BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Teori Dasar Pengolahan Citra

Citra merupakan suatu fungsi kontinyu dari intensitas cahaya dalam bidang dua dimensi, dengan (x,y) menyatakan koodinat citra dan nilai f pada koodinat (x,y) menyatakan tingkat kecerahan atau derajat keabuan.

Citra digital merupakan array dua dimensi dengan nilai f(x,y) nya telah dikonversi ke dalam bentuk diskrit baik pada koordinat citra maupun kecerahannya. Pengolahan citra secara umum dapat didefinisikan sebagai pemrosesan sebuah gambar dua dimensi secara digital. Pengolahan citra merupakan proses pengolahan dan analisis citra yang banyak melibatkan presepsi visual. Proses ini mempunyai data masukan dan informasi keluaran yang berbentuk citra.

Operasi pengolahan citra digital umumnya dilakukan dengan tujuan memperbaiki kualitas suatu gambar sehingga dapat dengan mudah diinterpretasikan oleh mata manusia dan untuk mengolah informasi yang terdapat pada suatu gambar untuk keperluan pengenalan objek secara otomatis.

2.1.1 Representasi Citra

Citra merupakan kumpulan elemen gambar yang secara keseluruhan merekam suatu adegan melalui media indera visual. Citra dapat dideskripsikan sebagai data 2 dimensi dalam bentuk matrix M x N. yang terdiri atas baris dan

kolom untuk menyatakan sebuah titik pada citra dan elemen nilai matrik yang berupa nilai diskret menyatakan tingkat keabuan pada titik tersebut. Citra digital tiap elemen dikenal sebagai elemen gambar atau pixel.

Untuk mendapatkan suatu citra digital diperlukan suatu konversi sehingga dapat diproses oleh komputer. Proses konversi tersebut dengan membuat kisi-kisi arah horisontal dan vertikal sehingga diperoleh gambar dalam bentuk array 2 dimensi. Proses tersebut disebut proses digitasi atau sampling.

Semakin tinggi resolusi berarti semakin kecil ukuran pixelnya, berarti semakin halus gambar yang diperoleh karena informasi yang hilang akibat pengelompokan tingkat keabuan pada proses pembuatan kisi-kisi semakin kecil. Tetapi membutuhkan tempat penyimpanan bit yang makin besar pula.

Proses selanjutnya adalah proses kuantisasi. Kuantisasi aialah tingkat keabuan setiap pixel dinyatakan dengan suatu harga integer. Jika digambarkan 3 bit untuk menyimpan harga integer maka diperoleh 8 tingkat keabuan. Makin besar jumlah tingkat keabuan yang digunakan makin baik gambar yang diperoleh. Tetapi sebagai konsekuensinya jumlah memori yang digunakan semakin besar.

Kelemahan data digital adalah kualitasnya yang cenderung menjadi lebih rendah bila dibandingkan data dalam bentuk analog, ini dikarenakan sifatnya yang berbentuk diskrit (fungsi tangga). Sehingga banyak bagian-bagian tertentu yang hilang atau mengalami pembulatan. Karena itu frekuensi sampling dan level kuantisasi yang diberlakukan dalam proses konversi sangat memegang peranan penting dalam menentukan kualitas data digital.semakin tinggi frekuensi sampling

yang digunakan dan semakin besar level kuantisasi maka semakin baik kualitas data digital tersebut.

Di samping kelemahan diatas, data dalam bentuk ini mempunyai banyak kelebihan dibandingkan data analog, sifatnya yang diskret menyebabkannya tidak dipengaruhi oleh gangguan (*noise*) dari luar sehingga kualitas data tetap terjaga, selain itu dengan mudah dapat dilakukan proses pemadatan data sehingga media penyimpanan lebih efisien, di samping itu dapat pula dilakukan proses restorasi apabila data tersebut mengalami kerusakan dan lain-lain.

2.1.2 Thresholding

Thresholding adalah suatu cara untuk mengubah sebuah citra yang memiliki level *grayscale* atau *True Color* menjadi citra dengan level warna yang lebih sedikit, dalam kasus ini digunakan level warna bilevel. Citra bilevel adalah suatu citra yang jumlah warnanya terbagi menjadi dua buah warna yaitu 0(hitam) dan 1(putih) penyederhanaan warna menggunakan *thresholding* banyak dimanfaatkan untuk pengenalan pola yang menghilangkan kompleksitas warna menjadi sederhana, sehingga suatu citra yang diamati akan memiliki pola warna yang karakteristiknya mudah dikelompokkan hasil dari *thresholding*.

2.1.3 Mean Filter

Mean filtering adalah filter yang digunakan untuk menghaluskan gambar yang terlalu kasar. *Mean filtering* biasa disebut *smoothing filter* atau *blur effect*. *Mean filtering* termasuk jenis *spatial filtering* yang artinya : untuk memproses

sebuah titik, kita juga mengikut sertakan titik-titik sekitar dalam kalkulasi. Pada filter yang menggunakan *spatial filtering*, umumnya titik yang akan diproses beserta dengan titik disekitarnya dimasukkan kedalam sebuah matriks (array 2 dimensi) berukuran N x N. Matriks ini dinamakan *matrix neighbor*, Dimana N ini besarnya tergantung dari kebutuhan, tatapi umumnya N ini selalu kelipatan ganjil karena titik yang akan kita proses harus diletakkan di tengah dari matriks (matriks berdimensi genap tidak memiliki dua cell tengah).

Matriks ini dapat digambarkan pada diagram berikut ini.

1	2	3
4	T	5
6	7	8

Gambar 2.1. *Matrix Neighbor* Dimensi 3 x 3

Ini adalah contoh dari *matrix neighbor* dengan dimensi 3 x 3. Titik nomor 4 adalah titik sebelah kanan dari titik yang sedang diperiksa. Titik nomor 5 adalah titik sebelah kanan dari titik yang sedang diperiksa. Titik yang sedang diperiksa sendiri berada pada posisi tengah dari matriks (Cell yang berlabel T).

Selain menggunakan sebuah *matrix neighbor* teknik *spatial filtering* menggunakan sebuah matriks lagi yang dinamakan mask. Matriks ini ukurannya harus sama besarnya dengan *matrix neighbor* yaitu N x N. Didalam mask inilah nantinya disimpan jenis operasi yang akan dilakukan pada *matrix neighbor*. Berikut ini dijelaskan proses yang akan kita lakukan terhadap *matrix mask* dan *matrix neighbor.*

1. Lakukan loop untuk seluruh titik pada gambar (gunakan dua for loop. Loop pertama untuk sumbu X dan loop kedua untuk sumbu Y).
   a. Rekam titik yang sedang diperiksa dan juga titik sekitarnya ke dalam *matrix neighbor*.
   b. Isi matrix mask dengan angka.
   c. Kalikan *matrix neighbor* dengan *matrix mask* secara scalar (Output[x,y] = Mask[x.y] * Neighbor[x,y]). Maksudnya adalah kalikan *cell matrix mask* [0,0] dengan matrix neighbor[0,0] dan simpan hasilnya dalam matriks lain misalnya output [0,0]. Kemudian kalikan *cell matrix mask* [0,1] dengan *matrix neighbor* [0,1] demikian seterusnya hingga setiap cell dari matriks telah dikalikan.

Jumlahkan seluruh isi cell dari matrix Output. Hasil penjumlahan ini adalah titik baru yang akan kita letakkan pada layer output.

2.2 Citra Multimodal

Citra beserta berbagai sifat dan karakteristiknya dapat dikelompokkan menjadi dua kategori :

a. Citra Bimodal

   Citra bimodal adalah suatu citra yang memiliki histogram berpuncak dua sebagai distribusi dari nilai intensitas *graylevel*nya, menunjukkan pemisahan nilai intensitas antara objek dan backgroundnya. Proses segmentasi mudah diterapkan pada citra berjenis ini dengan hasil yang maksimal. *Threshold*

dapat diambil dari lembah terdalam antara dua puncak intensitas *gray level* tersebut.

b. Citra Multimodal

Citra Multimodal merupakan kebalikan dari citra bimodal. Jenis ini memiliki histogram berpuncak tidak sama dengan dua, sehingga cukup sulit untuk menentukan threshold yang tepat untuk menerapkan proses segmentasi agar mendapatkan hasil yang maksimal. Hal ini disebabkan karena terdapat lebih dari satu lembah antar puncak tersebut. Berbagai pendekatan telah dilakukan agar didapatkan hasil segmentasi yang tepat sesuai yang diinginkan.

2.3 Deteksi Tepi

Tepi didefinisikan sebagai batas antara dua daerah dengan nilai *gray-level* yang relatif berbeda atau dengan kata lain tepi merupakan tempat-tempat yang memiliki perubahan intensitas yang besar dalam jarak yang pendek. Sedangkan deteksi tepi adalah suatu proses yang digunakan untuk menentukan batas-batas dari seluruh objek yang direpresentasikan.

Deteksi tepi merupakan teknik filtering yang menggunakan *spatial filtering*. Teknik filtering dengan menggunakan spatial filtering umumnya titik yang akan diproses beserta titik-titik disekitarnya dari citra dimasukkan ke dalam sebuah matrix 2 dimensi yang berukuran N x N yang dinamakan *matrix neighbor*. Besar N dapat disesuaikan dengan keperluan namun umumnya N ini selalu kelipatan ganjil karena titik yang akan diproses diletakkan di tengah dari matriks. Selain *matrik neighbor* biasanya teknik *spatial filtering* menggunakan sebuah

matrik lain yang disebut matrik mask. Besar matrik mask harus sama dengan besar matrik neighbor, matrik inilah yang nantinya akan menentukan jenis operasi yang akan dilakukan (operator*)*. Beberapa teknik yang digunakan adalah :

1. Operator gradien pertama, yang termasuk di dalamnya operator gradien selisih terpusat (*center-difference*), operator Sobel, operator *Prewitt*, dan operator *Roberts*.
2. Operator gradien kedua, yang disebut juga sebagai operator Laplace. Operator Laplace diperbaiki dengan menambahkan operator Gauss untuk mengurangi kemunculan tepi palsu. Operator gabungan dari kedua operator tersebut disebut sebagai operator *LoG* (*Laplacian of Gausian*) atau terkenal dengan sebutan *MexicanHat*.
3. Operator kompas, yang digunakan untuk mendeteksi tepi dalam citra dari 8 arah.

2.4 Kriteria Penilaian Kualitas Citra

2.4.1 Kriteria Penilaian Obyektif

Kriteria penilaian obyektif ini didasarkan pada batas error yang diberbolehkan untuk citra yang akan diolah

2.4.1.1 Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)

PSNR dapat dihitung dengan membandingkan intensitas maksimum kuadrat seluruh pixel citra hasil proses terhadap jumlah seluruh selisih kuadrat pixel citra hasil proses dikurangi citra asli. Kita dapat memakai rumus sebagai berikut :

$$PSNR = \frac{255^2}{\frac{1}{MN}\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1}(f(x,y)-g(x,y))^2} \qquad \text{P (2.1)}$$

2.4.2 Kriteria Penilaian Subyektif

Kriteria ini ditentukan berdasarkan hasil pengamatan oleh mata manusia. Dengan menggunakan kriteria ini, baik buruknya citra hasil pengolahan ditentukan oleh pengamat sendiri. Sebuah citra yang berdasarkan penilaian secara obyektif dikatakan valid, dapat mempunyai kualitas subyektif yang berbeda, tergantung dari persepsi visual pengamat.

Penilaian ini akan diberikan oleh 30 responden supaya dapat dinyatakan valid. Beberapa kriteria hasil penilain subyektf yang banyak digunakan adalah sebagai berikut :

a. Excellent (skor 9 atau 10)

   Citra hasil segmentasi yang diamati mempunyai kualitas sangat baik, menggambarkan sisi pada citra dengan halus atau mendekati tepat.

b. Fine (skor 7 atau 8)

   Citra hasil segmentasi yang diamati masih mempunyai kualitas tinggi, menggambarkan sisi pada citra dengan sedikit gangguan atau kesalahan.

c. Passable (skor 5 atau 6)

   Citra hasil segmentasi yang diamati masih mempunyai kualitas agak baik, menggambarkan sisi pada citra dengan gangguan-gangguan atau kesalahan yang sedikit berarti.

d. Marginal (skor 3 atau 4)

Citra hasil segmentasi yang diamati masih mempunyai kualitas buruk, menggambarkan sisi pada citra dengan gangguan yang cukup besar.

e. Inferior (skor 1 atau 2)

Citra hasil segmentasi yang dilihat sangat buruk, tetapi sisi pada citra masih dapat diamati secara kasar dengan gangguangangguan yang sangat jelas atau sangat besar.

f. Unusable (skor 0)

Citra hasil segmentasi yang dilihat sangat buruk dan sudah tidak dapat diamati lagi.

2.5 Segmentasi Citra

Segmentasi citra merupakan proses pengelompokkan pixel-pixel tetangga yang memiliki koherenitas dari propertinya (misalnya nilai intensitas). Daerah hasil bisa merupakan objek atau merupakan bagian dari objek, dan bisa diverifikasi (atau modifikasi) mengikuti langkah-langkah analisis gambar atau pengenalan pola. Algoritma segmentasi citra pada umumnya didasarkan pada dua properti dari nilai intensitas : diskontinuitas dan similaritas. Properti pertama, pendekatan yang dilakukan adalah dengan membagi-bagi citra berdasarkan pada perubahan intensitas, seperti garis tepi pada citra. Pada properti yang kedua, pendekatan yang dilakukan adalah berdasarkan pada pengelompokkan citra menjadi suatu daerah-daerah/ region yang memiliki kesamaan berdasarkan pada suatu kriteria yang telah ditentukan sebelumnya. Contoh dari penerapan properti

ini didapat pada metode *tresholding*, *region growing*, dan *region splitting* dan *merging*.

2.5.1 Deteksi Diskontinuitas

Ada tiga jenis diskontinuitas pada citra digital, yaitu: point (titik), *line* (garis), dan *edge* (batas). Dalam prakteknya, cara yang paling umum digunakan untuk menemukan diskontinuitas pada citra adalah dengan menggunakan mask yang dioperasikan ke seluruh pixel yang ada di dalam citra tersebut. Dengan menggunakan mask berukuran 3 x 3 seperti pada gambar berikut, akan didapatkan hasil :

$$R = w_1z_1 + w_2z_2 + \ldots + w_9z_9 \qquad P\ (2.2)$$

dimana z_i adalah graylevel dari pixel yang bersesuaian dengan koefisien mask w_i.

w1	w2	w3
w4	w5	w6
w7	w8	w9

Gambar 2.2 Matriks Deteksi Diskontinuitas

2.5.2 Point Detection

Cara mendeteksi titik (*point*) yang terisolasi adalah langsung menggunakan mask pada gambar berikut.

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

Gambar 2.3 Matriks *Point Detection*

Suatu titik dikatakan terdeteksi di lokasi pusat dari mask jika

$$|R| > T \qquad \text{P (2.3)}$$

dimana T adalah *threshold* positif, dan R adalah hasil perhitungan dari :

$$R = w1z1 + w2z2 + \ldots + w9z9 \qquad \text{P (2.4)}$$

dengan menggunakan mask tersebut di atas.

Pada dasarnya apa yang dilakukan di sini adalah mengukur besarnya perbedaan *graylevel* antara titik tengah dengan titik-titik tetangganya (*neighbor*). Idenya adalah bahwa suatu titik yang terisolasi akan memiliki perbedaan *graylevel* yang cukup besar dengan titik-titik tetangganya.

2.5.3 Line Detection

Tingkatan selanjutnya dalam deteksi diskontinuitas adalah pendeteksian garis. Untuk mendeteksi adanya suatu garis, bisa digunakan mask berikut :

-1	-1	-1
2	2	2
-1	-1	-1

Horisontal

-1	-1	2
-1	2	-1
2	-1	-1

$+45^o$

-1	2	-1
-1	2	-1
-1	2	-1

Vertikal

2	-1	-1
-1	2	-1
-1	-1	2

-45^o

Gambar 2.4 Matriks Line Detection

Mask yang pertama akan memberikan respon yang kuat pada garis yang memiliki arah horisontal. Sedangkan mask-mask berikutnya dapat digunakan untuk mendeteksi garis yang memiliki arah 45°, vertikal, dan -45°. Tampak bahwa arah garis yang dideteksi sesuai dengan arah koefisien mask yang nilainya lebih

besar dari yang lain, yaitu 2. Jika R1, R2, R3, dan R4 adalah response dari keempat mask yang ada di gambar di atas, dan keempatnya dijalankan pada pixel yang sama, maka nilai R yang tertinggi menunjukkan arah yang paling mendekati arah pixel tersebut.

2.5.4 Edge Detection

Edge detection adalah pendekatan yang paling umum digunakan untuk mendeteksi diskontinuitas *graylevel*. Hal ini disebabkan karena titik ataupun garis yang terisolasi tidak terlalu sering dijumpai dalam aplikasi praktis. Suatu edge adalah batas antara dua region yang memiliki *graylevel* yang relatif berbeda. Pada dasarnya ide yang ada di balik sebagian besar teknik *edge-detection* adalah menggunakan perhitungan local derivative operator. Gradien dari suatu citra f(x,y) pada lokasi (x,y) adalah vektor

$$\nabla \mathrm{f} = \begin{bmatrix} \mathrm{G_x} \\ \mathrm{G_y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \qquad \text{P (2.5)}$$

Dalam *edge detection* nilai yang penting di sini adalah *magnitude* dari vektor, yang biasanya hany disebut dengan gradien dan dituliskan dengan ∇f, dimana :

$$\nabla f = mag(\nabla f) = \sqrt{\left[G_x^2 + G_y^2\right]} \qquad \text{P (2.6)}$$

Pada umumnya digunakan pendekatan nilai gradien tersebut dengan nilai absolut :

$$\nabla f \approx \left|G_x\right| + \left|G_y\right| \qquad \text{P (2.7)}$$

Rumus tersebut lebih mudah diimplementasikan, khususnya jika menggunakan hardware untuk pemrosesan.Arah dari vektor gradien juga merupakan kuantitas

yang penting. Jika a(x,y) menunjukkan arah sudut vektor Ñ**f** pada (x,y), maka dari analisa vektor:

$$\alpha(x, y) = \tan^{-1}\left(\frac{G_x}{G_y}\right) \qquad \text{P (2.8)}$$

di mana arah sudut diukur terhadap sumbu x. Derivatif juga bisa diimplementasikan secara digital dengan menggunakan operator Sobel, yaitu dengan menggunakan mask berikut :

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

Mask untuk menghitung G_x

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

Mask untuk menghitung G_y

Gambar 2.5 Matriks untuk menghitung G_x dan G_y

2.5.5 Edge Linking

Secara ideal, teknik yang digunakan untuk mendeteksi diskontinuitas seharusnya hanya menghasilkan pixel-pixel yang berada pada batas region. Namun dalam prakteknya hal ini jarang terjadi karena adanya *noise*, batas yang terpisah karena pencahayaan yang tidak merata, dan efek lain yang mengakibatkan variasi intensitas. Untuk itu algoritma *edge-detection* biasanya dilanjutkan dengan prosedur *edge-linking* untuk merangkai pixel-pixel tersebut menjadi satu kesatuan sehingga memberikan suatu informasi yang berarti. Salah satu teknik yang dapat digunakan untuk *edge-linking* adalah *local processing*,

yaitu dengan menganalisa karakteristik pixel-pixel di dalam suatu *neighborhood* (3 x 3 atau 5 x 5) pada semua titik (x,y) di dalam citra yang telah mengalami *edge-detection*. Selanjutnya semua titik yang sejenis dihubungkan sehingga membentuk kumpulan pixel yang memiliki sifat-sifat yang sama. Dua sifat utama yang digunakan untuk menentukan kesamaan edge pixel dalam analisa ini adalah :

1. Besarnya respon gradient operator yang digunakan
2. Arah gradient

Sifat yang pertama dinyatakan dengan nilai Ñ*f* yang telah dibahas sebelumnya. Jadi suatu edge pixel dengan koordinat (x',y') dan bertetangga dengan (x,y), dikatakan memiliki *magnitude* sama dengan pixel di (x,y) jika :

$$\left|\nabla f(x,y) - \nabla f(x',y')\right| \le T \qquad \text{P (2.9)}$$

dimana T adalah threshold positif. Sedangkan arah vektor gradient dinyatakan dengan a(x,y) yang juga telah dibahas sebelumnya. Suatu *edge* pixel dengan koordinat (x',y') dan bertetangga dengan (x,y), dikatakan memiliki sudut yang sama dengan pixel di (x,y) jika :

$$\left|\alpha(x,y) - \alpha(x',y')\right| < A \qquad \text{P (2.10)}$$

dimana A adalah *threshold* sudut. Suatu titik yang menjadi tetangga dari (x,y) dihubungkan dengan titik (x,y) jika memenuhi kedua kriteria di atas, baik *magnitude* maupun sudutnya. Proses *linking* ini diulang untuk seluruh lokasi titik yang ada di dalam citra.

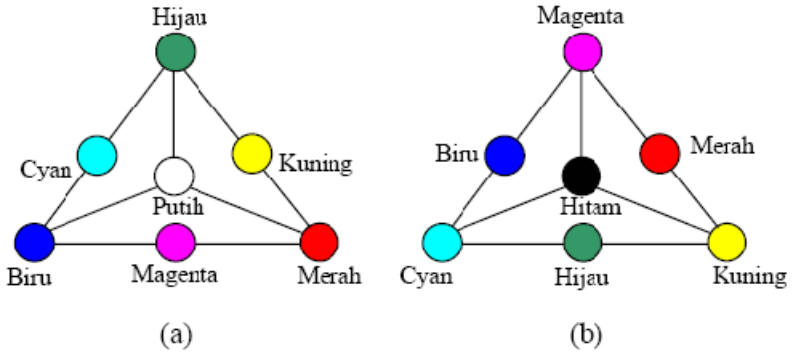
2.6 Ruang Warna

Cahaya tampak sering disebut dengan cahaya saja, merupakan sebagian kecil spektrum gelombang elektromagnetik yang memiliki rentang panjang gelombang antara 400 nm sampai dengan 700 nm. Pada spectrum cahaya tampak terdapat beberapa bagian cahaya dengan warna berbeda seperti merah, ungu dan lain sebagainya, dengan demikian warna merupakan fungsi panjang gelombang cahaya. Dapat juga didefinisikan bahwa warna suatu objek merupakan fungsi panjang gelombang cahaya yang dipantulkan oleh obyek yang bersangkutan ke mata manusia. Panjang gelombang pada kisaran cahaya tampak memiliki luminans dan saturasi (jumlah cahaya putih yang ditambahkan) dijaga tetap, sehingga seseorang yang memiliki penglihatan warna normal akan dapat membedakan kira-kira 128 warna.

2.6.1 Dasar Warna

Suatu warna tertentu dapat dihasilkan dari pencampuran warna primer. Gambar 2.6 berikut me nunjukkan sistem aditif yang memiliki tiga komponen warna primer, yaitu merah, hijau, dan biru. Dari gambar tampak bahwa pencampuran warna merah, hijau dan biru pada takaran yang tepat akan menghasilkan warna putih. Dua warna disebut komplementer jika kedu a warna tersebut dicampur pada takaran yang tepat akan menghasilkan warna putih, sebagai contoh warna magenta dicampur dengan warna hijau pada takaran yang tepat akan menghasilkan warna putih. Oleh karena itu warna

magenta merupakan komplemen untuk warna h ijau. Informasi dari suatu objek dapat diwakili oleh warna yang dipantulkan oleh objek yang bersangkutan ke mata.



Gambar 2.6 Pencampuran warna aditif dan warna subtraktif

Tingkat pantulan warna suatu objek ke mata dinyatakan dengan luminans, kontras dan kecerahan. Luminans menyatakan banyaknya cahaya yang dipantulkan oleh permukaan obyek yang dinyatakan dalam satuan lilin per meter persegi, semakin besar luminans suatu obyek, maka rincian obyek yang dapat dilihat oleh mata semakin banyak. Kontras menyatak an hubungan antara cahaya yang dipantulkan oleh suatu obyek dengan cahaya dari latar belakang obyek tersebut. Kontras juga didefinisikan sebagai selisih antara luminans obyek dengan latar belakangnya dibagi dengan luminans latar belakangnya. Nilai kontras positif akan diperoleh jika cahaya yang dipancarkan oleh suatu obyek lebih besar dibanding yang dipancarkan latar belakangnya. Nilai kontras negatif dapat menyebabkan obyek yang sesungguhnya "terserap" oleh latar belakang, sehingga obyek menjadi tidak tamp ak. Kecerahan adalah tanggapan subjektif pada cahaya. Tidak ada arti khusus dari tingkat kecerahan seperti luminans dan kontras, tetapi luminans yang tinggi berimplikasi pada kecerahan yang tinggi pula.

2.6.2 Model Warna

Model warna yang banyak digunakan saat ini berorientasi hardware (contoh monitor dan printer) atau aplikasi dimana manipulasi warna menjadi tujuannya (kreasi warna grafik untuk animasi).

Model Warna berorientasi Hardware :

1. Model RGB (red, green, blue) untuk warna monitor dan warna pada kamera video.
2. Model CMY (cyan, magenta, yellow) untuk model printer.
3. Model YIQ model, digunakan untuk standard televisi. Y berkoresponden dengan luminasi, I dan Q adalah dua komponen kromatik yang disebut inphase dan quarature .

Model Warna berorientasi Software (hue, saturation, brightness) adalah manipulasi :

1. Model HSV (hue, saturation, value);
2. Model HSI (hue, saturation, intensity);
3. Model HLS (hue, lightness, saturation).

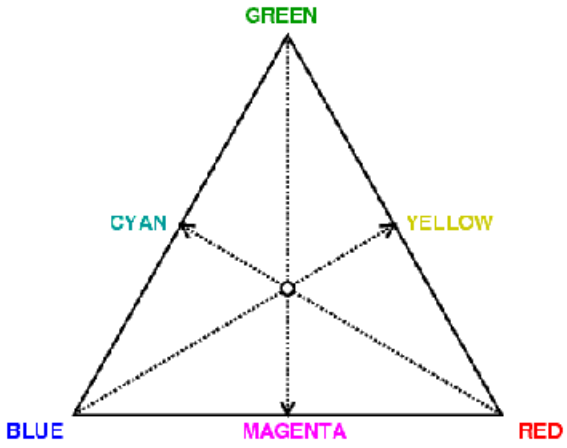
Mata manusia memiliki tiga tipe fotoreseptor kerucut,masing-masing dengan puncak sensitivitas bergantung ?. Spektra serapan $S_i(?)$ dari fotoreseptor ini memiliki puncak disekitar 450 nm (biru), 550 nm (hijau), dan 620 nm (kuning-hijau). Sensasi warna yang digambarkan oleh tanggapan spektralnya. Gambar 2.4 menunjukkan blok diagram penangkapan cahaya berwarna oleh fotoreseptor mata.

2.6.3 Sistem Warna CIE

Dalam setiap studi dari warna adalah penting untuk memahami sistim yang digambarkan oleh Commision Internationale tidak L'Eclairage (CIE). Untuk memahami sistim ini perlu mengetahui fakta bahwa tanpa himpunan dari warna dasar dapat dikombinasikan untuk menghasilkan semua warna yang mungkin. Fakta ini dapat digambarkan menggunakan Maxwell Triangle.

2.6.3.1 *Maxwell Triangle*

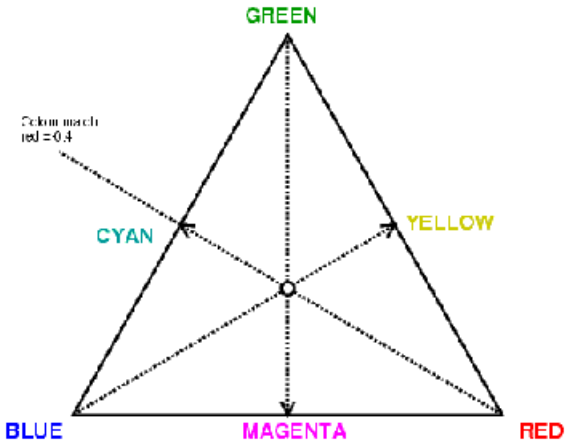
Maxwell Triangle itu adalah suatu demonstrasi campuran warna tambahan, itu dihasilkan sebagai berikut. Tiga cahaya warna ditempatkan di puncak dari suatu segitiga samasisi sehingga mereka bersinar ke arah dalam segitiga dan bahwa masing-masing cahaya menjadi seragam lebih lemah sampai menjangkau tepi kebalikannya di mana titik yang mempunyai 0 intensitas.



Gambar 2.7 *Maxwell Triangle*, dengan warna putih di tengah-tengah.

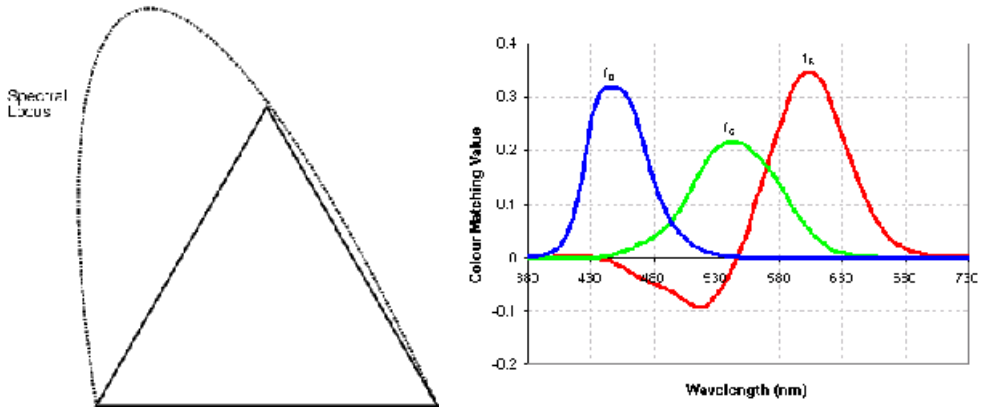
Segitiga itu boleh kelihatannya seperti suatu penyajian yang baik untuk suatu sistem warna, seperti kita dapat dengan mudah menunjukkan koordinat-koordinat segala titik dalam satu segitiga samasisi. Bagaimanapun, segitiga mempunyai suatu kelemahan yang utama. Jika kita membandingkan pokok di sekitar sisi-sisi dari segitiga (sisi-sisi itu menurut definisi paling dipenuhi) dengan

warna spektral murni yang ekuivalen, kita menemukan itu meski warna itu adalah suatu gabungan yang sempurna, *saturation* tidak. Sebenarnya satu-satunya cara kita dapat mendapat suatu pertandingan adalah dengan pelemahan warna spektrum dengan primer yang ketiga. Sebagai contoh pusat menunjuk di tepi *blue/green* bukanlah sama yang dipenuhi seperti spektral *cyan* sehingga hanya satu cara untuk membuat kedua warna yang sama pada *desaturate* warna spektral dengan menambahkan primer yang ketiga, *red*. Di terminologi mathematical ini adalah setara dengan menambahkan hal negatif *red* kepada warna di dalam segitiga, seperti menggerakkan point di luar segitiga itu.



Gambar 2.8 *Maxwell Triangle*, memperlihatkan di mana pertemuan spektral *cyan*

Jika kita melanjutkan proses ini untuk setiap warna spektral, lalu suatu kurva memanggil tempat spektral diciptakan yang tunjukkan bahwa warna semu di luar segitiga itu. Sebenarnya, satu-satunya warna spektrum kita dapat gabung adalah yang utama kita menggunakan ,*red, green*, dan *blue*. (Catatan: Tepi yang *blue/red* tidak spektral dan karenanya tetap lurus.)



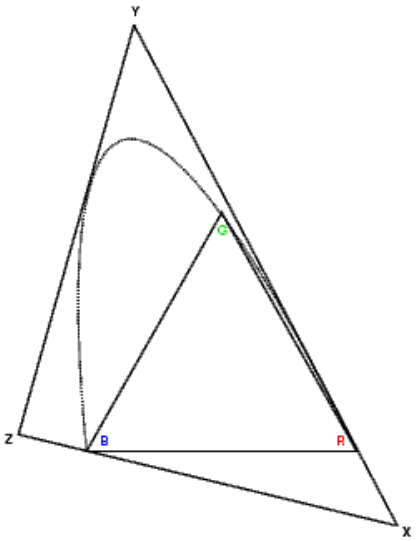
Gambar 2.9 spektral *locus* dan hasil fungsi penggabungan warna RGB

Locus ini menunjukkan kepada kita itu meski primer-primer itu adalah yang paling kuat kita dapat peroleh, campuran-campuran aditif dari mereka tidak bisa menghasilkan keseluruhan spektrum. Bukti eksperimental membuat fungsi-fungsi penggabungan warna yang menunjukkan bagaimana banyak dari tiap primer yang diperlukan untuk menghasilkan suatu warna spektrum. Penggabungan warna berfungsi ditunjukkan di dalam Gambar 2.9 kanan. Fungsi-fungsi ini menunjukkan jumlah dari cahaya yang *red*, *green* dan *blue* yang diperlukan untuk pertemuan suatu panjang gelombang spektral. Ini juga menarik untuk catat bahwa karena komputer memonitor campuran-campuran penggunaan aditif dari *red*, *green* dan *blue*, adalah tidak mungkin untuk menghasilkan panjang gelombang di sekitar 500nm.

Sekarang kita mempunyai *locus* ini, kita dapat juga melihat bahwa disana tidak ada segitiga, dan oleh karena itu tanpa primer, bahwa meliputi keseluruhan ruang, dan oleh karena itu tidak ada set dari warna dapat secara aditif dikombinasikan untuk membentuk semua warna yang lain.

2.6.3.2 *CIE Imaginary Primaries*

CIE memilih tiga primer yang disebut X,Y dan Z yang secara teoritis warna *super-saturated* yang digambarkan, kepalsuan di luar batas itu dari *locus* spektral, dan oleh karena fakta ini sistim XYZ tidak pernah harus menggunakan nilai negatif.



Gambar 2.10 nilai *tristimulus* CIE dan di sana hubungan pada *locus* spektral.

Primer semu ini (disebut *stimuli*, atau nilai *tristimulus*) ditunjukkan di dalam Gambar 2.10. Seperti kita sedang berusaha untuk menemukan cara yang baik penunjukan suatu warna yang tepat, kita perlu untuk mengubah bentuk segitiga ini ke dalam suatu segitiga siku-siku yang benar sehingga sistem koordinat itu adalah lebih sederhana. Kita sekarang dapat menggambarkan suatu warna dalam kaitan dengan menggunakan istilah jumlah dari X,Y dan Z yang berisi, lebih secara formal kita dapat berkata bahwa suatu warna C dari lamda panjang gelombang dinyatakan sebagai

$$C_{\ddot{e}} = X\mathbf{X} + Y\mathbf{Y} + Z\mathbf{Z} \qquad \text{P (2.11)}$$

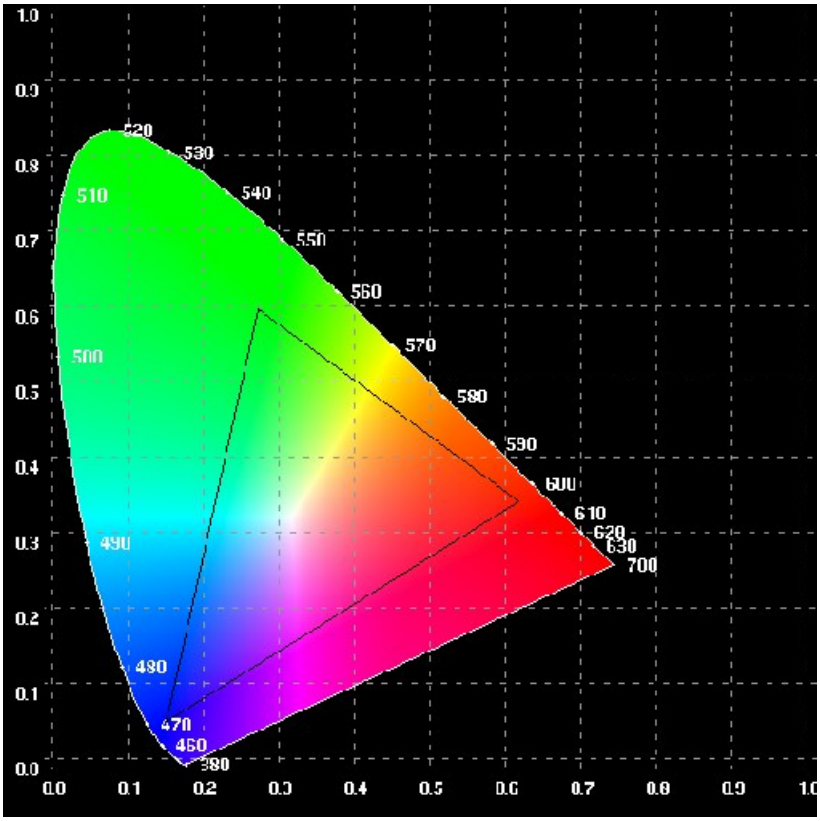
di mana X,Y, dan Z adalah jumlah dari tiap primer X,Y dan Z. Nilai ini menunjukkan ukuran relatif dan seperti halnya itu bisa dipahami pada normalisasi untuk membuat nilai x, y dan z.

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}, \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z}, \quad z = \frac{Z}{X + Y + Z} \qquad \text{P (2.12)}$$

Seperti nilai yang telah di normalisasi, x + y + z = 1 dan oleh karena itu kita hanya kebutuhan dua koordinat sebagai mendapatkan yang ketiga. Nilai x dan y dikenal sebagai koordinat mutu-warna karena mereka hanya berisi informasi warna dan *saturation*. Nilai *tristimulus* itu dimodifikasi sehingga nilai Y juga membawa kilauan dengan demikian kita dapat menunjukkan setiap warna menggunakan nilai kromatisitas nya x dan z dan nilai Y nya. X dan Z dapat berasal sebagai berikut.

2.6.3.3 CIE Bagan Kromatisitas

Kita sekarang dapat menghasilkan bagan kromatisitas CIE (Gambar 2.11). Bagan kromatisitas ini adalah berguna untuk sejumlah hal seperti mengidentifikasi panjang gelombang dominan, mengidentifikasi warna komplementer, dan *compariring gamuts*.



Gambar 2.11 CIE 1931 bagan Kromatisitas, dengan panjang gelombang ditandai di sekitar di luar.

Gamut adalah cakupan dari warna bahwa dapat dihasilkan oleh satu set warna dasar. *Gamuts* diwakili bagan kromatisitas menggambarkan seperti garis lurus, atau segi banyak. Suatu properti dari bagan kromatisitas adalah *gamut* dari satu set primer akan kepalsuan di dalam bentuk atau sepanjang baris. Hal ini memperkenalkan satu titik yang penting ketika tidak ada segitiga bahwa dapat semu di dalam bagan dan meliputi semua warna, lalu tidak ada 3 warna dasar campuran yang aditif yang menunjukkan semua warna. Ketika komputer memonitor penggunaan satu campuran yang aditif tiga warna dasar, ada beberapa poin-poin di diagram yang tidak dipertunjukkan secara benar di monitor. Segitiga

yang hitam di bagan menunjukkan satu rata-rata RGB memonitor fosfor maka setiap poin di luar dari segitiga tidak diperlihatkan dengan baik.

Sumber utama yang dipakai dalam sistem ini adalah cahaya monokromatis dengan panjang gelombang 700 nm (merah), 546 nm (hijau), dan 435 nm (biru). Sinar putih referensi memiliki spektrum datar dengan komposisi R=G=B=1.

Satu hal yang sangat penting didalam berbagai sistem warna adalah satu sistem dapat diterjemahkan ke sistem warna lain melalui transformasi, misalnya dengan mengalikan vektor warna dengan suatu matriks.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_r & x_g & x_b \\ y_r & y_g & y_b \\ z_r & z_g & z_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix} \qquad \text{P (2.13)}$$

Sebagai contoh, jika diketahui nilai suatu piksel dalam RGB, maka untuk menentukan nilai warna dalam sistem XYZ adalah melalui :

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.490 & 0.310 & 0.200 \\ 0.177 & 0.813 & 0.011 \\ 0.000 & 0.010 & 0.990 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \qquad \text{P (2.14)}$$

Transformasi sebaliknya dari *CIE XYZ* ke *CIE RGB* dilakukan sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} R_i \\ G_i \\ B_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.365 & -0.310 & -0.468 \\ -0.515 & 1.45 & 0.088 \\ 0.005 & -0.014 & 1.009 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} \qquad \text{P (2.15)}$$