan citra dengan 24 bit mempunyai 49152 warna dimana $256 \times 8 \times 24 = 49152$, jadi tiap pixel dinyatakan dengan :

1. bit 0 sampai dengan 7 untuk warna merah.
2. bit 7 sampai dengan 15 untuk warna hijau
3. bit 16 sampai dengan 24 untuk warna biru

Kemungkinan kombinasi warna yang ada adalah $= 256^3 + 256^2 + 256^1 = 16.843.008$, dimana nilai 0 menyatakan warna *hitam* sedangkan nilai 16 843 008 menyatakan warna *putih*, gambar 2.10 berikut menunjukkan posisi warna *RGB* (Putra, 2010).



Gambar 2. 2 Komposisi Warna RGB
(Sumber: Putra, 2010)

Dari penjelasan singkat diatas, citra dapat diubah dari domain spasial menjadi domain yang lain, dengan tujuan untuk mempermudah pengkodean. Proses perubahan ini dinamakan transformasi (Putra, 2010).

2.1.3 Elemen-elemen Citra Digital

Citra digital mengandung sejumlah elemen-elemen dasar. Elemen-elemen dasar tersebut dimanipulasi dalam pengolahan citra dan dieksploitasi lebih lanjut dalam *computer vision*. Berikut ini adalah elemen-elemen dasar yang terdapat pada citra digital (Sutoyo, et. al., 2009).

1. Kecerahan (*brightness*)

Kecerahan merupakan intensitas cahaya yang dipancarkan piksel dari citra yang dapat ditangkap oleh sistem penglihatan. Kecerahan pada sebuah titik / piksel di dalam citra merupakan intensitas rata-rata dari suatu area yang melingkupinya.

2. Kontras (*contrast*)

Kontras menyatakan sebaran terang (*lightness*) dan gelap (*darkness*) dalam suatu citra. Citra dengan kontras rendah dicirikan oleh sebagian besar komposisi citranya adalah terang atau sebagian besar gelap. Citra dengan kontras yang baik, komposisi gelap dan terangnya tersebar secara merata.

3. Kontur (*contour*)

Kontur merupakan keadaan yang ditimbulkan oleh perubahan intensitas pada piksel-piksel yang bertetangga. Karena adanya perubahan intensitas inilah, maka tepi-tepi (*edge*) objek pada citra dapat dideteksi dengan mata.

4. Warna (*color*)

Warna adalah persepsi yang dirasakan oleh sistem visual manusia terhadap panjangnya suatu gelombang cahaya yang dipantulkan oleh objek. Warna-warna yang dapat ditangkap oleh mata manusia merupakan kombinasi cahaya dengan panjang yang berbeda. Kombinasi yang memberikan rentang warna paling lebar adalah *red* (R), *green* (G), *blue* (B).

5. Bentuk (*shape*)

Bentuk adalah property intrinsik dari objek tiga dimensi. Bentuk merupakan properti intrinsik utama untuk sistem visual manusia karena manusia lebih sering menginterpretasikan suatu objek berdasarkan bentuknya daripada elemen lainnya.

6. Tekstur (*texture*)

Tekstur dicirikan sebagai distribusi spasial dari derajat keabuan di dalam sekumpulan pixel-pixel yang bertetangga. Sehingga, tekstur tidak dapat didefinisikan untuk sebuah pixel. Tekstur merupakan karakteristik untuk menganalisa permukaan sebagai jenis citra objek.

2.1.4 Jenis Citra Digital

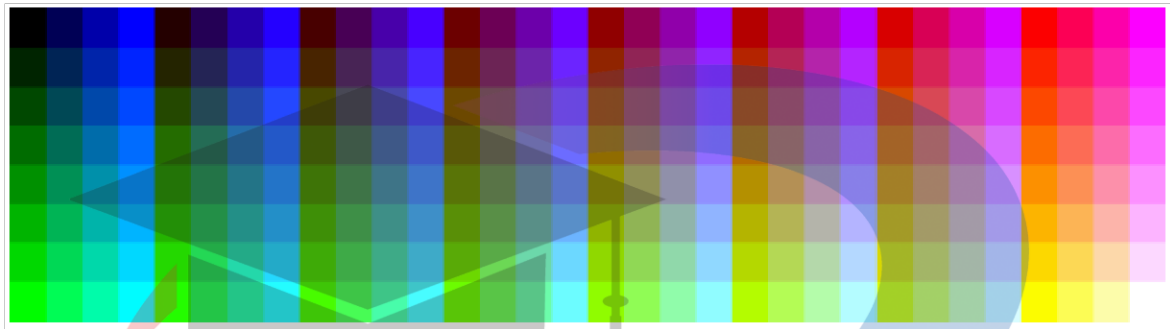
Nilai suatu *pixel* memiliki nilai dalam rentang tertentu, dari nilai minimum sampai nilai maksimum. Jangkauan yang digunakan berbeda-beda tergantung dari jenis warnanya. Namun secara umum jangkauannya adalah 0-255. Citra dengan penggambaran seperti ini digolongkan ke dalam citra *integer* (Putra, 2010).

Citra biner merupakan citra digital yang hanya memiliki dua kemungkinan nilai *pixel* yaitu hitam dan putih. Citra biner juga disebut sebagai citra B & W (*Black and White*) atau monokrom. Hanya dibutuhkan 1 *bit* untuk mewakili nilai setiap *pixel* dari citra biner. Citra biner sering kali muncul sebagai hasil dari proses pengolahan seperti segmentasi, pengembangan, morfologi, ataupun *dithering* (Munir, 2004)

Citra *grayscale* merupakan citra digital yang hanya memiliki satu nilai pada setiap pikselnya, dengan kata lain nilai bagian *red* = *green* = *blue*. Nilai tersebut digunakan untuk menunjukkan tingkat intensitas. Warna yang dimiliki adalah warna hitam, keabuan, dan putih. Tingkatan keabuan disini merupakan warna abu dengan berbagai tingkatan dari hitam hingga

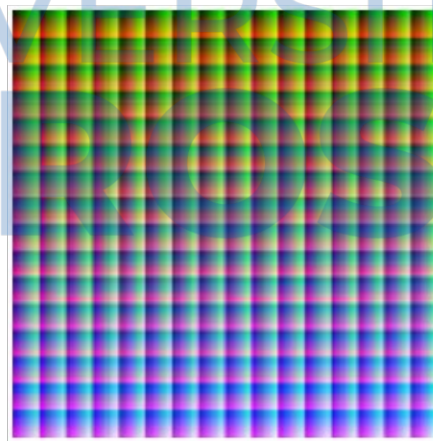
mendekati putih. Citra *grayscale* memiliki 8 bit (256 kombinasi warna keabuan) dimana terdiri dari rentang nilai 0 sampai 1 (putih hingga mendekati kehitaman) (Munir, 2004).

Setiap piksel dari citra warna (8 bit) hanya diwakili oleh 8 bit dengan jumlah warna maksimum yang dapat digunakan adalah 256 warna. Ada jenis citra warna 8 bit. Citra warna 8 bit dengan menggunakan palet warna 256 dengan paletnya memiliki pemetaan nilai (*colormap*) RGB tertentu. Model ini lebih sering digunakan. Bentuk kedua dinamakan 8 bit *truecolor* (Anita Sindar, 2017).



Gambar 2. 3 Citra 8 Bit
(Sumber: Anita Sindar, 2017)

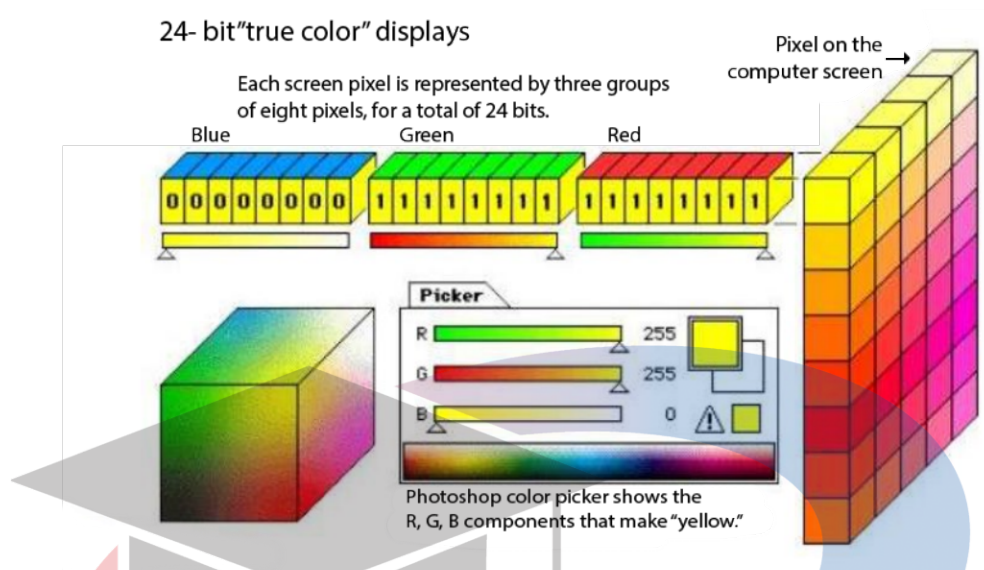
Citra warna 16bit (biasanya disebut sebagai citra *highcolor*) dengan setiap pikselnya diwakili dengan 2byte memory (16 bit). Warna 16 bit memiliki 65.536 warna. Dalam formasi bitnya, nilai merah dan biru mengambil tempat di 5bit ditambah 1bit ekstra. Pemilihan komponen hijau dengan deret 6bit dikarenakan penglihatan manusia lebih sensitif terhadap warna hijau (Anita Sindar, 2017).



Gambar 2. 4 Citra 16 Bit
(Sumber: Anita Sindar, 2017)

Setiap piksel dari citra warna 24bit diwakili dengan 24bit sehingga total 16.777.216 variasi warna. Variasi ini sudah lebih dari cukup untuk memvisualisasikan seluruh warna yang dapat dilihat penglihatan manusia. Penglihatan manusia dipercaya hanya dapat membedakan hingga 10 juta warna saja. Setiap poin informasi piksel (RGB) disimpan ke dalam 1byte data.

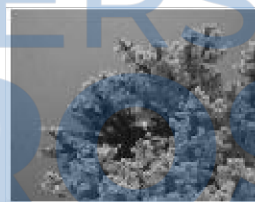
8bit pertama penyimpanan nilai biru, kemudian diikuti dengan nilai hijau pada bit kedua dan pada 8bit terakhir merupakan warna merah (Anita Sindar, 2017).



Gambar 2. 5 Citra 24 Bit
(Sumber: Anita Sindar, 2017)

2.1.5 Citra Bawah Air

Citra bawah air adalah citra digital yang diambil pada bawah permukaan air. Citra bawah air biasanya berupa gambar bawah laut dengan kondisi pencahayaan yang gelap, sehingga kualitas citra cenderung tidak bagus. Contoh citra bawah air dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2. 6 Contoh Citra Bawah Air
(Sumber: Hendrawan, et. al., 2016)

Citra air bawah laut memiliki kualitas yang gelap, hal ini tergantung dari tingkat kedalaman air pada waktu pengambilan citra atau gambar. Hambatan yang terjadi pada penelitian citra bawah air adalah adanya penyerapan dan penyebaran cahaya di lingkungan bawah air. Kejadian tersebut merupakan akibat keterbatasan jarak pandang pengambilan citra oleh kamera. Efek lain dari hal tersebut antara lain adalah hasil kualitas citra bawah air yang rusak. Peningkatan kualitas citra pada dasarnya meningkatkan persepsi atau kemampuan menerjemahkan informasi gambar untuk manusia dan memberikan masukan "lebih baik" pada teknik pengolahan citra otomatis yang lain. Tujuan utama dari peningkatan citra adalah

memodifikasi atribut gambar untuk membuatnya lebih cocok dalam menjalankan suatu tugas dan pengamatan yang lebih khusus. Faktor-faktor pengamatan yang lebih detail, seperti sistem pengamatan manusia dan pengalaman pengamat, akan memperkenalkan banyak subjektivitas ke pemilihan metode peningkatan citra (Hendrawan, et. al., 2016).

2.2 Pengolahan Citra Digital

Pengolahan citra adalah pemrosesan citra, khususnya dengan menggunakan komputer, menjadi citra yang kualitasnya lebih baik. Pengolahan citra bertujuan memperbaiki kualitas citra agar mudah diinterpretasikan oleh manusia atau mesin. Teknik-teknik pengolahan citra mentransformasikan citra menjadi citra lain. Masukannya adalah citra dan keluarannya juga citra, namun citra keluaran maupun kualitas lebih baik daripada citra masukan (Anita Sindar, 2017).

Operasi-operasi yang dilakukan dalam citra banyak ragamnya. Secara umum operasi pengolahan citra dapat diklasifikasikan dalam beberapa jenis, yaitu (Anita Sindar, 2017):

1. Perbaikan Kualitas Citra (*Image Enhancement*)

Jenis operasi itu bertujuan untuk memperbaiki kualitas citra dengan cara memanipulasi parameter-parameter citra. Dengan operasi ini, ciri-ciri khusus yang terdapat di dalam citra lebih ditonjolkan. Contoh-contoh operasi perbaikan citra adalah perbaikan kontras gelap/terang, perbaikan tepian objek (*edge enhancement*), penajaman (*sharpening*), pemberian warna semu (*pseudocoloring*), dan penapisan derau (*noise filtering*).



Gambar 2. 7 Contoh Pemugaran Citra
(Sumber: Fitria N.H, 2017)

2. Pemugaran Citra (*Image Restoration*)

Operasi ini bertujuan menghilangkan atau meminimumkan cacat pada citra. Tujuan pemugaran citra hampir sama dengan operasi perbaikan citra. Bedanya, pada pemugaran citra penyebab distorsi gambar diketahui. Contoh-contoh operasi pemugaran citra yaitu penghilangan kesamaran (*deblurring*) dan penghilangan derau (*noise*).



Gambar 2. 8 Contoh Pemugaran Citra
(Sumber: Fitria N.H, 2017)

Pengolahan citra digital adalah pemrosesan suatu citra menjadi citra yang lain dengan kualitas yang lebih baik atau buruk tergantung pada tujuan usaha manipulasinya. Pengolahan citra mempunyai tujuan untuk memperbaiki kualitas citra agar mudah diinterpretasikan oleh manusia atau komputer dengan menggunakan algoritma atau metode tertentu.

Pada umumnya, pengolahan citra berhubungan dengan citra digital. Dalam hal ini, citra $f(x,y)$ diperoleh secara diskrit dan kemudian dilakukan proses kuantisasi. Beberapa hal yang penting di dalam penolahan citra digital, antara lain : teknik-teknik pengambilan citra, pemodelan citra digital, sampling dan kuantisasi, histogram, proses *filtering*, perbaikan citra, sampai pada pengolahan citra digital yang lebih lanjut, seperti : segmentasi, *image clustering*, dan ekstraksi ciri. Pengolahan citra dapat dibagi ke dalam tiga kategori, yaitu (Munir, 2004):

1. Kategori rendah melibatkan operasi-operasi sederhana, seperti pra-pengolahan citra untuk mengurangi derau, pengaturan kontras dan pengaturan ketajaman citra. Pengolahan kategori rendah ini memiliki *input* dan *output* berupa citra.
2. Pengolahan kategori menengah melibatkan sejumlah operasi, seperti segmentasi dan klasifikasi citra. Proses pengolahan citra menengah ini melibatkan *input* berupa citra dan *output* berupa atribut (fitur) citra yang dipisahkan dari citra *input*. Penolahan citra kategori menengah ini melibatkan proses pengenalan dan deskripsi citra.
3. Pengolahan kategori tinggi ini termasuk menjadikan objek-objek yang sudah dikenali menjadi lebih bagus dan berguna, berkaitan dengan aplikasi, serta melakukan fungsi-fungsi kognitif yang diasosiasikan dengan *computer vision*.

2.2.1 Perbaikan Kualitas Citra (*Image Enhancement*)

Image enhancement merupakan pengolahan citra dengan menggunakan proses *filtering* dengan efek *sharpen*, *invert* dan *strange*, dan sebagainya. Proses pengolahan citra yang lain yang menggunakan proses *filtering* adalah perbaikan citra (*image restoration*), yang merupakan suatu proses dimana suatu citra yang telah mengalami penurunan atau degradasi dikembalikan

ke bentuk semula/aslinya (*original image*). Penurunan tingkat/mutu citra yang disebabkan oleh beberapa hal seperti penurunan tingkat kontras suatu citra yang menyebabkan citra tersebut sulit untuk dibedakan, citra yang mengalami tingkat ketajaman sehingga menjadi lebih kabur dari citra aslinya, maupun citra yang mengalami kerusakan seperti rusak karena robekan, lipatan, timbulnya bintik-bintik (*noise*) dan lain sebagainya. Secara garis besar, terdapat tiga pendekatan yang digunakan pada teknik perbaikan kualitas citra (*enhancement*), yaitu (Fitria N.H, 2017):

1. *Spatial domain method*

Spatial domain method merupakan suatu metode pengolahan citra yang pendekatannya didasarkan pada latar (bidang) citra yang berbasis pada manipulasi langsung terhadap *pixel* suatu citra.

2. *Frequency domain method*

Frequency domain method merupakan suatu metode pengolahan citra yang berbasis pada modifikasi transformasi fourier suatu citra.

3. *Interpolation method*

Interpolation method adalah suatu proses untuk menentukan harga suatu fungsi pada titik-titik posisi antara suatu sampel dengan sampel tetangganya.

2.2.2 Restorasi Citra

Restorasi citra merupakan proses yang berkaitan dengan pengurangan ataupun penghilangan degradasi/cacat pada sebuah citra agar citra menjadi mirip dengan keadaan aslinya. Restorasi Citra adalah suatu langkah untuk mendapatkan citra yang lebih jelas dari citra yang terdegradasi dengan hanya mengetahui beberapa faktor degradasi dari citra tersebut. Restorasi citra berbeda dengan peningkatan kualitas citra (*image enhancement*) meskipun keduanya sama-sama bertujuan untuk memperbaiki kualitas citra. Image enhancement lebih banyak berhubungan dengan penajaman dari fitur tertentu dalam citra, sedangkan restorasi citra memanfaatkan pengetahuan tentang proses terjadinya degradasi untuk memperoleh kembali citra asal (Afiyat, 2017).

Ketika sebuah citra ditangkap oleh kamera, sering kali terdapat beberapa gangguan yang mungkin terjadi, seperti kamera tidak fokus, muncul bintik-bintik yang disebabkan oleh proses *capture* tidak sempurna, pencahayaan yang tidak merata mengakibatkan intensitas tidak seragam, kontras citra terlalu rendah sehingga objek sulit untuk dipisahkan dari latar belakangnya atau gangguan yang disebabkan oleh kotoran-kotoran yang menempel pada citra, dan lain sebagainya. Setiap gangguan pada citra dinamakan *noise*. Citra yang mengandung

noise seperti ini memerlukan langkah-langkah perbaikan. Hal ini dilakukan untuk memfasilitasi proses analisis citra (Gonzales & Wood, 2009).

Restorasi citra (*Image Restoration*) yaitu mencari terlebih dahulu penyebab kerusakan citra setelah itu baru mengaplikasikan teknik-teknik yang ada untuk memperbaikinya. Teknik restorasi berorientasi pada pemodelan distorsi dan melakukan proses kebalikan dari distorsi dalam me-*recover* Citra aslinya. Beberapa contoh kerusakan yang bisa di restorasi seperti blur/kabur, bintik-bintik, *dual image*, *over saturated color*, dan piksel *error* (Gonzales & Wood, 2009).

Restorasi citra berkaitan dengan penghilangan atau pengurangan degradasi pada citra yang terjadi karena proses akuisisi citra. Degradasi yang dimaksud termasuk derau (yang merupakan *error* dalam nilai piksel) atau efek optis misalnya *blur* (kabur) akibat kamera yang tidak fokus atau karena gerakan kamera (Susilawati, 2009).

Tujuan terakhir dari teknik pemulihan gambar ini untuk memperbaiki gambar itu sendiri sesuai dengan beberapa pendefinisian rasa (*sense*). Teknik restorasi ini berorientasi pada memodelkan pendistorsian dan penggunaan proses kebalikan (*inverse*) dengan tujuan untuk memperoleh gambar aslinya. Pendekatan ini umumnya berkaitan dengan memformulakan kriteria kebaikan yang akan menghasilkan perkiraan optimal dari hasil yang diinginkan. Perbedaannya, teknik mempertinggi sebenarnya adalah prosedur *heuristic* yang di desain untuk memanipulasi sebuah gambar dengan tujuan untuk mendapatkan keuntungan dari aspek *psychophysical* dari sistem penglihatan manusia (Gonzales & Wood, 2009).

Restorasi juga menjelaskan tentang memperbaiki kualitas sebuah citra dengan proses matematis dan probabilitas. Berbeda dengan image enhancement yang bersifat subjektif, karena proses perbaikan citranya berdasar pada perasaan manusia. Restorasi citra digital adalah suatu teknik yang memperhatikan bagaimana mengurangi perubahan bentuk dan penurunan kualitas citra yang diawali selama pembentukan citra tersebut. Gonzales dan Wood mendefinisikan restorasi citra sebagai proses yang berusaha merekonstruksi atau mengembalikan suatu citra yang mengalami degradasi. Jadi, restorasi merupakan teknik yang berorientasi pada pemodelan degradasi dan menerapkan proses invers dalam rangka merekonstruksi pada citra yang original (Gonzales & Wood, 2009).

Kadang-kadang restorasi citra digital sering dipertukarkan dengan pengertian peningkatan kualitas citra. Kedua teknik ini memang sering bertukar metode dalam menyelesaikan masalah, tetapi titik berat restorasi adalah pada perbaikan citra yang mengalami kerusakan, baik selama proses digitalisasi maupun cacat akibat usia, jamur, goresan, pelabelan teks pada citra yang dilakukan baik sengaja maupun tidak sengaja. Sedangkan, *image*

enhancement cenderung memperhatikan perbaikan kualitas citra yang mengalami penurunan kualitas selama pembentukan citra atau justru memberi efek berlebih pada citra yang sudah ada (Gonzales & Wood, 2009).

Dalam peningkatan citra (*image enhancement*), tujuan utama dari teknik restorasi adalah untuk meningkatkan citra dalam arti yang telah ditetapkan, seperti mempertajam (*sharpening*), menilangkan derau (*noise removing*), pengaturan cahaya (*brightness*) dan lainnya. Meskipun ada bidang yang tumpang tindih, peningkatan citra sebagian besar merupakan proses yang subyektif, sedangkan restorasi citra adalah untuk sebagian besar proses obyektif. Restorasi mencoba untuk memulihkan gambar yang telah terdegradasi (menurun kualitasnya) dengan menggunakan pengetahuan atau metode-metode yang telah diketahui dari fenomena degradasi seperti bintik *noise*, *blur* (kabur) dan seterusnya (Gonzalez, 2008). Dengan demikian, teknik restorasi berorientasi ke arah gambar asli. Dalam hal ini menghilangkan *noise* (derau) adalah salah satu teknik restorasi citra yang masih banyak diteliti. Pendekatan ini digunakan untuk merumuskan kriteria perbaikan yang akan menghasilkan perkiraan yang optimal untuk hasil yang diharapkan. Sebaliknya, teknik peningkatan pada dasarnya adalah prosedur *heuristic* (coba coba) yang dirancang untuk memanipulasi gambar untuk mendapatkan peningkatan dari gambar yang terdegradasi secara pengamatan langsung, sedangkan penghilangan efek gambar blur (kabur) dengan menerapkan fungsi *deblurring* dianggap sebagai teknik restorasi. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan, termasuk juga untuk teknik restorasi citra yang terkena *noise* adalah dengan menggunakan filter spasial. Filter ini bekerja dengan membentuk jendela spasial (*spatial window*) yang akan mengevaluasi setiap nilai piksel pada citra digital. Titik pusat piksel akan dikoreksi berdasarkan nilai piksel tetangganya (Gonzalez & Woods, 2009).

1. Filter Spasial

Mekanisme dari *filter* spasial adalah membentuk *window* bujur sangkar berukuran ganjil, seperti 3x3 piksel, 5x5, 7x7 dan seterusnya. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan titik pusat piksel yang betul-betul berada di tengah-tengah (*centered*). Titik pusat ini dievaluasi terhadap tetangganya, dan koreksi dilakukan misalnya berdasarkan kedekatan jarak antara piksel pusat dan piksel tetangga. *Filter Mask* merupakan suatu himpunan nilai yang dihitung berdasarkan metode *filtering* yang digunakan. Beberapa metode *statistic* akan mengambil filter mask dari piksel- piksel yang dievaluasi, kemudian melakukan operasi *statistic* seperti menghitung *mean* (rata-rata), *median* (nilai tengah), atau modus (nilai yang sering muncul). Metode lainnya dapat juga berupa *weighted mask* yang dihitung dengan distribusi *Gauss*, *heuristic* dan lainnya.

2. Filter Spasial dengan Metode Mean

Mean di dalam *statistic* adalah rata-rata. Dalam pengolahan citra, filter *mean* memiliki maksud menghitung nilai rata-rata dari suatu spasial *window* yang dievaluasi, kemudian nilai rata-rata tersebut menggantikan nilai piksel terdegradasi di dalam setiap *window* yang bergerak mulai dari origin sampai akhir.

3. Filter Spasial dengan Metode Median

Median adalah nilai tengah dari sekelompok data yang telah diurutkan. Dalam pengurangan *noise* pada citra, data-data yang diurutkan adalah nilai piksel di dalam spasial *window*, yaitu $W(1)$ sampai $W(k^2)$. Nilai tengah dari W yang terurut kemudian menjadi nilai baru bagi piksel pada titik pusat sebagai hasil koreksi. Dalam hal ini, fungsi *MEDIAN* pada berbagai perangkat lunak pemrograman bisa dipakai, misalnya *MEDIAN(W)*.

4. Filter Rekursif

Rekursif bermakna pengulangan. Filter rekursif adalah filter yang menggunakan salah satu metode, kemudian outputnya difilter kembali dengan metode yang sama. Kita dapat membuat proses rekursif beberapa kali sesuai dengan kebutuhan dan tingkat kepuasan kita terhadap hasil yang diperoleh.

5. Filter Kombinasi

Untuk mendapatkan hasil yang memuaskan, baik secara kualitatif terhadap pengamatan langsung citra output dari filter, maupun secara kuantitatif dengan mengukur nilai PSNR-nya masing-masing, beberapa metode filter dapat digabungkan dengan kombinasi tertentu. Gabungan tersebut dapat berupa 2, 3, 4 filter berbeda dan seterusnya, dan yang mana yang dahulu pun dapat ditentukan secara coba-coba (*heuristic*).

2.3 Kabut

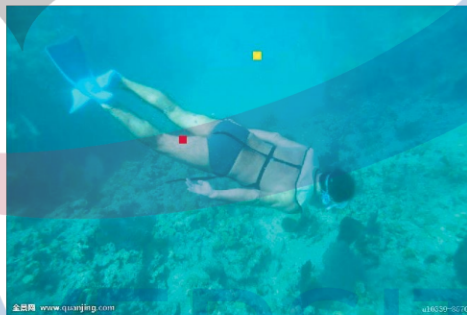
Kabut adalah uap air yang berada dekat permukaan tanah yang berkondensasi menjadi mirip awan. Udara di sekitar kita mengandung air dalam bentuk uap atau gas. Tapi, udara hangat mampu menampung uap air dalam jumlah yang lebih banyak. Ketika didinginkan, maka uap air yang tadinya ada di udara akan mengembun sebagian dan kembali ke wujud semula, yakni wujud cair (Nafi & Aziz, 2017).

Diwaktu atau tempat tertentu, seperti perpindahan dari malam ke pagi hari atau di lereng pegunungan, udara akan mengalami perubahan suhu. Sehingga uap air atau gas akan mencapai titik jenuh dan berubah kembali menjadi air (Nafi & Aziz, 2017).

Air ini hanya berupa titik-titik yang sangat ringan, sehingga mereka bisa melayang-layang di udara. Karena jumlahnya yang sangat banyak, maka titik-titik air yang melayang ini sanggup mengganggu penglihatan (Nafi & Aziz, 2017).

Haze merupakan suatu gangguan yang terdapat pada citra yang dapat berupa kabut, asap, atau sesuatu yang diakibatkan oleh fenomena atmosfer. *Haze* adalah sebuah gangguan yang harus segera dihilangkan karena mengganggu vision sebuah kamera. Oleh karena itu, dilakukanlah proses *dehazing* yang dapat menghilangkan gangguan tersebut. *Dehazing* sangat dibutuhkan dalam dunia fotografi dan komputer *vision* karena dapat meningkatkan visibilitas citra secara signifikan dan dapat mengkoreksi perubahan warna yang dikarenakan oleh *airlight* (cahaya yang berasal dari langit) (Nafi & Aziz, 2017).

Secara umum, kabut merupakan tetes-tetes air yang sangat kecil dan berkumpul melayang di udara. Kabut biasa terlihat di wilayah yang memiliki udara dingin dan terletak di dataran tinggi. Kabut hampir sama dengan awan, bedanya adalah awan tidak menyentuh tanah, sedangkan kabut menyentuh tanah (Nafi & Aziz, 2017).



Gambar 2. 9 Contoh Citra Berkabut
(Sumber : Yao & Xiang, 2018)

2.4 Dehazing Citra

Gambar di luar ruangan yang ditangkap dalam cuaca buruk seperti kabut dan kabut tidak dapat terlihat dengan jelas dan sulitnya mendapatkan informasi yang diinginkan. Hal ini terjadi karena asap, kabut, dan debu yang ada di atmosfer. Kualitas dari citra tersebut berkurang hingga mengurangi kontras dan visibilitas. Kabut tersebut membuat citra sulit untuk membedakan objek dengan latar. Hal ini bisa sangat penting dalam hal keselamatan lalu lintas, kamera ruang penginderaan jauh, pengawasan video, dll (Khandelwal, et. al., 2018).

Penghapusan kabut (*Fog Removal*) juga dikenal sebagai Restorasi Visibilitas. Menghapus kabut(*haze*) dan kabut(*fog*) adalah bagian dari masalah pelapukan cuaca atau biasa penyebab dari buruknya cuaca. *Dehazing* citra merupakan usaha atau cara yang dilakukan untuk menghilangkan noise berupa kabut dalam citra dengan menggunakan metode pengolahan citra. Dalam penelitian penulis, *noise* yang dimaksud adalah kabut yang terdapat pada citra kawah

gunung Kelud. Banyak metode pengolahan citra yang dapat dilakukan untuk menghilangkan kabut, yaitu menggunakan metode *Guided Image Filter*, *Fast Image Filter*, dan *Dark Channel Prior* (Khandelwal, et. al., 2018).

Selain itu, pada proses menghilangkan kabut perlu dilakukan beberapa langkah dimulai dengan memasukkan citra berkabut (*Hazy Image Input*), dilanjutkan dengan proses menghapus kabut pada citra tunggal dengan metode Dark Channeling. Berikut ini adalah proses yang diperlukan dalam menghapus kabut (Khandelwal, et. al., 2018):

Hazy Image Input merupakan citra masukan digital atau citra berkabut yang akan diolah menggunakan metode DCP. Dapat digambarkan sebagai berikut:

$$I(\mathbf{x}) = J(\mathbf{x})t(\mathbf{x}) + A(\mathbf{1} - t(\mathbf{x})) \quad (1)$$

Diatas adalah persamaan gambar berkabut, penjelasan untuk tiap variabel adalah sebagai berikut:

$\mathbf{x} = (x, y)$ adalah vektor dua dimensi yang merepresentasikan koordinat posisi piksel (x, y) pada gambar.

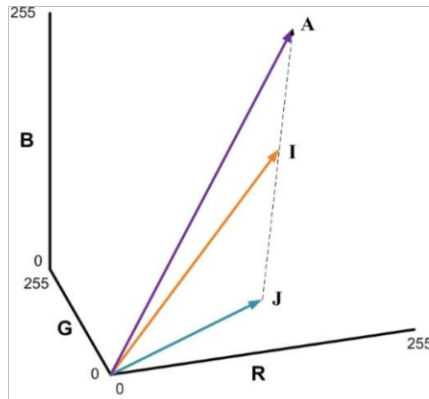
I merepresentasikan gambar berkabut yang terlihat. (\mathbf{x}) adalah vektor tiga dimensi RGB pada piksel.

J merepresentasikan pantulan gambar sesungguhnya. (\mathbf{x}) adalah vektor tiga dimensi RGB warna pantulan cahaya sesungguhnya pada titik \mathbf{x} .

t adalah pemetaan yang disebut transmisi atau transparansi dari kabut. (\mathbf{x}) adalah skalar pada $[0, 1]$. Dimana, $(\mathbf{x}) = 0$ artinya berkabut atau buram, $(\mathbf{x}) = 1$ artinya tidak berkabut dan benar-benar jelas, dan $0 < (\mathbf{x}) < 1$ artinya tidak terlalu berkabut dan juga tidak terlalu jelas.

A adalah cahaya atmosfer. Yaitu vektor tiga dimensi RGB yang biasanya dianggap sebagai ruangan yang konstan.

Citra yang mengalami gangguan adalah ketika warna RGB, nilai A , $I_c(\mathbf{x})$, dan $J_c(\mathbf{x})$ berada pada satu bidang dan satu garis lurus seperti yang dimodelkan pada Gambar 2.10 berikut ini:



Gambar 2. 10 *Hazy Image Model*
(Sumber: He, et. al., 2011)

Vektor warna **I** adalah kombinasi linier dari **J** dan **A**. Dimana **R**, **G**, dan **B** adalah saluran warna merah, hijau, dan biru. Sedangkan **I** adalah citra berkabut, **A** adalah cahaya atmosfer, **L** adalah garis yang menghubungkan titik-titik, dan **J** adalah citra tanpa kabut. Singkatnya, dehazing adalah untuk mengembalikan J^c dari I^c dengan mengestimasi t dan **A** (Putra & Mustahafa, 2019).

Dimana $J(x)t(x) + A(1-t(x))$ adalah istilah multiplikatif yang dikenal sebagai atenuasi langsung. Istilah lainnya disebut cahaya udara. Atenuasi langsung menggambarkan radiasi cahaya dan peluruhannya dalam medium. **A** adalah distorsi aditif yang dihasilkan dari cahaya yang sebelumnya tersebar dan menyebabkan perubahan warna pada citra. Dalam atmosfer yang homogen, transmisi dinyatakan sebagai (He, et. al., 2011):

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

Ket:

β = Koefisien hamburan atmosfer

d = kedalaman citra

Persamaan (7) menyatakan bahwa dalam ruang warna RGB, Vektor **A**, **J(x)** dan **I(x)** terletak pada bidang yang sama dan titik akhirnya adalah collinear. Transmisi $t(x)$ juga dapat direpresentasikan sebagai rasio dari dua segmen saluran:

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

Dimana $c \in \{r, g, b\}$ merupakan warna channel utama

Tujuan defogging adalah pemulihan radiasi cahaya **J(x)** dari intensitas yang diamati **I(x)** di persamaan. Untuk itu kita perlu estimasi transmisi $t(x)$ dan sumber cahaya **A**. Lalu radiasi cahaya dapat dipulihkan dengan cara:

$$J(x) = \frac{I(x) - A}{\max(t(x), t_0)} + A \quad (4)$$

Di mana, t_0 adalah konstanta yang sangat kecil (0,0001) hanya untuk menghindari pembagian yang habis dibagi dengan nol.

2.5 Modified Dark Channel Prior (DCP) Based Dehazing

Kaiming He memperkenalkan istilah *dark channel* pada tahun 2011. Dia berpendapat bahwa setiap *pixel* didalam citra mempunyai intensitas rendah bahkan ada yang sampai mendekati nol (He, et al., 2011). *Dark channel prior* merupakan metode dengan menggunakan *dark pixels*, yaitu *pixel* yang memiliki intensitas yang sangat rendah dari tiga lapisan warna (RGB). *Pixel* dengan intensitas rendah, dianggap bukan sebagai kabut.

Dark channel prior pada dasarnya adalah pendekatan berbasis statistika. Jika kita mengamati pada citranya, yang tidak terlibat didalamnya area berwarna putih seperti langit, pada beberapa *pixel* yang terdapat pada satu saluran warna (RGB) yang memiliki kecenderungan intensitas rendah. Bahkan intensitas tersebut sampai mendekati angka nol. *Pixel* inilah yang kemudian disebut sebagai *pixel* gelap atau *dark pixels*. Dari deskripsi diatas, bisa diasumsikan bahwa *transmission map* dan kabut bisa diestimasi secara akurat. Dikarenakan pada area yang berkabut dan pada *pixel* tertentu, ketiga saluran warna RGB masing-masing memiliki kecenderungan intensitas yang tinggi. Sehingga, intensitas yang tinggi ini menyebabkan warna citra menjadi cenderung berwarna putih (He, et al., 2011).

Ada tiga hal yang menjadi pertimbangan dalam menggunakan metode *dark channel prior*. Yang pertama ialah pengamatan ini semata-mata berdasarkan kondisi luar ruangan yang cerah. Namun adakalanya pada sebagian kondisi cerah metode dari *dark channel prior* berlaku dan adakalanya dari sebagian kecil kondisi lingkungan yang cerah akan menjadikan metode ini tidak berlaku (He, et al., 2011).

Pertimbangan kedua adalah metode ini sangat cocok untuk kondisi di luar ruangan dibanding kondisi di dalam ruangan. Hal ini disebabkan karena kondisi di luar ruangan mempunyai banyak sekali objek yang terkandung didalam citranya. Contohnya adalah citra pemandangan alam. Jika dilihat, objek dari pemandangan tersebut bisa dibagi berdasarkan jaraknya, objek jarak jauh, objek jarak menengah, dan objek jarak dekat. Sebagai contoh dari objek jarak jauh adalah gunung sebagai latar dari citra tersebut, sawah sebagai objek jarak menengah, dan rumah sebagai objek jarak dekat dari kamera itu sendiri. Artinya, kamera yang digunakan untuk mengambil citra akan sangat berpengaruh nantinya (He, et al., 2011).

Dark channel prior sendiri didefinisikan bahwa dalam beberapa pixel dari suatu citra, salah satu dari saluran warna RGB ada yang memiliki intensitas yang rendah bahkan cenderung mendekati nol. Intensitas rendah tersebut berada di bawah nilai ambang batas γ (He et al., 2011):

$$J_{dark}(x) = \frac{\min_{c \in (r,g,b)} J_c(x)}{\gamma} \quad (5)$$

Apabila $J_{dark}(x)$ adalah pixel gelap yang terdapat pada koordinat pixel x , maka dark channel pada koordinat pixel p bisa ditulis sebagai $J_{dark}(p)$ selama nilai koordinat pixel x lebih besar dari nilai koordinat pixel p . J adalah citra cerah, maka *dark channel* dari J adalah (He, et al., 2011):

$$J_{dark} = \min_{p \in \Omega} \left(\min_{c \in (r,g,b)} (J_c(P)) \right) \quad (6)$$

Dark channel merupakan hasil dari perhitungan dua operator minimum. Yang pertama adalah operator $\min_{c \in (r,g,b)}$. Operator ini berfungsi untuk mengambil saluran warna RGB minimal yang berada pada tiap-tiap pixel. Kedua adalah operator $\min_{p \in \Omega(x)}$, operator ini digunakan untuk memproses tiap pixel dari jendela blok dalam ukuran tertentu. Pada dasarnya, proses perhitungan metode *dark channel* dapat digunakan untuk objek berupa citra. Citra yang digunakan tidak harus berupa citra yang benar-benar cerah atau tidak mengandung kabut. Jadi, metode *dark channel* bisa digunakan untuk citra berkabut maupun citra yang tidak berkabut (He, et al., 2011).

Walaupun proses pencitraan di bawah air mirip dengan proses pada udara, namun terdapat beberapa perbedaan jelas yang mencakup koefisien pelemahan dari cahaya, sumber cahaya dan ciri berbeda lainnya di dalam air. Cahaya sekeliling B_∞ dan transmisi $t(x)$ akan menjadi tidak benar jika *dark channel prior* diterapkan secara langsung. Oleh karena itu, perlu diestimasi cahaya sekeliling B_∞ dan transmisi $t(x)$ (Yao dan Xiang, 2018).

1. Estimasi cahaya sekeliling.

Langkah kerja yang dilakukan untuk mengestimasi cahaya sekeliling dapat dideskripsikan sebagai berikut:

- a. Buang 0.1 % tertinggi dari piksel terbesar pada citra *difference*, dengan mempertimbangkan keberadaan dari objek biru pada visi kamera yang akan memiliki efek buruk pada citra hasil perbaikan. Citra *difference* dapat dihitung dengan menggunakan rumusan berikut:

$$\text{Differ} = \max \{G, B\} - R \quad (7)$$

dimana *channel* hijau dimasukkan ke dalam perhitungan karena kadang-kadang citra bawah air berwarna kehijauan dan menggunakan perbedaan antara *channel* hijau dan merah akan lebih efektif.

- b. Pilih 1 % tertinggi dari piksel terbesar pada sisa piksel sebagai citra hasil sementara.
 - c. Klasifikasikan piksel yang diperoleh pada langkah (b) diatas berdasarkan pada posisi spasial piksel tersebut pada citra asli, dan kelompokkan piksel tersebut pada sebuah area yang identik jika piksel tersebut saling bertetangga (*adjacent*).
 - d. Pilih area terbesar sebagai daerah terseleksi terakhir yang memiliki jarak terjauh dari kamera. Pada daerah ini, piksel dengan intensitas tertinggi akan dipilih sebagai cahaya sekeliling (*ambient light*) B_{∞} .
2. Estimasi transmisi.

Cahaya sekeliling B_{∞} telah diperoleh pada langkah sebelumnya, sebuah transmisi kasar $t(x)$ dapat diestimasi dengan menggunakan rumusan berikut:

$$t(x) = 1 - \min_{y \in \Omega(x)} \left(\min_{c \in \{r, g, b\}} \frac{I^c(y)}{B_{\infty}} \right) \quad (8)$$

Namun, proses pelemahan cahaya di dalam air sangat berbeda dengan di udara, karena penyerapan berbeda dari air, cahaya dengan panjang gelombang berbeda memiliki koefisien pelemahannya sendiri. Secara umum, semakin panjang gelombang maka pelemahan akan semakin buruk dan memiliki transmisi yang lebih kecil. Secara alami, untuk ketiga *channel* merah, biru dan hijau, dapat diperoleh rumusan berikut:

$$\min_{\lambda \in \{r, g, b\}} t_{\lambda}(x) = t_r(x) \quad (9)$$

Sehingga, transmisi yang diperoleh secara langsung sebenarnya merupakan transmisi dari *channel* merah seperti terlihat pada rumusan berikut:

$$t_r(x) = 1 - \min_{y \in \Omega(x)} \left(\min_{\lambda \in \{r, g, b\}} \frac{I_{\lambda}(y)}{B_{\lambda, \infty}} \right) \quad (10)$$

Agar dapat memperoleh citra secara keseluruhan, maka transmisi terhadap channel biru dan hijau juga harus dilakukan. Namun, akan sangat sulit untuk memperoleh transmisi dari ketiga *channel* melalui citra secara langsung. Namun, terdapat cara lain untuk mengestimasiya, yaitu dengan mengevaluasi koefisien pelemahan cahaya. Untuk melakukannya, maka perlu untuk mengevaluasi cahaya dengan panjang gelombang berbeda. Duntley dan Jerlov menjabarkan bahwa air laut dapat dibagi menjadi tiga tipe

secara kasar. Air type-I merepresentasikan air yang sangat jernih dan air type-II merepresentasikan air pada kebanyakan pesisir jernih dengan koefisien pelemahan yang lebih tinggi. Sedangkan air type-III merepresentasikan air keruh. Duntley juga memperkenalkan sebuah parameter yang disebut sebagai $N_{rer}(\lambda)$ yang digunakan untuk mengukur pelemahan cahaya. Untuk air Type-I, rasio residu energi dapat ditentukan sebagai berikut:

$$N_{rer}(\lambda) = \begin{cases} 0.80 \sim 0.85, & \text{if red} \\ 0.93 \sim 0.97, & \text{if green} \\ 0.95 \sim 0.99, & \text{if blue} \end{cases} \quad (11)$$

Dengan menggunakan nilai ini, maka dapat diperoleh hubungan antara ketiga channel. Kemudian, transmisi dari channel hijau dan biru dapat dihitung dengan menggunakan rumusan berikut:

$$\begin{aligned} t_g &= e^{-c_g d(x)} = (e^{-c_r d(x)})^{c_g/c_r} = t_r^{c_g/c_r} \\ t_b &= e^{-c_b d(x)} = (e^{-c_r d(x)})^{c_b/c_r} = t_r^{c_b/c_r} \end{aligned} \quad (12)$$

Dimana c_r , c_g , c_b adalah koefisien pelemahan cahaya dari ketiga *channel* warna dengan *range* nilai yang dapat dilihat pada perincian rumusan $N_{rer}(\lambda)$ diatas.

3. Koreksi warna.

Untuk menghilangkan distorsi warna, intensitas dari ketiga channel harus sama. Oleh karena itu, perlu dilakukan beberapa proses untuk menyesuaikan citra *dehazing* yang diperoleh. Pertama, hitung rata-rata dari ketiga channel:

$$average = \frac{1}{3}(e(R) + e(G) + e(B)) \quad (13)$$

Kemudian, dengan menggunakan nilai rata-rata (*average*) ini, setiap channel dapat disesuaikan dengan menggunakan rumusan berikut:

$$\begin{aligned} R_{new} &= R \times \frac{average}{e(R)} \\ G_{new} &= G \times \frac{average}{e(G)} \\ B_{new} &= B \times \frac{average}{e(B)} \end{aligned} \quad (14)$$

2.6 Histogram Equalization

Histogram citra adalah grafik yang menggambarkan penyebaran nilai-nilai intensitas *pixel* dari suatu citra atau bagian tertentu di dalam citra. Dari sebuah histogram dapat diketahui

frekuensi kemunculan nisbi (*relative*) dari intensitas pada citra tersebut. Histogram juga dapat menunjukkan banyak hal tentang kecerahan (*brightness*) dan kontras (*contrast*) dari sebuah gambar.

Histogram citra merupakan grafik yang dapat digunakan untuk mengetahui sebaran tingkat keabuan suatu citra. Histogram dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$h_i = n_i / n \dots\dots\dots (15)$$

Dimana :

n_i = jumlah pixel yang mewakili nilai keabuan i ($i = 0 \dots L-1$)

L = maksimal interval warna

n = total pixel dalam citra

h_i = probabilitas dari nilai keabuan i

(Indah Permata Sari, 2016)

Tujuan dari perataan histogram adalah untuk memperoleh penyebaran histogram yang merata, sedemikian sehingga setiap derajat keabuan memiliki jumlah pixel yang relatif sama (Munir, 2004).

Fungsi transformasi intensitas berdasarkan informasi yang diambil dari intensitas citra histogram memainkan peran sentral dalam pengolahan gambar, di bidang-bidang seperti perbaikan, kompresi, segmentasi, dan deskripsi. Fokus bagian ini adalah pada memperoleh, merencanakan, dan menggunakan histogram untuk peningkatan citra (Gonzalez, et al., 2009).

Histogram citra adalah grafik yang menggambarkan penyebaran nilai-nilai intensitas pixel dari dari suatu citra atau bagian tertentu di dalam citra. Secara matematis histogram citra dihitung dengan rumus (Fisher, Perkins, Walker, & Wolfart, 2003):

$$h_i = n_i/n \quad , i=0,1,2,3,\dots,L-1 \quad (16)$$

Keterangan : - n_i = jumlah pixel yang memiliki derajat keabuan i

- n = jumlah seluruh pixel di dalam citra

Dengan teknik perataan histogram nilai-nilai intensitas di dalam citra akan diubah sehingga penyebaran akan menjadi seragam / uniform. Sebelumnya, teknik perataan histogram merupakan gabungan antara penggeseran dan pelebaran histogram. Tujuan yang akan dicapai pada teknik ini adalah untuk mendapatkan citra dengan daerah tingkat keabuan yang penuh dan dengan distribusi pixel pada setiap tingkat keabuan yang merata. Dengan kata lain, Tujuan dari perataan histogram ini adalah untuk memperoleh penyebaran histogram yang merata, sehingga setiap derajat keabuan memiliki jumlah pixel yang relative sama, tetapi seringkali histogram hasil perataan tidak benar-benar tersebar. Alasannya adalah derajat keabuan terbatas jumlahnya dan jumlah pixel yang digunakan sangat terbatas (Fisher, Perkins, Walker, & Wolfart, 2003).

Pada perataan histogram, rumus histogram ditulis sebagai fungsi peluang (Gonzales & Woods, 2009):

$$P_r(r_k) = n_k / n$$

$$r_k = k / L-1, 0 \leq k \leq L-1 \quad (17)$$

- Derajat keabuan (k) dinormalkan terhadap derajat keabuan terbesar (L-1).
- $r_k = 0$ adalah hitam, $r_k = 1$ adalah putih.

Dimana pengubahan nilai keabuan pixel r menjadi pixel s dengan fungsi transformasi akan mendapatkan perataan histogram, maka ada sifat yang harus dilalui (Gonzales & Woods, 2009):

- Nilai s didapat dari pemetaan 1 ke 1 dari r . Sifat ini menjamin representasi intensitas yang konsisten tetap. Yang berarti r dapat diperoleh kembali dengan transformasi invers.

$$r = T^{-1}(s), 0 \leq s \leq 1$$
- Apabila $0 \leq r_i \leq 1$, maka $0 \leq T(r) \leq 1$.

Dalam bentuk diskrit (bilangan bulat), nilai-nilai s diperoleh dengan persamaan berikut (Gonzales & Woods, 2009):

$$s_k = T(r_k) = \frac{\sum_{j=0}^k n_j}{n} = \sum_{j=0}^k P_r(r_j) \quad (18)$$

Dimana :

$$0 \leq r_k \leq 1, k = 0, 1, 2, \dots, L-1$$

2.7 Metode Deep Convolutional Neural Network (DCNN)

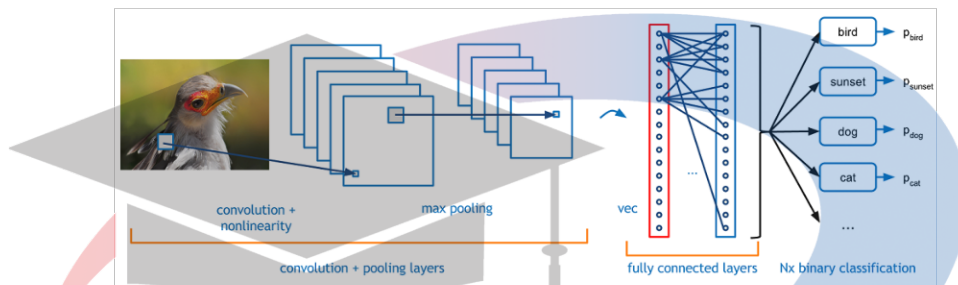
CNN adalah variasi dari *Multilayer Perceptron* yang terinspirasi dari jaringan syaraf manusia. Penelitian awal yang mendasari penemuan ini pertama kali dilakukan oleh Hubel dan Wiesel[6] yang melakukan penelitian *visual cortex* pada indera penglihatan kucing. *Visual cortex* pada hewan sangat *powerful* dalam sistem pemrosesan visual yang pernah ada. Hingga banyak penelitian yang terinspirasi dari cara kerjanya dan menghasilkan model-model baru diantaranya seperti Neocognitron, HMAX, dan LeNet-5 (Zufar & Budi Setiyono, 2016).

Convolutional Neural Networks merupakan suatu *layer* yang memiliki susunan *neuron* 3D (lebar, tinggi, kedalaman). Lebar dan tinggi merupakan ukuran *layer* sedangkan kedalaman mengacu pada jumlah *layer*. Secara umum jenis *layer* pada CNN dibedakan menjadi dua yaitu (Zufar & Budi Setiyono, 2016) :

1. *Layer* ekstraksi fitur gambar, letaknya berada pada awal arsitektur tersusun atas beberapa *layer* dan setiap *layer* tersusun atas *neuron* yang terkoneksi pada daerah lokal (*local region*) *layer* sebelumnya. *Layer* jenis pertama adalah *layer* konvolusi dan *layer* kedua adalah *layer pooling*. Setiap *layer* diberlakukan fungsi aktivasi. Posisinya berselang-

seling antara jenis pertama dengan jenis kedua. *Layer* ini menerima input gambar secara langsung dan memprosesnya hingga menghasilkan keluaran berupa vektor untuk diolah pada layer berikutnya

2. *Layer* klasifikasi, tersusun atas beberapa layer dan setiap *layer* tersusun atas *neuron* yang terkoneksi secara penuh (*fully connected*) dengan *layer* lainnya. *Layer* ini menerima input dari hasil keluaran *layer* ekstraksi fitur gambar berupa vektor kemudian ditransformasikan seperti *Multi Neural Networks* dengan tambahan beberapa *hidden layer*. Hasil keluaran berupa skoring kelas untuk klasifikasi.

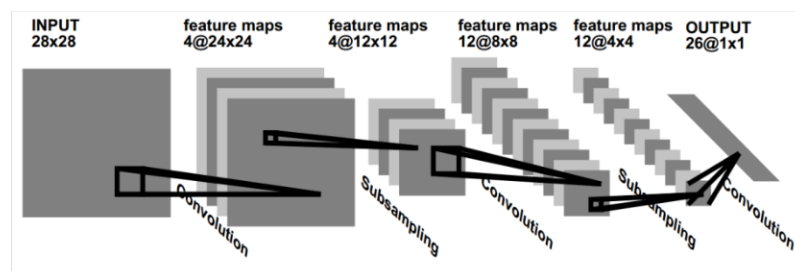


Gambar 2. 11 Contoh Arsitektur CNN
(Sumber: Widyastuti, 2017)

CNN merupakan metode untuk mentransformasikan gambar original *layer per layer* dari nilai piksel gambar kedalam nilai skoring kelas untuk klasifikasi. Dan setiap *layer* ada yang memiliki *hyperparameter* dan ada yang tidak memiliki parameter (bobot dan bias pada *neuron*).

1. Convolutional Layer

Convolutional Neural Networks menggabungkan tiga pokok arsitektur, yaitu *local receptive fields*, *shared weight* yang berupa *filter*, dan *spatial subsampling* yang berupa *pooling*. Konvolusi atau yang biasa disebut dengan *convolution* merupakan matriks yang berfungsi untuk melakukan filter. Dalam melakukan proses *filtering* terdapat dua matriks, yaitu matriks pada *value input* dan matriks *kernel*. Dalam CNN terdapat beberapa layer yang berfungsi untuk melakukan *filter* yang telah ditetapkan pada saat proses *training* (Abhirawan, Jondri, & Arifianto, 2017)



Gambar 2. 12 Arsitektur Convolutional Neural Network
(Sumber: Abhirawan et al., 2017)

Convolution Layer memiliki beberapa parameter, yaitu ukuran *kernel*, *skipping factors* dan *connection table*. Kernel dalam CNN selalu bergeser terhadap daerah yang ada pada gambar *input*, sedangkan *Skipping factor* merupakan jumlah *pixel* yang bergeser pada *kernel*. Ukuran dari *output* pada *map* adalah (Abhirawan et al., 2017) :

$$M_x^n = \frac{M_x^{n-1} - K_x^n}{S_x^{n+1}} + 1 ; M_y^n = \frac{M_y^{n-1} - K_y^n}{S_y^{n+1}} + 1 \quad (19)$$

Yang mana :

M_x, M_y = Ukuran *feature maps*

S_x, S_y = *Skipping Factors*

K_x, K_y = Ukuran *kernel*

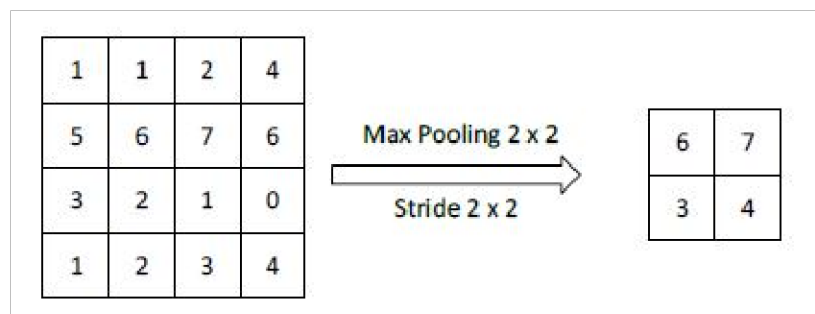
n = Letak layer pada saat proses

2. *Pooling Layer*

Pooling Layer terdiri dari sebuah *filter* dengan ukuran dan *stride* tertentu. Setiap pergeseran akan ditentukan oleh jumlah *stride* yang akan digeser pada seluruh *area feature map* atau *activation map*. Dalam penerapannya, *Pooling Layer* yang biasa digunakan adalah *Max Pooling* dan *Average Pooling*. Sebagai contoh, apabila kita menggunakan *Max Pooling 2x2* dengan *Stride 2*, maka pada setiap pergeseran filter, nilai yang diambil adalah nilai yang terbesar pada area 2x2 tersebut, Sedangkan *Average Pooling* akan mengambil nilai rata-rata (Nurfita & Ariyanto, 2018).

Tujuan dari *pooling layer* adalah mengurangi resolusi dari *feature maps*. Dalam *pooling layer*, terdapat beberapa operasi yaitu diantaranya : *max pooling* dan *average pooling* (Nurfita & Ariyanto, 2018).

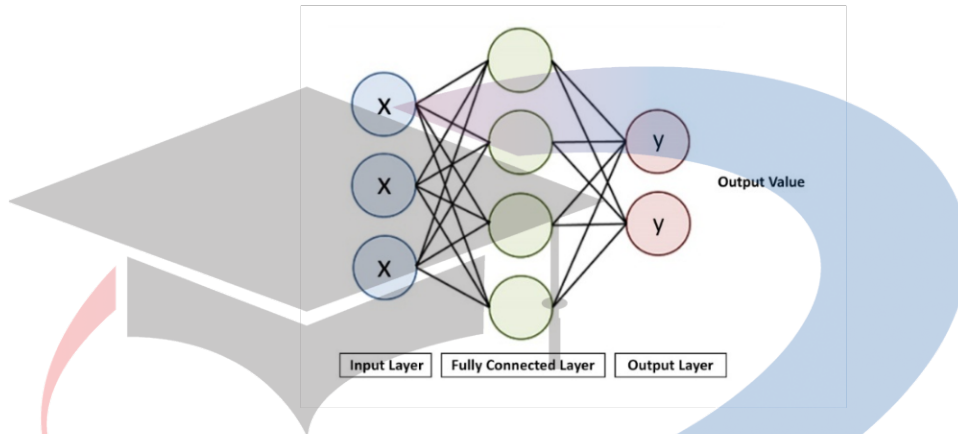
Berikut merupakan contoh proses dari *Max Pooling* dengan ukuran 2 x 2.



Gambar 2. 13 Contoh Proses *Pooling Layer*
(Sumber: Abhirawan et al., 2017)

3. Fully Connected Layer

Feature map yang dihasilkan oleh tahap sebelumnya berbentuk *multidimensional array*. Sehingga, sebelum masuk pada tahap *Fully Connected Layer*, *Feature Map* tersebut akan melalui proses "*flatten*" atau *reshape*. Proses *flatten* menghasilkan sebuah vektor yang akan digunakan sebagai input dari *Fully Connected Layer*. *Fully Connected Layer* memiliki beberapa *Hidden Layer*, *Action Function*, *Output Layer* dan *Loss Function* (Nurfita & Ariyanto, 2018).



Gambar 2. 14 Fully Connected Layer
(Sumber: Nurfita & Ariyanto, 2018)

Citra bawah air yang diambil terutama terdiri dari dua bagian: transmisi cahaya langsung dipantulkan oleh permukaan benda, dan transmisi cahaya yang tersebar dengan cara ditangguhkan partikel yang ada di air. Secara matematis, pembentukan gambar bawah air dapat dimodelkan seperti pada rumusan berikut (Wang, et. al., 2017):

$$I_{ij}^{\lambda} = J_{ij}^{\lambda} \eta_{ij}^{\lambda} t_{ij} + B_{surf} \eta_{ij}^{\lambda} (1 - t_{ij}). \quad (20)$$

dimana:

I : citra hasil perbaikan

J : citra asli

λ : panjang gelombang dari cahaya

η^{λ} : koefisien total pelemahan cahaya lingkungan

B_{surf} : cahaya udara pada permukaan air dan di-set bernilai 1

T : pemetaan transmisi

Mengestimasi koefisien pelemahan η^{λ} dan pemetaan transmisi t secara akurat merupakan hal mendasar yang penting untuk proses perbaikan kualitas citra bawah air.

Proses kerja dari metode *Deep Convolutional Neural Network* (DCNN) dalam melakukan proses *dehazing* untuk citra bawah air dapat dirincikan sebagai berikut:

1. Input citra asli.
2. Pecahkan citra *input* menjadi subblok berukuran 32 x 32.
3. Lakukan proses konvolusi Conv1.
4. Lakukan proses konvolusi Conv2.
5. Lakukan proses *Max Pooling* dengan kernel berukuran 4 x 4.
6. Lakukan proses konvolusi CC-conv3 dengan kernel berukuran 5 x 5.
7. Lakukan proses *Max Pooling* dengan kernel berukuran 4 x 4.
8. Lakukan proses konvolusi CC-conv4 dengan kernel berukuran 22 x 22.
9. Estimasi nilai η^λ dari persamaan (20) diatas dengan menggunakan metode DCNN.
10. Hitung nilai pemetaan kedalaman d_{ij} untuk setiap elemen warna.
11. Hitung nilai citra hasil J.

(Zhang, et. al., 2014).

2.8 Absolute Mean Brightness Error (AMBE)

Anggap $A(m, n)$ dan $B(m, n)$ adalah citra asli dan citra hasil perbaikan, dimana $m \times n$ merepresentasikan ukuran dari citra. AMBE dapat dihitung dengan menggunakan rumusan berikut (Gupta dan Porwal, 2016):

$$AMBE = |E[Y] - E[X]| \quad (21)$$

dimana:

$E[Y]$ dan $E[X]$ adalah nilai rata-rata (*mean*) gray level dari citra hasil perbaikan dan citra asli, yang dapat dihitung dengan menggunakan rumusan berikut (Gupta dan Porwal, 2016):

$$\begin{aligned} E[X] &= \frac{1}{m \times n} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} A(i, j), \\ E[Y] &= \frac{1}{m \times n} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} B(i, j). \end{aligned} \quad (22)$$

Sementara itu, X dan Y melambangkan citra *input* dan *output*.

AMBE telah digunakan untuk mengukur seberapa bagus sebuah teknik *histogram equalization* (HE) dalam menjaga kecerahan asli dari sebuah citra. Ide untuk menjaga kecerahan pertama kali diperkenalkan oleh penemu metode BBHE. Penemu metode tersebut menyarankan bahwa akar penyebab efek yang tidak diinginkan terletak pada kegagalan untuk mempertahankan kecerahan asli suatu gambar. Dalam praktik saat ini, AMBE yang lebih rendah ditafsirkan sebagai kecerahan asli lebih baik dipertahankan dan dengan demikian, akan menghasilkan output dengan kualitas yang lebih tinggi (Chen, et. al., 2013).