

17 – Warna (Bagian 2)

IF4073 Pemrosesan Citra Digital

Oleh: Dr. Ir. Rinaldi, M.T



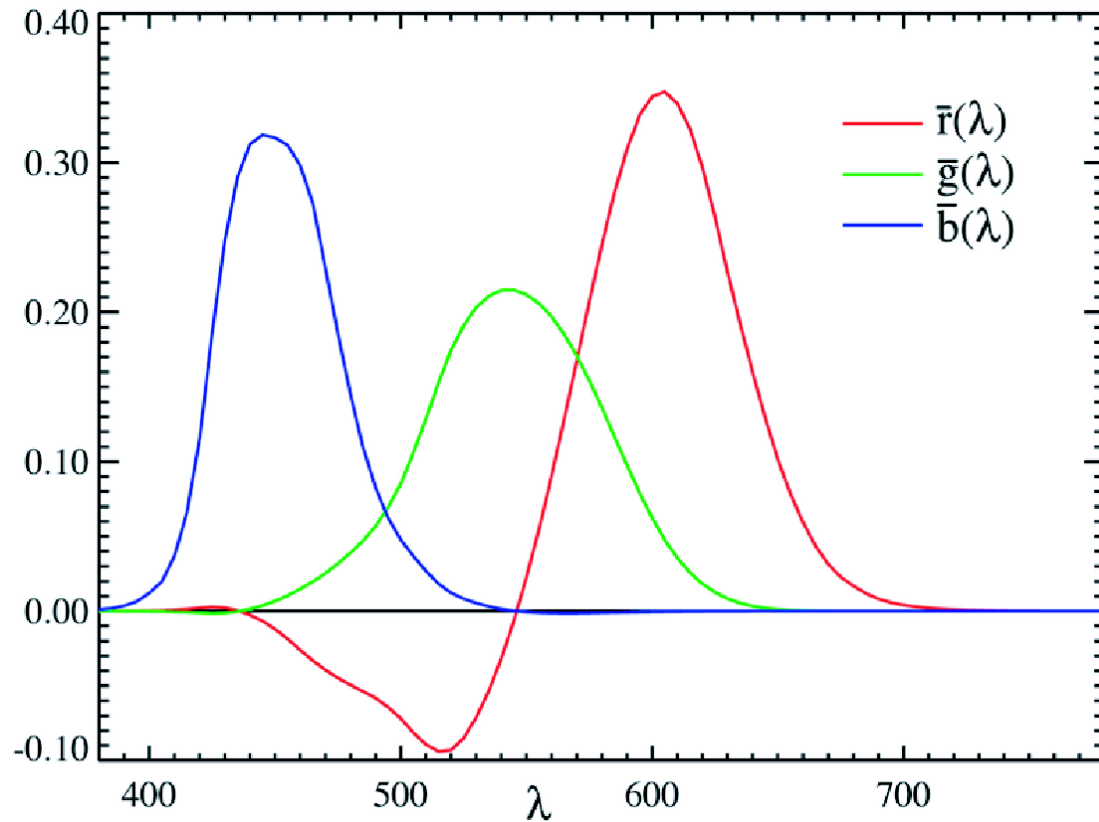
Program Studi Teknik Informatika
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung
2025

Model warna XYZ

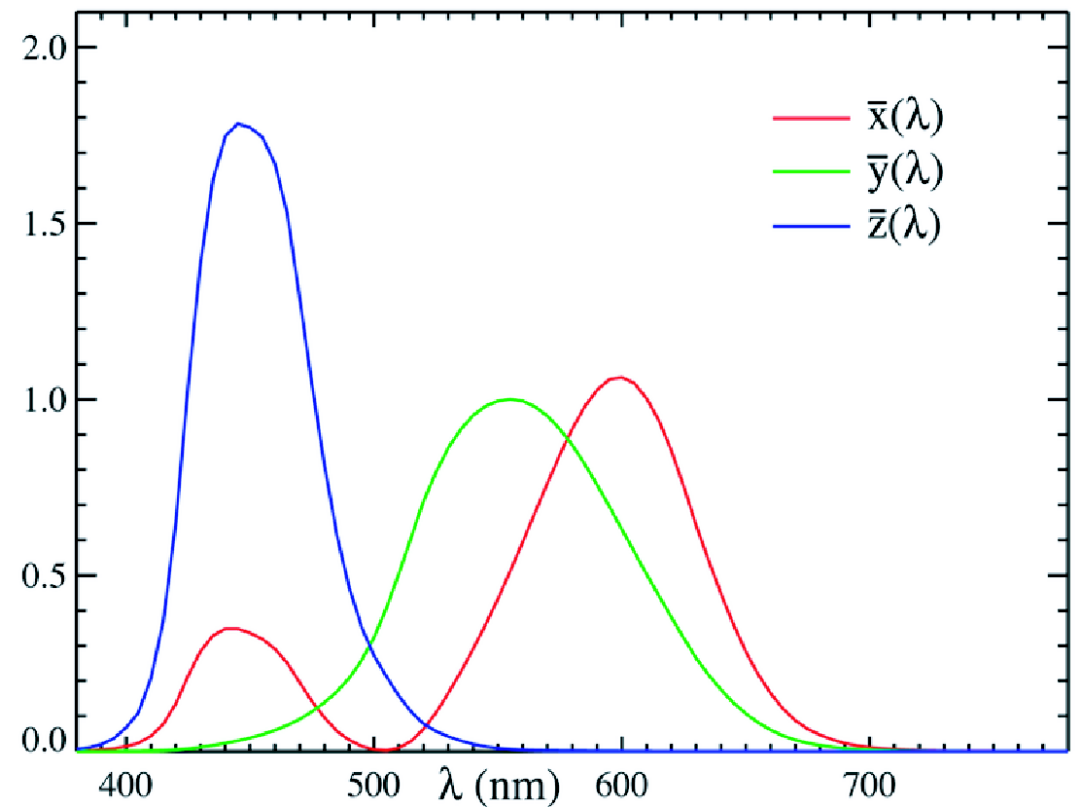
- Sudah dijelaskan sebelumnya bahwa warna-warna dapat dinyatakan sebagai kombinasi linier tiga warna dasar, yang disebut warna pokok (*primary colors*).
- Contoh warna dasar adalah R, G, dan B. Namun *RGB* bukan satu-satunya warna pokok yang dapat digunakan untuk menghasilkan kombinasi warna.
- Warna lain dapat juga digunakan sebagai warna pokok (misalnya *C* = *Cyan*, *M* = *Magenta*, dan *Y* = *Yellow*).

- *CIE* mendefinisikan model warna dengan menggunakan warna-warna imajiner (yaitu, warna yang secara fisik tidak ada), yang dilambangkan dengan X , Y , dan Z .
- Model warna tersebut dinamakan model XYZ . Warna-warna dispesifikasikan dengan jumlah relatif warna pokok fiktif.
- Keuntungan utama dari model ini adalah *luminance* atau *brightness* sinyal disediakan langsung oleh Y .
- Model warna XYZ bersifat *device independent* (tidak seperti model RGB atau CMY yang *device dependent*).
- Karena *device independent*, model XYZ digunakan sebagai model antara dari suatu model warna ke model warna yang lain.

CIE Color Matching Functions



CIE *RGB* Matching Functions



CIE *XYZ* Matching Functions

- **Kromatisitas** (*chromaticity of color*) masing-masing warna pokok, menunjukkan persentase relatif suatu warna pokok di antara warna pokok lainnya:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

- Jumlah seluruh nilai kromatisitas warna adalah satu:

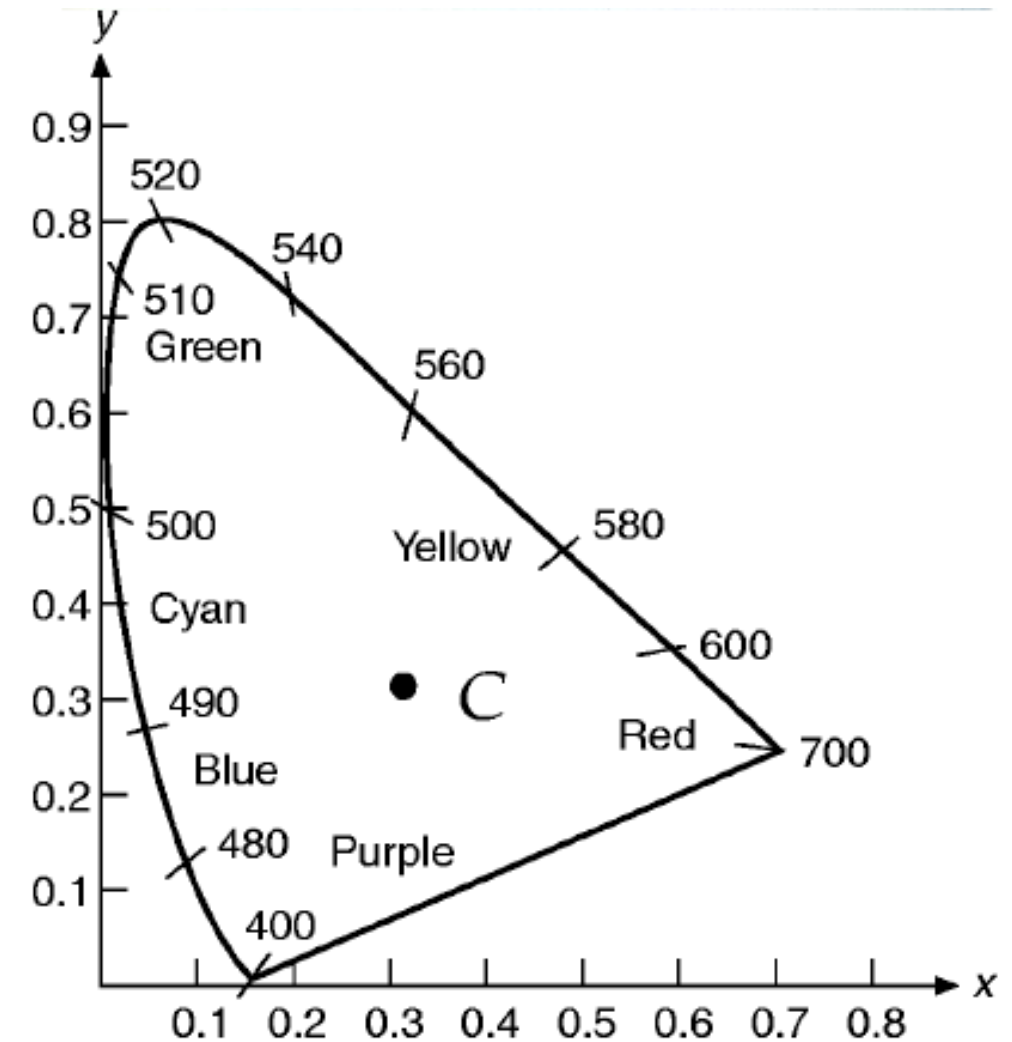
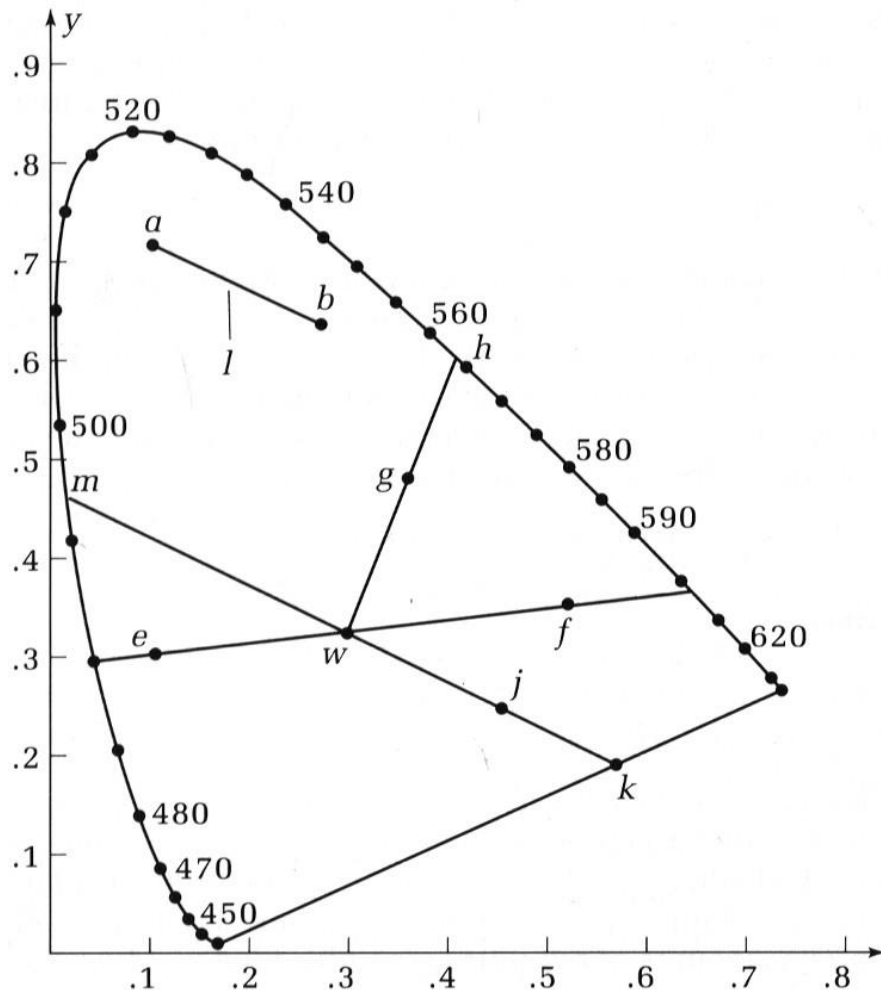
$$x + y + z = 1$$

atau

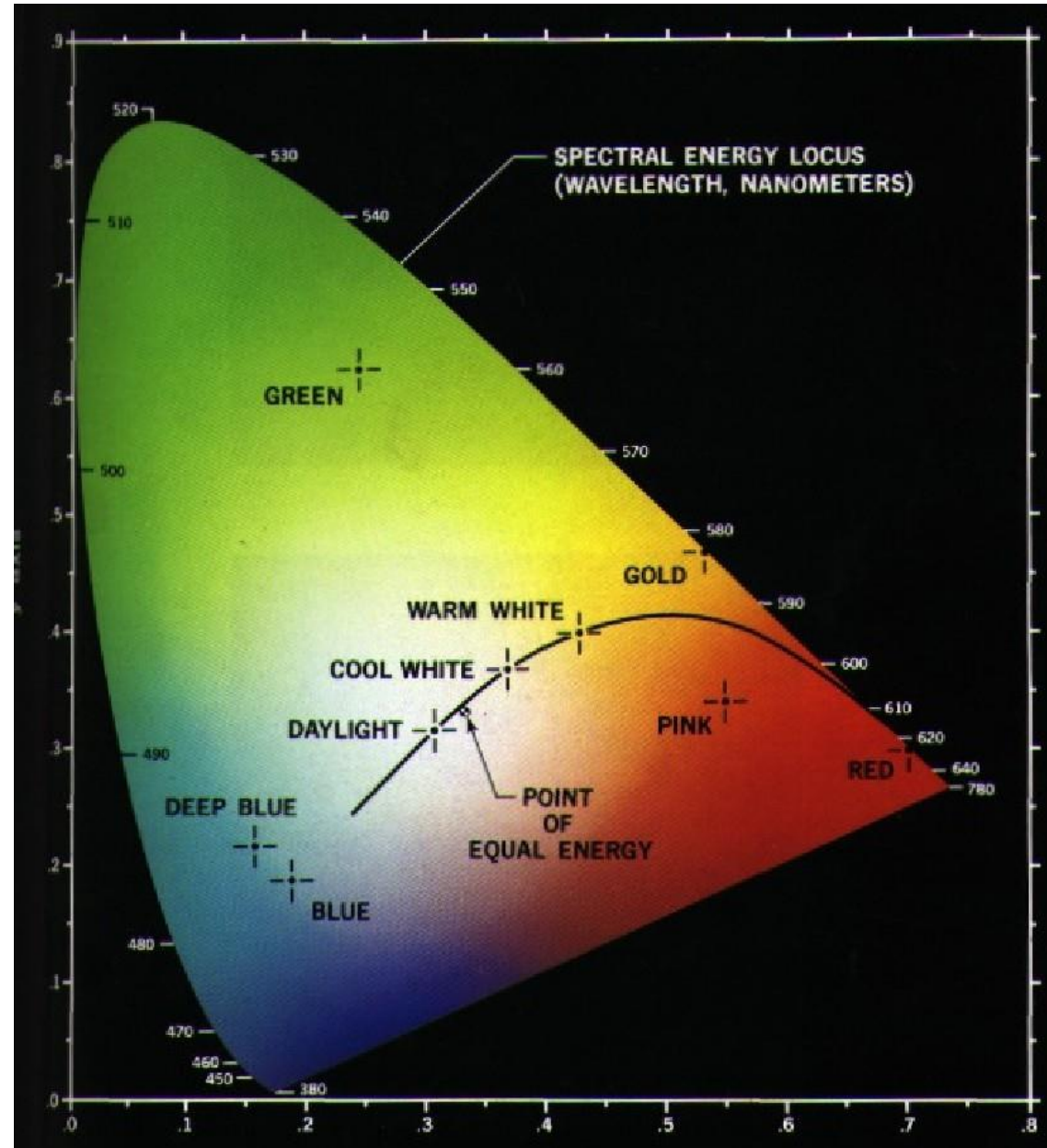
$$z = 1 - (x + y)$$

- Warna putih acuan dinyatakan dengan $X = Y = Z = 1$

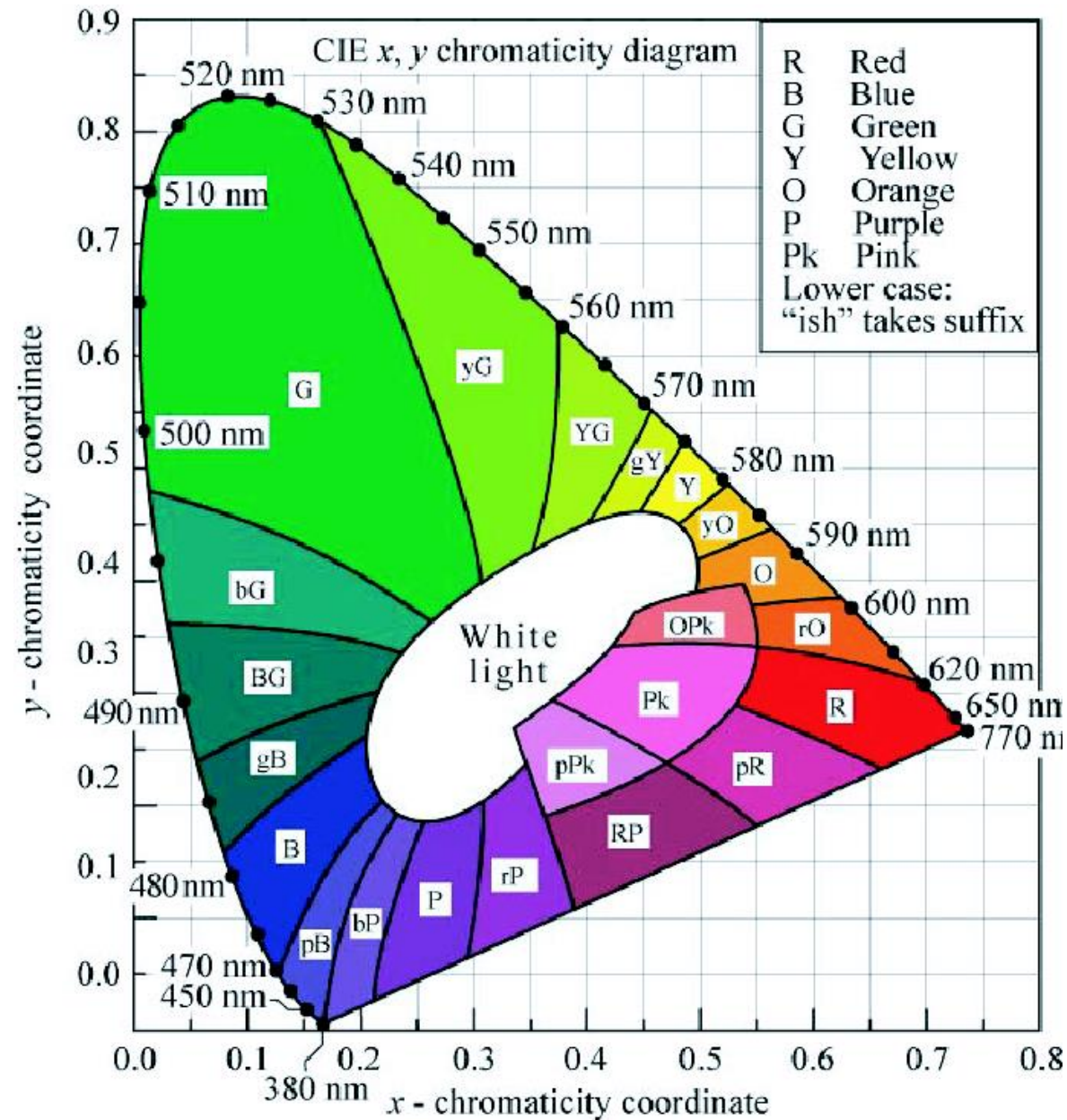
- Koordinat kromatisitas digunakan untuk menggambarkan **diagram kromatisitas** (hanya digunakan x dan y saja)



CIE Chromaticity Diagram

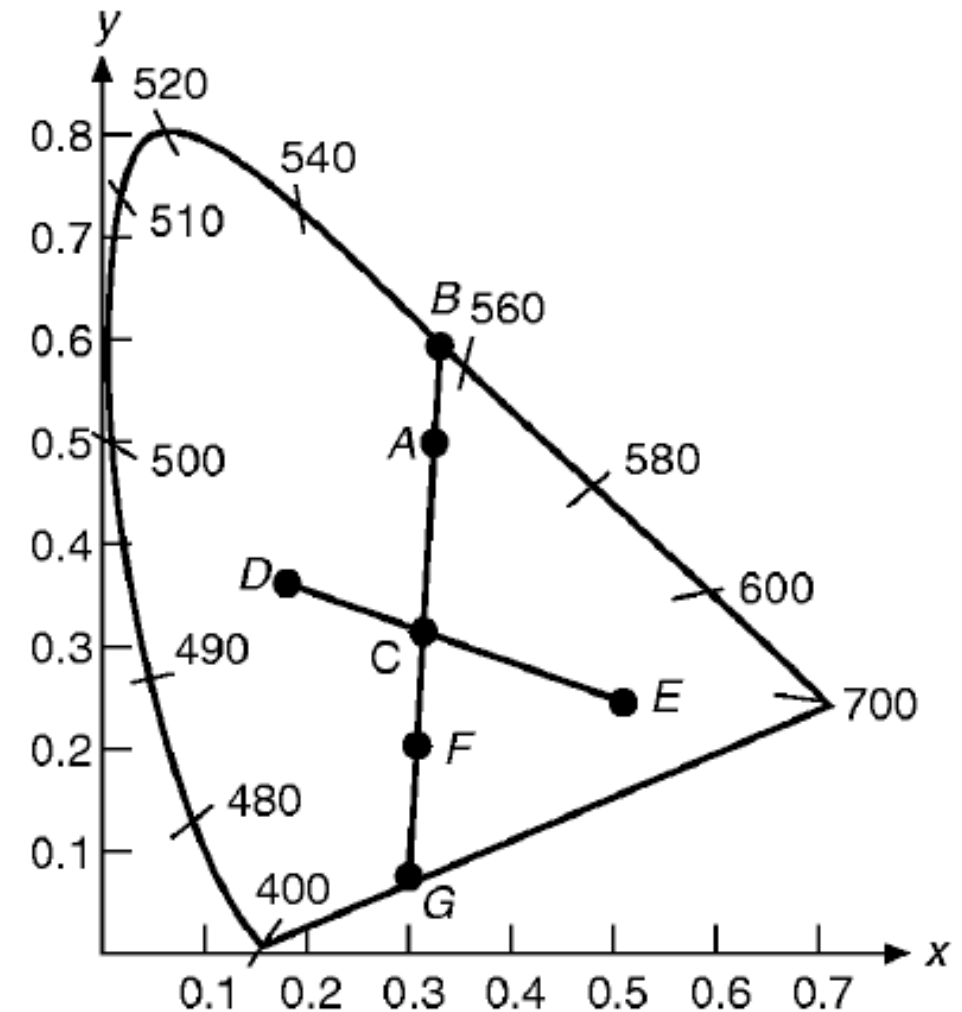


CIE Chromaticity Diagram

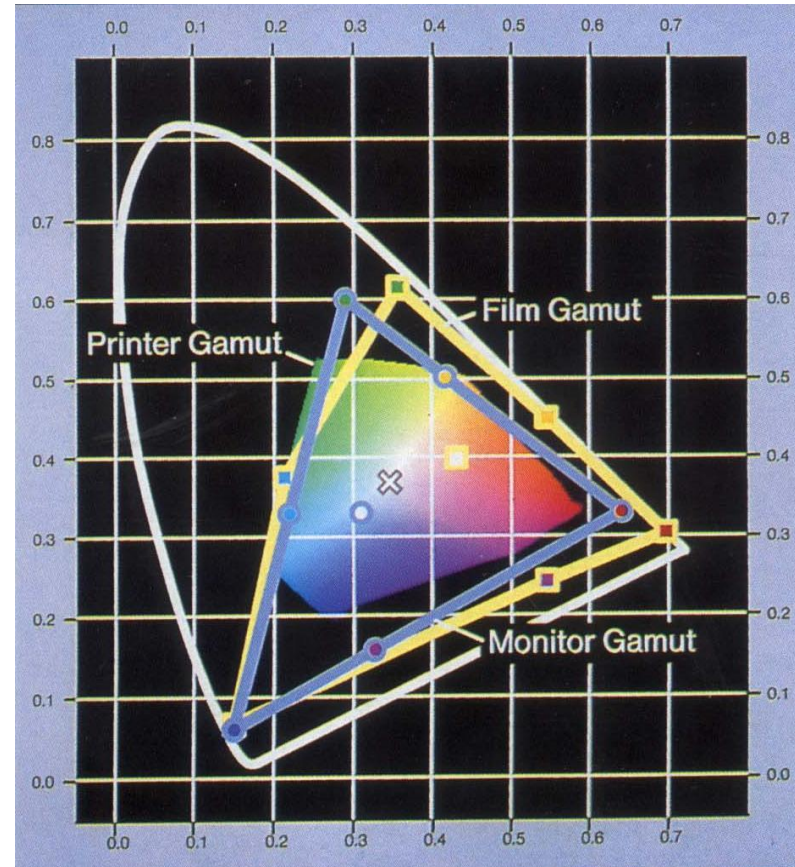
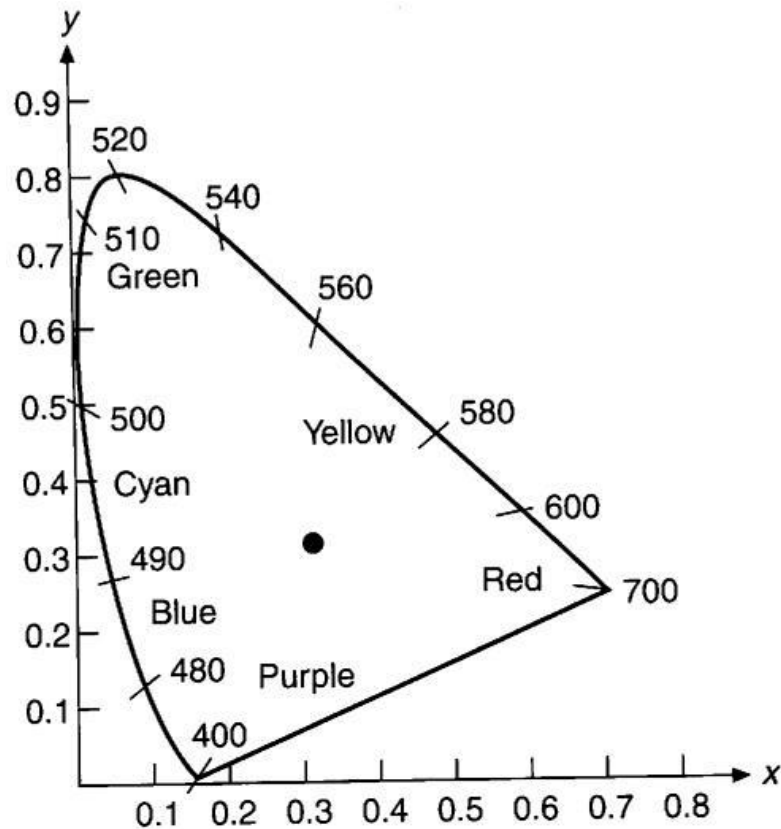


- *Hue* dari warna tertentu diperoleh dengan menarik garis dari putih (C) ke sisi elips melalui warna tersebut. *Hue* dari warna adalah panjang gelombang pada titik potong garis dengan sisi diagram.
- Misal warna A, tarik garis dari C melalui A dan memotong sisi diagram di B.
- *Saturation* adalah panjang CA relatif terhadap CB:

$$\text{saturation} = CA/CB$$
- Warna komplementer adalah warna-warna yang dapat dicampurkan untuk menghasilkan warna putih. D dan E adalah komplementer.



- *Color gamuts* adalah rentang warna (sebagai efek mencampurkan warna bersama-sama) yang dapat ditampilkan oleh *device*, berbeda-beda antara satu *device* dengan device lain.
- Tariklah garis dari warna A ke warna B, maka garis sepanjang A ke B menyatakan warna-warna hasil pencampuran.



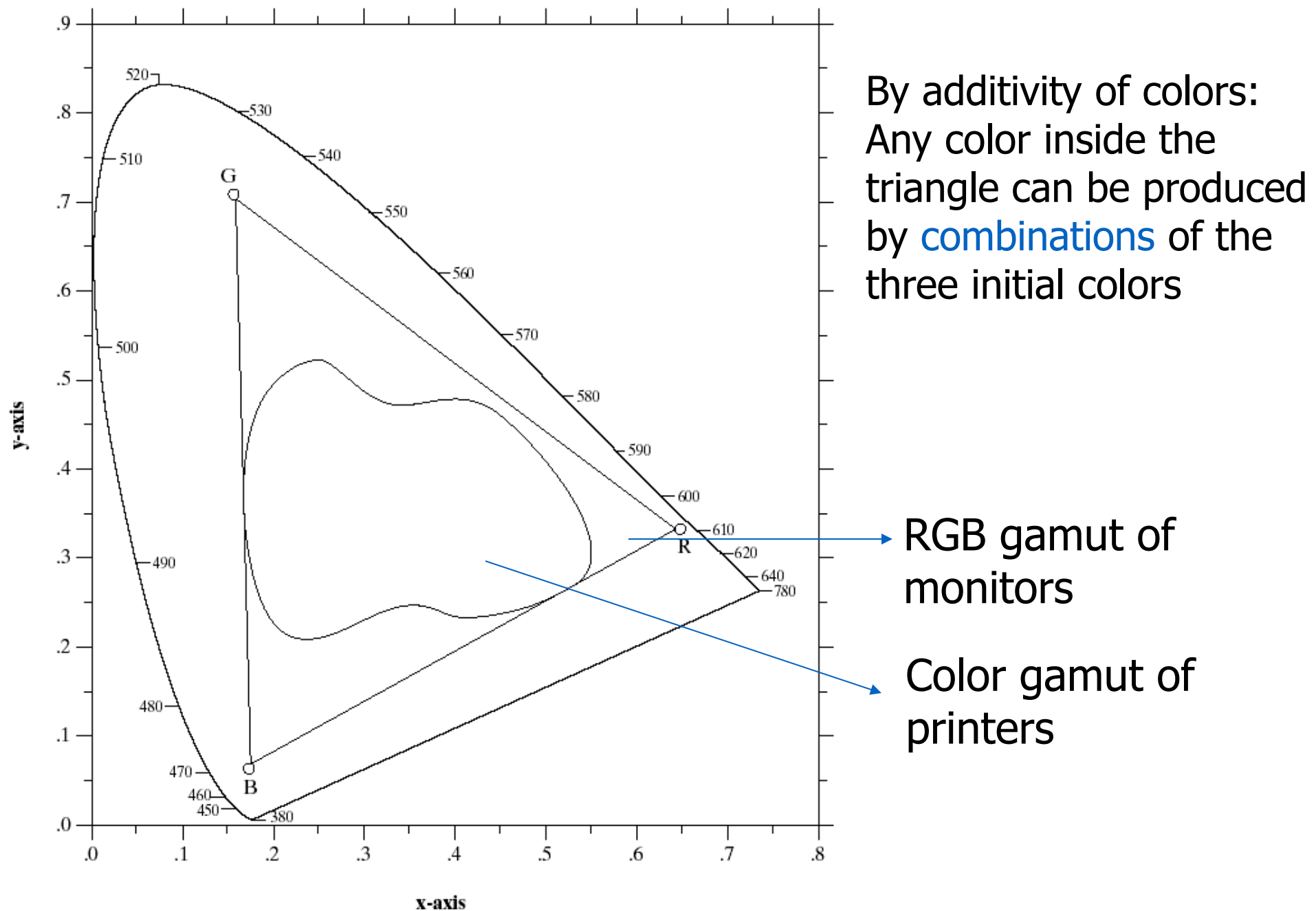


FIGURE 6.6 Typical color gamut of color monitors (triangle) and color printing devices (irregular region).

- Transformasi warna dari basis *CIE RGB* ke *CIE XYZ* dapat dilakukan sebagai berikut: Diberikan triplet *RGB* (R_i, G_i, B_i) untuk *pixel i*, maka triplet *XYZ* (X_i, Y_i, Z_i) dihitung dengan

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} = \frac{1}{0.17697} \begin{bmatrix} 0.490 & 0.310 & 0.200 \\ 0.177 & 0.813 & 0.011 \\ 0.000 & 0.010 & 0.99 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_i \\ G_i \\ B_i \end{bmatrix}$$

- Transformasi sebaliknya dari *CIE XYZ* ke *CIE RGB* dapat dilakukan dengan persamaan

$$\begin{bmatrix} R_i \\ G_i \\ B_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.41847 & -0.15866 & -0.082835 \\ -0.091169 & 0.25243 & 0.015708 \\ 0.00092090 & 0.0025498 & 0.17860 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix}$$

```

int cieRGB_toXYZ(citra r, citra g, citra b,
                 citra x, citra y, citra z, int N, int M)
/* Transformasi citra dari model warna CIE RGB ke model CIE XYZ
   Masukan: citra dengan kompoenen RGB masing-masing disimpan di dalam
            matriks r, g, dan b. Ketga mtariks ini berukuran  $N \times M$ .
   Luaran: citra dengan komponen XYZ masing-masing disimpan di dalam
            matriks x, y, dan z.
*/
{
    int i, j; double R, G, B; double X, Y, Z;

    for (i=0; i<=N-1; i++)
        for (j=0; j<=M-1; j++)
        {
            R = (double)r[i][j]; G=(double)g[i][j]; B=(double)b[i][j];
            X = (0.490*R+0.310*G+0.200*B)/0.17697;
            Y = (0.177*R+0.813*G+0.011*B)/0.17697;
            Z = (0.010*G+0.990*B)/0.17697;
            if (X > 255.0) x[i][j]=255; else x[i][j]=(unsigned char)X;
            if (Y > 255.0) y[i][j]=255; else y[i][j]=(unsigned char)Y;
            if (Z > 255.0) z[i][j]=255; else z[i][j]=(unsigned char)ZX;
        }
}

```

```

int XYZ_to_cieRGB(citra x, citra y, citra z,
                  citra r, citra g, citra b, int N, int M)
/* Transformasi citra dari model warna CIE XYZ ke model CIE RGB
   Masukan: citra dengan komponen XYZ masing-masing disimpan di dalam
            matriks x, y, dan z. Ketga matriks ini berukuran  $N \times M$ .
   Keluaran: citra dengan komponen RGB masing-masing disimpan di dalam
            matriks r, g, dan b.
*/
{
    int i, j; double R, G, B; double X, Y, Z;

    for (i=0; i<=N-1; i++)
        for (j=0; j<=M-1; j++)
            { X = (double)x[i][j]; Y =(double)y[i][j]; Z =(double)z[i][j];
              R = 2.41847*X-0.15866*Y-0.082835*Z;
              G = -0.091169*X+0.25243*Y+0.015608*Z;
              B = 0.00092090*X+0.0025498*Y+0.17860*Z;
              if (R > 255.0) r[i][j]=255;
              else if (R<0.0) r[i][j]=0;
                  else r[i][j]=(unsigned char)R;
              if (G > 255.0) g[i][j]=255;
              else if (G<0.0) g[i][j]=0;
                  else g[i][j]=(unsigned char)G;
              if (B > 255.0) b[i][j]=255;
              else if (B<0.0) b[i][j]=0;
                  else b[i][j]=(unsigned char)B;
            }
}

```

```
rgb = imread('peppers512.bmp');  
xyz = rgb2xyz(rgb);  
Y = xyz(:, :, 2);  
imshow(Y)
```



Model warna YIQ

- Model warna YIQ (atau NTSC) digunakan untuk penyiaran siaran TV berwarna di Amerika Serikat.

$Y = \textit{luminance/brightness/grayscale}$

I dan Q = chromaticity (I = *hue*, Q = *saturation*)

- Pada TV hitam-putih, hanya Y yang ditampilkan
- Ditransmisikan dengan menggunakan standard NTSC (*National Television System Committee*)

- Transformasi dari RGB ke YIQ:

$$\begin{pmatrix} Y \\ I \\ Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.528 & 0.311 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

- Transformasi dari YIQ ke RGB:

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0.956 & 0.621 \\ 1 & -0.272 & -0.647 \\ 1 & -1.106 & 1.703 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y \\ I \\ Q \end{pmatrix}$$

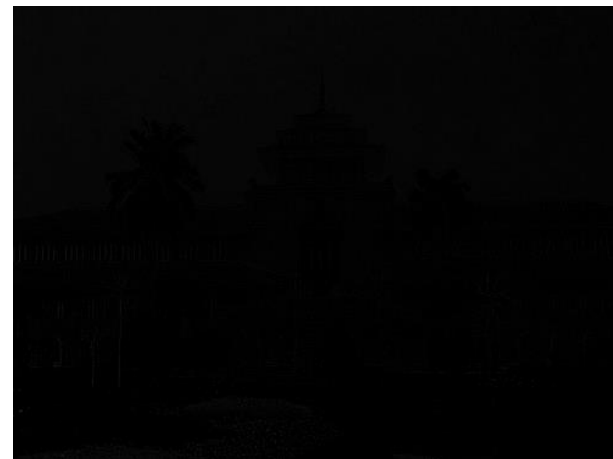
```
rgb = imread('gedung-sate.jpg');  
YIQ = rgb2ntsc(rgb);  
Y = YIQ(:, :, 1);  
I = YIQ(:, :, 2);  
Q = YIQ(:, :, 3);  
imshow(Y)  
figure, imshow(I);  
figure, imshow(Q);
```



Y



I



Q

Model warna YUV

- Model warna YUV digunakan untuk penyiaran siaran TV berwarna di Eropa.

- Transformasi dari RGB ke YUV:

$$\begin{pmatrix} Y \\ U \\ V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.147 & -0.289 & 0.436 \\ 0.615 & -0.515 & -0.100 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

- Transformasi dari YUV ke RGB:

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0.000 & 1.140 \\ 1 & -0.395 & -0.581 \\ 1 & 2.032 & 0.000 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y \\ U \\ V \end{pmatrix}$$

Model warna YCbCr

- Dalam pemrosesan citra digital, citra berwarna RGB perlu dikonversi ke ruang warna lain, karena sistem visual manusia memiliki sensitivitas yang berbeda terhadap warna dan kecerahan.
- Model warna yang paling mendekati sistem visual manusia adalah HSV dan YCbCr
- Dalam ruang warna YCbCr, Y = *luminance*, Cb = *Chrominance-blue*, dan Cr = *Chrominance-red*.
- Komponen Y mewakili kecerahan piksel, sedangkan kedua komponen *chrominance* mewakili persepsi warna pixel.



(a) Original image



(b) Color components: R , G , and B



(c) Color components: Y , Cb , Cr

- Transformasi dari RGB ke YCbCr:

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.169 & -0.331 & 0.500 \\ 0.500 & -0.419 & -0.081 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

- Transformasi dari YCbCr ke RGB:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.000 & 0.000 & 1.400 \\ 1.000 & -0.343 & -0.711 \\ 1.00 & 1.765 & 0.000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ (Cb - 128) \\ (Cr - 128) \end{bmatrix}$$

```
rgb = imread('monarch.jpg');  
ycbcr = rgb2ycbcr(rgb);  
Y = ycbcr(:, :, 1);  
imshow(Y);  
Cb = ycbcr(:, :, 2);  
figure, imshow(Cb)  
Cr = ycbcr(:, :, 3);  
figure, imshow(Cr)
```



Y



Cb



Cr

Y(1:5,1:5)

ans =

5×5 uint8 matrix

91	92	93	94	97
103	104	104	105	105
103	104	106	107	108
99	100	103	104	106
106	105	104	104	104

Cb(1:5,1:5)

ans =

5×5 uint8 matrix

103	103	103	103	103
103	103	103	103	103
103	103	103	103	102
103	103	103	102	102
102	102	102	102	102

Cr(1:5,1:5)

ans =

5×5 uint8 matrix

140	140	140	140	140
140	140	140	140	140
140	140	140	140	141
140	140	140	141	141
141	141	141	141	141

TAMAT