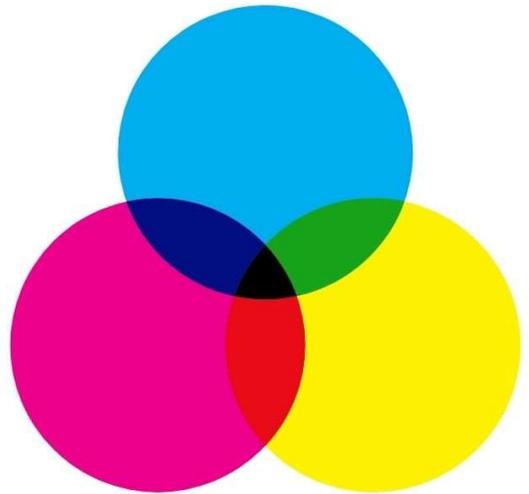


DASAR PENGOLAHAN CITRA DIGITAL



MANGARAS YANU FLORESTIYANTO



LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" YOGYAKARTA

Dasar Pengolahan Citra Digital

Mangaras Yanu F.

Copyright © Mangaras Yanu F. 2020

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanis, termasuk memfotocopy, merekam, atau dengan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penyusun.

Cetakan Pertama, 2020

ISBN:

Diterbitkan oleh:

Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat

UPN Veteran Yogyakarta

Jl. SWK 104 (Lingkar Utara), Condongcatur , Yogyakarta, 55283

Telp. (0274) 486188,486733, Fax. (0274) 486400

Prakata

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga Buku Ajar dengan judul "Dasar Pengolahan Citra" ini telah selesai disusun. Buku ajar ini merupakan dokumentasi hasil penelitian yang telah dilakukan oleh penyusun, yang diharapkan dapat dijadikan sebagai pedoman untuk mengajar mata kuliah dengan topik bahasan "Pengolahan Citra".

Terimakasih kami sampaikan kepada Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta khususnya pada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat atas dukungan pendanaan sehingga kami dapat menyelesaikan penelitian yang kami jadikan sebagai dasar dalam penyusunan buku ini. Terimakasih juga kami sampaikan kepada semua pihak yang tidak bisa kami sebutkan satu-persatu yang telah berkontribusi baik dalam penelitian yang telah kami lakukan maupun dalam penyusunan buku ini.

Kami menyadari masih terdapat kekurangan dalam buku ini, untuk itu kritik dan saran terhadap penyempurnaan buku ini sangat diharapkan. Semoga buku ini dapat memberi manfaat bagi Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta khususnya dan bagi semua pihak yang membutuhkan.

Yogyakarta, September 2020

Penyusun

Daftar Isi

Prakata	ii
Daftar Isi	iii
Pengertian Citra.....	1
Perbedaan Citra Analog dan Citra Digital	1
Jenis-Jenis Citra Digital	2
Elemen-elemen Citra Digital	3
Sistem Visual Manusia.....	5
Struktur Mata Manusia.....	6
Sejarah Singkat Pengolahan Citra Digital	11
Pengolahan Citra Digital	14
Dasar Pengolahan Citra Digital.....	17
Akuisisi Citra	18
Peningkatan Kualitas Citra.....	19
Restorasi Citra.....	23
Pengolahan Citra Berwarna	26
Warna.....	26
Spektrum Warna	26
Akromatik.....	27
Kromatik	27
Warna Primer	28
Warna Sekunder	29
Warna Tersier.....	29
Brightness	30
Hue	31
Saturation	32
Metode Pengkodean.....	34
Pemrosesan Wavelet dan Multiresolusi.....	45
Transformasi Wavelet Kontinu.....	45
Transformasi Wavelet Diskrit.....	47
Kompresi	50

Lossy Compression	58
Loseless Compression	59
Perbedaan Kompresi Lossy dan Lossless.....	60
Metode Kuantisasi	61
Metode Huffman	63
Metode Run Length Encoding	68
Metode Shannon-Fano	69
Pengolahan Morfologi.....	72
Dilasi.....	75
Erosi.....	75
Opening	76
Closing	77
Teori Himpunan	78
Operator Logika	84
Segmentasi	85
Deteksi Garis.....	86
Deteksi Tepi.....	87
Detektor Tepi Robert	89
Detektor Tepi Sobel	90
Detektor Tepi Prewitt.....	90
Detektor Laplacian of a Gaussian	91
Detektor Tepi Zero-Crossing	93
Detektor Tepi Canny	93
Representasi dan Deskripsi	94
Citra Biner	97
Citra Grayscale.....	98
Citra Warna	98
Pengenalan Objek dan Pola	100
Basis Pengetahuan.....	103
Daftar Pustaka.....	104

Pengertian Citra

Pengertian umum citra adalah kombinasi antara titik, garis, bidang, dan warna untuk menciptakan suatu imitasi dari suatu objek—biasanya objek fisik atau manusia. Adapun pengertian lain, citra adalah suatu representasi (gambaran), kemiripan, atau imitasi dari suatu objek. Citra terbagi 2 yaitu citra yang bersifat analog dan ada citra yang bersifat digital. Citra analog adalah citra yang bersifat continue seperti gambar pada monitor televisi, foto sinar X, dan lain-lain. Sedangkan pada citra digital adalah citra yang dapat diolah oleh komputer. Citra dapat didefinisikan sebagai fungsi $f(x,y)$ berukuran M baris dan N kolom, dengan x dan y adalah koordinat spasial, dan amplitudo f di titik koordinat (x,y) dinamakan intensitas atau tingkat keabuan dari citra pada citra tersebut.

Perbedaan Citra Analog dan Citra Digital

Citra analog adalah citra yang bersifat continue, seperti gambar pada monitor televisi, foto sinar X, foto yang tercetak di kertas foto, lukisan, pemandangan alam, 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 ini dapat diproses di komputer, proses konversi analog ke digital harus dilakukan terlebih dahulu. Citra analog dihasilkan dari alat-alat analog, seperti video kamera analog, kamera foto analog, cam, CT scan, sensor rontgen untuk foto thorax, sensor gelombang pendek pada sistem radar, sensor ultrasound pada sistem USG, dan lain-lain.

Citra digital merupakan representatif dari citra yang diambil oleh mesin dengan bentuk pendekatan berdasarkan sampling dan kuantisasi. Sampling menyatakan besarnya kotak-kotak yang disusun dalam baris dan kolom. Dengan kata lain, sampling pada citra menyatakan besar kecilnya ukuran pixel (titik) pada citra, dan kuantisasi menyatakan besarnya nilai tingkat kecerahan yang dinyatakan dalam nilai tingkat keabuan (grayscale) sesuai dengan jumlah bit biner yang digunakan oleh mesin, dengan kata lain kuantisasi pada citra menyatakan jumlah warna yang ada pada citra.

Jenis-Jenis Citra Digital

Ada banyak cara untuk menyimpan citra digital di dalam memori. Cara penyimpanan menentukan jenis citra digital yang terbentuk. Beberapa jenis citra digital yang sering digunakan adalah citra biner, citra grayscale dan citra warna.

1. Citra Biner (Monokrom). Banyaknya dua warna, yaitu hitam dan putih. Dibutuhkan 1 bit di memori untuk menyimpan kedua warna ini.
2. Citra Grayscale (Skala Keabuan). Banyaknya warna tergantung pada jumlah bit yang disediakan di memori untuk menampung kebutuhan warna ini. Citra 2 bit mewakili 4 warna, citra 3 bit mewakili 8 warna, dan seterusnya. Semakin besar jumlah bit warna yang disediakan di memori, semakin halus gradasi warna yang terbentuk.
3. Citra Warna (True Color). Setiap piksel pada citra warna mewakili warna yang merupakan kombinasi dari tiga warna dasar (RGB = Red Green Blue). Setiap warna dasar menggunakan penyimpanan

8 bit = 1 byte, yang berarti setiap warna mempunyai gradasi sebanyak 255 warna. Berarti setiap piksel mempunyai kombinasi warna sebanyak $28 \times 28 \times 28 = 224 = 16$ juta warna lebih. Itulah sebabnya format ini dinamakan true color karena mempunyai jumlah warna yang cukup besar sehingga bisa dikatakan hampir mencakup semua warna di alam.

Elemen-elemen Citra Digital

Berikut adalah elemen-elemen yang terdapat pada citra digital:

1. **Kecerahan (Brightness).** Brightness 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 dan gelap dalam sebuah citra. Pada citra yang baik, komposisi gelap dan terang tersebar secara merata.
3. **Kontur (Contour).** Kontur adalah keadaan yang ditimbulkan oleh perubahan intensitas pada piksel-piksel yang bertetangga. Karena adanya perubahan intensitas inilah mata mampu mendeteksi tepi-tepi objek di dalam citra.
4. **Warna.** Warna sebagai persepsi yang ditangkap sistem visual terhadap panjang gelombang cahaya yang dipantulkan oleh objek.
5. **Bentuk (Shape).** Shape adalah properti intrinsik dari objek 3 dimensi, dengan pengertian bahwa bentuk merupakan properti intrinsik utama untuk sistem visual manusia.

6. **Tekstur (Texture).** Texture dicirikan sebagai distribusi spasial dari derajat keabuan di dalam sekumpulan piksel-piksel yang bertetangga. Tekstur adalah sifat-sifat atau karakteristik yang dimiliki oleh suatu daerah yang cukup besar, sehingga secara alami sifat-sifat tadi dapat berulang dalam daerah tersebut. Tekstur adalah keteraturan pola-pola tertentu yang terbentuk dari susunan piksel-piksel dalam citra digital. Informasi tekstur dapat digunakan untuk membedakan sifat-sifat permukaan suatu benda dalam citra yang berhubungan dengan kasar dan halus, juga sifat-sifat spesifik dari kekasaran dan kehalusan permukaan tadi, yang sama sekali terlepas dari warna permukaan tersebut.

Sistem Visual Manusia

Objek pencitraan praktis mengandung informasi yang bersifat analog-kontinu. Representasi $f(x,y)$ untuk citra berarti nilai besar-kecil atau tinggi-rendah f sejalan atau analog dengan dengan nilai intensitas pancaran atau pantulan dari objek pencitraan. Sifat kontinu karena posisi setiap unsure atau elemen citra nyambung dari satu piksel ke piksel yang bertetangga. Namun dalam konteks pengolahan secara digital, yaitu dengan komputer, citra asli tersebut harus mengalami proses alihbentuk atau transformasi ke citra digital-diskret. Karena ada konsekuensi kehilangan sebagian informasi, maka perlu difahami secukupnya proses alihbentuk tersebut dan perimbangan antara aspek kepraktisan dan kerugian yang mengait.

Citra digital merupakan sekumpulan piksel-piksel yang tersusun dalam larik dua dimensi, dimana titik asal $(0,0)$ berada di sebelah kiri atas citra. Kesepakatan peletakan titik asal ini merujuk pada cara penulisan matriks pada pemrograman komputer yang berbeda dengan peletakan pada koordinat grafik. Oleh karena citra digital berbentuk matriks maka pemanipulasiannya juga menggunakan kaidah matriks.

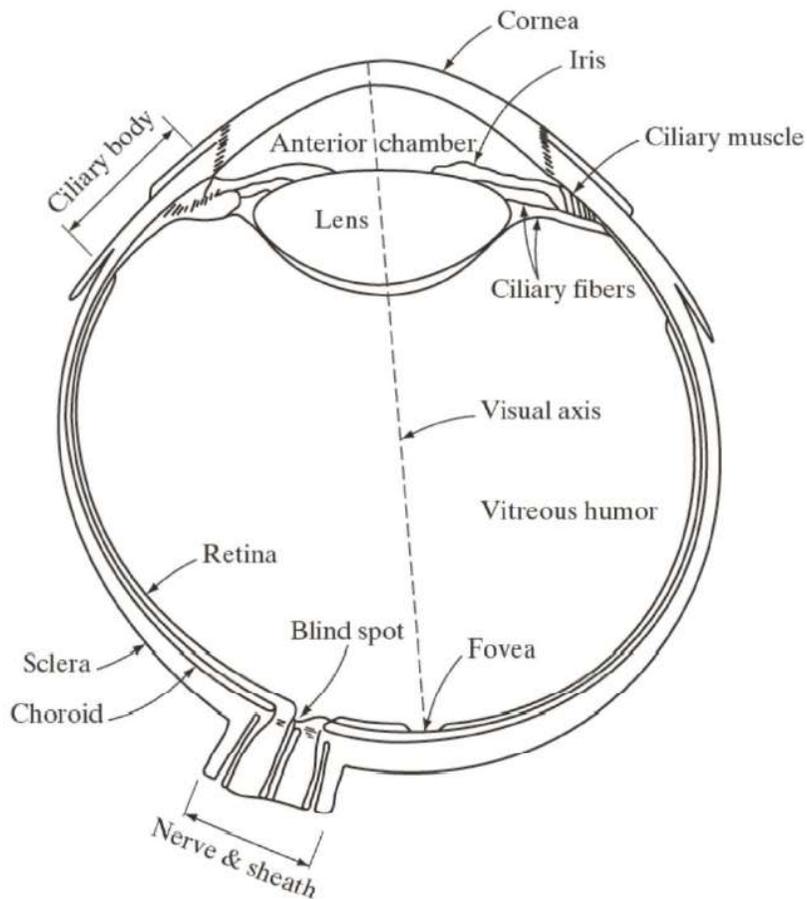
Bab ini membicarakan mengenai sistem visual manusia dalam menangkap sebuah citra, proses alihbentuk dari citra analog menjadi citra digital, dan sifat-sifat ketetangaan piksel terkait proses manipulasinya untuk pengolahan citra.

Proses pembentukan citra oleh sensor mata diawali dengan intensitas cahaya ditangkap oleh diagram iris dan diteruskan ke bagian retina mata. Bayangan obyek pada retina mata dibentuk dengan mengikuti konsep sistem optik dimana fokus lensa terletak antara retina dan lensa mata.

Mata dan syaraf otak dapat menginterpretasi bayangan yang merupakan obyek pada posisi terbalik.

Struktur Mata Manusia

Berikut ini adalah gambar struktur mata manusia (cross section of the human eye) yang diambil dari (Gonzalez & Woods, 2017).



Penampang mata manusia (Gonzalez & Woods, 2017)

Mata mempunyai reseptor khusus untuk mengenali perubahan sinar dan warna. Sesungguhnya yang disebut mata bukanlah hanya bola mata, tetapi termasuk otot-otot penggerak bola mata, kotak mata (rongga tempat mata berada), kelopak mata, alis mata, bulu mata dan kelenjar air mata.

Bentuk mata adalah seperti sphere dengan rata-rata diameternya adalah 20 mm. Secara umum mata memiliki 3 membran, cornea dan sclera, choroid, dan retina menutup mata. Choroid terletak di bawah sclera, mengandung jaringan pembuluh darah yang berfungsi sebagai sumber utama nutrisi untuk mata. Mantel Choroid ini sangat berpigmen dan karenanya dapat membantu untuk mengurangi jumlah cahaya asing memasuki mata dan Backscatter di dalam dunia optik.

Fovea atau bintik kuning merupakan bagian dari anatomi mata yang terletak di tengah-tengah makula, bagian dari retina. Fovea bertanggung jawab terhadap ketajaman penglihatan yang sangat dibutuhkan manusia untuk membaca, mengendarai kendaraan atau melakukan aktivitas apapun yang memerlukan ketajaman penglihatan. Fovea dikelilingi oleh sabuk parafovea dan bagian luar perifovea. Fovea di bagian retina terdiri dari dua jenis receptor:

1. Sejumlah cone receptor, sensitive terhadap warna, visicone disebut photopic vision atau bright light vision.

Cone reseptor atau sering juga disebut sel kerucut (bahasa Inggris: cone cell) adalah sel penerima sinar di dalam retina mata yang bertanggung jawab terhadap penglihatan warna. Sel kerucut akan bekerja dengan baik pada kondisi yang cukup terang.

Osterberg pada tahun 1935 mengatakan, ada sekitar enam juta sel kerucut pada mata manusia. Sementara Curcio pada tahun

1990 mengatakan ada sekitar 4,5 juta sel kerucut dan 90 juta sel batang pada retina manusia.

Sel kerucut kurang sensitif terhadap cahaya dibandingkan sel batang, tetapi sel kerucut mampu membedakan warna. Sel kerucut juga dapat melihat detail yang lebih halus dan karena memiliki respon yang cepat terhadap perubahan. Karena manusia biasanya memiliki tiga jenis sel kerucut dengan iodopsin berbeda, yang memiliki kurva respon yang berbeda, dengan demikian manusia menanggapi variasi warna dengan cara yang berbeda. Hal ini yang membuat manusia memiliki penglihatan trikromatik. Pada kasus buta warna, satu atau lebih sel kerucut tidak berfungsi sebagai mana mestinya, sehingga penderita buta warna tidak bisa melihat warna tertentu. Pernah juga di laporkan bahwa ada manusia yang memiliki empat atau lebih sel kerucut yang membuat mereka memiliki penglihatan tetrakromatik. Kerusakan pada sel kerucut akan menyebabkan kebutaan.

2. Sejumlah rod receptor, memberikan gambar keseluruhan pandangan dan sensitive terhadap iluminasi tingkat rendah, visi rod disebut scotopic vision atau dim-light vision.

Beberapa hal mengenai sistem visual manusia adalah sebagai berikut:

Blind Spot

Adalah bagian retina yang tidak mengandung receptor sehingga tidak dapat menerima dan menginterpretasi informasi.

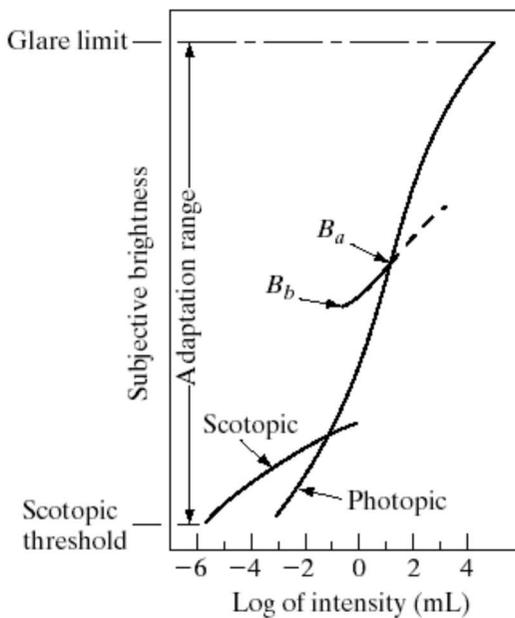
Subjective brightness

Merupakan tingkat kecermerlangan yang dapat ditangkap sistem visual manusia. Merupakan fungsi logaritmik dari intensitas cahaya yang masuk

ke mata manusia. Mempunyai daerah intensitas yang bergerak dari ambang scotopic (redup) ke ambang photopic (terang).

Brightness adaption

Merupakan fenomena penyesuaian mata manusia dalam membedakan gradasi tingkat kecemerlangan. Batas daerah tingkat kecemerlangan yang mampu dibedakan secara sekaligus oleh mata manusia lebih kecil dibandingkan dengan daerah tingkat kecemerlangan sebenarnya.



Human Visual System (HVS) dapat menampilkan intensitas dengan range yg besar (10^{10}). Tetapi secara simultan menerima intensitas dalam range yg jauh lebih kecil. Jika seseorang berada pada intensitas B_a (outside) dan masuk ke ruangan gelap, dia hanya dapat melihat hingga intensitas B_b . Mata membutuhkan waktu yg

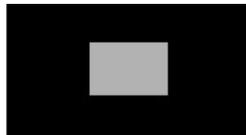
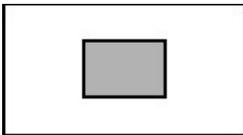
lebih lama untuk proses adaptasi dalam mencapai scotopic vision.

Kepekaan dalam pembedaan tingkat kecemerlangan merupakan fungsi yang tidak sederhana, namun dapat dijelaskan antara lain dengan dua fenomena berikut:

1. Mach Band (ditemukan oleh Ernst Mach) yaitu pita tengah bagian kiri kelihatan lebih terang dari bagian kanan.



2. Simultaneous Contrast yaitu kotak kecil disebelah kiri kelihatan lebih gelap dari kotak kecil disebelah kanan, padahal intensitasnya sama tapi intensitas latar belakang berbeda. Hal sama terjadi bila kertas putih di meja kelihatan lebih putih daripada kertas sama diarahkan ke sinar matahari.



Sejarah Singkat Pengolahan Citra Digital

Data atau informasi tidak hanya disajikan dalam bentuk teks, tapi juga dapat berupa gambar, audio (bunyi, suara, musik) dan video. Keempat macam data atau informasi ini sering disebut multimedia. Citra (image) istilah lain untuk gambar sebagai satu komponen multimedia memegang peranan penting sehingga terbentuk informasi visual. Citra mempunyai karakteristik yang tidak dimiliki oleh data teks, yaitu citra kaya dengan informasi. Ada sebuah peribahasa yang berbunyi "sebuah gambar akan lebih bermakna dari seribu kata" (a picture is more than a thousand words). Maksudnya tentu sebuah gambar dapat memberikan informasi yang lebih banyak dari pada informasi tersebut disajikan dalam bentuk kata-kata (tekstual).

Minat pada bidang pengolahan citra secara digital (digital image processing) tercatat dimulai pada awal tahun 1921, pada waktu itu sebuah foto untuk pertama kalinya berhasil ditransmisikan secara digital melalui kabel laut dari kota New York ke kota London (Bartlane Cable Picture Transmission System).

Keuntungan utama yang dirasakan pada waktu itu adalah pengurangan waktu pengiriman foto dari sekitar satu minggu menjadi kurang dari 3 jam. Foto tersebut dikirim dalam bentuk kode digital, selanjutnya diubah kembali oleh suatu printer telegraph pada sisi penerima. Masalah yang muncul pada saat itu berkisar pada teknik transmisi data secara digital serta teknik reproduksi pada sisi penerima untuk mendapatkan satu resolusi gambar yang baik. Walaupun minat dalam bidang ini telah dimulai sejak tahun 1921, tetapi perkembangannya secara pesat baru tercatat pada sekitar tahun 1960. Pada saat itu teknologi computer telah dianggap memenuhi suatu kecepatan proses serta kapasitas memori yang

dibutuhkan oleh berbagai algoritma pengolahan citra. Sejak itulah berbagai jenis aplikasi mulai dikembangkan, yang secara umum dapat dikelompokkan dalam dua jenis kegiatan yaitu:

1. Memperbaiki kualitas suatu gambar sehingga dapat lebih mudah diinterpretasikan oleh mata manusia.
2. Mengolah informasi yang terdapat pada suatu gambar untuk keperluan pengenalan objek secara otomatis oleh suatu mesin.

Bidang aplikasi sangat erat hubungannya dengan ilmu pengenalan pola (pattern recognition) yang umumnya bertujuan untuk mengenali suatu objek dengan cara mengekstraksi informasi penting dalam suatu citra.

Rinaldi Munir (2004:12) dalam bukunya mengemukakan beberapa contoh aplikasi bidang ini di berbagai disiplin ilmu yaitu:

1. Dalam bidang kedokteran : Sistem untuk mendeteksi diagnosa suatu kelainan dalam tubuh manusia melalui gambar yang dihasilkan oleh suatu gambar scanner.
2. Dalam bidang industry : Sistem untuk memeriksa kualitas suatu produk melalui kamera video.
3. Dalam bidang perdagangan : Sistem untuk mengenal huruf / angka pada suatu formulir secara otomatis oleh suatu mesin pembaca.
4. Dalam bidang militer : Sistem pengenalan target peluru kendali melalui sensor visual.
5. Dalam bidang biologi : Sistem pengenalan jenis kromosom melalui gambar mikroskop.

Keikutsertaan berbagai disiplin ilmu dalam kegiatan pengolahan citra dimulai dari pembentukan model matematik suatu objek sampai dengan Teknik analisis dan teknik klasifikasi berbagai jenis objek.

Istilah citra atau image yang pada umumnya digunakan dalam bidang pengolahan citra diartikan sebagai suatu fungsi kontinu dari intensitas cahaya $f(x,y)$ dalam bidang dua dimensi dengan (x,y) menyatukan suatu koordinat dengan nilai f pada setiap titik menyatukan intensitas atau tingkatan kecerahan atau derajat keabuan (brightness/gray level). Suatu citra digital adalah suatu citra kontinyu yang diubah kedalam bentuk diskrit, baik koordinat maupun intensitas cahayanya. Kita dapat menganggap suatu citra digital sebagai suatu matriks, dimana indeks baris dan kolomnya menyatakan koordinat sebuah titik pada citra tersebut dan nilai masing-masing elemennya menyatakan intensitas cahaya pada titik tersebut.

Suatu titik pada sebuah citra digital sering disebut sebagai elemen citra (image-elemen), elemen gambar (picture-elemen), piksel (pixel / pel). Pengolahan citra adalah pemrosesan citra, khususnya dengan menggunakan komputer menjadi citra yang kualitasnya lebih baik.

Pengolahan Citra Digital

Pengolahan citra (image Processing) merupakan proses mengolah piksel-piksel di dalam citra digital untuk tujuan tertentu. Pada awalnya pengolahan citra ini dilakukan untuk memperbaiki kualitas citra, namun dengan berkembangnya dunia komputasi yang ditandai dengan semakin meningkatnya kapasitas dan kecepatan proses komputer serta munculnya ilmu-ilmu komputasi yang memungkinkan manusia dapat mengambil informasi dari suatu citra. Proses pengolahan citra secara diagram proses dimulai dari pengambilan citra, perbaikan kualitas citra, sampai dengan pernyataan representatif citra yang dicitrakan sebagai berikut:



Dalam perkembangan lebih lanjut, image processing dan computer vision digunakan sebagai mata manusia, dengan perangkat input image capture seperti kamera dan scanner dijadikan sebagai mata dan mesin komputer (dengan program komputasinya) dijadikan sebagai otak yang mengolah informasi. Sehingga muncul beberapa pecahan bidang yang menjadi penting dalam computer vision, antara lain: pattern recognition (pengenalan pola), biometric (pengenalan identifikasi manusia berdasarkan ciri-ciri biologis yang tampak pada badan manusia), content based image and video retrieval (mendapatkan kembali citra atau video dengan informasi tertentu), video editing, dan lain-lain.

Salah satu hal paling dasar yang perlu kita pahami sebelum menyelam lebih jauh ke dalam Digital Image Processing dan Computer Vision adalah pemahaman tentang citra digital.

Mata kita adalah salah satu anugerah yang sangat canggih. Ketika kita melihat, kita dapat dengan cepat mengenali suatu objek. Kita bisa dengan mudah membedakan bentuk objek, membedakan warnanya, bahkan kita dapat dengan cepat mengelompokkan objek tersebut. Kita bisa langsung mengatakan bahwa bola itu bundar, meja itu persegi panjang, rambut orang itu berwarna hitam, mobil itu berwarna merah.

Namun, ketika kita 'berbicara' dengan komputer tentang pemandangan tersebut, kita tidak bisa langsung mengatakan bola itu bundar, mobil itu berwarna merah, dan seterusnya. Tidak. Tetapi kita berbicara menggunakan bahasa yang lebih dimengerti komputer, yaitu dalam deretan angka-angka.

Komputer melihat pemandangan yang kita lihat sebagai matriks dua dimensi atau lebih, dimana setiap matriks merepresentasikan satu kanal (channel) warna. Setiap elemen matriks tersebut dinamakan piksel. Contohnya seperti gambar ini.



Kita dengan jelas bisa menyimpulkan bahwa gambar tersebut adalah gambar mata. Bagaimana dengan komputer? Ini yang dilihat komputer :

147	158	165	161	147	137	134	137	146	145	134	133	146
154	159	161	150	135	126	128	134	155	150	136	133	144
154	157	157	149	135	124	127	134	156	148	135	134	146
145	149	156	157	148	136	135	138	144	135	129	137	147
144	147	156	159	152	139	137	142	135	128	130	141	148
156	153	152	153	143	133	135	145	137	130	137	147	145
170	161	154	151	143	132	138	151	147	138	144	151	144
177	166	159	157	149	140	144	158	152	142	148	153	142
169	155	147	149	147	142	148	164	157	139	134	136	135
163	153	147	148	146	142	144	153	162	151	149	143	132
151	149	146	144	144	142	141	140	153	156	161	154	139
144	147	147	144	146	149	144	135	136	146	157	159	156
144	147	146	145	150	157	151	139	133	139	143	151	164
152	149	144	143	151	160	156	146	147	146	136	137	157
162	152	141	140	149	157	156	151	155	158	143	133	148
172	156	141	139	148	153	154	152	153	166	154	138	146
158	154	144	139	144	154	158	153	148	156	156	145	138
148	153	152	148	146	151	155	154	152	149	145	138	137
145	155	161	156	149	149	155	160	167	153	145	147	153
153	155	155	152	149	153	164	171	174	158	149	158	167
156	145	135	134	144	159	172	180	165	153	147	153	159
152	133	118	122	139	158	170	176	157	149	145	147	152
155	138	126	132	144	153	157	159	158	154	151	152	161
165	153	146	150	153	150	144	142	158	155	152	156	172
156	149	145	149	152	148	138	129	149	157	153	150	164
152	138	131	138	150	151	144	138	150	154	144	134	139
158	138	126	134	145	147	143	139	152	152	137	121	126
172	157	143	141	142	138	134	130	151	148	134	124	135
172	170	163	153	145	140	137	133	146	142	130	130	148
157	163	164	157	153	155	152	146	139	137	130	134	150
149	152	152	153	159	166	160	151	144	147	145	145	149
155	147	141	148	161	167	159	147	152	160	160	156	152

Deretan angka di atas adalah elemen matriks (1,1) sampai (32,13) pada channel merah dari gambar mata di atas.

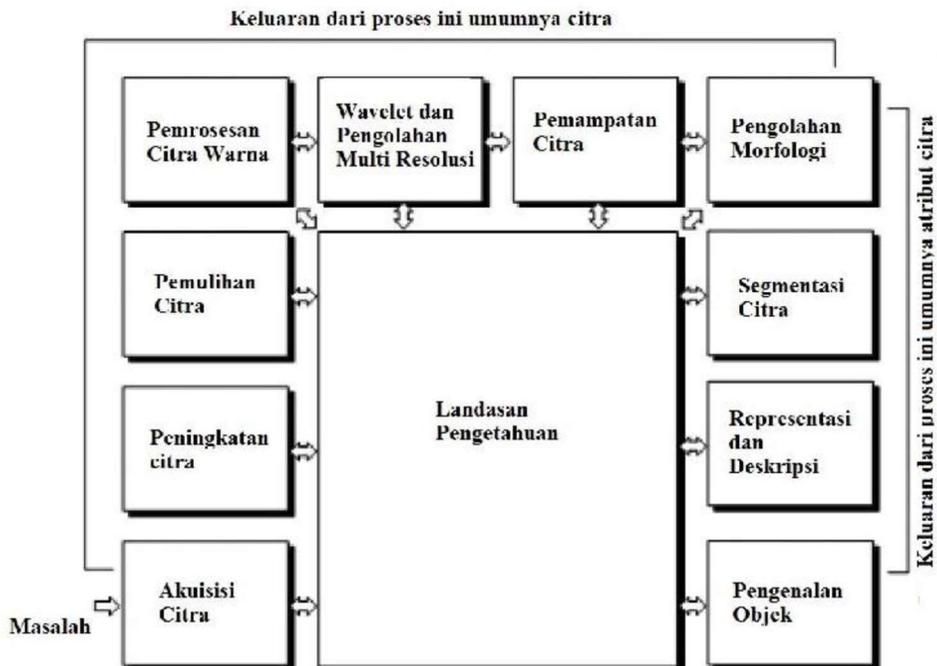
Pada umumnya, citra pada komputer direpresentasikan dalam bentuk matriks dan menggunakan model warna RGB. Model warna sebenarnya ada banyak, namun untuk layar komputer yang kita gunakan, lebih banyak menggunakan model warna RGB. Model warna RGB ini terdiri atas 3 channel warna, yaitu Red, Green, dan Blue. Range warna yang tersedia berkisar antara 0–255, semakin besar semakin terang (hal ini disebabkan layar mengadopsi pembuatan warna dengan metode aditif).

(Basuki, 2005; Hidayatullah, 2017; Petrou & Bosdogianni, 1999; Putra, 2010; Sutoyo & Dkk, 2009)

Dasar Pengolahan Citra Digital

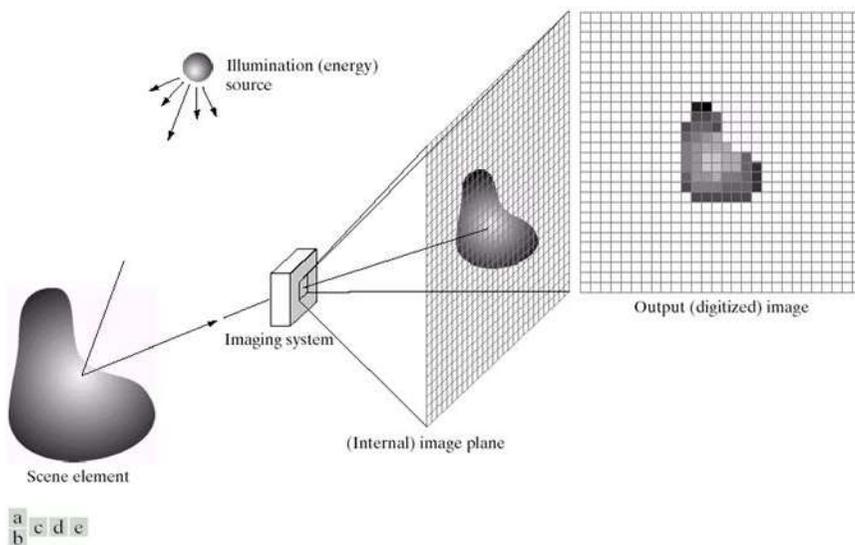
Pengolahan citra adalah metode untuk mengubah citra menjadi bentuk digital dan melakukan beberapa operasi padanya, untuk mendapatkan citra yang lebih baik atau untuk mengekstrak beberapa informasi yang berguna darinya. Pengolahan citra merupakan jenis dispensasi sinyal di mana inputnya berupa gambar, seperti frame video atau foto dan output bisa berupa gambar atau ciri yang terkait dengan gambar tersebut.

Biasanya sistem pengolahan citra termasuk memperlakukan gambar sebagai sinyal dua dimensi dengan menerapkan metode pemrosesan sinyal yang telah ditetapkan padanya. Langkah dasar dalam pengolahan citra digital sebagai berikut:



Akuisisi Citra

Akuisisi citra merupakan proses menangkap (capture) atau memindai (scan) suatu citra analog sehingga diperoleh citra digital. Akuisisi citra merupakan langkah atau proses pertama dari langkah-langkah dasar pengolahan citra digital. Akuisisi citra bisa sederhana memberikan citra yang sudah dalam bentuk digital. Umumnya, tahap akuisisi citra melibatkan pemrosesan awal, seperti penskalaan. Beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam proses akuisisi citra antara lain adalah: jenis alat akuisisi, resolusi kamera, teknik pencahayaan, perbesaran atau zooming, jarak, dan sudut pengambilan citra. Contoh peralatan akuisisi citra di antaranya adalah kamera digital, Smartphone, webcam, scanner, Mikroskop Digital, Ultrasonografi (USG), Computed Tomography (CT Scan), Computed Radiography (CR), Magnetic Resonance Imaging (MRI), dan Mammogram. Proses akuisisi citra digambarkan sebagai berikut:



Sumber: Google

- a Sumber energi (iluminasi)
- b Sebuah elemen adegan
- c Sistem pencitraan
- d Proyeksi adegan ke bidang gambar
- e Gambar digital

Peningkatan Kualitas Citra

Peningkatan kualitas citra adalah salah satu area pemrosesan citra digital yang paling sederhana dan paling menarik. Pada dasarnya, ide di balik teknik penyempurnaan adalah untuk menampilkan detail yang kabur, atau sekadar menyoroti fitur tertentu yang menarik dalam sebuah gambar agar lebih mudah diinterpretasikan oleh mata manusia. Seperti, mengubah kecerahan & kontras.

Perbaikan kualitas diperlukan karena seringkali citra yang dijadikan objek pembahasan mempunyai kualitas yang buruk, misalnya citra mengalami derau (noise) pada saat pengiriman melalui saluran transmisi, citra terlalu terang/gelap, citra kurang tajam, kabur, dan sebagainya. Melalui operasi pemrosesan awal inilah kualitas citra diperbaiki sehingga citra dapat digunakan untuk aplikasi lebih lanjut, misalnya untuk aplikasi pengenalan (recognition) objek di dalam citra.

Pada proses ini, ciri-ciri tertentu yang terdapat di dalam citra lebih diperjelas kemunculannya. Secara matematis, peningkatan kualitas citra dapat diartikan sebagai proses mengubah citra $f(x, y)$ menjadi $f'(x, y)$ sehingga ciri-ciri yang dilihat pada $f(x, y)$ lebih ditonjolkan. Proses-proses yang termasuk ke dalam perbaikan kualitas citra sebagai berikut:

a. Pengubahan kecerahan gambar (image brightness)

Untuk membuat citra lebih terang atau lebih gelap, kita melakukan pengubahan kecerahan gambar. Kecerahan/kecemerlangan gambar dapat diperbaiki dengan menambahkan (atau mengurangi) sebuah konstanta kepada (atau dari) setiap pixel di dalam citra. Akibat dari operasi ini, histogram citra mengalami pergeseran. Secara matematis operasi ini ditulis sebagai $f(x, y)' = f(x, y) + b$.

Jika b positif, kecerahan gambar bertambah, sebaliknya jika b negatif kecerahan gambar berkurang.

b. Peregangan kontras (contrast stretching)

Kontras menyatakan sebaran terang (lightness) dan gelap (darkness) di dalam sebuah gambar. Citra dapat dikelompokkan ke dalam tiga kategori kontras: citra kontras-rendah (low contrast), citra kontras-bagus (good contrast atau normal contrast), dan citra kontras-tinggi (high contrast). Ketiga kategori ini umumnya dibedakan secara intuitif. Citra kontras-rendah dicirikan dengan sebagian besar komposisi citranya adalah terang atau sebagian besar gelap. Dari histogramnya terlihat sebagian besar derajat keabuannya terkelompok (clustered) bersama atau hanya menempati sebagian kecil dari rentang nilai-nilai keabuan yang mungkin. Jika pengelompokan nilai-nilai pixel berada di bagian kiri (yang berisi nilai keabuan yang rendah), citranya cenderung gelap. Jika pengelompokan nilai-nilai pixel berada di bagian kanan (yang berisi nilai keabuan yang tinggi), citranya cenderung terang. Tetapi, mungkin saja suatu citra tergolong kontras-rendah meskipun tidak terlalu terang atau tidak terlalu gelap bila semua pengelompokan nilai keabuan berada di tengah histogram.

Citra kontras-bagus memperlihatkan jangkauan nilai keabuan yang lebar tanpa ada suatu nilai keabuan yang mendominasi. Histogram citranya memperlihatkan sebaran nilai keabuan yang relatif seragam. Citra kontras-tinggi, seperti halnya citra kontras bagus, memiliki jangkauan nilai keabuan yang lebar, tetapi terdapat area yang lebar yang didominasi oleh warna gelap dan area yang lebar yang didominasi oleh warna terang. Gambar dengan langit terang dengan latar depan yang gelap adalah contoh citra kontras-tinggi. Pada histogramnya terlihat dua puncak, satu pada area nilai keabuan yang rendah dan satu lagi pada area nilai keabuan yang tinggi. Citra dengan kontras-rendah dapat diperbaiki kualitasnya dengan operasi peregangan kontras. Melalui operasi ini, nilai-nilai keabuan pixel akan merentang dari 0 sampai 255 (pada citra 8-bit), dengan kata lain seluruh nilai keabuan pixel terpakai secara merata.

c. Pengubahan histogram citra

Untuk memperoleh histogram citra sesuai dengan keinginan kita, maka penyebaran nilai-nilai intensitas pada citra harus diubah. Terdapat dua metode pengubahan citra berdasarkan histogram:

- Perataan historam (histogram equalization)
Nilai-nilai intensitas di dalam citra diubah sehingga penyebarannya seragam (uniform).
- Spesifikasi histogram (histogram spesification)
Nilai-nilai intensitas di dalam citra diubah agar diperoleh histogram dengan bentuk yang dispesifikasikan oleh pengguna.

d. Penghalusan citra (image smoothing)

Penghalusan citra (image smoothing) bertujuan untuk mengurangi gangguan (noise) pada citra. Gangguan tersebut

biasanya muncul sebagai akibat dari hasil permulaan yang tidak bagus (sensor noise, photographic grain noise) atau akibat saluran transmisi (pada pengiriman data).

Gangguan pada citra umumnya berupa variasi intensitas suatu pixel yang tidak berkorelasi dengan pixel-pixel tetangganya. Secara visual, gangguan mudah dilihat oleh mata karena tampak berbeda dengan pixel tetangganya.

Pixel yang mengalami gangguan umumnya memiliki frekuensi tinggi (berdasarkan analisis frekuensi dengan transformasi Fourier). Komponen citra yang berfrekuensi rendah umumnya mempunyai nilai pixel konstan atau berubah sangat lambat. Operasi penghalusan citra dilakukan untuk menekan komponen yang berfrekuensi tinggi dan meloloskan komponen yang berfrekuensi rendah.

Operasi penghalusan dapat dilakukan pada ranah spasial maupun pada ranah frekuensi. Pada ranah spasial, operasi penghalusan dilakukan dengan mengganti intensitas suatu pixel dengan rata-rata dari nilai pixel tersebut dengan nilai pixel-pixel tetangganya.

e. Penajaman (sharpening) tepi (edge)

Operasi penajaman citra bertujuan memperjelas tepi pada objek di dalam citra. Penajaman citra merupakan kebalikan dari operasi penghalusan citra karena operasi ini menghilangkan bagian citra yang lembut.

Operasi penajaman dilakukan dengan melewatkan citra pada filter lolos-tinggi (high-pass filter). Filter lolos-tinggi akan meloloskan (atau memperkuat) komponen yang berfrekuensi tinggi (misalnya tepi atau pinggiran objek) dan akan menurunkan komponen berfrekuensi rendah. Akibatnya, pinggiran objek terlihat lebih tajam dibandingkan sekitarnya. Karena penajaman citra lebih

berpengaruh pada tepi (edge) objek, maka penajaman citra sering disebut juga penajaman tepi (edge sharpening) atau peningkatan kualitas tepi (edge enhancement). Selain untuk mempertajam gambar, filter lolos-tinggi juga digunakan untuk mendeteksi keberadaan tepi (edge detection). Dalam hal ini, pixel-pixel tepi ditampilkan lebih terang (highlight) sedangkan pixel-pixel bukan tepi dibuat gelap (hitam).

f. Pewarnaan semu (pseudocolouring)

Pewarnaan semu adalah proses memberi warna tertentu pada nilai-nilai pixel suatu citra skala-abu pada suatu citra berdasarkan kriteria tertentu, misalnya suatu warna tertentu untuk suatu interval derajat keabuan tertentu. Hal ini dilakukan karena mata manusia mudah membedakan banyak jenis warna.

g. Pengubahan geometric.

Pengubahan geometrik dilakukan pada citra yang memiliki gangguan yang terjadi pada waktu proses perekaman citra, misalnya pergeseran koordinat citra (translasi), perubahan ukuran citra, dan perubahan orientasi koordinat citra (skew). Proses pengubahan geometri untuk meningkatkan kualitas citra tersebut disebut juga koreksi geometri. Koreksi geometri yang sederhana adalah dengan operasi geometri sederhana seperti rotasi, translasi, dan penskalaan citra.

Restorasi Citra

Restorasi citra merupakan area yang juga berhubungan dengan peningkatan tampilan citra. Namun, berbeda dengan enhancement yang bersifat subjektif, restorasi citra bersifat objektif, dalam artian teknik

restorasi cenderung didasarkan pada model matematis atau probabilistik degradasi citra.

Restorasi berusaha untuk merekonstruksi atau mengembalikan citra yang telah terdegradasi dengan memanfaatkan pengetahuan tentang fenomena degradasi. Jadi, teknik-teknik restorasi diarahkan untuk memodelkan degradasi dan menerapkan proses kebalikan dari model degradasi untuk mendapatkan kembali citra asal. Misalnya : deblurring.

Restorasi citra mengambil peran yang sangat penting, terlebih pada saat kita berada pada era citra digital, sebab seperti yang kita ketahui, alat-alat optik digital seperti kamera terkadang memiliki keterbatasan dalam menangkap citra, sehingga menyebabkan citra yang dihasilkan kabur atau dalam dunia pemrosesan sinyal disebut sebagai noise. Adapun noise ini bisa disebabkan oleh keterbatasan perangkat maupun manusia. Di sinilah teknik-teknik restorasi citra berperan dalam memperoleh citra aslinya. Citra yang mengandung noise seringkali membatasi informasi berharga yang dibutuhkan ketika analisa citra dilakukan. Itulah sebabnya noise tersebut harus dihilangkan agar memberikan hasil yang optimal. Sebagai contoh, pengambilan citra dari satelit untuk meneliti cuaca dan GPS (Global Positioning System) biasanya akan mengandung noise yang mengganggu kualitas citra yang sesungguhnya. Saat seperti inilah restorasi citra dibutuhkan. Namun teknik restorasi citra yang ada masih menghadapi banyak kendala. Kendala tersebut antara lain adalah keterbatasan kemampuan teknik dan model restorasi yang hanya mampu merestorasi citra dengan noise tertentu, dan juga penggunaan sumber daya komputasi yang sangat besar sehingga mengakibatkan produksi hasil restorasi yang memuaskan memerlukan waktu yang panjang. Dalam usaha mengatasi kendala inilah, maka pendekatan stokastik hingga kini diharapkan menjadi solusi yang tepat dalam mengatasi kedua hal ini.

Lewat kemampuannya dalam mengolah variabel acak stokastik merupakan solusi terbaik untuk noise yang tidak memiliki model tertentu, dan juga karena kemampuannya untuk mengestimasi dengan menggunakan sejumlah kecil data maka stokastik juga tidak mengkonsumsi sumber daya komputasi yang besar.

Restorasi citra berkaitan dengan penghilangan atau pengurangan degradasi pada citra yang terjadi karena proses akuisisi citra. Degradasi yang dimaksud termasuk derau (yang merupakan eror dalam nilai piksel) atau efek optis misalnya blur (kabur) akibat kamera yang tidak focus atau karena gerakan kamera. Teknik restorasi citra meliputi operasi neighbourhood dan juga penggunaan proses-proses dominan frekuensi. Degradasi sebuah citra dapat dimodelkan sebagai :

1. $g(x,y)=f(x,y)*h(x,y)$

Misalnya proses blurring menggunakan filter average dengan $f(x,y)$ adalah citra asli, $*$ menyatakan operasi spatial, $h(x,y)$ menyatakan filter yang digunakan, dan $g(x,y)$ adalah citra yang terdegradasi.

2. $g(x,y)= f(x,y)*h(x,y)+n(x,y)$

Dengan $n(x,y)$ adalah derau yang dimodelkan sebagai fungsi aditif (random errors).

Citra yang terdegradasi tersebut yaitu citra yang telah terkontaminasi oleh blur dan noise. Proses degradasi dari citra tersebut dapat direpresentasikan melalui model seperti berikut :

$$g(l,j)=(f*h)+v(l,j)$$

Dimana f merepresentasikan citra asli, h adalah PSF, v merupakan additive noise dan g merepresentasikan citra terdegradasi. Pasangan

notasi (I,j) adalah koordinat pixel citra dan $*$ merepresentasikan operator konvolusi.

Pengolahan Citra Berwarna

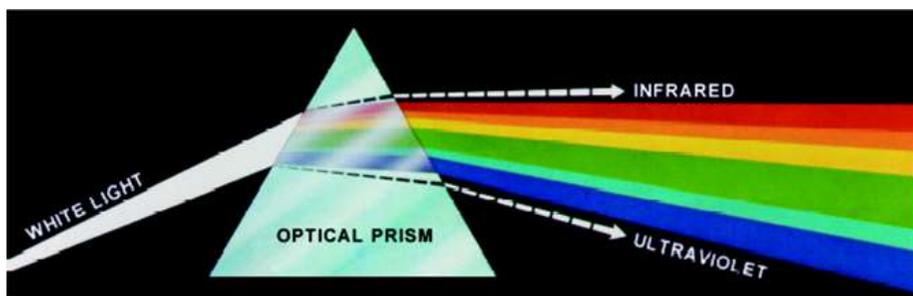
Pemrosesan gambar berwarna adalah area yang semakin penting karena peningkatan yang signifikan dalam penggunaan gambar digital melalui Internet. Pemodelan dan pemrosesan warna dalam domain digital termasuk dalam Langkah ini.

Warna

Warna banyak digunakan pada sistem vision manusia. Warna menjadikan permasalahan pengenalan menjadi lebih mudah diselesaikan. Spektrum yang bisa ditangkap manusia adalah 400 nm (biru) sampai 700 nm (merah). Mesin bisa melihat lebih banyak, mulai dari sinar X, infra merah dan gelombang radio.

Spektrum Warna

Cahaya matahari yang dilewatkan pada prisma menghasilkan spektrum warna. Warna objek yang diterima oleh penglihatan manusia ditentukan oleh cahaya dipantulkan oleh objek tersebut.



Sumber: General Electric Co., Lamp Business Division

Akromatik

Warna akromatik adalah kombinasi antara warna yang gelap dan terang. Akromatik berasal dari kata a yang berarti tidak dan chromatic artinya warna. Contoh warna akromatik adalah perpaduan yang mengutamakan warna hitam, putih, dan abu-abu. Hanya permainan gelap dengan terang. Hanya permainan gradasi hitam dengan putih. Contohnya seperti ini:



Kromatik

Warna kromatis maksudnya adalah kombinasi warna yang menggunakan gelap dan terang. Istilahnya adalah Tint dan Shade. Misalnya warna merah. Apabila warna merahnya pucat, atau warna merahnya gelap, maka itu disebut merah kromatis. Dalam pencampuran warna, untuk mendapatkan warna kromatis adalah dengan mencampurnya dengan warna putih dan hitam. Contohnya seperti ini:



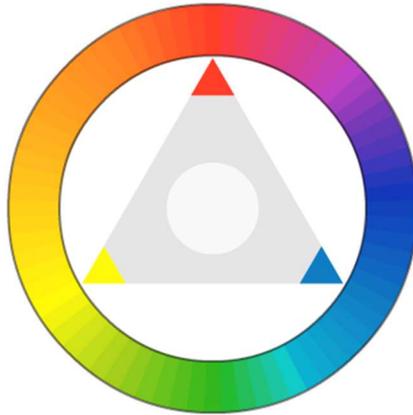
Tiga satuan yang digunakan untuk mendeskripsikan kualitas dari sumber cahaya akromatik adalah sebagai berikut:

1. Radiance
Jumlah energi yang memancar dari sumber cahaya (dalam satuan watt).
2. Luminance
Jumlah energi yang diterima oleh observer dari sumber cahaya (dalam satuan lumens, lm). contoh: sinar inframerah memiliki radiansi yang besar tapi nyaris tidak dapat dilihat oleh observer.
3. Brightness
Deskriptor yang subjektif, mirip dengan pengertian intensitas pada akromatik, salah satu faktor penentu dalam menggambarkan sensasi warna.

Warna Primer

Warna primer adalah warna utama yang terdiri dari biru, merah dan kuning yang disebut juga sebagai Hue. Ketiga warna dasar ini adalah warna yang bisa dikombinasikan dan menghasilkan warna-warna turunan lainnya. Warna-warna inilah yang bisa ditangkap oleh mata manusia, dikarenakan mata manusia seperti spesies lain yang memiliki tiga macam reseptor warna yang disebut makhluk trichromat. Karena pada dasarnya warna primer bukan milik cahaya, tapi lebih merupakan konsep biologis, yang didasarkan pada respon fisiologis mata manusia terhadap cahaya. Secara fundamental, cahaya adalah spectrum berkesinambungan dari panjang gelombang (wave length), yang berarti terdapat jumlah warna yang tak terhingga. Mata manusia hanya mampu menangkap panjang gelombang sampai batas tertentu dikarenakan jenis alat penerima/reseptor manusia yang disebut sel kerucut hanya mampu

menangkap panjang gelombang hingga 780 nanometer. Sehingga tiga warna dasar inilah yang mampu di tangkap manusia dan disebut sebagai warna utama.



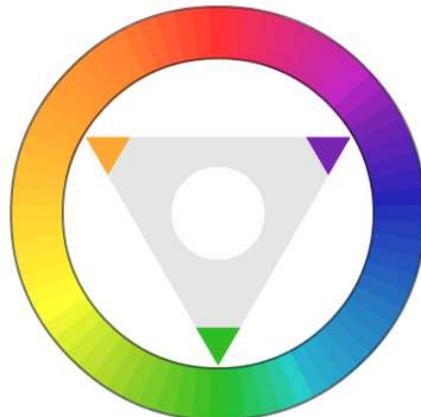
3 warna utama (merah, kuning, biru)

Sumber tigercolor.com

Warna Sekunder

Adalah warna-warna yang dihasilkan dari pencampuran warna-warna primer (biru, merah dan kuning) dalam satu ruang warna. Hasil pencampuran warnanya bisa dilihat dari diagram berikut dibawah ini :

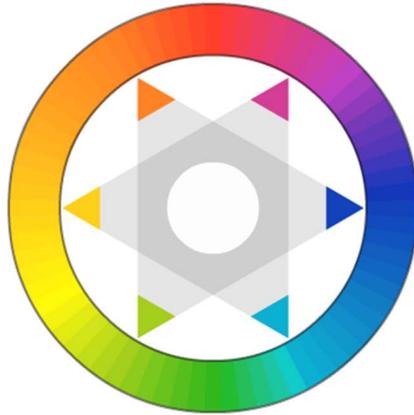
- Biru + Kuning = Hijau
- Kuning + Merah = Oranye
- Merah + Biru = Ungu



Sumber tigercolor.com

Warna Tersier

Merupakan warna yang dihasilkan dari campuran satu warna primer dengan satu warna sekunder dalam sebuah ruang warna.



Sumber tigercolor.com

Brightness

Brightness adalah atribut dari persepsi visual yang menandakan jumlah cahaya. Dengan kata lain, brightness adalah persepsi yang ditangkap dari sebuah objek yang memantulkan cahaya. Semakin tinggi nilai brightness semakin banyak cahaya yang dipantulkannya (semakin pucat warna yang terlihat).

Brightness merupakan proses penambahan kecerahan dari nilai derajat keabuan. Proses brightness ini dilakukan dengan menambahkan nilai derajat keabuan dengan suatu nilai penambah. Brightness atau Value menunjukkan seberapa banyak tingkat kecerahan dan kegelapan. Perubahan pada brightness dapat dilakukan dengan mencampurkan sebuah warna dengan warna hitam atau putih. Gamblangnya adalah tingkat kecerahan dalam arti ketajaman sebuah warna. Semakin tinggi brightness sebuah warna, foto dan gambar, maka warnanya akan tampak semakin cerah dan tajam.

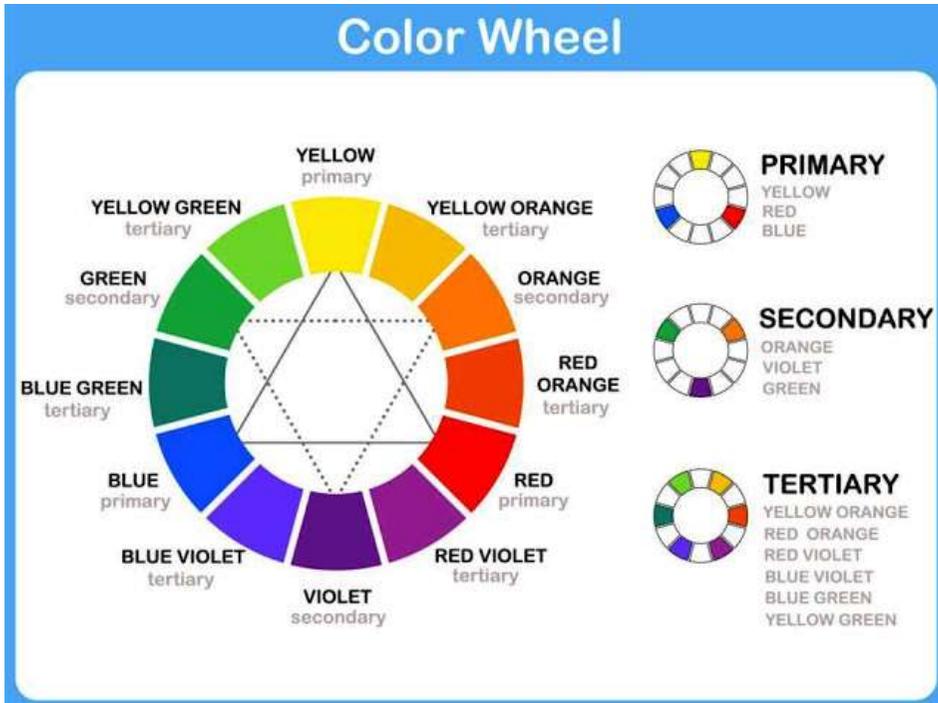
Proses perubahan brightness citra, jika intensitas pixel dikurangi dengan nilai tertentu maka citra akan menjadi lebih gelap, dan sebaliknya jika intensitas pixelnya ditambah dengan nilai tertentu maka akan lebih terang. Proses meningkatkan intensitas cahaya pada gambar dengan cara menambah nilai warna di setiap pixel pada ketiga matriks komponen warna (Red, Green, Blue).

Sebuah citra akan tampak gelap jika seluruh komponen warna berada mendekati 0. Sebaliknya, citra akan tampak terang jika seluruh komponennya mendekati angka 255.

Hue

Hue warna adalah identitas sebuah warna. Gunanya untuk membedakan antar warna, agar identifikasi unik setiap warna bisa dikenali dengan jelas. Misalnya pigmen yang terdapat pada buah alpokat, berbeda dengan pigmen yang ada pada buah jeruk. Maka masing-masing, perlu disematkan sebuah nama unik. Misalnya hijau alpokat dan orange jeruk. Maka kedua nama ini, hanya milik dari kedua unsur atau pigmen yang terkandung pada kedua buah ini. Tidak ada pada pigmen lain. Nah begitu juga dengan unsur-unsur warna pada pigmen lain. Masing-masing, punya identitasnya sendiri. Punya nama uniknya masing-masing yang tidak bisa saling bertukar. Contohnya warna merah, kuning, biru dan seterusnya. Semua ini disebut dengan hue warna.

Pengertian yang lebih sederhana, hue menggambarkan salah satu dari 12 warna dalam roda warna utama. Kumpulan jenis dengan 12 warna paling cerah dan paling murni yaitu :



Sumber arsitur.com

Dengan bermodal 12 warna ini, dapat mencampur skema warna lain dalam jumlah yang tak terbatas. Sebagian besar waktu desain biasanya akan digunakan untuk memodifikasi campuran 12 warna dasar ini dengan menambahkan warna lain.

Saturation

Saturasi merupakan tingkat kepekatan sebuah warna. Sejauh mana sebuah warna mengandung hue aslinya. Semakin rendah kadar saturasi sebuah warna, maka akan tampak semakin pudar dan puncaknya, menjadi akromatis atau tanpa warna.

Semakin tinggi saturasi sebuah warna, maka unsur grey (abu-abu) dalam warna tersebut akan semakin menghilang dan warna semakin mendekati warna dasarnya. Semakin rendah saturasi, maka warna dasarnya (hue)

akan pudar dan pada akhirnya hue akan berubah menjadi warna abu-abu. Untuk mudahnya bisa dilihat di bawah ini.



Angka 100% menunjukkan tingkat saturasi tertinggi dan sebaliknya angka 0% mewakili saturasi terendah. Jika diterapkan dalam sebuah pengolahan citra, maka hasilnya adalah saat saturasi tertinggi, semua warna akan terlihat cerah/terang (mendekati hue/warna dasarnya). Sebaliknya, semakin rendah saturasi, maka citra akan terlihat redup dan pada titik terendah, foto menjadi hitam putih saja.



Sumber lovelybogor.com

Pada saturasi maksimum, warnanya hampir seperti rona dan tidak mengandung abu-abu. Sedangkan pada minimal, warna mengandung jumlah maksimum abu-abu.

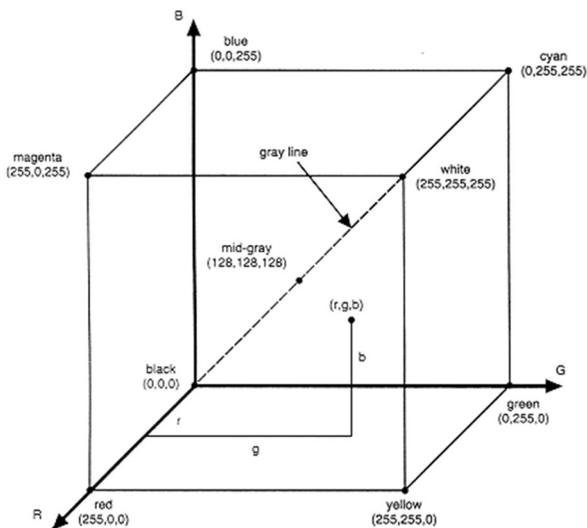
Sumber mort-sure.com



Metode Pengkodean

Ada beberapa jenis metode pengkodean warna yang dikenal saat ini, berikut akan dibahas beberapa dari metode tersebut.

1. RGB



RGB adalah sebuah model warna aditif dimana pancaran warna red (merah), green (hijau), dan blue (biru) ditambahkan bersama dengan cara yang bervariasi untuk mereproduksi susunan warna yang lebar. Warna aditif digunakan untuk lighting, video, dan monitor. Monitor sebagai contoh, menciptakan warna dengan memancarkan cahaya melalui merah, hijau dan biru fosfor.

Pengkodean warna RGB dapat ditulis dalam angka hexadesimal (basis 16) untuk masing-masing komponen R, G atau B. Misalkan:

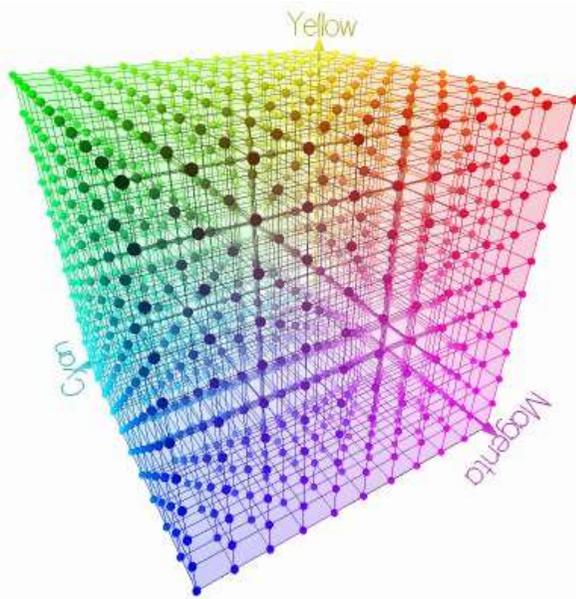
- Untuk Hitam murni akan ditulis dengan kode #000000 (R=00, G=00, B=00)
- Untuk Putih sempurna akan ditulis dengan kode #FFFFFF (R=FF, G=FF, B=FF)
- Untuk Biru murni akan ditulis dengan kode #0000FF (R=00, G=00, B=FF), dst.

2. RGBA

Jika kode warna RGB merupakan singkatan dari Red Green Blue, maka kode warna RGBA adalah singkatan dari Red Green Blue Alpha. Tambahkan kata Alpha disini merujuk kepada alpha channel. Alpha channel adalah sebuah metode untuk menentukan tingkat transparan sebuah warna, yakni apakah sebuah warna akan melewati objek lain dibelakangnya atau tidak.

Nilai alpha 0 akan membuat sebuah warna transparan (tembus pandang), dan nilai alpha 1 akan membuat warna pekat dan tidak akan melewati objek lain dibelakangnya (ini merupakan nilai default). Namun kita bisa membuat nilai alpha berada diantara 0 dan 1, dengan penulisan desimal seperti 0.5, 0.6, dan 0.9. Dengan demikian kita bisa membuat efek "tembus", terutama untuk beberapa objek yang saling bertumpuk.

3. CMY



Model CMY (Cyan, Magenta, Yellow) adalah suatu model subtraktif yang berhubungan dengan penyerapan warna,

misalnya pigment warna cat. Suatu permukaan yang dicat warna cyan kemudian diiluminasi sinar putih, maka tidak ada sinar merah yang dipantulkan, dan similar untuk warna magenta dengan hijau, dan kuning dengan biru. Relasi model CMY adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Model CMY biasa digunakan untuk mencetak warna, namun karena ketidaksempurnaan tinta, CMY tidak dapat menghasilkan warna hitam. Karena itu model CMY disempurnakan menjadi model CMYK dengan K menyatakan warna keempat dengan perhitungan :

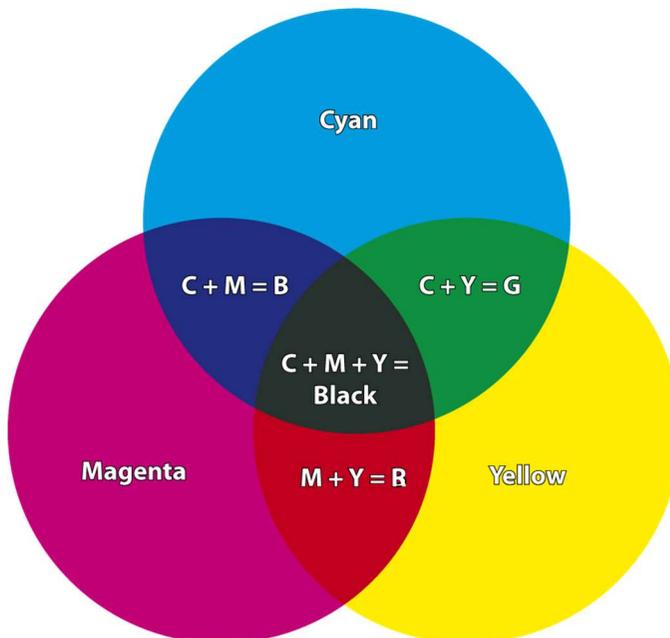
$$K = \min(C, M, Y)$$

$$C = C - K$$

$$Y = Y - K$$

4. CMYK

Komposisi model warna CMYK



Sebagaimana yang telah dibahas sebelumnya, CMYK merupakan penyempurnaan dari CMY. CMYK adalah kependekan dari Cyan, Magenta, Yellow (kuning) dan warna utamanya yaitu black (hitam) dan sering kali dijadikan referensi sebagai suatu proses pewarnaan dengan mempergunakan empat warna. CMYK adalah bagian dari model pewarnaan yang sering dipergunakan dalam pencetakan berwarna. Namun ia juga dipergunakan untuk menjelaskan proses pewarnaan itu sendiri.

Model ini, baik sebagian ataupun keseluruhan, biasanya ditimpakan dalam citra dengan warna latar putih (warna ini dipilih, dikarenakan dia dapat menyerap panjang struktur cahaya tertentu). Model seperti ini sering dikenal dengan nama "subtractive", karena warna-warnanya mengurangi warna terang dari warna putih.

Dalam model yang lain "additive color", seperti halnya RGB (Red-Merah, Green-Hijau, Blue-Biru), warna putih menjadi warna tambahan dari kombinasi warna-warna utama, sedangkan warna hitam dapat terjadi tanpa adanya suatu cahaya. Dalam model CMYK, berlaku sebaliknya warna putih menjadi warna natural dari kertas atau warna latar, sedangkan warna hitam adalah warna kombinasi dari warna-warna utama. Untuk menghemat tinta, dan menghasilkan warna hitam yang lebih gelap, dibuatlah satu warna hitam khusus yang menggantikan warna kombinasi dari cyan, magenta dan kuning.

Secara teori sebenarnya model warna CMY (tanpa Black) adalah kebalikan secara langsung dari model warna RGB, dalam hal ini bisa ditarik analogi fungsi konversi sederhana seperti:

fungsi $[r,g,b] = \text{cmy2rgb}(c,m,y)$

$r = 1.0 - c;$

$$g = 1.0 - m;$$

$$b = 1.0 - y;$$

Namun faktanya, model warna RGB yang banyak dijumpai dalam metode reproduksi warna alat-alat optik, seperti Camera Digital, Layar Monitor atau Pemindai Warna sangat tergantung pada komponen alat; sedangkan model warna CMY(+K) tergantung pada parameter proses pencetakan, baik teknologi pencetakan maupun bahan-bahan materi cetak dan tinta yang dipergunakan.

Kedua model warna tersebut memiliki ketergantungan dalam memvisualkan warna.

Oleh karena itu tidak ada rumusan yang sederhana dalam mengkonversi warna RGB ke CMYK atau sebaliknya. Seperti:

fungsi $[r,g,b] = \text{cmyk2rgb}(c,m,y,k)$

$$r = 1.0 - (c+k);$$

$$g = 1.0 - (m+k);$$

$$b = 1.0 - (y+k);$$

Membandingkan peralatan optik RGB seperti layar monitor dengan hasil cetak CMYK sangatlah sulit (lihat inset: perbandingan model warna RGB dan CMYK), karena baik komponen peralatan maupun pigmen (zat warna) tinta berbeda sekali.

Meskipun tidak ada rumusan yang sederhana untuk mengkonversi RGB ke dalam model warna CMYK namun banyak yang berusaha mengimplementasikan



proses konversi tersebut diatas. Proses ini biasa disebut dengan Color Management System. Dengan memanfaatkan profil warna (color profile) sebuah aplikasi software menghitung dan mengkonversi kedua data model tersebut.

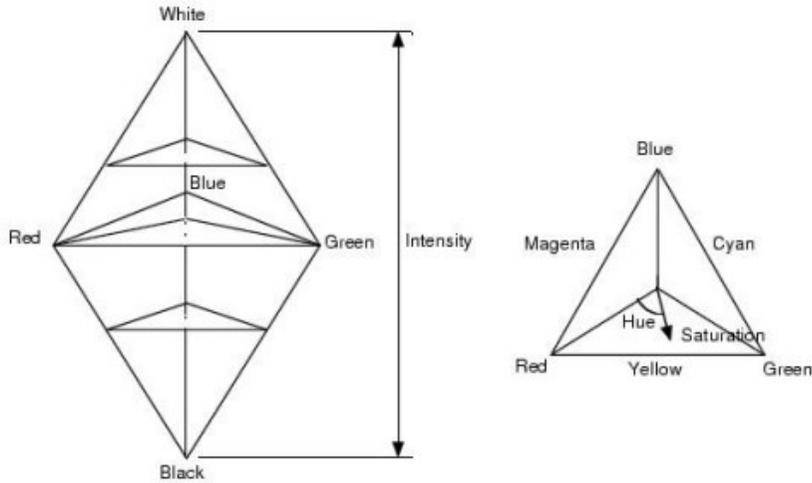
Teori Penyerapan Warna (Subtractive Color Model) mengatakan bahwa Cyan akan menyerap gelombang cahaya Red-Merah, Magenta akan menyerap gelombang cahaya Green-Hijau dan Yellow akan menyerap gelombang cahaya Blue - Biru adalah utopia semata.

Dalam penerapannya mustahil didapatkan tinta-tinta tersebut diatas yang murni dapat menyerap seluruh gelombang cahaya yang seharusnya diserap. Oleh karena itu suka atau tidak suka ada saja sebagian gelombang cahaya yang tidak diinginkan (Unwanted Color) yang masih dipantulkan sehingga membuat kesalahan warna atau sering disebut hue error.

Meskipun ketiga tinta primer tersebut (CMY) masing-masing memantulkan gelombang cahaya warna yang tidak diinginkan, tapi porsinya berbeda, tinta Cyan memantulkan cahaya Merah yang lebih besar dibandingkan dengan cahaya Green - Hijau yang dipantulkan oleh tinta Magenta demikian juga cahaya Biru oleh tinta Yellow.

Setelah kita menyadari bahwa penumpukan ketiga warna CMY masih memantulkan sedikit cahaya. Oleh karena itu dalam proses pencetakan ditambahkan warna Black - Hitam sebagai warna ke-4, agar reproduksi warna dapat menghasilkan kepekatan warna hitam yang diinginkan.

5. HSI



Warna juga dapat dispesifikasikan oleh tiga kuantisasi hue, saturation, intensity (disebut model HSI). Gambar di atas bagian sebelah kiri merupakan bentuk solid HSI dan di bagian sebelah kanan adalah model segitiga HSI yang merupakan bidang datar dari pemotongan model solid HSI secara horizontal pada tingkat intensitas tertentu. Hue ditentukan dari warna merah, saturation ditentukan berdasarkan jarak dari sumbu. Warna pada permukaan model solid dibentuk dari saturasi penuh, yaitu warna murni dan spectrum tingkat keabuan. Konversi nilai antar model RGB dan HSI adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{(R + G + B)}{3}$$

dimana kuantitas R, G, dan B adalah jumlah komponen warna merah, hijau, biru, dan normalisasi ke [0,1]. Intensitas adalah nilai rata-rata kompenen merah, hijau, dan biru. Nilai saturation ditentukan sebagai berikut:

$$S = 1 - \frac{\min(R, G, B)}{I} = 1 - \frac{3}{(R + G + B)} \min(R, G, B)$$

6. HSL

Kode warna HSL adalah singkatan dari Hue, Saturation, dan Lightness (atau sering ditulis juga dengan Luminance). Kode warna HSL merupakan cara lain untuk "membuat" warna dalam CSS. Jika anda telah terbiasa menggunakan kode warna RGB, kode warna HSL mungkin agak sedikit membingungkan.

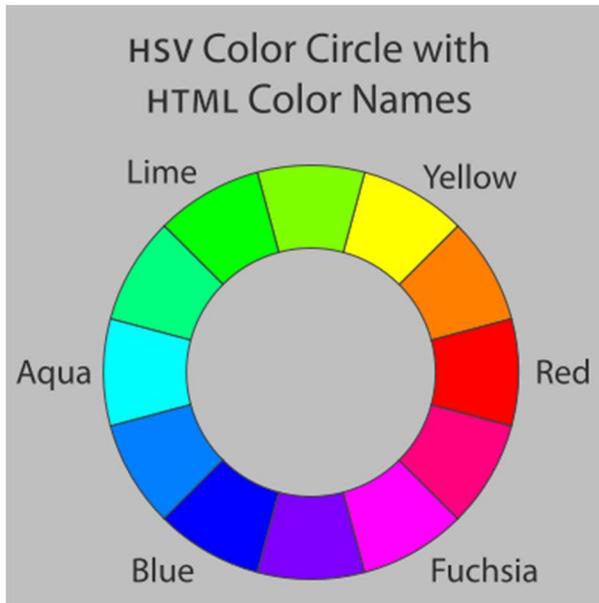
Sebagai contoh, untuk membuat warna merah, dalam HSL kita menuliskannya menjadi: `color: hsl(0, 100%, 50%)`. Untuk menulis kode HSL, kita membutuhkan 3 nilai:

Nilai pertama yakni Hue merupakan derajat warna dengan nilai 0 sampai 360. Nilai ini didapat dari lingkaran warna (color wheel) yang tersusun dari warna pelangi, dimulai dari merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila, ungu (me-ji-ku-hi-bi-ni-u). Sehingga nilai Hue 0 (atau 360, karena itu sudah 1 putaran) menghasilkan warna merah. Merujuk kepada color wheel, warna kuning akan berada sekitar angka 50, orange di angka 100, hijau di sekitar 150, dan seterusnya. Setiap warna berada dalam jarak sekitar 51 derajat.

Nilai kedua dari kode warna HSL adalah Saturation. Saturation menyatakan seberapa "murni" sebuah warna. Nilai dari Saturation adalah persen dari 0% sampai dengan 100%, dimana nilai 0% akan membuat warna menjadi pudar dan menghasilkan warna abu-abu (terlepas dari apapun warna Hue yang dipilih). Dan nilai Saturation 100% adalah warna murni.

Nilai ketiga dari HSL adalah Lightness atau kecerahan dari warna. Sama seperti Saturation, nilai Lightness berada dalam angka 0% sampai dengan 100%. Nilai 0% akan membuat warna apapun menjadi hitam, dan nilai 100% akan membuat warna apapun menjadi putih. Untuk mendapatkan warna 'normal' angkanya berada di nilai 50%.

Kode warna HSL ditujukan untuk membuat kode warna yang lebih jelas dan intuitif.



7. YIQ

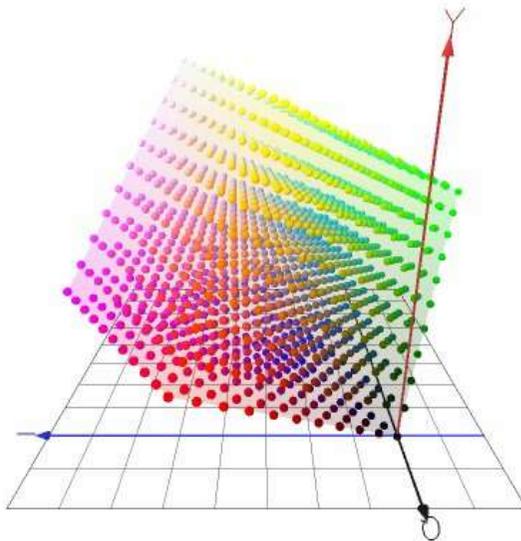
Model warna YIQ digunakan untuk standart televisi. Y berkoresponden dengan luminasi, I dan Q adalah dua komponen kromatik yang disebut inphase dan quarature. Model warna YIQ bisa didapatkan dari proses konversi model RGB menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.523 & 0.311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0.9563 & 0.6210 \\ 1 & -0.2721 & -0.6474 \\ 1 & -1.1070 & 1.7046 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix}$$

Komponen luminasi (Y) berisi semua informasi yang diperlukan untuk televise hitam putih dan menangkap persepsi mata manusia terhadap warna gelap-terang pada warna tertentu. Kita melihat warna hijau lebih terang daripada warna merah, dan warna merah

lebih terang dari warna biru, hal ini ditandai dengan bobot perspektif masing-masing yaitu 0.587, 0.299, dan 0.114 pada baris pertama matriks konversi di atas. Bobot ini harus digunakan ketika mengkonversi citra warna (RGB) menjadi citra keabuan (grayscale), jika diinginkan persepsi tingkat kecerahan yang sama.



Sistem YIQ dimaksudkan untuk mengambil keuntungan dari karakteristik manusia dalam merespon warna. Mata lebih sensitive terhadap perubahan dalam kisaran orange ke biru (I), daripada di kisaraan ungu ke hijau (Q).

Masing – masing unsur pada Y, I dan Q nilainya diukur antara 0 dan 255. Unsur Y berupa nilai luminance, sedangkan I dan Q antara 0 yang mewakili warna hijau dan 255 yang mewakili unsure warna yang mirip dengan magenta.

8. YUV

Ide dasar dari model warna YUV adalah bertujuan untuk memisahkan informasi warna dari informasi kecerahan (brightness). Komponen-komponen luminan (Y) dan krominan (U,V) adalah:

$$Y = 0,299R + 0,587G + 0,114B$$

$$U = 0,492(B - Y) = -0,147R - 0,289G + 0,436B$$

$$V = 0,877(R - Y) = 0,615R - 0,515G - 0,100B$$

Y merupakan representasi dari luminan dari suatu citra, sedangkan U,V berisi informasi warna, yaitu krominan. Komponen luminan dapat diperlakukan sebagai skala abu-abu dari suatu RGB citra. Model warna YUV digunakan pada sistem televisi standar PAL. Kelebihan dari model warna YUV adalah:

- Informasi dari kecerahan (brightness) terpisah dengan informasi warna.
- Korelasi antara komponen warna dapat dikurangi atau direduksi.
- Banyak informasi yang dapat dikumpulkan melalui komponen Y, karena isi dari informasi U dan V berkurang. Dimana nampak berkebalikan dengan komponen Y adalah jauh lebih besar bila dibandingkan dengan komponenkomponen U dan V.

9. YCbCr

YCbCr merupakan standar internasional bagi pengkodean digital gambar televisi yang didefinisikan di CCIR Recommendation 601. Y merupakan komponen luminance, Cb dan Cr adalah komponen chrominance. Pada monitor monokrom nilai luminance digunakan untuk merepresentasikan warna RGB, secara psikologis ia mewakili intensitas sebuah warna RGB yang diterima oleh mata. Chrominance merepresentasikan corak warna dan saturasi. Nilai komponen ini juga mengindikasikan banyaknya komponen warna biru dan merah pada warna (Cuturicu, 1999). YCbCr (256 level) dapat diperoleh dari RGB 8-bit dengan menggunakan rumus berikut:

$$Y = 0,299 R + 0,587 + 0,114 B$$

$$Cb = -0,1687 R - 0,3313 G + 0,5B + 128$$

$$Cr = 0,5 R - 0,4187G + 0,0813B + 128$$

Pemrosesan Wavelet dan Multiresolusi

Sejak akhir tahun 1950, transformasi Fourier banyak digunakan dalam pemrosesan citra. Sekarang, transformasi wavelet banyak pula digunakan karena lebih mudah digunakan untuk mengkompres, mentransmisikan, maupun menganalisis citra. Tidak seperti transformasi Fourier yang memiliki fungsi basis sinusoidal, transformasi wavelet memiliki fungsi basis berupa gelombang-gelombang kecil dengan berbagai macam frekuensi dan durasi berhingga, yang disebut wavelets. Jika transformasi Fourier memberikan informasi tentang frekuensi dan kehilangan informasi temporal pada saat proses transformasi, maka transformasi wavelets selain memberikan informasi tentang frekuensi juga kapan frekuensi tersebut muncul (sehingga tidak kehilangan informasi temporal).

Wavelet adalah fondasi untuk merepresentasikan gambar dalam berbagai tingkat resolusi. Gambar subdivisi berturut-turut menjadi wilayah yang lebih kecil untuk kompresi data dan untuk representasi piramidal. Transformasi wavelet dibagi menjadi dua bagian besar, yaitu transformasi wavelet kontinu (TWK) dan transformasi wavelet diskrit (TWD).

Transformasi Wavelet Kontinu

Cara kerja transformasi wavelet kontinu (TWK) adalah dengan menghitung konvolusi sebuah sinyal dengan sebuah jendela modulasi pada setiap waktu dengan setiap skala yang diinginkan. Jendela modulasi

yang mempunyai skala fleksibel inilah yang biasa disebut induk wavelet atau fungsi dasar wavelet.

Dalam transformasi wavelet digunakan istilah translasi dan skala, karena istilah waktu dan frekuensi sudah digunakan oleh transformasi Fourier. Translasi adalah lokasi jendela modulasi saat digeser sepanjang sinyal, berhubungan dengan informasi waktu. Skala berhubungan dengan frekuensi, skala tinggi (frekuensi rendah) berhubungan dengan informasi global dari sebuah sinyal, sedangkan skala rendah (frekuensi tinggi) berhubungan dengan informasi detail. TWK secara matematika dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$\gamma(s, \tau) = \int f(t) \psi_{s,\tau}^*(t) dt$$

Keterangan: $\gamma(s, \tau)$ adalah fungsi sinyal setelah transformasi, dengan variabel s (skala) dan τ (translasi) sebagai dimensi baru. $f(t)$ sinyal asli sebelum transformasi. Fungsi dasar $\psi_{s,\tau}^*(t)$ di sebut sebagai wavelet, dengan * menunjukkan konjugasi kompleks.

Dan inversi dari TWK secara matematika dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$f(t) = \int \int \gamma(s, \tau) \psi_{s,\tau}(t) d\tau ds$$

Seperti telah dibicarakan sebelumnya, fungsi dasar wavelet $\psi_{s,\tau}^*(t)$ dapat didesain sesuai kebutuhan untuk mendapatkan hasil transformasi yang terbaik, ini perbedaan mendasar dengan transformasi Fourier yang hanya menggunakan fungsi sinus sebagai jendela modulasi. Fungsi dasar wavelet secara matematika dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$\psi_{s,\tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right)$$

faktor $\frac{1}{\sqrt{s}}$ digunakan untuk normalisasi energi pada skala yang berubah-ubah.

Transformasi Wavelet Diskrit

Dibandingkan dengan TWK, transformasi wavelet diskrit (TWD) dianggap relatif lebih mudah pengimplementasiannya. Prinsip dasar dari TWD adalah bagaimana cara mendapatkan representasi waktu dan skala dari sebuah sinyal menggunakan teknik pemfilteran digital dan operasi sub-sampling.

Sinyal pertama-tama dilewatkan pada rangkain filter high-pass dan low-pass, kemudian setengah dari masing-masing keluaran diambil sebagai sample melalui operasi sub-sampling. Proses ini disebut sebagai proses dekomposisi satu tingkat. Keluaran dari filter low-pass digunakan sebagai masukan di proses dekomposisi tingkat berikutnya. Proses ini diulang sampai tingkat proses dekomposisi yang diinginkan. Gabungan dari keluaran-keluaran filter high-pass dan satu keluaran filter low-pass yang terakhir, disebut sebagai koefisien wavelet, yang berisi informasi sinyal hasil transformasi yang telah terkompresi.

Berkat operasi sub-sampling yang menghilangkan informasi sinyal yang berlebihan, transformasi wavelet telah menjadi salah satu metode kompresi data yang paling handal. Biro investigasi federal (FBI) Amerika Serikat menggunakan metode ini dalam proses kompresi data sidik jari mereka.

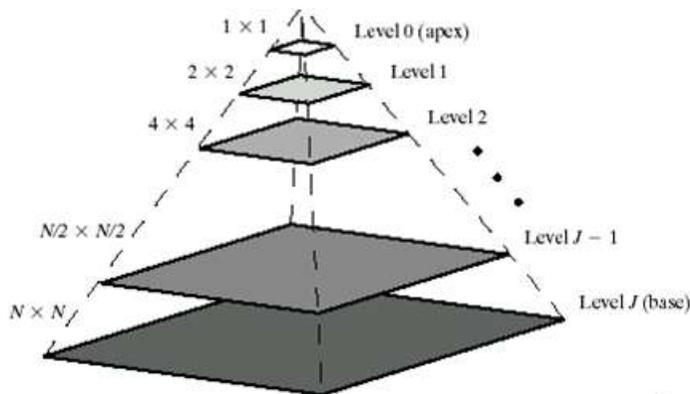
Pasangan filter high-pass dan low-pass yang digunakan harus merupakan quadrature mirror filter (QMF), yaitu pasangan filter yang memenuhi persamaan berikut:

$$h[L - 1 - n] = (-1)^n \cdot g[n]$$

dengan $h[n]$ adalah filter high-pass, $g[n]$ adalah filter low-pass dan L adalah panjang masing-masing filter.

Teori multiresolusi berkaitan dengan representasi dan analisis signal (atau citra) pada lebih dari satu resolusi. Struktur representasi citra pada lebih dari satu resolusi, yang sederhana secara konseptual, tetapi cukup powerful adalah "image pyramid".

"Image pyramid" adalah kumpulan citra dengan resolusi yang semakin menurun, yang disusun dalam bentuk piramid.



Karena level basis J berukuran $2^J \times 2^J$ atau $N \times N$, dengan $J = \log_2 N$, level intermediate j akan berukuran $2^j \times 2^j$, dengan $0 \leq j \leq J$.

Suatu piramid yang lengkap tersusun atas $J+1$ resolusi dari $2^J \times 2^J$ sampai $2^0 \times 2^0$. Tetapi, kebanyakan piramid dipotong pada level $P+1$, dengan $j = J-P, \dots, J-2, J-1, J$ dan $1 \leq P \leq J$.

Output aproksimasi pada level $j-1$ digunakan untuk menciptakan piramid aproksimasi yang berisi satu atau lebih aproksimasi dari citra asal.

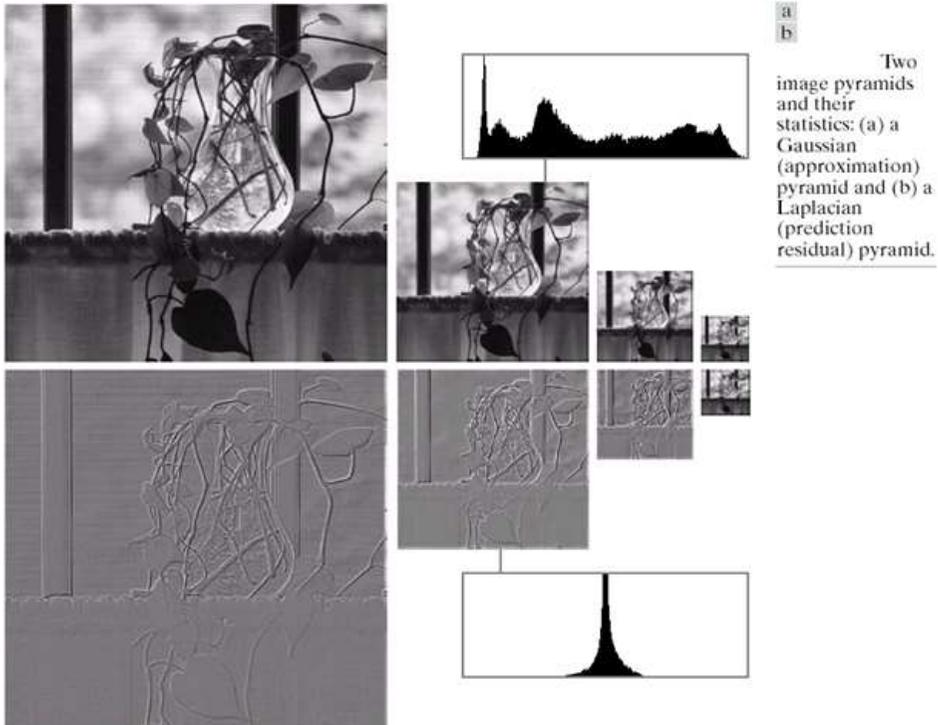
Output prediksi pada level j digunakan untuk membangun piramid prediksi. Piramid-piramid ini berisi aproksimasi resolusi rendah dari citra asal pada level $J-P$ dan informasi untuk menyusun aproksimasi aproksimasi resolusi lebih tinggi P pada level yang lain. Informasi pada level j adalah selisih antara aproksimasi level j pada piramid aproksimasi dan estimasi tentang aproksimasi berdasarkan prediksi level $j-1$.

Piramid pada level $P+1$ dibangun dengan menjalankan operasi-operasi pada diagram sebanyak P kali. Pada iterasi pertama, $j=J$ dan citra asal $2^j \times 2^j$ diaplikasikan sebagai citra input level J . Ini menghasilkan aproksimasi level $J-1$ dan hasil prediksi level J . Untuk iterasi $j=J-1, J-2, \dots, J-P+1$, output dari aproksimasi pada iterasi level $j-1$ digunakan sebagai input.

Setiap iterasi memiliki tiga langkah berikut :

1. Hitung aproksimasi untuk resolusi lebih rendah berikutnya dari citra input. Hal ini dilakukan dengan memfilter input dan downsampling hasil filtering dengan faktor 2. Berbagai operasi filtering bisa dilakukan, termasuk neighborhood averaging, yang menghasilkan mean pyramid, filtering lowpass Gaussian yang menghasilkan pyramid Gaussian, atau tanpa filtering yang menghasilkan "pyramid subsampling".
2. Lakukan upsampling terhadap output dari langkah sebelumnya dengan faktor 2, dan lakukan filtering terhadap hasilnya. Langkah ini akan menghasilkan citra prediksi dengan resolusi yang sama seperti citra input.

3. Hitung selisih antar prediksi pada langkah 2 dengan input pada langkah 1. Selisih ini, dilabeli dengan prediksi level j , dan selanjutnya bisa digunakan untuk merekonstruksi citra asal.



Kompresi

Kompresi berkaitan dengan teknik untuk mengurangi ukuran yang diperlukan untuk menyimpan gambar atau bandwidth untuk mengirimkannya. Khususnya dalam penggunaan internet sangat diperlukan untuk mengompres data.

Berkembangnya teknologi kompresi citra tidak terlepas dari semakin meningkatnya permintaan akan citra berkualitas tinggi dengan resolusi yang semakin besar. Citra berkualitas tinggi dan beresolusi besar

membutuhkan ruang penyimpanan memori yang cukup besar pula. Citra berkualitas tinggi ini diperlukan dibanyak aplikasi, misalnya di bidang kedokteran, bidang hiburan, bidang keamanan, bidang seni dan lain sebagainya.

Jika tidak dilakukan kompresi pada suatu citra maka citra dengan ukuran 10 Mega piksel dengan kedalaman piksel 24 bit akan membutuhkan ruang penyimpanan minimal sebesar 30 MByte. Artinya jika dimiliki sebuah memori dengan kapasitas 8GByte maka kapasitas memori tersebut hanya dapat menampung 270 gambar.

Tidak dipungkiri saat ini memori sudah sedemikian murah, akan tetapi perkembangan dunia elektronika juga demikian pesatnya sehingga perangkat pengambil citra juga mengalami perkembangan yang pesat. Saat ini alat pengambil data citra sudah memiliki kemampuan resolusi yang cukup besar, selain itu juga kemampuan menyimpan kedalaman warnanya juga berkembang.

Image compression atau yang disebut juga kompresi citra adalah proses untuk meminimalisasi jumlah bit yang merepresentasikan suatu citra sehingga ukuran data citra menjadi lebih kecil. Pada dasarnya teknik kompresi citra digunakan pada proses transmisi data (data transmission) dan penyimpanan data (data storage). Kompresi citra banyak diaplikasikan pada penyiaran televisi, penginderaan jarak jauh (remote sensing), komunikasi militer, radar, telekonferensi, pencitraan kedokteran, dan lain-lain.

Dalam teknik kompresi data, redundansi dari data menjadi masalah utama. Redundansi yaitu kejadian berulangnya data atau kumpulan data yang sama dalam sebuah database yang mengakibatkan pemborosan media penyimpanan. Kompresi data ditujukan untuk mereduksi

penyimpanan data yang redundan. Atau dalam istilah lain kompresi citra digital dilakukan dengan cara meminimalkan jumlah bit yang diperlukan untuk merepresentasikan suatu data citra, namun seringkali kualitas gambar yang dihasilkan jauh lebih buruk dari aslinya karena keinginan kita untuk memperoleh rasio kompresi yang tinggi.

Keuntungan kompresi data adalah penghematan tempat pada media penyimpanan dan penghematan bandwidth pada pengiriman data. Tetap mempertahankan nilai utama citra tanpa memberikan perubahan yang besar terhadap citra yang telah dikompresi. Dalam steganografi, keuntungannya adalah mendapatkan citra dengan ukuran sesuai dengan tetap mempertahankan nilai piksel citra untuk tetap mempertahankan informasi yang terkandung didalamnya. Namun kompresi memiliki sisi negatif, seringkali kualitas gambar yang dihasilkan jauh lebih buruk dari aslinya dan bila data yang dikompresi akan dibaca maka harus dilakukan proses dekompresi terlebih dahulu. Ada beberapa hal yang penting untuk diperhatikan dalam kompresi citra sebagai berikut:

1. Scalability/Progressive Coding/Embedded Bitstream

Adalah kualitas dari hasil proses pengkompresian citra karena manipulasi bitstream tanpa adanya dekompresi atau rekompresi. Biasanya dikenal pada loseless codec. Contohnya pada saat preview image sementara image tersebut didownload. Semakin baik scalability, makin bagus preview image. Tipe scalability:

- Quality progressive: dimana image dikompres secara perlahan-lahan dengan penurunan kualitasnya.
- Resolution progressive: dimana image dikompresi dengan mengkode resolusi image yang lebih rendah terlebih dahulu baru kemudian ke resolusi yang lebih tinggi.

- Component progressive: dimana image dikompresi berdasarkan komponennya, pertama mengkode komponen gray baru kemudian komponen warnanya.
2. Region of Interest Coding
Yaitu daerah-daerah tertentu diencode dengan kualitas yang lebih tinggi daripada yang lain.
 3. Meta Information
Adalah image yang dikompres juga dapat memiliki meta information seperti statistik warna, tekstur, small preview image, dan author atau copyright information

Kompresi citra dapat dilakukan karena adanya factor-faktor sebagai berikut:

1. Pada sebuah citra terdapat hubungan antara suatu piksel dengan piksel tetangganya yang signifikan, hal ini disebut dengan korelasi spasial (spatial correlation).
2. Pada data video terdapat korelasi yang signifikan antara frame satu dengan lainnya pada segmen waktu yang berbeda-beda, hal ini disebut dengan korelasi temporal (Temporal Correlation).
3. Pada data citra atau yang lainnya yang diambil menggunakan banyak sensor terdapat korelasi yang signifikan antar sampel dari sensorsensor tersebut, hal ini disebut dengan korelasi spectral (Spektral correlation).

Jika diketahui jumlah satuan informasi dua himpunan data yang mewakili data yang sama (n_1 dan n_2) maka redundansi data relatif (RD) dari himpunan data pertama dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$R_D = 1 - 1/C_R$$

Dimana C_R adalah perbandingan kompresi (Compression Ratio) yang besarnya dinyatakan dalam persamaan:

$$CR = n_1/n_2$$

Redundansi data tinggi jika nilai R_D mendekati 1 atau jika n_2 jauh lebih kecil daripada n_1 dan redundansi data kecil jika R_D mendekati minus tak hingga atau jika n_2 jauh lebih besar daripada n_1 .

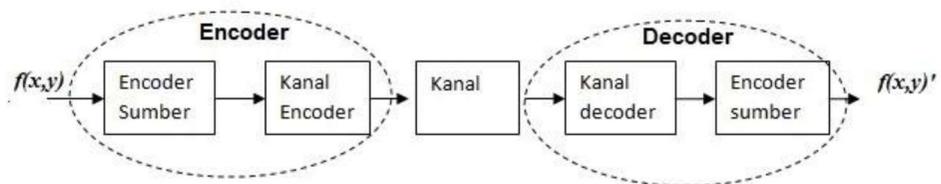
Terdapat 3 jenis redundansi data dalam kompresi data yaitu coding redundancy, interpixel redundancy, dan psychovisual redundancy. Coding redundancy terjadi jika suatu kode simbol yang digunakan dalam menyatakan intensitas piksel melebihi jumlah bit yang diperlukan. Teknik eliminasinya dengan cara mengubah pengkodeannya yaitu jika tingkat keabuan yang probabilitas terjadinya tinggi maka dikodekan pendek, dan jika sebaliknya maka dikodekan panjang. Biasanya digunakan dalam pengkodean Huffman.

Interpixel redundancy terjadi karena adanya korelasi antara piksel dengan piksel tetangganya. Teknik eliminasinya dengan mengubah representasi citra yaitu citra tidak dinyatakan dalam bentuk matriks dari intensitas piksel-pikselya tetapi dinyatakan dalam bentuk pemetaan perbedaan intensitas antar piksel yang bersebelahan. Kompresinya bersifat reversible artinya dapat direkonstruksi untuk kembali menjadi citra asalnya. Biasanya dipergunakan dalam pengkodean Run Length.

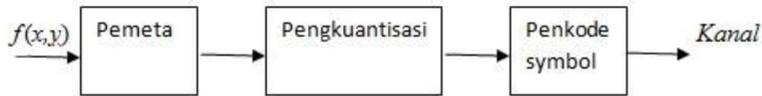
Psychovisual redundancy terjadi karena fenomena dimana intensitas keabuan yang seharusnya bervariasi terlihat sebagai intensitas konstan hal ini disebabkan karena kekurangan mata manusia dalam membedakan warna. Mata manusia tidak memiliki sensitivitas yang sama terhadap

semua informasi. Teknik eliminasinya menggunakan kuantisasi. Biasanya digunakan dalam kompresi kuantisasi (Quantizing Compression).

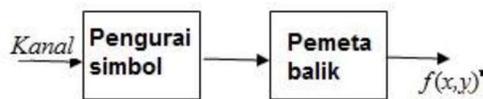
Model kompresi data secara umum bisa dilihat pada gambar dibawah. Terdapat dua bagian utama yaitu bagian encoder dan decoder. Fungsi encoder adalah membuat representasi simbol-simbol dari citra masukan atau membuat citra masukan terkompresi atau melakukan fungsi kompresi. Setelah melalui kanal maka citra hasil encoder masuk ke sistem decoder. Decoder berfungsi merekonstruksi kembali sehingga dapat dilihat kembali atau melakukan fungsi dekompresi.



Pada bagian encoder terdiri dari 3 proses yaitu pemeta (mapper), pengkuantisasi (quantizer), dan pengkode simbol (symbol encoder). Pemeta berfungsi untuk menghilangkan interpixel redundancy dengan cara mengubah format citra input menjadi format lain. Perubahan ini bersifat reversible atau dapat dikembalikan ke kondisi semula. Pengkuantisasi berfungsi untuk menghilangkan Psychovisual redundancy dengan cara melakukan proses kuantisasi terhadap hasil dari proses sebelumnya (pemeta). Bagian ini tidak bersifat reversible atau irreversible yang berarti informasi tidak dapat dikembalikan ke keadaan semula. Pada bagian ini terdapat informasi yang hilang. Bagian terakhir pembuat kode untuk menyatakan keluaran dari pengkuantisasi dengan cara memetakan setiap keluaran dari pengkuantisasi ke dalam kode yang disepakati. Bagian ini berfungsi menghilangkan coding redundancy. Gambar di bawah ini memperlihatkan bagian-bagian dalam encoder.



Bagian decoder memiliki fungsi kebalikan dari bagian encoder. Hanya pada bagian decoder tidak terdapat pengkuantisasi hal ini disebabkan karena proses kuantisasi dari encoder tidak dapat dilakukan proses balik. Gambar berikut memperlihatkan bagian-bagian dalam decoder.



Dalam merancang metode kompresi citra terdapat beberapa hal yang perlu dijadikan ukuran keberhasilan metode yang diusulkan, yaitu:

1. Waktu

Waktu yang dibutuhkan dalam kompresi dan dekompresi merupakan faktor penting. Semakin singkat waktu yang dibutuhkan dalam kompresi dan dekompresi maka akan semakin baik. Pemakai akan mencoba beralih metode yang memberikan waktu kompresi dan dekompresi lebih singkat bila waktu yang diberikan suatu metode dianggap terlalu lama. Hal ini terkait pada efisiensi waktu.

2. Ukuran

Ukuran merupakan pertimbangan kedua. Hal ini terkait dengan efisiensi kapasitas memori. Sebuah metode kompresi akan bernilai baik jika hasil kompresi memberikan ukuran yang jauh lebih kecil. Ukuran ini sangat tergantung dengan kondisi citra saat diambil. Ukuran yang dihasilkan kompresi dapat berukuran kecil jika banyak terjadi elemen duplikasi, misalnya citra diambil pada saat

langit tanpa banyak berawan atau citra diambil pada malam hari dimana mayoritas gelap.

3. Kualitas

Kualitas kompresi terkait dengan informasi yang terkandung dalam citra. Kualitas kompresi biasanya berbanding terbalik dengan ukuran hasil kompresi. Artinya semakin kecil ukuran memori yang dihasilkan kompresi maka akan semakin banyak informasi yang hilang akibat kompresi. Kualitas citra bersifat subyektif dan relatif artinya setiap orang memiliki standar yang berbeda. Sehingga antar pengamat akan memberikan penilaian yang mungkin berbeda pada citra yang sama.

4. Format

Pertimbangan format merupakan pertimbangan terakhir yaitu lebih terkait dengan kecocokan penggunaan berkas yaitu apakah lebih cocok untuk pengiriman atau untuk penyimpanan.

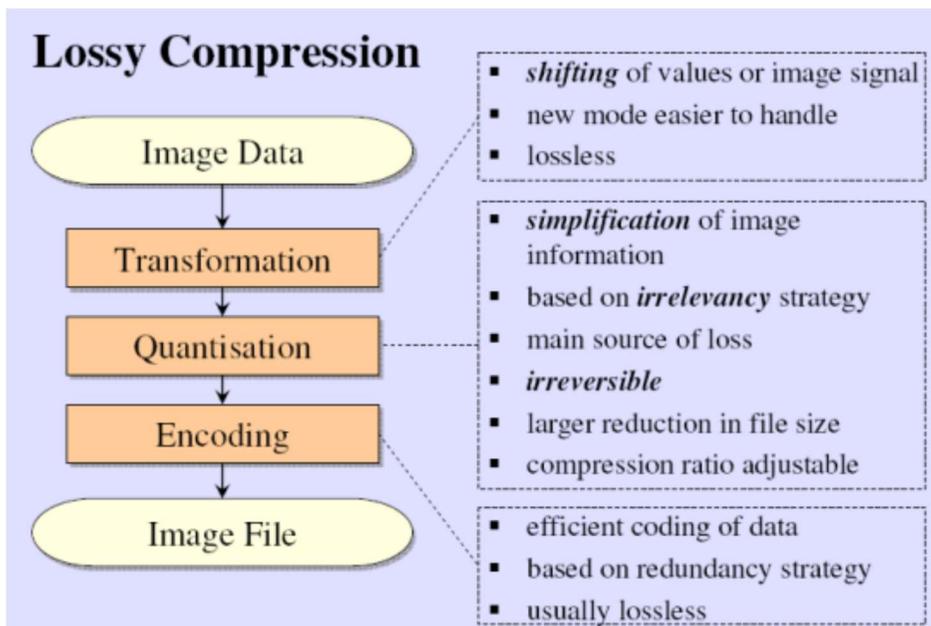
Teknik kompresi citra mengacu pada dua konsep dasar, yaitu :

1. Mengeksploitasi redundansi informasi yang terdapat pada pola sinyal citra digital. Metode ini digunakan pada teknik kompresi citra lossless coding.
2. Menggunakan deviasi dalam batas yang dapat ditoleransi dengan cara mengurangi detail citra yang tidak dapat ditangkap oleh penglihatan manusia. Resolusi spasial, waktu dan amplitudo disesuaikan dengan aplikasi yang digunakan. Metode ini digunakan pada teknik kompresi citra lossy coding dengan mengeksploitasi redundansi statistik dan visual.

Lossy Compression

Ukuran file citra menjadi lebih kecil dengan menghilangkan beberapa informasi dalam citra asli. Teknik ini mengubah detail dan warna pada file citra menjadi lebih sederhana tanpa terlihat perbedaan yang mencolok dalam pandangan manusia, sehingga ukurannya menjadi lebih kecil. Biasanya digunakan pada citra foto atau image lain yang tidak terlalu memerlukan detail citra, dimana kehilangan bit rate foto tidak berpengaruh pada citra.

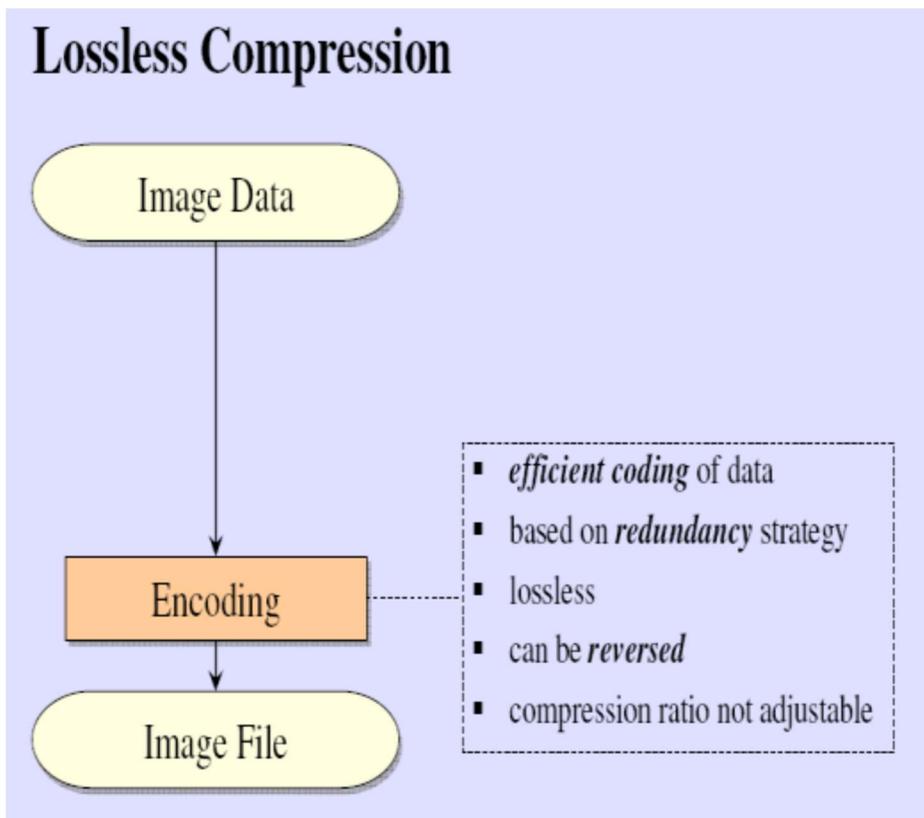
Kompresi Lossy adalah suatu metode untuk mengkompresi data dan mendekompresinya. Data yang diperoleh mungkin berbeda dari data aslinya, tetapi perbedaan itu cukup dekat. Metode ini paling sering digunakan untuk kompres data multimedia (Audio file dan gambar). Format kompresi Lossy mengalami generation loss yaitu jika mengalami proses kompresi-dekompresi berulang kali maka akan menyebabkan kehilangan kualitas secara progresif.



Lossless Compression

Menghasilkan citra hasil kompresi yang tepat sama dengan citra semula. Dalam proses kompresinya, tidak ada informasi yang hilang. Rasio kompresi sangat rendah / terbatas.

Kompresi Lossless merupakan metoda kompresi data yang memungkinkan data asli dapat disusun kembali dari data hasil kompresi maka rasio kompresi pun tidak dapat terlalu besar untuk memastikan semua data dapat dikembalikan ke bentuk semula. Metode Lossless menghasilkan data yang identik dengan data aslinya. Kompresi lossless utamanya digunakan untuk pengarsipan, dan penyuntingan. Untuk keperluan pengarsipan seperti catatan bank, artikel text, citra medis, citra biner (facsimile), dll.



Kebanyakan program kompresi lossless menggunakan dua jenis algoritma yang berbeda yaitu satu menghasilkan model statistik untuk input data, dan yang lainnya memetakan data input ke rangkaian bit menggunakan model ini dengan cara bahwa "probable" data akan menghasilkan output yang lebih pendek dari "improbable" data. algoritma encoding yang utama yang dipakai untuk menghasilkan rangkaian bit adalah Huffman coding dan Aritmatik Coding.

Perbedaan Kompresi Lossy dan Lossless

1. Lossless compression adalah kelas dari algoritma data kompresi yang memungkinkan data yang asli dapat disusun kembali dari data kompresi, sedangkan lossy compression adalah suatu metode untuk mengkompresi data dan men-dekompresi-nya.
2. Lossless compression digunakan untuk mengkompresi data untuk diterima ditujukan dalam kondisi asli. Sedangkan lossy compression menghasilkan file kompresi yang lebih kecil dibandingkan dengan metode lossless yang ada.
3. Lossless compression digunakan jika akurasi data sangat penting, sedangkan lossy compression biasanya membuang bagian-bagian data yang sebenarnya tidak begitu berguna dan tidak dirasakan oleh kita sehingga masih beranggapan bahwa data tersebut masih bisa digunakan walaupun sudah di kompresi.
4. Lossless compression biasanya data yang telah dikompresi ukurannya sama atau lebih besar, sedangkan lossy compression biasanya data yang telah dikompresi berukuran lebih kecil dari ukuran asli, namun masih tetap memenuhi syarat untuk digunakan.
5. Rasio kompresi pada lossless didapat cenderung rendah sedangkan rasio kompresi pada lossy didapat bisa sangat tinggi.

Ada beberapa metode yang dapat digunakan dalam kompresi citra. Metode tersebut didasarkan pada 4 pendekatan, yaitu pendekatan kuantisasi, pendekatan statistik, pendekatan ruang, dan pendekatan fractal. Pendekatan kuantisasi adalah metode kompresi yang dalam proses kompresinya dengan cara mengurangi tingkat keabuan atau warna yang tersedia. Pendekatan statistik didasarkan pada frekuensi kemunculan tingkat keabuan atau warna piksel di dalam seluruh bagian citra. Pendekatan ruang didasarkan pada hubungan spasial antar piksel dalam suatu kelompok yang memiliki tingkat keabuan atau warna yang sama di dalam seluruh citra. Sedangkan pendekatan fractal didasarkan pada kemiripan bentuk bagian-bagian dalam citra yang dapat dieksploitasi dengan suatu matriks transformasi.

Metode Kuantisasi

Metode ini merupakan metode paling sederhana dalam kompresi citra. Metode ini dilakukan dengan cara mengurangi jumlah tingkat keabuan atau warna pada citra, misalnya dari 256 menjadi 16. Pengurangan ini membuat jumlah bit untuk merepresentasikan sebuah piksel juga ikut berkurang akibatnya ukuran berkas citra juga menjadi lebih kecil. Kekurangan dari metode ini adalah adanya informasi yang hilang. Metode kuantisasi merupakan metode kompresi lossy. Algoritma metode ini adalah sebagai berikut:

Langkah	Pernyataan
1	Buat histogram dari citra asli
2	Identifikasi menjadi n buah kelompok di dalam histogram tersebut sehingga tiap kelompok memiliki jumlah probabilitas yang setara.

Langkah	Pernyataan
3	Nyatakan tiap kelompok kedalam tingkat keabuan atau warna dari 0 hingga n-1. Tiap piksel dikodekan dengan nilai tingkat keabuan atau warna yang baru.

Contoh: Citra berukuran 5 x 5 piksel dengan kedalaman 3 bit dikompresi dengan metode kuantisasi menjadi citra 2 bit (4 tingkat keabuan). Hitunglah rasio kompresinya dan tuliskan hasil kompresinya.

```

0 0 1 1 4
0 1 2 4 5
1 4 4 3 5
6 1 3 3 7
5 2 3 6 6

```

Histogram citra asli adalah:

```

0 ***          4 *****
1 *****    5 ***
2 **          6 ***
3 *****    7 *

```

Terdapat 25 piksel dan akan dikelompokkan menjadi 4 kelompok tingkat keabuan, sehingga rata-rata per kelompok berisi $25/4 = 6$ buah piksel.

Maka kelompok yang didapat adalah:

	0 ***	
8	1 *****	0
	2 **	
6	3 *****	1
	4 *****	
7	5 ***	2
	6 ***	
4	7 *	3

Maka citra hasil kompresi adalah

```

0 0 0 0 2
0 0 1 2 2
0 2 2 1 2
3 0 1 1 3
2 1 1 3 3

```

Ukuran file sebelum kompresi adalah 25 piksel x 4 bit = 100 bit. Ukuran file setelah kompresi adalah 25 piksel x 3 bit = 75 bit. Rasio kompresi = $100\% - (75/100 \times 100\%) = 25\%$. Artinya bahwa proses kompresi berhasil memampatkan 25% dari citra semula.

Metode Huffman

Metode Huffman dibuat oleh seorang mahasiswa MIT bernama David Huffman pada tahun 1952, merupakan salah satu metode paling lama dan paling terkenal dalam kompresi.

Huffman menggunakan prinsip pengkodean yang mirip dengan kode Morse, yaitu tiap karakter (simbol) dikodekan hanya dengan rangkaian beberapa bit, dimana karakter yang sering muncul dikodekan dengan rangkaian bit yang pendek dan karakter yang jarang muncul dikodekan dengan rangkaian bit yang lebih panjang.

Cara kerja atau algoritma metode ini adalah sebagai berikut :

Langkah	Pernyataan
1	Cari masing-masing frekuensi kemunculan intensitas tiap piksel.
2	Urutkan secara menaik intensitas tingkat keabuan berdasarkan frekuensi kemunculan tiap intensitas atau berdasarkan peluang kemunculan tiap intensitas. Setiap

Langkah	Pernyataan
	tingkat keabuan dinyatakan sebagai pohon bersimpul tunggal dan diberikan tanda frekuensi kemunculan tingkat keabuan tersebut.
3	Dua buah pohon dengan frekuensi terkecil digabungkan untuk membentuk sebuah akar yang baru dengan nilai frekuensi penjumlahan dari dua buah frekuensi pohon tersebut.
4	Ulangi langkah 2 dan 3 hingga tersisa hanya satu buah pohon.
5	Beri label 1 untuk sisi kanan pohon biner dan 0 untuk sisi kiri pohon biner. Tingkat keabuan pada citra asal dinyatakan melalui simpul-simpul daun pada pohon biner.
6	Setiap piksel di dalam citra dikodekan dengan cara menelusuri pohon biner dari akar ke daun. Barisan label-label tersebut menyatakan kode Huffman untuk tingkat keabuan yang sesuai. Artinya kode Huffman merupakan kode unik dimana tidak ada kode biner tingkat keabuan yang sama untuk tingkat keabuan berbeda. Sehingga pada proses penirmpatan tidak terjadi ambiguitas dan salah dalam menterjemahkan kode kompresi.

Contoh kompresi menggunakan metode Huffman diperlihatkan pada kasus berikut: Sebuah citra 3 bit dengan ukuran 10 x 10 piksel diperlihatkan di bawah.

```

5 5 7 7 7 6 6 6 6 6
7 7 6 6 6 6 5 5 4 4
6 6 5 5 5 5 5 5 3 3
5 5 5 3 3 3 3 3 3 2

```

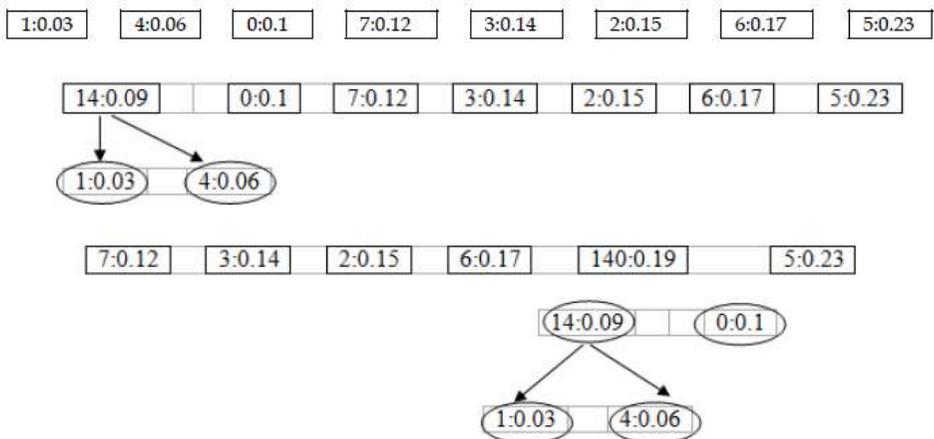
```

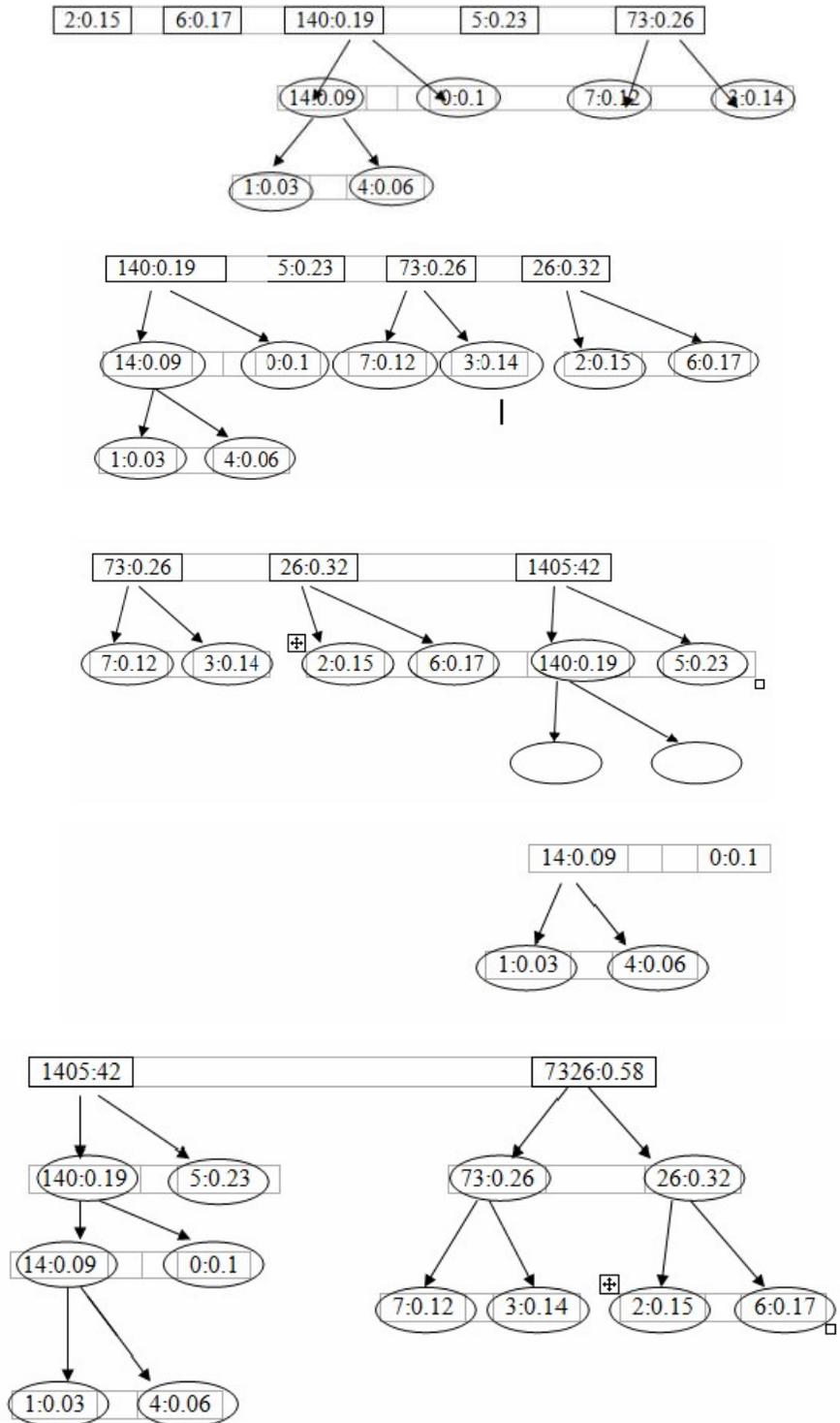
7 7 6 6 6 5 5 5 5 5
0 0 7 7 7 7 7 5 4 3
0 6 6 6 2 2 2 2 2 2
0 1 1 2 2 2 2 2 2 3
2 2 3 3 3 3 5 5 5 5
0 0 0 0 1 0 0 4 4 4
    
```

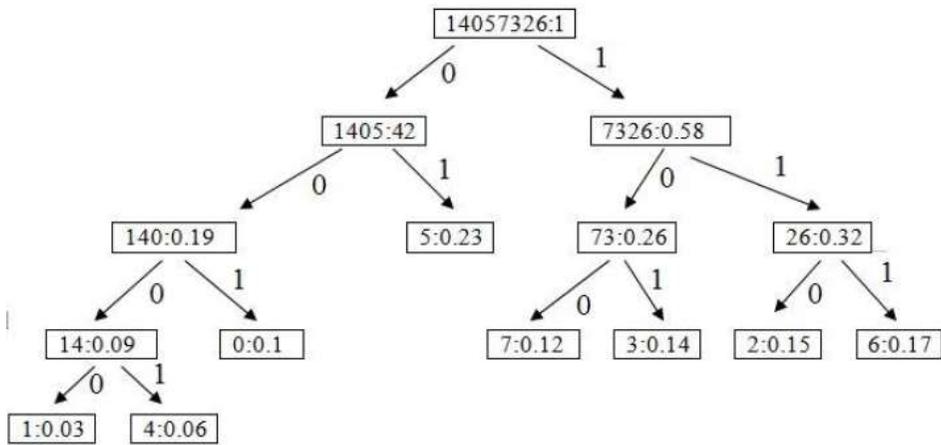
Menggunakan Huffman Coding mencari nilai probabilitas masing-masing intensitas.

k	N_k	$P(k)$
0	10	0.1
1	3	0.03
2	15	0.15
3	14	0.14
4	6	0.06
5	23	0.23
6	17	0.17
7	12	0.12

Mengurutkan dari yang terkecil.







Dari pohon Huffman tersebut kita memperoleh kode untuk setiap derajat keabuan sebagai berikut:

0 : 001	4 : 0001
1 : 0000	5 : 01
2 : 110	6 : 111
3 : 101	7 : 100

Rasio kompresi dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Rasio} = 100\% - \left(\frac{\text{Ukuran Citra setelah dikompresi}}{\text{Ukuran citra semula}} \right) \times 100\%$$

$$\text{Ukuran citra semula} = 10 \times 10 \times 3 = 300 \text{ bit}$$

$$\text{Ukuran citra setelah dikompresi} = 23 \times 2 + 9 \times 4 + 68 \times 3 = 286 \text{ bit}$$

$$\text{Rasio} = 100\% - \left(\frac{286}{300} \times 100\% \right) = 4,67\%$$

Metode Run Length Encoding

Metode ini sangat cocok untuk kompresi pada citra yang memiliki kelompok-kelompok piksel berderajat sama. Setiap deret piksel dengan intensitas yang sama dikompres menjadi pasangan nilai (p,q) yang menyatakan banyaknya piksel (p) dan nilai intensitas piksel tersebut (q). Metode Run Length encoding juga merupakan metode kompresi lossless.

Contoh kompresi menggunakan metode Run Length Encoding diperlihatkan pada kasus berikut: Sebuah citra 3 bit dengan ukuran 10 x 10 piksel diperlihatkan di bawah.

5	5	7	7	7	6	6	6	6	6
7	7	6	6	6	6	5	5	4	4
6	6	5	5	5	5	5	5	3	3
5	5	5	3	3	3	3	3	3	2
7	7	6	6	6	5	5	5	5	5
0	0	7	7	7	7	7	5	4	3
0	6	6	6	2	2	2	2	2	2
0	1	1	2	2	2	2	2	2	3
2	2	3	3	3	3	5	5	5	5
0	0	0	0	1	0	0	4	4	4

Pasangan nilai untuk setiap baris run yang dihasilkan dengan metode kompresi RLE:

(5:2) (7:3) (6:5)

(7:2) (6:4) (5:2) (4:2)

(6:2) (5:6) (3:2)

(5:3) (3:6) (2:1)

(7:2) (6:3) (5:5)

(0:2) (7:5) (5:1) (4:1) (3:1)

(0:1) (6:3) (2:6)

(0:1) (1:2) (2:6) (3:1)

(2:2) (3:4) (5:4)

(0:4) (1:1) (0:2) (4:3)

Semuanya ada 35 pasang: nilai derajat keabuan dikodekan 3 bit dan jumlah piksel yang berurutan dikodekan dalam 3 bit, maka ukuran file setelah dikompresi adalah: $35 \times 3 + 35 \times 3 = 210$ bit

Maka rasio kompresi metode RLE :

$$\text{Rasio} = 100\% - (210/300 \times 100\%) = 30\%$$

Metode Shannon-Fano

Metode ini tergantung pada probabilitas setiap intensitas piksel yang muncul pada suatu data. Dari probabilitas yang didapatkan dibuat daftar kode untuk setiap intensitas dengan ketentuan bahwa setiap intensitas yang berbeda memiliki kode yang berbeda pula. Dan intensitas yang memiliki probabilitas paling kecil (jarang muncul) memiliki jumlah kode dengan bit yang lebih panjang dan sebaliknya. Pada metode ini walaupun panjang kode dapat berbeda tapi intensitas dapat didekode secara unik.

Algoritma metode Shannon-Fano adalah sebagai berikut:

Langkah	Pernyataan
1	Membuat daftar untuk frekuensi kemunculan setiap intensitas piksel pada citra.
2	Mengurutkan daftar frekuensi kemunculan intensitas piksel dari yang paling sering muncul hingga yang paling kecil kemungkinannya.

3	Membagi daftar yang dibuat menjadi dua bagian yaitu bagian atas dan bagian bawah dengan dasar jumlah total frekuensi kemunculan tiap bagian tidak terlalu terpaut jauh.
4	Mengkodekan bagian atas dengan 0 dan bagian bawah dengan 1, sehingga kode bagian atas akan dimulai dengan 0 dan bagian bawah dengan 1.
5	Kembali melakukan langkah 3 dan 4 untuk bagian atas dan bagian bawah hingga semua terbagi menjadi setiap bagian terdiri satu frekuensi.

Contoh kompresi menggunakan metode Shannon-Fano diperlihatkan pada kasus berikut: Sebuah citra 3 bit dengan ukuran 10 x 10 piksel diperlihatkan berikut:

```

5 5 7 7 7 6 6 6 6 6
7 7 6 6 6 6 5 5 4 4
6 6 5 5 5 5 5 5 3 3
5 5 5 3 3 3 3 3 3 2
7 7 6 6 6 5 5 5 5 5
0 0 7 7 7 7 7 5 4 3
0 6 6 6 2 2 2 2 2 2
0 1 1 2 2 2 2 2 2 3
2 2 3 3 3 3 5 5 5 5
0 0 0 0 1 0 0 4 4 4

```

Langkah 1: Membuat daftar dari frekuensi kemunculan intensitas piksel

k	N_k
0	10
1	3
2	15
3	14
4	6
5	23
6	17
7	12

Langkah 2: Mengurutkan secara menurun dari intensitas berfrekuensi tinggi ke rendah.

k	N_k
5	23
6	17
2	15
3	14
7	12
0	10
4	6
1	3

Langkah 3, 4, 5: Membagi menjadi 2 bagian dengan masing-masing memiliki frekuensi hampir setara.

k	N_k
5	23
6	17
2	15
3	14
7	12
0	10
4	6
1	3

0	0			
0	1	0		
0	1	1		
1	0	0		
1	0	1		
1	1	0		
1	1	1	0	
1	1	1	1	0
1	1	1	1	1

Dari pohon metode Shannon- Fano tersebut diperoleh kode untuk setiap tingkat keabuan sebagai berikut:

- | | |
|----------|----------|
| 0 : 110 | 4 : 1110 |
| 1 : 1111 | 5 : 00 |
| 2 : 011 | 6 : 010 |
| 3 : 100 | 7 : 101 |

Rasio kompresi dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Rasio} = 100\% - (\text{Ukuran Citra setelah dikompresi} / \text{Ukuran citra semula}) \times 100\%$$

$$\text{Ukuran citra semula} = 10 \times 10 \times 3 = 300 \text{ bit}$$

$$\text{Ukuran citra setelah dikompresi} = 23 \times 2 + 9 \times 4 + 68 \times 3 = 286 \text{ bit}$$

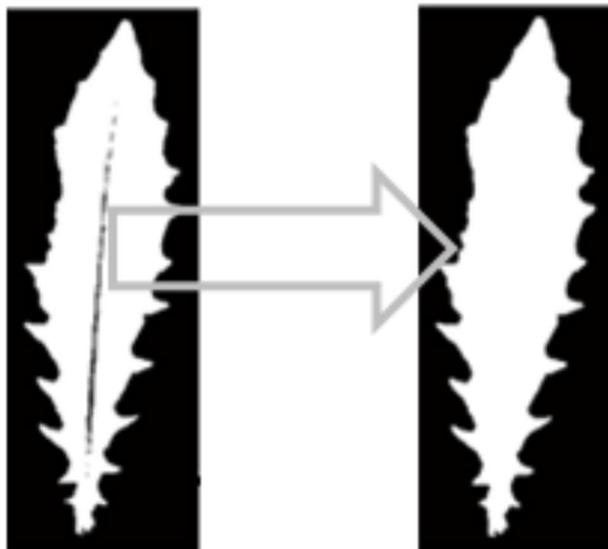
$$\text{Rasio} = 100\% - (286/300 \times 100\%) = 4,67\%$$

Metode Shannon-Fano ini mirip dengan metode Huffman dan hasilnya pun sama.

Pengolahan Morfologi

Pemrosesan morfologi berkaitan dengan alat untuk mengekstraksi komponen gambar yang berguna dalam representasi dan deskripsi bentuk.

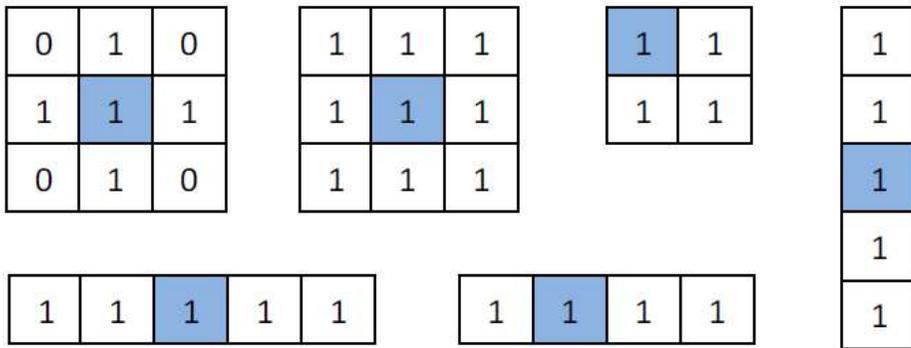
Morfologi merupakan teknik pengolahan citra berdasarkan bentuk segmen citra. Yang bertujuan untuk memperbaiki hasil segmentasi. Teknik morfologi biasanya digunakan pada citra biner untuk mengubah struktur bentuk objek yang terkandung dalam citra atau untuk beberapa kasus juga bisa diterapkan pada citra keabuan (grayscale). Sebagai contoh, lubang pada daun dapat ditutup melalui operasi morfologi sebagaimana ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



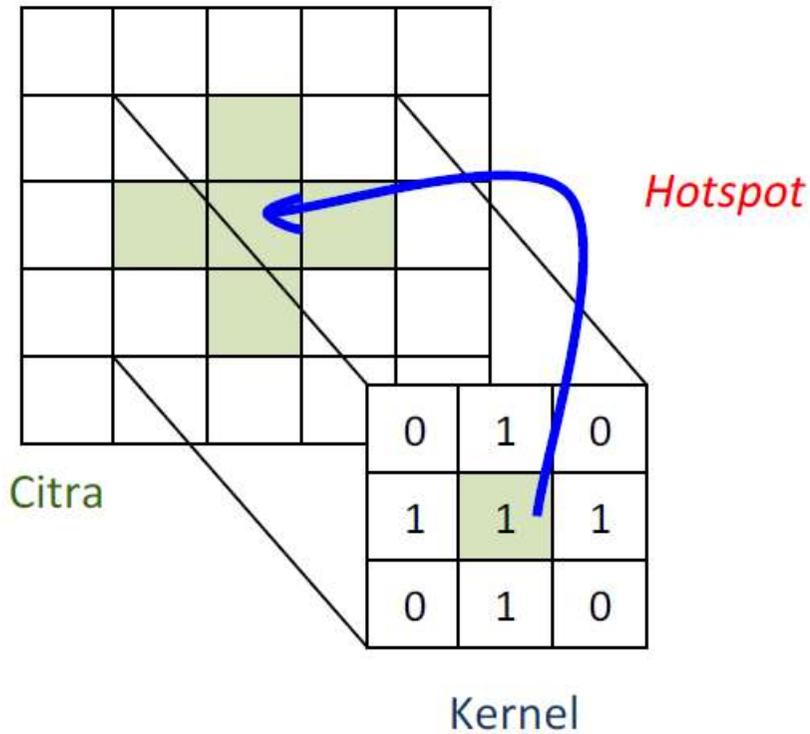
Objek objek daun yang saling berhimpitan pun dapat dipisahkan melalui morfologi, sebagaimana ditunjukkan pada gambar berikut.



Inti operasi morfologi melibatkan dua larik piksel. Larik pertama berupa citra yang akan dikenai operasi morfologi, sedangkan larik kedua dinamakan sebagai kernel atau structuring element (elemen penstruktur) (Shih, 2009). Contoh kernel ditunjukkan pada gambar di bawah.



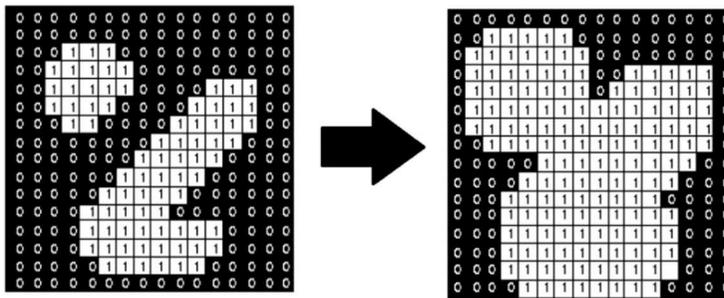
Pada contoh tersebut, piksel pusat (biasa diberi nama hotspot) ditandai dengan warna abu-abu. Piksel pusat ini yang menjadi pusat dalam melakukan operasi terhadap citra, sebagaimana diilustrasikan pada gambar berikut.



Dua operasi yang mendasari morfologi yaitu dilasi dan erosi. Dua operasi lain yang sangat berguna dalam pemrosesan citra adalah opening dan closing dibentuk melalui dua operasi dasar itu.

Dilasi

Dilasi adalah teknik untuk memperbesar segmen objek (citra biner) dengan menambah lapisan di sekeliling objek. Atau dengan menjadi titik latar (0) yang bertetangga dengan titik objek (1) menjadi titik objek (1).



Contoh hasil operasi dilasi sebagai berikut:

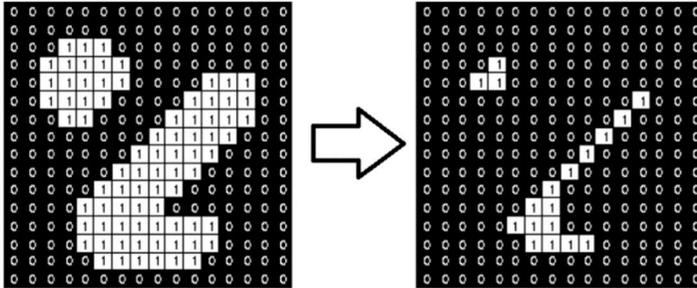


Sumber devtrik.com

Erosi

Erosi atau pengikisan adalah kebalikan dari dilasi yaitu teknik yang bertujuan untuk memperkecil atau mengikis tepi objek. Atau dengan

menjadi titik objek (1) yang bertetangga dengan titik latar (0) menjadi titik latar (0).



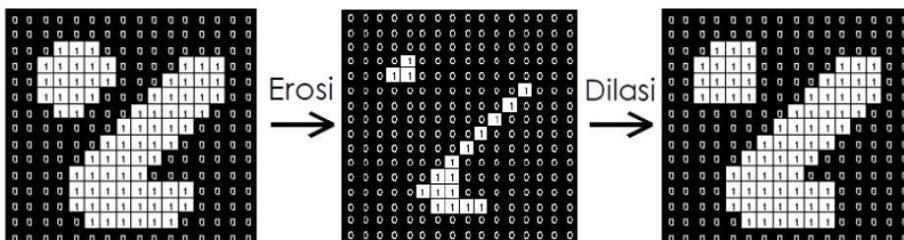
Contoh hasil operasi erosi sebagai berikut:



Sumber devtrik.com

Opening

Opening adalah proses erosi yang diikuti dengan dilasi. Dimulai dengan melakukan erosi pada citra kemudian hasil tersebut kembali dilakukan erosi. Opening biasanya digunakan untuk menghilangkan objek-objek kecil dan kurus serta dapat membuat tepi citra lebih smooth (untuk citra berukuran besar).



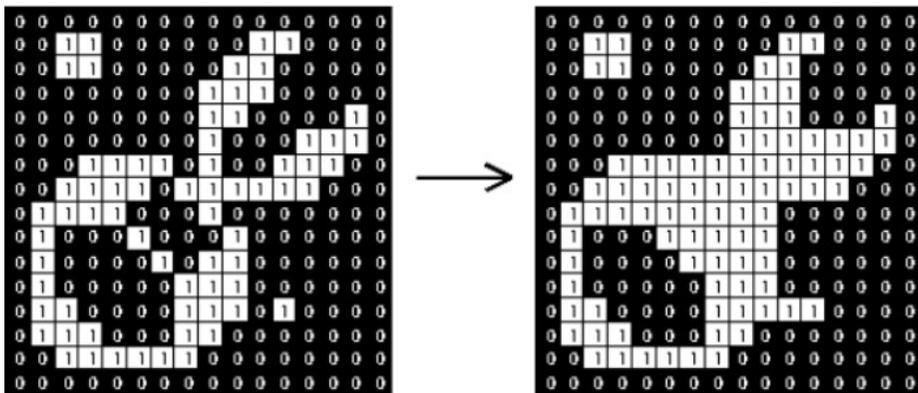
Contoh hasil operasi opening sebagai berikut:



Sumber devtrik.com

Closing

Closing merupakan kebalikan dari opening. Dimana citra terlebih dahulu dilakukan dilasi yang kemudian dilanjutkan dengan erosi. Closing bertujuan untuk mengisi lubang kecil pada objek, menggabungkan objek yang berdekatan.



Contoh hasil operasi closing sebagai berikut:



Sumber devtrik.com

Untuk memahami operasi morfologi, pemahaman terhadap operasi himpunan seperti interseksi dan gabungan mutlak diperlukan. Selain itu, pemahaman terhadap operasi logika, seperti "atau" dan "dan" juga diperlukan.

Teori Himpunan

Misalkan, terdapat himpunan A yang berada di dalam bidang Z^2 (berdimensi dua). Apabila $a = (a_1, a_2)$ adalah suatu elemen atau anggota di dalam A , a dapat ditulis menjadi :

$$a \in A$$

Dimana a adalah anggota himpunan A . Kebalikannya, jika a bukan anggota himpunan A , a ditulis seperti berikut :

$$a \notin A$$

Sebagai contoh: $s = (1, 2)$ dan $t = (1, 4)$, sedangkan himpunan A berisi seperti berikut:

$$A = \{(1, 1), (1, 2), (1, 3), (2, 1), (2, 2)\}$$

Pada contoh tersebut, A memiliki 5 anggota. Berdasarkan contoh tersebut, dapat dituliskan fakta berikut:

$$s \in A$$

$$t \notin A$$

Perlu diketahui, setiap elemen hanya dapat menjadi anggota himpunan satu kali. Dengan demikian,

$$A = \{(1,1), (1,1), (2,1), (2,3), (2,1)\}$$

Sehingga hanya mempunyai 3 anggota, yaitu

$$A = \{(1, 1), (2, 1), (2, 3)\}$$

Notasi \emptyset biasa terdapat dalam pembicaraan himpunan. Simbol tersebut menyatakan himpunan kosong, yaitu himpunan yang tidak memiliki anggota sama sekali.

Apabila A dan B adalah himpunan dan setiap anggota himpunan B merupakan anggota himpunan A, dikatakan bahwa B adalah subhimpunan A. Notasi yang biasa digunakan untuk kepentingan ini:

$$B \subseteq A$$

Union adalah penggabungan dari dua buah himpunan. Misalnya:

$$C = A \cup B$$

yang menyatakan bahwa C memiliki anggota berupa semua anggota A ditambah dengan semua anggota B. Gambar di bawah ini memperlihatkan contoh nilai-nilai piksel penyusun dua citra biner dan menunjukkan hasil operasi union. Semua nilai 1 pada citra tersebut menyatakan anggota himpunan baru, yang cenderung meluas.

	1	2	3	4	5
1	0	1	0	0	0
2	0	1	1	0	0
3	0	1	1	1	0
4	0	1	1	0	0
5	0	1	0	0	0

	1	2	3	4	5
1	1	1	0	0	0
2	0	1	0	0	0
3	0	0	1	0	0
4	0	1	0	0	0
5	1	0	0	0	0

$A = \{(1,2), (2,2), (2,3), (3,2), (3,3), (3,4), (4,2), (4,3), (5,2)\}$

$B = \{(1,1), (2,1), (2,2), (3,3), (4,2), (5,1)\}$

$C = A \cup B$

1	1	0	0	0
0	1	1	0	0
0	1	1	1	0
0	1	1	0	0
1	1	0	0	0

$C = \{(1,1), (1,2), (2,2), (2,3), (3,2), (3,3), (3,4), (4,2), (4,3), (5,1), (5,2)\}$

Interseksi menyatakan operasi yang menghasilkan himpunan semua anggota yang terdapat di kedua himpunan. Misalnya:

$C = A \cap B$

berarti bahwa C berisi anggota-anggota yang ada di himpunan A dan juga terdapat di himpunan B. Hasilnya cenderung menyempit. Contoh dapat dilihat pada gambar di bawah.

	1	2	3	4	5
1	0	1	0	0	0
2	0	1	1	0	0
3	0	1	1	1	0
4	0	1	1	0	0
5	0	1	0	0	0

$$A = \{(1,2), (2,2), (2,3), (3,2), (3,3), (3,4), (4,2), (4,3), (5,2)\}$$

	1	2	3	4	5
1	1	1	0	0	0
2	0	1	0	0	0
3	0	0	1	0	0
4	0	1	0	0	0
5	1	0	0	0	0

$$B = \{(1,1), (2,1), (2,2), (3,3), (4,2), (5,1)\}$$

$$C = A \cap B$$

1	1	0	0	0
0	1	1	0	0
0	1	1	1	0
0	1	1	0	0
1	1	0	0	0

$$C = \{(1,2), (2,2), (3,3), (4,1)\}$$

Komplemen himpunan A biasa dinotasikan dengan A^c dan menyatakan semua elemen yang tidak terdapat pada A. Secara matematis, komplemen ditulis seperti berikut:

$$A^c = \{w \mid w \notin A\}$$

Notasi di atas dibaca "semua elemen yang tidak menjadi anggota A".

Komplemen atau juga disebut inversi dapat dibayangkan seperti saling menukarkan warna hitam dan putih. Nilai yang semula berupa nol diganti satu dan nilai satu diganti dengan nol. Contoh dapat dilihat pada gambar di bawah.

	1	2	3	4	5
1	0	1	0	0	0
2	0	1	1	0	0
3	0	1	1	1	0
4	0	1	1	0	0
5	0	1	0	0	0

$$A = \{(1,2), (2,2), (2,3), (3,2), (3,3), (3,4), (4,2), (4,3), (5,2)\}$$

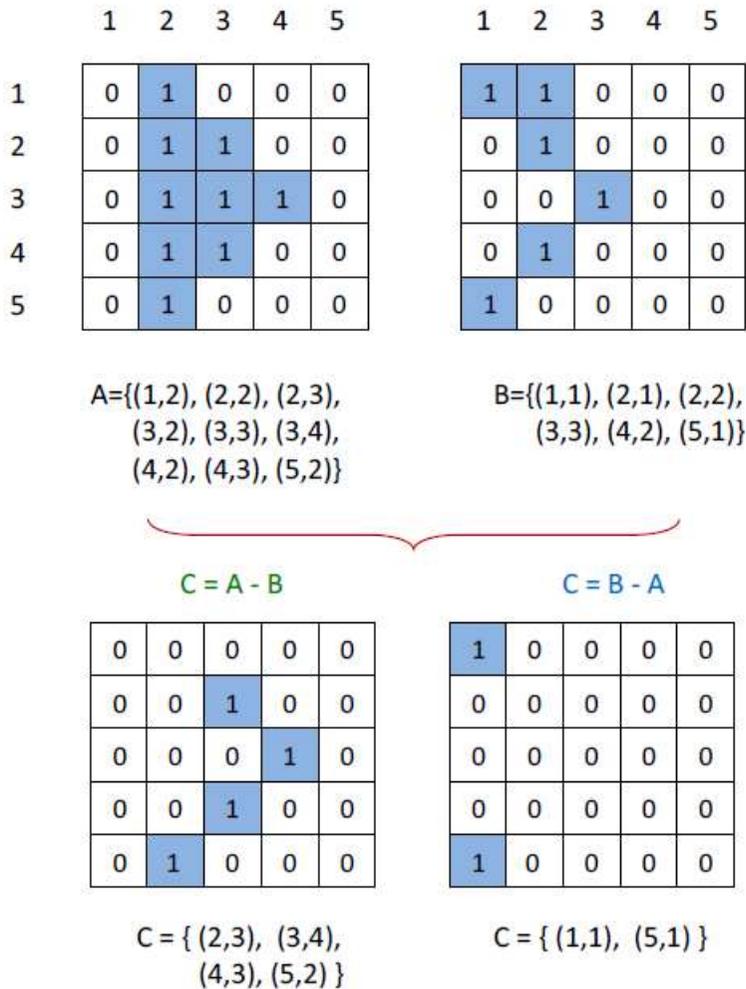
	1	2	3	4	5
1	1	0	1	1	1
2	1	0	0	1	1
3	1	0	0	0	1
4	1	0	0	1	1
5	1	0	1	1	1

$$A^c = \{(1,1), (1,3), (1,4), (1,5), (2,1), (2,4), (2,5), (3,1), (3,5), (4,1), (4,4), (4,5), (5,1), (5,3), (5,4), (5,5)\}$$

Di bidang fotografi dengan film, inversi menghasilkan gambar negatif. Istilah komplemen juga berarti "pelengkap", karena bila A digabung dengan operasi union akan menyempurnakan citra menjadi citra yang semua pikselnya bernilai 1.

Operasi selisih dua himpunan dapat ditulis seperti berikut:

$$A - B = \{w \mid w \in A, w \notin B\} = A \cap B^c$$



Contoh di atas menunjukkan bahwa $A - B \neq B - A$.

Refleksi B dinotasikan dengan \hat{B} dan didefinisikan sebagai berikut:

$$\hat{B} = \{w | w = -b, \text{ untuk } b \in B\}$$

Refleksi sebenarnya menyatakan pencerminan terhadap piksel pusat. Contoh ditunjukkan pada gambar di bawah. Bayangan cermin 2-D terjadi melalui pencerminan pada arah x dan dilanjutkan pada arah y. namun, ternyata hasilnya sama dengan pemutaran di bidang citra 180° .

	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	1	1	0	0
3	0	1	1	1	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

$$A = \{(2,2), (2,3), (3,2), (3,3), (3,4)\}$$

	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	1	1	1	0
4	0	0	1	1	0
5	0	0	0	0	0

$$\hat{A} = \{(3,2), (3,3), (3,4), (4,3), (4,4)\}$$

Translasi himpunan A terhadap titik $z = (z_1, z_2)$ disimbolkan dengan $(A)_z$.
Definisinya sebagai berikut:

$$(A)_z = \{c | c = a + z, \text{ untuk } a \in A\}$$

	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	1	1	0	0
3	0	1	1	1	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

$$A = \{(2,2), (2,3), (3,2), (3,3), (3,4)\}$$

	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	1	1	0
5	0	0	1	1	1

$$(A)_{(2,1)} = \{(4,3), (4,4), (5,3), (5,4), (5,5)\}$$

Operator Logika

Operator logika didasarkan pada aljabar Boolean. Sebagaimana diketahui, aljabar Boolean adalah pendekatan matematis yang berhubungan dengan

nilai kebenaran (benar atau salah). Ada tiga operator nalar dasar, yaitu AND, OR, serta NOT.

Operasi AND melibatkan dua masukan dan mempunyai sifat bahwa hasil operasinya bernilai 1 hanya jika kedua masukan bernilai 1. Pada operasi OR, hasil berupa 1 kalau ada masukan yang bernilai 1. Berbeda dengan AND dan OR, operasi NOT hanya melibatkan satu masukan. Hasil NOT berupa 1 kalau masukan berupa 0 dan sebaliknya akan menghasilkan nilai 0 kalau masukan berupa 1.

Segmentasi

Prosedur segmentasi mempartisi gambar menjadi bagian atau objek penyusunnya. Secara umum, segmentasi otonom adalah salah satu tugas tersulit dalam pemrosesan citra digital. Prosedur segmentasi yang kokoh membawa proses tersebut jauh menuju solusi masalah pencitraan yang berhasil yang memerlukan objek untuk diidentifikasi secara individual.

Segmentasi adalah proses pemisahan objek yang satu dengan objek yang lain dalam suatu gambar (citra) menjadi objek-objek berdasarkan karakteristik tertentu. Proses segmentasi berhenti ketika obyek yang dicari telah ditemukan. Berdasarkan pengertiannya, segmentasi memiliki tujuan menemukan karakteristik khusus yang dimiliki suatu citra. Oleh karena itulah, segmentasi sangat diperlukan pada proses pengenalan pola. Semakin baik kualitas segmentasi maka semakin baik pula kualitas pengenalan polanya.

Algoritma segmentasi citra umumnya didasarkan pada satu dari dua properti nilai intensitas yaitu diskontinuitas dan similaritas. Diskontinuitas

memiliki pendekatan memecah atau memilah citra berdasarkan perubahan intensitas yang tiba-tiba atau cukup besar. Proses segmentasi diskontinuitas antara lain: deteksi titik, deteksi garis, dan deteksi tepi. Sementara itu untuk similaritas berdasarkan pada memecah citra ke dalam wilayah yang sama menurut beberapa kriteria yang telah ditentukan, antara lain seperti proses: thresholding, region growing, dan region splitting and merging.

Deteksi Garis

Pada deteksi garis, rantai tepi citra diekstrak pada ketepatan sub-pixel dengan metode yang pertama kali dijelaskan oleh Canny (Canny, 1986) dan diperkuat oleh Rothwell (Rothwell et al., 1995). Pada setiap titik di sebuah rantai gradien local diperkirakan, dan suatu prosedur pencarian jamak digunakan untuk memecah rantai menjadi sub-rantai yang sesuai dengan batasan tangent yang ditentukan. Akhirnya, sub-rantai dengan sedikit edgel akan dibuang dengan menggunakan suatu batas ambang sederhana.

Operator pendeteksian garis terdiri atas suatu mask konvolusi yang diatur untuk mendeteksi keberadaan garis pada lebar n tertentu, pada orientasi tertentu. Berikut merupakan gambar empat mask pendeteksian garis dengan respon maksimum pada horisontal, vertikal, $+45^\circ$, 45° .

a)									
<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"><tr><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>2</td><td>2</td><td>2</td></tr><tr><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr></table>	-1	-1	-1	2	2	2	-1	-1	-1
-1	-1	-1							
2	2	2							
-1	-1	-1							

b)									
<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"><tr><td>-1</td><td>2</td><td>-1</td></tr><tr><td>-1</td><td>2</td><td>-1</td></tr><tr><td>-1</td><td>2</td><td>-1</td></tr></table>	-1	2	-1	-1	2	-1	-1	2	-1
-1	2	-1							
-1	2	-1							
-1	2	-1							

c)									
<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"><tr><td>-1</td><td>-1</td><td>2</td></tr><tr><td>-1</td><td>2</td><td>-1</td></tr><tr><td>2</td><td>-1</td><td>-1</td></tr></table>	-1	-1	2	-1	2	-1	2	-1	-1
-1	-1	2							
-1	2	-1							
2	-1	-1							

d)									
<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"><tr><td>2</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>-1</td><td>2</td><td>-1</td></tr><tr><td>-1</td><td>-1</td><td>2</td></tr></table>	2	-1	-1	-1	2	-1	-1	-1	2
2	-1	-1							
-1	2	-1							
-1	-1	2							

Jika tanggapan mask dinotasikan dengan i , mask ini dapat digunakan pada sebuah citra, dan pada titik tertentu, jika untuk semua titik berisi suatu garis yang orientasi dan lebarnya sesuai dengan mask i . Mask biasanya mengambangkan untuk menghilangkan garis lemah yang sesuai dengan tepi dan bentuk lainnya dengan gradien intensitas yang memiliki skala berbeda dibandingkan lebar garis yang diinginkan. Untuk memperoleh garis yang utuh maka harus digabungkan dengan fragmen garis, dengan operator edge tracking.

Deteksi Tepi

Tepi atau sisi dari sebuah objek adalah daerah di mana terdapat perubahan intensitas warna yang cukup tinggi. Deteksi tepi (Edge detection) adalah operasi yang dijalankan untuk mendeteksi garis tepi (edges) yang membatasi dua wilayah citra homogen yang memiliki tingkat kecerahan yang berbeda. Deteksi tepi sebuah citra digital merupakan proses untuk mencari perbedaan intensitas yang menyatakan batas-batas suatu objek (sub-citra) dalam keseluruhan citra digital yang dimaksud.

Tujuan pendeteksian tepi adalah untuk meningkatkan penampakan garis batas suatu daerah atau objek di dalam citra. Proses deteksi tepi citra dilakukan dengan mencari lokasi-lokasi intensitas piksel-piksel yang diskontinyu dengan intensitas piksel-piksel yang berdekatan (bertetangga/neighborhood). Suatu titik (x,y) dikatakan sebagai tepi (edge) dari suatu citra, bila titik tersebut mempunyai perbedaan yang tinggi dengan tetangganya. Metode deteksi tepi tersebut diantaranya yaitu metode atau detektor tepi Sobel, Prewitt, Robert, Zerro Crossing dan Canny.

Tepi dapat diorientasikan dengan suatu arah, dan arah ini berbeda-beda pada bergantung pada perubahan intensitas. Ada tiga macam tepi yang terdapat di dalam citra digital. Ketiganya adalah:

1. Tepi curam
Tepi dengan perubahan intensitas yang tajam. Arah tepi berkisar 90° .
2. Tepi landai
Disebut juga tepi lebar, yaitu tepi dengan sudut arah yang kecil. Tepi landai dapat dianggap terdiri dari sejumlah tepi-tepi lokal yang lokasinya berdekatan.
3. Tepi yang mengandung derau (noise)
Umumnya tepi yang terdapat pada aplikasi computer vision mengandung derau. Operasi peningkatan kualitas citra (image enhancement) dapat dilakukan terlebih dahulu sebelum pendeteksian tepi.

Terdapat beberapa teknik yang digunakan untuk mendeteksi tepi, antara lain:

1. Operator gradien pertama (differential gradient)
Perubahan intensitas yang besar dalam jarak yang singkat dipandang sebagai fungsi yang memiliki kemiringan yang besar. Kemiringan fungsi biasanya dilakukan dengan menghitung turunan pertama (gradient). Karena citra $f(x,y)$ adalah fungsi dwimatra dalam bentuk diskrit, maka turunan pertamanya adalah secara parsial, masing-masing dalam arah-x dan dalam arah-y, sebagai berikut:

$$\nabla f = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix}$$

2. Operator turunan kedua (Laplacian)

Operator turunan kedua disebut juga operator Laplace. Operator Laplace mendeteksi lokasi tepi lebih akurat khususnya pada tepi yang curam.

3. Operator kompas (compass operator)

Operator kompas (compass operator) digunakan untuk mendeteksi semua tepi dari berbagai arah di dalam citra. Operator kompas yang dipakai untuk pendeteksian tepi menampilkan tepi dari 8 macam arah mata angin: Utara, Timur Laut, Timur, Tenggara, Selatan, Barat Daya, dan Barat Laut. Pendeteksian tepi dilakukan dengan mengkonvolusikan citra dengan berbagai mask kompas, lalu dicari nilai kekuatan tepi (magnitude) yang terbesar dan arahnya.

Detektor Tepi Robert

Metode Robert (Chaple et al., 2015) merupakan bagian dari operator gradien pertama. Metode Robert adalah nama lain dari teknik differensial pada arah horisontal dan differensial pada arah vertikal, dengan ditambahkan proses konversi biner setelah dilakukan differensial. Teknik konversi biner yang disarankan adalah konversi biner dengan meratakan distribusi warna hitam dan putih. Metode Robert ini juga disamakan dengan teknik DPCM (Differential Pulse Code Modulation).

Operator Robert menggunakan operator gradient berukuran 2×2 :

1	1
-1	-1

Gradient magnitude dari operator Robert adalah sebagai berikut :

$$G[f(i, j)] = [f(i, j) - f(i + 1, j + 1)] + [f(i + 1, j) - f(i, j + 1)]$$

Karena operator Robert hanya menggunakan convolution mask berukuran 2 x 2, maka operator Robert sangat sensitif terhadap noise.

Detektor Tepi Sobel

Metode Sobel (Kanopoulos et al., 1988) merupakan bagian dari operator gradien pertama. Deteksi tepi operator Sobel diperkenalkan oleh Irwin Sobel pada tahun 1970. Operator ini identik dengan bentuk matriks 3x3 atau jendela ukuran 3x3 piksel, dengan G_x dan G_y dihitung menggunakan kernel (mask) seperti tampak pada gambar di bawah.

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

G_x

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

G_y

Detektor Tepi Prewitt

Metode Prewitt (Yang et al., 2011) merupakan bagian dari operator gradien pertama. Deteksi tepi operator Prewitt diperkenalkan oleh Prewitt pada tahun 1970. Operator ini identik dengan bentuk matriks 3x3 atau jendela ukuran 3x3 piksel, dengan G_x dan G_y dihitung menggunakan kernel (mask) seperti tampak pada gambar berikut.

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

G_x

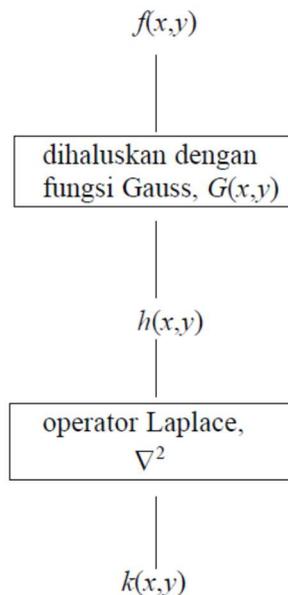
-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

G_y

Metode Prewitt merupakan pengembangan metode robert dengan menggunakan filter HPF yang diberi satu angka nol penyangga. Metode ini mengambil prinsip dari fungsi laplacian yang dikenal sebagai fungsi untuk membangkitkan HPF.

Detektor Laplacian of a Gaussian

Kadangkala pendeteksian tepi dengan operator Laplace (Gunn, 1999) menghasilkan tepi-tepi palsu yang disebabkan oleh gangguan. Untuk mengurangi kemunculan tepi palsu, citra disaring dulu dengan fungsi Gaussian.



Berdasarkan skema pada gambar sebelumnya:

$$k(x, y) = \nabla^2 h(x, y)$$

dan

$$h(x, y) = f(x, y) * G(x, y)$$

Maka dapat dibuktikan bahwa

$$\nabla^2 [f(x, y) * G(x, y)] = f(x, y) * \nabla^2 G(x, y)$$

Jadi,

$$k(x, y) = f(x, y) * \nabla^2 G(x, y)$$

yang dalam hal ini,

$$\nabla^2 G(x, y) = \left(\frac{x^2 + y^2 - 2\sigma^2}{\sigma^4} \right) e^{-\frac{(x^2 + y^2)}{2\sigma^2}}$$

Fungsi $\nabla^2 G(x, y)$ merupakan turunan kedua dari fungsi Gauss, kadang-kadang disebut juga fungsi Laplacian of Gaussian (LoG). Jadi, untuk mendeteksi tepi dari citra yang mengalami gangguan, kita dapat melakukan salah satu dari dua operasi ekuivalen di bawah ini:

1. Konvolusi citra dengan fungsi Gauss $G(x, y)$, kemudian lakukan operasi Laplacian terhadap hasilnya, atau
2. Konvolusi citra dengan penapis LoG.

Detektor Tepi Zero-Crossing

Operator turunan kedua disebut juga operator Laplace. Operator Laplace mendeteksi lokasi tepi lebih akurat khususnya pada tepi yang curam. Pada tepi yang curam, turunan keduanya mempunyai persilangan nol (zero-crossing), yaitu titik di mana terdapat pergantian tanda nilai turunan kedua sedangkan pada tepi yang landai tidak terdapat persilangan nol. Persilangan nol merupakan lokasi tepi yang akurat.

Detektor Tepi Canny

Operator Canny, yang dikemukakan oleh John Canny pada tahun 1986 (Canny, 1986), terkenal sebagai operator deteksi tepi yang optimal. Algoritma ini memberikan tingkat kesalahan yang rendah, melokalisasi titik-titik tepi (jarak piksel-piksel tepi yang ditemukan deteksi dan tepi yang sesungguhnya sangat pendek), dan hanya memberikan satu tanggapan untuk satu tepi. Metode ini dapat dijelaskan secara ringkas sebagai berikut:

1. Pertama-tama dilakukan penapisan terhadap citra dengan tujuan untuk menghilangkan derau. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan filter Gaussian.
2. Setelah penghalusan gambar terhadap derau dilakukan, dilakukan proses untuk mendapatkan kekuatan tepi (edge strength). Hal ini dilakukan dengan menggunakan operator Gaussian.

Selanjutnya, gradien citra dapat dihitung melalui rumus:

$$|G| = |G_x| + |G_y|$$

3. Langkah ketiga berupa penghitungan arah tepi. Rumus yang digunakan untuk keperluan ini:

$$\theta = \tan^{-1}(G_y, G_x)$$

4. Setelah arah tepi diperoleh, perlu menghubungkan antara arah tepi dengan sebuah arah yang dapat dilacak dari citra.
5. Setelah arah tepi diperoleh, penghilangan non-maksimum dilaksanakan. Penghilangan non-maksimum dilakukan di sepanjang tepi pada arah tepi dan menghilangkan piksel-piksel (piksel diatur menjadi 0) yang tidak dianggap sebagai tepi. Dengan cara seperti itu, diperoleh tepi yang tipis.
6. Langkah keenam berupa proses yang disebut hysteresis. Proses ini menghilangkan garis-garis yang seperti terputus-putus pada tepi objek. Caranya adalah dengan menggunakan dua ambang T_1 dan T_2 . Lalu, semua piksel citra yang bernilai lebih besar daripada T_1 dianggap sebagai piksel tepi. Selanjutnya, semua piksel yang terhubung dengan piksel tersebut dan memiliki nilai lebih besar dari T_2 juga dianggap sebagai piksel tepi. Akhirnya, algoritma linking tepi dengan menemani piksel lemah menjadi piksel kuat.

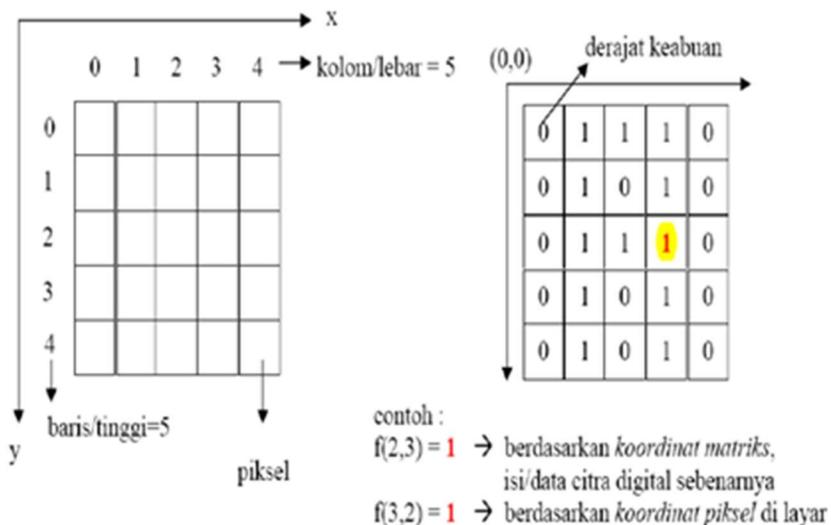
Representasi dan Deskripsi

Representasi dan deskripsi hampir selalu mengikuti keluaran dari tahap segmentasi, yang biasanya berupa data piksel mentah, yang merupakan batas suatu wilayah atau semua titik di wilayah itu sendiri. Memilih representasi hanyalah sebagian dari solusi untuk mengubah data mentah menjadi bentuk yang sesuai untuk pemrosesan komputer selanjutnya. Deskripsi berkaitan dengan penggalan atribut yang menghasilkan beberapa informasi kuantitatif yang menarik atau dasar untuk membedakan satu kelas objek dari yang lain.

Representasi Citra digital adalah sebuah aktivitas dalam kegiatan pengolahan citra digital, dimana kegiatan ini merupakan proses menampilkan kembali suatu citra yang telah melalui tahap digitizing (proses pengubahan bentuk citra analog ke dalam format digital agar mampu dilakukan proses manipulasi oleh komputer) dengan cara mencacah gambar tersebut dalam bentuk titik – titik warna yang ditandai dengan angka yang menunjukkan tingkat kecerahan warna tersebut, kemudian dipetakan dengan menggunakan sistem koordinat.

Suatu citra digital direpresentasikan dengan format $f(x,y) = f(N,M)$, dimana: N menunjukkan angka pada baris, dengan ketentuan nilai N (ditunjukkan dengan x) = $0 \leq x \leq N - 1$. M menunjukkan angka pada kolom, dengan ketentuan nilai M (ditunjukkan dengan y) = $0 \leq y \leq M - 1$.

Kemudian kedua faktor diatas dinyatakan dengan nilai L, yaitu nilai maksimal warna intensitas, dengan ketentuan nilai $L = 0 \leq f(x,y) \leq L - 1$.



Koordinat Matriks dan koordinat piksel tidak memiliki perbedaan dalam operasi matematisnya. Perbedaan dari koordinat matriks dan koordinat piksel adalah koordinat matriks menunjukkan letak suatu titik pada citra asli, dan koordinat piksel menunjukkan letak suatu titik pada citra di layar monitor.

Berdasarkan format representasi citra diatas, maka dapat disimpulkan bahwa suatu citra dinyatakan dalam bentuk lebar x tinggi. Citra digital memiliki satuan berupa piksel, ataupun dalam satuan panjang (mm atau inci).

Suatu citra pada komputer umumnya direpresentasikan kedalam bentuk sebuah file. Adapun mekanisme representasi citra oleh komputer memiliki sistem yang sama dengan halnya melukis, dimana keberadaan palet warna dan kanvas merupakan hal yang utama. Dalam representasi citra digital, keberadaan kanvas digantikan oleh matriks, dan palet warna dalam citra digital berupa angka yang merepresentasikan tingkat kecerahan dari suatu warna.

Adapun mekanisme representasi citra digital adalah suatu elemen matriks diisi oleh angka–angka yang mewakilkan warna–warna yang tampak pada mata. Kumpulan angka yang mewakilkan warna pada matriks tersebut kemudian disimpan dalam komputer dengan berbagai format citra yang ada, dan memerlukan program khusus untuk membukanya (seperti Ms. Paint, Photoshop, dll). Sehingga dapat disimpulkan bahwa sebuah data citra digital menyimpan informasi berupa kumpulan angka yang mewakilkan warna yang ada.

Suatu citra digital dapat ditampilkan dalam tiga format tampilan, diantaranya:

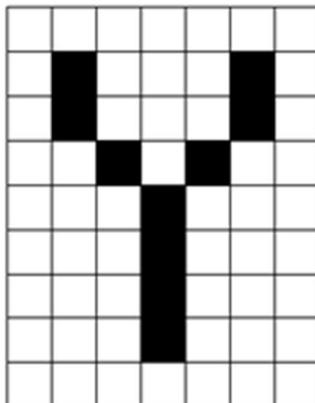
Citra Biner

Citra biner merupakan salah satu cara dalam merepresentasikan citra digital dimana citra ini menggunakan dua jenis warna saja, yakni hitam dan putih. Kedua warna ini masing – masing diwakili oleh angka – angka biner (0 dan 1).

Dalam mewakili warna hitam dan putih, angka biner memiliki ketentuan sebagai berikut:

- Model citra cahaya : angka 1 mewakili warna putih, dan angka 0 mewakili warna hitam (warna putih menyatakan adanya cahaya, warna hitam menyatakan tidak ada cahaya).
- Model citra tinta / cat : angka 1 mewakili warna hitam, dan angka 0 mewakili warna putih (warna hitam menandakan adanya cat, warna putih menandakan tidak ada cat).

Contoh: Citra biner dengan model citra cahaya



1	1	1	1	1	1	1
1	0	1	1	1	0	1
1	0	1	1	1	0	1
1	1	0	1	0	1	1
1	1	1	0	1	1	1
1	1	1	0	1	1	1
1	1	1	0	1	1	1
1	1	1	0	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1

Citra Grayscale

Citra grayscale merupakan suatu cara dalam merepresentasikan citra digital dengan menggunakan skala derajat keabuan, dimana derajat keabuan yang ada merupakan hasil pemangkatan nilai bit yang ada terhadap angka 2 (2^n).

Misalkan skala keabuan 4 bit memiliki rentang skala keabuan sebanyak 24 warna = 16 warna, yang diwakili dengan angka 0 hingga 15. (angka 0 / minimal mewakili warna hitam, dan angka 15 / maksimal mewakili warna putih). Adapun angka diantara 0 hingga 15 merepresentasikan warna abu dalam skala kecerahan yang berbeda.

Citra Warna

Citra warna merupakan metode dalam merepresentasikan suatu citra secara digital, dimana metode ini menggunakan kombinasi dari tiga warna primer (merah, hijau dan biru = RGB) untuk membentuk suatu citra. Adapun setiap titik pada citra mewakili kombinasi dari ketiga warna ini. Setiap warna ini masing masing memiliki intensitas tersendiri dengan rentang nilai 0 hingga 255 (8 bit).

- Red : warna minimal putih, warna maksimal merah
- Green : warna minimal putih, warna maksimal hijau
- Blue : warna minimal putih, warna maksimal biru

Misalkan warna ungu = merupakan kombinasi warna merah dan biru, sehingga nilai RGBnya: 255 0 255.

jika ketiga warna pada suatu piksel memiliki angka minimal, maka warna yang ditunjukkan pada piksel tersebut adalah warna hitam. Jika ketiga warna pada suatu piksel menunjukkan angka maksimal, maka warna yang

ditunjukkan adalah warna putih. Jika salah satu dari ketiga angka pada piksel memiliki nilai minimal, maka warna tersebut tidak terkandung pada warna yang ditampilkan.

Contoh: pada kombinasi warna ungu diatas, dapat disimpulkan bahwa warna ungu tidak mengandung warna hijau, karena nilai skala warna hijau pada warna tersebut adalah 0.

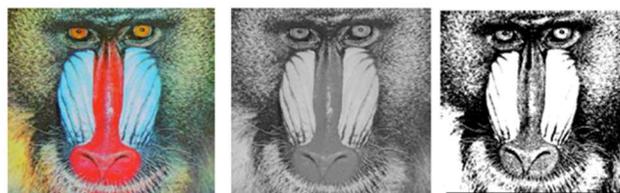
Mengingat bahwa setiap piksel merupakan kombinasi dari ketiga warna ini, maka satu piksel memerlukan memori sebanyak 3 bit. Adapun jumlah total dari kombinasi warna yang mungkin adalah sebagai berikut:

- Warna dasar terdiri atas 3 warna
- Masing – masing warna dasar memiliki nilai maksimum 8 bit
- Sehingga: kemungkinan jumlah warna yang ada = $2^8 \times 3 = 224 = 16.777.216$ warna.

Catatan : warna dasar pada konteks ini memiliki perbedaan, yakni warna dasar untuk cahaya / diplay pada monitor dan warna dasar untuk cat atau tinta / display cetakan diatas kertas.

- Citra cahaya menggunakan warna dasar RGB (Red, Green, Blue)
- Citra cat menggunakan warna dasar CMY (Cyan, Magenta, Yellow)

Berikut merupakan perbandingan ketiga citra yang dibahas pada bahasan ini:



RGB

GRAY SCALE

BINARY

Pengenalan Objek dan Pola

Pengenalan adalah proses yang memberikan label, seperti, "kendaraan" ke suatu objek berdasarkan deskriptornya. Pengenalan objek pada citra merupakan salah satu permasalahan pada computer vision. Permasalahan pada pengenalan objek yaitu menentukan apakah pada citra tersebut memiliki objek tertentu atau tidak. Oleh karena itu, pengenalan objek pada citra memerlukan pencocokan karakteristik objek-objek pada citra. Karakteristik objek-objek pada citra direpresentasikan oleh karakteristik hasil deteksi tepi objek-objek citra. Hasil deteksi tepi dapat berupa titik, garis, kurva, dan wilayah.

Manusia bisa mengenali objek-objek disekitarnya karena otak manusia belajar mengklasifikasi objek-objek di alam sehingga mampu membedakan suatu objek dengan objek lainnya. Kemampuan sistem visual manusia inilah yang akan ditiru oleh mesin. Komputer akan menerima masukan berupa citra objek yang akan diidentifikasi kemudian memproses citra tersebut dan memberikan keluaran berupa informasi atau deskripsi objek di dalam citra.

Sebuah citra objek yang akan dikenali oleh jaringan syaraf tiruan, tidak begitu saja dimasukkan menjadi input sebuah jaringan syaraf tiruan, karena masih berupa data mentah dan belum sesuai dengan kriteria masukan untuk jaringan syaraf tiruan. Citra objek tersebut harus diproses terlebih dahulu, tujuannya untuk membantu kemampuan jaringan dalam mengkomputasikan informasi dari citra objek tersebut.

Pengenalan pola bertujuan menentukan kelompok atau kategori pola berdasarkan ciri-ciri yang dimiliki oleh pola tersebut. Dengan kata lain, pengenalan pola membedakan suatu objek dengan objek yang lain.

Pola adalah entitas yang terdefinisi dan dapat diidentifikasi melalui ciri-cirinya (features). Ciri-ciri tersebut digunakan untuk membedakan suatu pola dengan pola lainnya. Ciri yang bagus adalah ciri yang memiliki daya pembeda yang tinggi, sehingga pengelompokan pola berdasarkan ciri yang dimiliki dapat dilakukan dengan keakuratan yang tinggi. Contoh aplikasi pengenalan pola:

- Voice recognition yang menggunakan pengenalan suara sebagai kunci bagi pengguna sistem.
- Fingerprint identification yang menggunakan pengenalan sidik jari sebagai kunci telah dipakai secara luas sebagai pengganti password atau pin untuk mengakses sistem tertentu.
- Face identification yang menggunakan pengenalan wajah sebagai kunci bagi pengguna sistem, bahkan saat ini badan penegak hukum sedang mengembangkan sistem untuk mengidentifikasi para buronan dengan melakukan scanning pada wajah para pelaku kejahatan yang sudah di-database-kan berdasarkan foto pelaku kejahatan tersebut.
- Handwriting identification yang menggunakan pengenalan tulisan yang telah secara luas digunakan oleh sistem perbankan untuk membuktikan pelaku transaksi adalah orang yang benar-benar berhak.
- Optical Character Recognition (OCR) yang secara luas digunakan pada counter pengecekan barang.
- Robot vision yang digunakan oleh aplikasi robotik dalam mengenali objek tertentu pada lingkungan yang unik.
- Speech recognition.
- Database image retrieval.
- Data mining.

Ciri pada suatu pola diperoleh dari hasil pengukuran terhadap objek uji. Khusus pada pola yang terdapat di dalam citra, ciri-ciri yang dapat diperoleh berasal dari informasi:

- Spasial: intensitas pixel, histogram, ...
- Tepi: arah, kekuatan, ...
- Kontur: garis, elips, lingkaran, ...
- Wilayah/bentuk: keliling, luas, pusat massa, ...
- Hasil transformasi Fourier: frekuensi, ...

Ada dua fase dalam pengenalan pola yaitu : fase pelatihan dan fase pengenalan. Fase pelatihan, beberapa contoh citra dipelajari untuk menentukan ciri yang digunakan dalam proses pengenalan serta prosedur klasifikasinya. Fase pengenalan, citra diambil cirinya kemudian ditentukan kelas kelompoknya. Berikut adalah tahapan umum dalam pengenalan pola:

1. Preprocessing

Proses awal yang dilakukan untuk memperbaiki kualitas citra (edge enhancement) dengan menggunakan teknik-teknik pengolahan citra.

2. Feature Extraction

Proses mengambil ciri-ciri yang terdapat pada objek di dalam citra. Pada proses ini objek di dalam citra mungkin perlu dideteksi seluruh tepinya, lalu menghitung properti-properti objek yang berkaitan sebagai ciri. Beberapa proses ekstraksi ciri mungkin perlu mengubah citra masukan sebagai citra biner, melakukan penipisan pola, dan sebagainya.

3. Classification

Proses mengelompokkan objek ke dalam kelas yang sesuai.

4. Feature Selection

Proses memilih ciri pada suatu objek agar diperoleh ciri yang optimum, yaitu ciri yang dapat digunakan untuk membedakan suatu objek dengan objek lainnya.

5. Learning

Proses belajar membuat aturan klasifikasi sehingga jumlah kelas yang tumpang tindih dibuat sekecil mungkin.

Basis Pengetahuan

Pengetahuan mungkin sesederhana merinci wilayah gambar di mana informasi yang menarik diketahui berada, sehingga membatasi pencarian yang harus dilakukan dalam mencari informasi tersebut. Basis pengetahuan juga bisa sangat kompleks, seperti daftar yang saling terkait dari semua kemungkinan cacat utama dalam masalah inspeksi material atau database gambar yang berisi gambar satelit resolusi tinggi dari suatu wilayah sehubungan dengan aplikasi deteksi perubahan. Basis pengetahuan ini digunakan sebagai referensi pada proses pengenalan objek maupun pola.

Daftar Pustaka

- Basuki, A. (2005). *Metode Numerik dan Algoritma Komputasi*. Andi.
- Canny, J. (1986). A Computational Approach to Edge Detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis And Machine Intelligence, PAMI-8*(6), 679–689. <https://doi.org/10.1109/ASICON.2011.6157287>
- Chaple, G. N., Daruwala, R. D., & Gofane, M. S. (2015). Comparisons of Robert, Prewitt, Sobel operator based edge detection methods for real time uses on FPGA. *Proceedings - International Conference on Technologies for Sustainable Development, ICTSD 2015, 1*, 4–7. <https://doi.org/10.1109/ICTSD.2015.7095920>
- Cuturicu, C. (1999). *A note about the JPEG decoding algorithm*. University Politehnica.
- Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2017). *Digital Image Processing* (4th ed.). Pearson Education International. <https://doi.org/10.1117/1.3115362>
- Gunn, S. R. (1999). On the discrete representation of the Laplacian of Gaussian. *Pattern Recognition, 32*(8), 1463–1472. [https://doi.org/10.1016/S0031-3203\(98\)00163-0](https://doi.org/10.1016/S0031-3203(98)00163-0)
- Hidayatullah, P. (2017). *Pengolahan Citra Digital*. Informatika.
- Kanopoulos, N., Vasanthavada, N., & Baker, R. L. (1988). Design of an Image Edge Detection Filter Using the Sobel Operator. *IEEE Journal of Solid-State Circuits, 23*(2), 358–367. <https://doi.org/10.1109/4.996>
- Petrou, M., & Bosdogianni, P. (1999). *Image Processing: The Fundamentals*. Wiley.
- Putra, D. (2010). *Pengolahan Citra Digital*. Andi.
- Rothwell, C., Mundy, J., Hoffman, W., & Nguyen, V.-D. (1995). Driving vision by topology. *International Symposium on Computer Vision, 395–400*. <https://doi.org/10.1109/ISCV.1995.477034>
- Shih, F. Y. (2009). *Image processing and mathematical morphology: Fundamentals and applications*. CRC Press.

Sutoyo, T., & Dkk. (2009). *Teori Pengolahan Citra Digital*. Andi.

Yang, L., Wu, X., Zhao, D., Li, H., & Zhai, J. (2011). An improved Prewitt algorithm for edge detection based on noised image. *Proceedings - 4th International Congress on Image and Signal Processing, CISP 2011, 3*, 1197–1200. <https://doi.org/10.1109/CISP.2011.6100495>



DASAR PENGOLAHAN CITRA DIGITAL



PPENERBIT
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" YOGYAKARTA