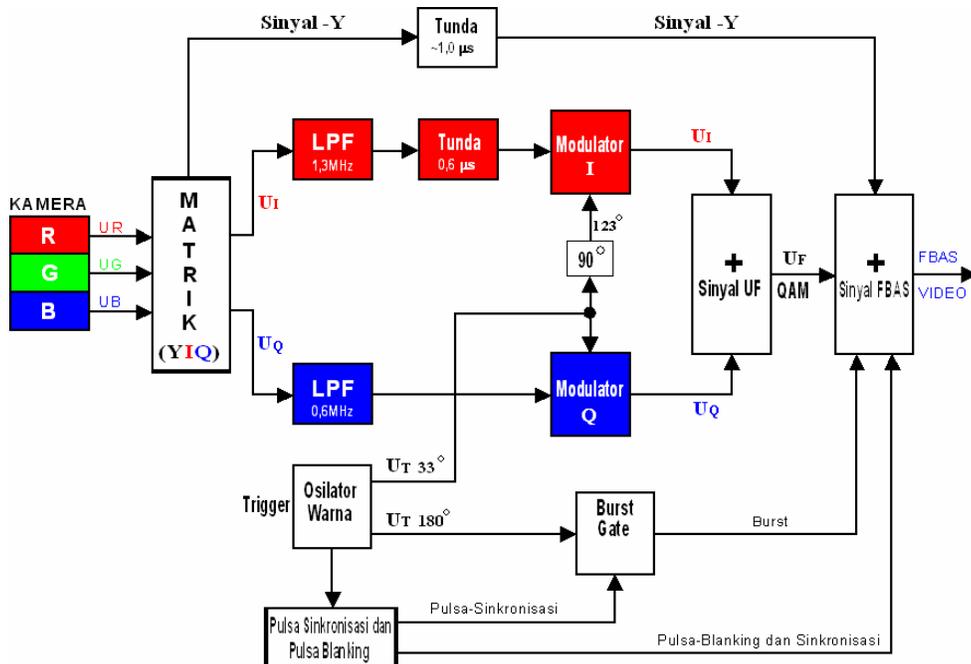


6.3 NTSC CODER

Pada prinsipnya terdapat tiga macam normalisasi pemancar televisi yang digunakan, yaitu pemancar televisi standar PAL (Jerman), SECAM 1957 (*Sequentiel a Memoire* = Perancis) maupun pemancar televisi standar NTSC 1953 (Amerika), pemancar televisi standar PAL 1967 (*Phase Alternating Line*) dikembangkan berdasarkan konsep dari NTSC. Gambar 6.30 memperlihatkan skema blok perekaman atau pengambilan objek sampai pada tingkat pengiriman dari pemancar televisi warna menurut norma NTSC (*National Television System Committee*).



Gambar 6.30 PAL CODER Standar NTSC

Perbedaan pertama antara sistem pemancar standar NTSC dan PAL adalah terletak pada proses pengiriman dan pengolahan sinyal perbedaan warna R-Y. Pada sistem (PAL = *Phase Alternating Line*) pengiriman sinyal perbedaan warna antara R-Y setiap garisnya disaklar bergantian dengan perbedaan polaritas sudut sebesar $\pm 90^0$, Proses ini dikerjakan oleh saklar PAL (PAL *Switch*), hal ini bertujuan untuk memperbaiki atau mengeliminasi kesalahan sudut warna pada saat proses pengiriman sinyal dari pemancar. Perbedaan kedua terletak pada besarnya reduksi sinyal perbedaan warna (R-Y) dan (B-Y).

6.3.1. Kompatibilitas

Sebelum konsep televisi warna ditemukan dan berkembang seperti sekarang ini, terlebih dahulu yang telah ada yakni konsep televisi hitam

putih (monokrom). Untuk itu dasar pemikiran bagaimana ditemukannya konsep televisi warna pada dasarnya tidak boleh merubah konsep televisi hitam putih yang telah ada sebelumnya. Sinyal televisi hitam putih merupakan tegangan tangga antara level hitam (0) dan level putih (1), untuk itu problem utama konsep dasar ditemukannya televisi warna adalah bagaimana membentuk sinyal tangga (luminansi) dari televisi warna tersebut sama persis dengan konsep pada televisi hitam putih, sehingga konsep pemancar televisi warna dapat diterima oleh penerima televisi hitam putih, begitu sebaliknya pemancar televisi hitam putih dapat diterima dan diproses oleh penerima televisi warna (kompatibel). Televisi warna dapat menerima siaran sinyal hitam putih dan menghasilkan gambar hitam putih dengan baik, sebaliknya Televisi hitam putih dapat menerima sinyal warna dan menghasilkan gambar hitam putih dengan baik karena sinyal luminansi memungkinkan penerima monokrom untuk mereproduksi gambar hitam dan putih dengan gambar berwarna. Untuk jelasnya, penerima televisi warna dapat memakai sinyal monokrom untuk mereproduksi gambar dalam hitam dan putih. Syarat kompatibilitas ini dapat dijelaskan dengan memasukkan suatu faktor luminansi dalam sistem televisi warna. Sehubungan dengan hal tersebut ada juga sinyal-sinyal penting lainnya yaitu sinyal perbedaan warna (R-Y) dan (B-Y) yang membawa informasi warna sehingga kompatibilitas yang dimaksud diatas dapat dipenuhi. Sinyal Y inilah yang dapat membuat penerima monokrom dapat mereproduksi gambar hitam putih, sedangkan untuk televisi warna menggunakan sinyal luminansi Y maupun sinyal perbedaan warna (R-Y) dan (B-Y). Kompatibilitas dapat terpenuhi apabila persamaan berikut terpenuhi :

$$V_{R-Y} = V_R - V_Y$$

$$V_{R-Y} = V_R - (0,7V_R + 0,59V_G + 0,11V_B)$$

$$V_{R-Y} = 0,7V_R - 0,59V_G - 0,11V_B \quad (6.14)$$

dan,

$$V_{B-Y} = V_B - V_Y$$

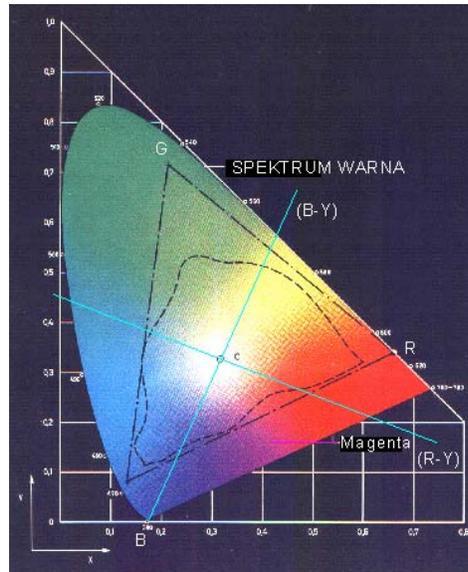
$$V_{B-Y} = V_B - (0,3V_R + 0,59V_G + 0,11V_B)$$

$$V_{B-Y} = -0,3V_R - 0,59V_G + 0,89V_B \quad (6.15)$$

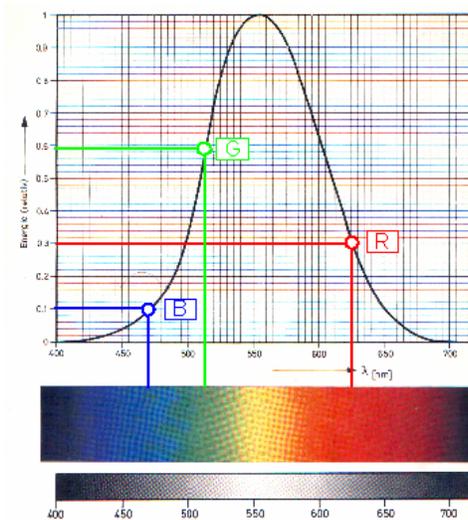
6.3.2. Corak (HUE) dan Saturasi Warna

Pada bab sebelumnya telah kita pelajari bagaimana sinar merah, hijau dan biru diubah menjadi sinyal-sinyal listrik dan memungkinkan televisi warna "compatible" dengan televisi hitam putih. Selain itu terdapat persoalan-persoalan dengan kompatibilitas yakni bahwa pemancaran hitam putih dan warna tak dapat dilakukan sekaligus bersamaan dalam satu pembawa sub "subcarrier" gambar, sebab untuk kedua hal tersebut

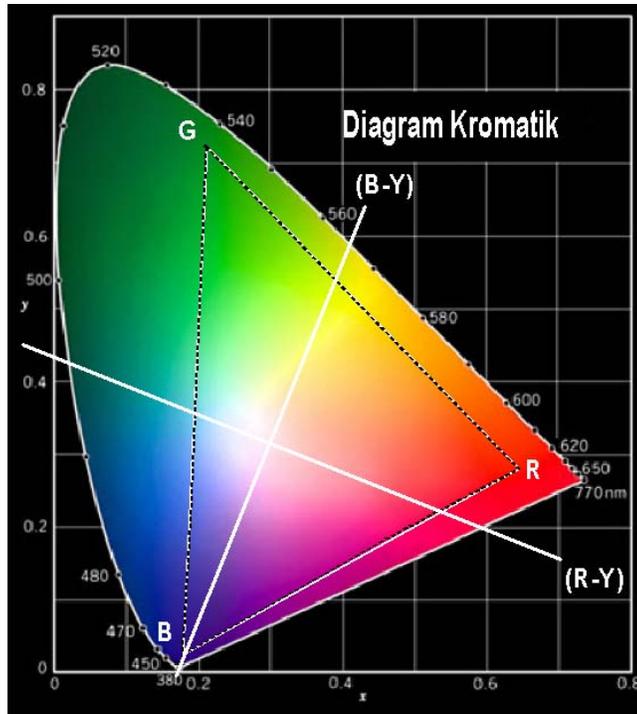
ada perbedaan atau permasalahan dalam hal lebar pita “bandwidth”-nya, dimana untuk yang warna berisi sinyal Y, (R-Y), dan (B-Y) sedangkan untuk pemancar hitam putih hanya berisi sinyal luminansi Y saja. Oleh karena sinyal-sinyal tersebut dalam proses pengiriman semuanya dinyatakan dalam bentuk tegangan listrik, maka dari itu suatu persoalan muncul bahwa jika sinyal-sinyal Y, (R-Y) dan (B-Y) adalah sangat tidak mungkin dipancarkan dalam satu rangkaian yang sama dan kesulitan utama adalah bagaimana sinyal-sinyal tersebut dibedakan satu dengan yang lainnya pada waktu direproduksi kembali pada penerima.



Gambar 6.30 Spektrum warna



Gambar 6.31 Kurva sensitifitas warna

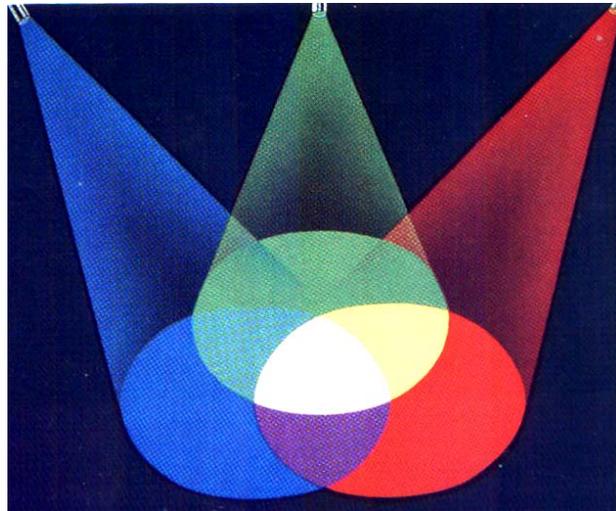


Gambar 6.32. Diagram Kromatisitas dan Warna-warna Dasar

Koordinat siku-siku yang menunjukkan semua perbedaan sudut fasa yang membentuk keseluruhan dari warna-warna disebut KROMATISITAS, dimana warna-warna dasar merah (R), hijau (G) dan biru (B) secara kromatis ditunjukkan dari besarnya vektor X, Y dan Z seperti yang diperlihatkan Gambar 6.32.

6.3.3. Matrik

Oleh tingkat matrik sinyal V_R , V_G dan V_B yang diambil dari objek dan kemudian direkam oleh kamera warna RGB diproses menjadi tiga komponen, yaitu sinyal perbedaan warna R-Y, sinyal perbedaan warna B-Y dan sinyal luminansi Y. Dengan menggunakan persamaan 6.14 dan 6.15 amplitudo sinyal Y, (R-Y) dan (B-Y) akan dihasilkan bentuk pola lajur warna sesuai dengan tingkat luminansinya. Gambar 6 memperlihatkan pola lajur (Bars), amplitudo putih menempati level paling tinggi (1=100%) sebagai harga referensi, sehingga tingkat luminansi yang lainnya dari putih ke abu-abu dan hitam dapat ditentukan nilainya sesuai dengan pernyataan pada persamaan 6.14.



Gambar 6.33 Pencampuran Warna Dasar Additif

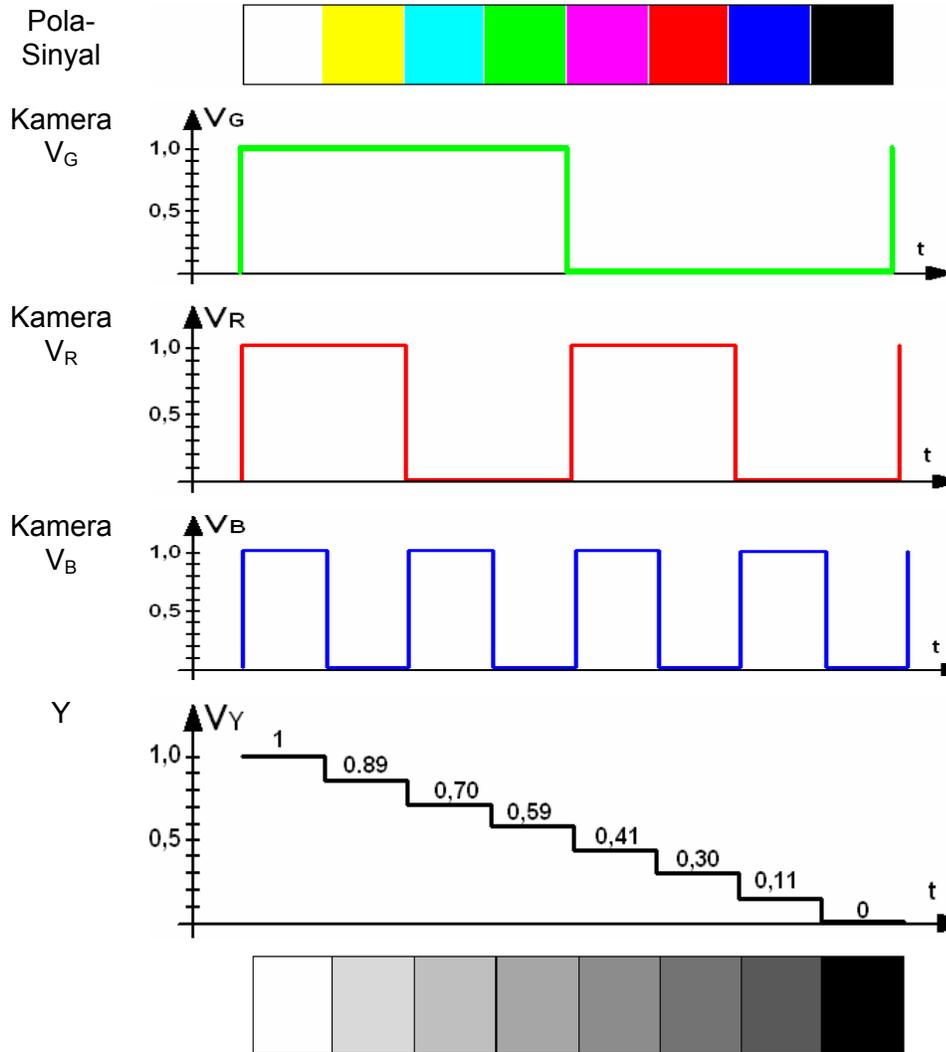
Gambar 6.33 memperlihatkan ilustrasi penjumlahan dari warna primer merah (R), hijau (G), biru (B), dan dengan menggunakan persamaan 6.14 diperoleh tegangan tangga luminansi Y.

6.3.4. Matrik Luminansi (Y)

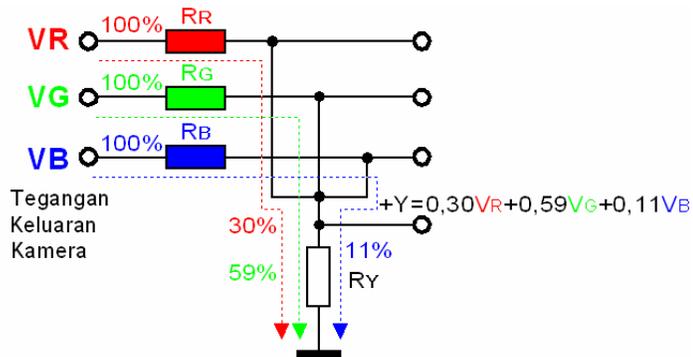
Sebelumnya telah dijelaskan bahwa untuk memenuhi persyaratan kompatibilitas, maka sebagai solusinya adalah bagaimana membentuk sinyal luminansi (Y) televisi hitam putih dari televisi berwarna. Tabel 1, berikut memperlihatkan bagaimana tegangan keluaran dari kamera berwarna (V_G), V_R , dan V_B dapat diproses pada rangkaian blok matrik sehingga didapatkan tegangan luminansi (Y) untuk televisi hitam putih.

Tugas rangkaian matrik salah satunya adalah menjumlahkan tegangan keluaran dari kamera V_G , V_R , dan V_B dengan perbandingan tertentu sehingga didapatkan tegangan tangga luminansi (Y). Agar didapatkan tegangan tangga seperti konsep televisi hitam putih, untuk itu berlaku persamaan $Y = 0,30 V_R + 0,59 V_G + 0,11 V_B$. Secara sederhana konsep dasar dari matrik Y dapat dibangun dengan hanya menggunakan empat buah resistor, yaitu dengan perbandingan 0,30 untuk tegangan merah (V_R), 0,59 untuk tegangan hijau (V_G), dan 0,11 untuk tegangan biru (V_B). Gambar 6.34. memperlihatkan konsep sederhana dari rangkaian blok matrik luminansi (Y) dan tabel 2 memperlihatkan prosentase tegangan luminansi (Y) yang diperoleh dari penjumlahan tegangan warna primer (V_R), (V_G), dan (V_B).

Gambar 6.34 menunjukkan proses pembentukan sinyal luminansi (Y) dari warna primer V_R , V_G , dan V_B .



Gambar 6.34 Pola lajur (Bars) Sinyal Luminansi



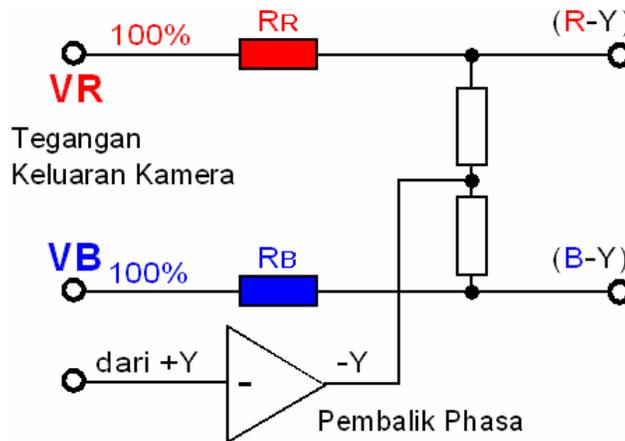
Gambar 6.35. Matrik Luminansi Y

Tabel 6.5 Prosentase tegangan luminansi (Y) dari tegangan warna primer (V_R), (V_G), dan (V_B)

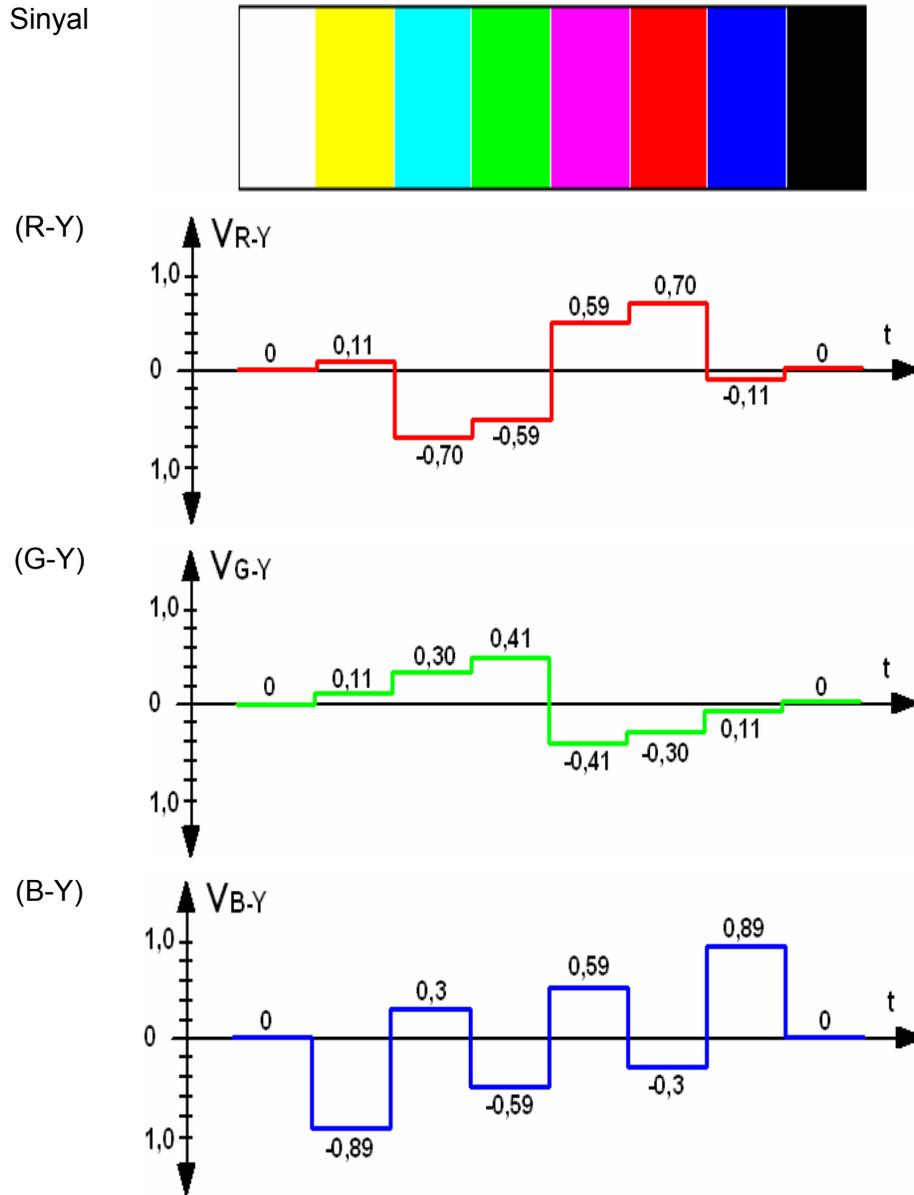
Warna	Luminansi Y (%)	Tegangan Keluaran Kamera		
		V_R (%)	V_G (%)	V_B (%)
Putih	100% = 1	30%	59%	11%
Kuning	89% = 0,89	30%	59%	0%
Cyan	70% = 0,70	0%	59%	11%
Hijau	59% = 0,59	0%	59%	0%
Purpur	41% = 0,41	30%	0%	11%
Merah	30% = 0,30	30%	0%	0%
Biru	11% = 0,11	0%	0%	11%
Hitam	0% = 0	0%	0%	0%

6.3.5. Matrik Perbedaan Warna (R-Y) dan (B-Y)

Pada sistem pemancar televisi warna hanya sinyal perbedaan warna (R-Y) dan sinyal perbedaan warna (B-Y) yang dipancarkan. Sedangkan sinyal perbedaan warna (G-Y) tidak ikut dipancarkan. Untuk memperoleh sinyal perbedaan warna (G-Y) dapat dilakukan pada penerima, yaitu dengan mensubstitusikan persamaan $Y = 0,30V_R + 0,59V_G + 0,11V_B$ terhadap persamaan luminansi $Y = 0,30V_R + 0,59V_G + 0,11V_B$ sehingga didapatkan persamaan matrik $(G-Y) = -0,51(R-Y) - 0,19(B-Y)$ atau matrik $-(G-Y) = 0,51(R-Y) + 0,19(B-Y)$. Gambar 6.37, memperlihatkan proses pembentukan sinyal perbedaan warna primer (R-Y) dengan sinyal perbedaan warna primer (B-Y).



Gambar 6.36. Rangkaian Blok Sinyal Perbedaan Warna Primer (R-Y) dan (B-Y)



Gambar 6.37. Pola lajur Sinyal Perbedaan Warna (R-Y) dan (B-Y)

Rangkaian matrik pembentuk sinyal perbedaan warna primer (R-Y) dan (B-Y) dapat dibangun seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6.36 berikut ini,

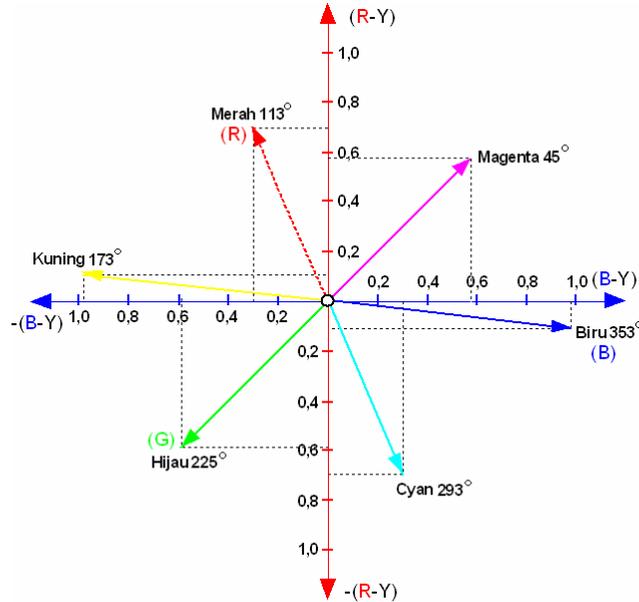
Untuk memperoleh sinyal luminansi negatif (-Y) dapat digunakan rangkaian penguat “common emitter” atau penguat membalik (inverting amplifier). Kombinasi dari tabel 6.5 dengan rangkaian yang diperlihatkan Gambar 6.36 akan diperoleh gambar sinyal seperti pada Gambar 6.37.

Tabel 6.6. Proses pembentukan sinyal perbedaan warna primer (R-Y) dan (B-Y)

Warna	Sinyal Luminansi Y (%)	Tegangan Keluaran Kamera (%)			Sinyal Perbedaan Warna (%)	
		VR	VG	VB	(R-Y)	(B-Y)
Putih	100%	100%	100%	100%	0%	0%
Kuning	89%	100%	100%	0%	11%	-89%
Cyan	70%	0%	100%	100%	-70%	30%
Hijau	59%	0%	100%	0%	-59%	-59%
Purpur	41%	100%	0%	100%	59%	59%
Merah	30%	100%	0%	0%	70%	-30%
Biru	11%	0%	0%	100%	-11%	89%
Hitam	0%	0%	0%	0%	0%	0%

6.3.6. Koordinat Warna

Besarnya tegangan akar kuadrat U_F yang merupakan representasi atau resultan dari sinyal perbedaan warna primer (R-Y) dan (B-Y) sangat menentukan tingkat kejenuhan dan corak warna primernya, sehingga pada akhirnya juga berpengaruh terhadap proses pembentukan warna sekunder berikutnya. Pada kuadrat I merupakan representasi vektor U_F dari warna magenta dengan posisi sudut 45° komplemen dari warna dasar hijau (G) kuadran III pada posisi sudut kromatisitas 225° .



Gambar 6.38. Diagram Koordinat/Vektor Lajur Warna dan Tingkat Luminansi

Pada kuadran III merupakan vektor U_F dari warna dasar merah (R) dengan posisi sudut 113° dengan komplemen dari warna cyan kuadran IV pada posisi sudut kromatisitas 293° . Pada kuadran IV merupakan vektor U_F dari warna dasar merah (B) dengan posisi sudut 363° dengan komplemen dari warna kuning kuadran II pada posisi sudut kromatisitas 173° . Perlu diketahui bahwa sinyal perbedaan warna (R-Y) mengandung unsur warna komplemen kuning dengan nilai prosentase positif (+0,11), sedangkan untuk sinyal perbedaan warna (B-Y) mengandung unsur kuning dengan nilai prosentase negatif (-0,89). Titik potong koordinat kedua sinyal perbedaan warna tersebut harus terletak pada titik potong putih (0) dengan panjang tegangan vektor warna kuning sebesar U_F dengan lebar sudut α .

Dengan menggunakan dalil pythagoras, maka besarnya tegangan vektor warna komplemen kuning dapat dicari dengan menggunakan persamaan 1.10 berikut ini,

$$U_F = \sqrt{(U_R - U_Y)^2 + (U_B - U_Y)^2} \quad (6.16)$$

$$U_F = \sqrt{(0,11)^2 + (-0,89)^2} = \sqrt{0,0121 + 0,79} = \sqrt{0,8}$$

$$U_F \approx \pm 0,89$$

Menentukan besarnya sudut α pada kuadran II

$$\tan \alpha = \frac{(B - Y)}{(R - Y)} \quad (6.17)$$

$$\tan \alpha = \frac{(B - Y)}{(R - Y)} = \frac{-0,89}{+0,11} = -8$$

$$\alpha = 83^\circ$$

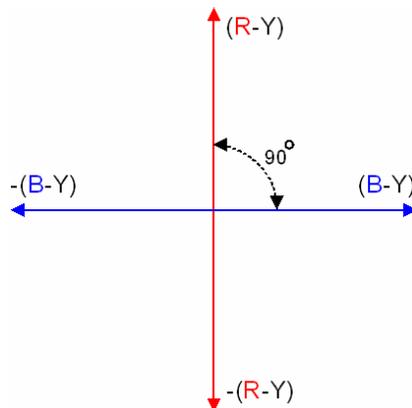
Sehingga besarnya sudut warna komplemen kuning adalah $\varphi = 83^\circ + 90^\circ = 173^\circ$. Dengan cara yang sama, maka besarnya tegangan vektor U_F dan sudut fasa φ untuk masing-masing warna dapat dilihat seperti pada tabel 6.5 berikut ini;

Tabel 6.5 Hasil Pehitungan Tegangan Vektor U_F dan Sudut Fasa φ

Warna	Tegangan Vektor U_F (%)	Sudut Fasa φ ($^\circ$)
Putih	-	-
Kuning	$\pm 89\%$	173°
Cyan	$\pm 76\%$	293°
Hijau	$\pm 84\%$	225°
Magenta	$\pm 84\%$	45°
Merah	$\pm 76\%$	113°
Biru	$\pm 89\%$	353°
Hitam	-	-

6.3.7. Pemicu dan Osilator Warna

Untuk keperluan proses pengiriman sinyal (R-Y), (B-Y) dan luminansi Y diperlukan suatu sinkronisasi dan pembawa. Untuk menyelesaikan persoalan tersebut diperlukan rangkaian pembangkit gelombang pembawa (*carrier*), dimana fungsinya tidak lain adalah agar pada saat proses pengiriman sinyal (R-Y) dan (B-Y) dapat dilakukan secara terpisah dengan sinyal luminansi Y, hal ini bertujuan untuk membedakan dan mempermudah pada tingkat penerima. Gelombang pembawa ini dinamakan "Subcarrier" warna. Dengan cara ini dapat membedakan antara sinyal (R-Y) dan (B-Y) terhadap sinyal luminansi Y, sedangkan secara detail perbedaan antara sinyal (R-Y) dan (B-Y) akan dijelaskan pada bab berikutnya. Kesulitan didalam mengidentifikasi antara sinyal (R-Y) dan (B-Y) satu sama lainnya pada modulasi yang sama dalam satu "subcarrier" warna. Masalah ini sangat tergantung dari faktor SKALAR yaitu suatu bilangan yang menunjukkan ukuran dari modulasi dan tegangan. Disamping itu juga perlu adanya faktor lain disamping faktor SKALAR yang berhubungan dengan modulasi, faktor tersebut adalah VEKTOR, dengan demikian baru dapat dibedakan antara sinyal (R-Y) dan (B-Y). Hasil dari produk inner sector (produk scalar) dari sinyal (R-Y) dan (B-Y) ini akan sebanding dengan beda fasa dari sinyal (R-Y) dan (B-Y). Katakanlah bila beda beda phasanya sama dengan 90° maka produk inner menjadi sama dengan nol, sehingga memungkinkan sinyal (R-Y) dan (B-Y) dipancarkan secara terpisah satu dengan lainnya. Oleh karena itu modulasi sinyal (R-Y) dan (B-Y) pada "subcarrier" warna R-Y dan (B-Y) haruslah beda fasa 90° . Ide dasar tentang pemisahan kedua sinyal tersebut yang dipakai oleh sistem NTSC dan atau sistem PAL. Gambar 6.39 memperlihatkan hubungan fasa dari dua "subcarrier" warna.



Gambar 6.39. Hubungan Fasa dari Subcarrier Warna

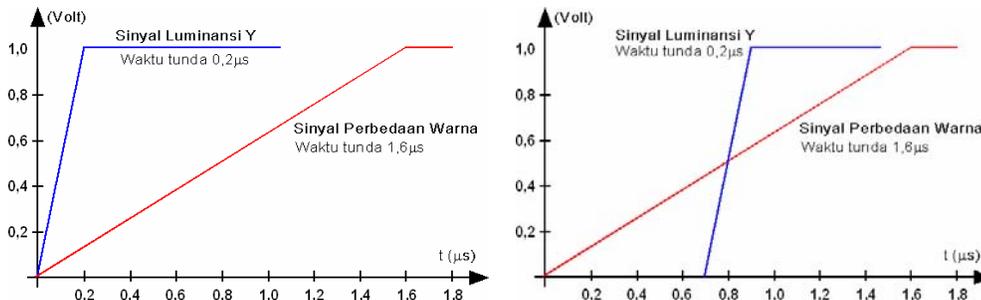
Rangkaian blok osilator bertugas untuk membedakan sinyal perbedaan warna (R-Y) dan (B-Y), yaitu sebesar 90 derajat sebelum dimodulasi pada rangkaian blok modulator, membangkitkan sinyal burst dan pulsa

untuk proses sinkronisasi. Dengan trager osilator, maka perbedaan fasa antara sinus dan cosinus menjadi memsahkan proses modulasi antara sinyal perbedaan warna (R-Y) dan (B-Y).

6.3.8. Lebar Pita (*Bandwidth*) dan Rangkaian Tunda Y

Agar dihasilkan kualitas gambar yang baik dan terhindar dari gangguan sebelum dimodulasi, maka oleh rangkaian blok LPF, pembatasan lebar pita (bandwidth) dari kedua sinyal perbedaan warna R-Y dan B-Y harus dilakukan, hal ini bertujuan untuk efisiensi sekaligus untuk mengurangi gangguan sebelum diproses oleh masing-masing rangkaian blok modulator R-Y dan modulator B-Y. Hal penting yang perlu diperhatikan adalah proses kombinasi matematik dari sinyal luminansi Y dengan sinyal perbedaan warna R-Y dan sinyal perbedaan warna B-Y adalah masalah perbedaan lebar pita antara sinyal luminansi Y (5MHz) dengan kedua sinyal perbedaan warna R-Y dan G-Y. mempunyai pita frekuensi lebih lebar daripada kedua sinyal perbedaan warna, untuk itu diperlukan rangkaian tunda sinyal luminansi Y. Ini artinya waktu yang diperlukan untuk mencapai puncak kecerahan putih (1) sampai pada titik paling gelap hitam (0) diperlukan waktu 0,2µs atau 1µs sebanding dengan satu MHz.

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{5 \times 10^6} = 0,2\mu s \tag{1.18}$$



Gambar 6.40. Perbedaan Waktu Stabil Sinyal Luminansi Y dan Perbedaan Warna

Waktu stabil dari sinyal perbedaan warna dengan lebar band 600kHz mempunyai waktu tempuh sampai mencapai steady state sekitar 1,6µs jauh lebih lambat bila dibandingkan dengan sinyal luminansi Y. Untuk itu sinyal luminansi Y

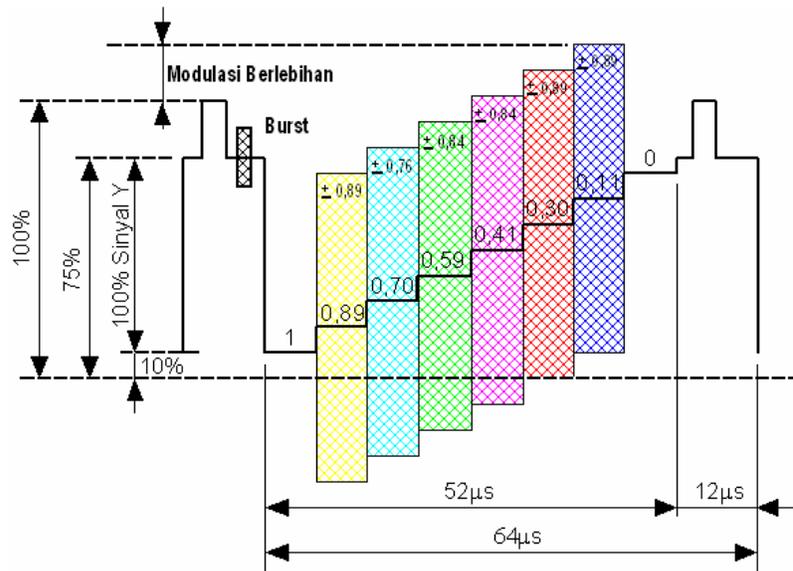
6.3.8. Reduksi Sinyal Pebedaan Warna

Pada tingkat pemancar, amplitudo sinyal perbedaan warna antara R-Y dan B-Y perlu direduksi sebelum diproses oleh masing-masing blok rangkaian modulator, hal ini bertujuan untuk mengurangi tingkat kejenuhan warna atau modulasi amplitudo yang berlebihan. Hal lain yang

perlu diketahui adalah tugas dan fungsi rangkaian blok modulator adalah hanya untuk mereduksi amplitude warna bukan sudut modulasi dari sinyal perbedaan warna (R-Y) dan sinyal perbedaan warna (B-Y). Karena proses matematik terbentuknya kedua sinyal perbedaan warna (R-Y) dan (B-Y) didalamnya mengandung sinyal luminansi Y hitam-putih dengan tingkat kecerahan yang berbeda, oleh karena itu besarnya amplitudo yang direduksi dari kedua sinyal perbedaan warna adalah berbeda.

6.3.9. Reduksi Sinyal Perbedaan Warna

Gambar 6.41, memperlihatkan sinyal video dengan modulasi warna 100%, dinamakan nampak untuk modulasi warna biru bagian positif melebihi batas titik hitam, sedangkan untuk modulasi warna kuning melebihi batas titik putih (sinyal video negatif). Perlu diketahui bahwa modulasi warna diletakkan sesuai dengan tingkat kecerahan dari sinyal luminansi (Y) yang membentuk tangga abu-abu terletak diantara level putih (10%) dan level hitam (75%).



Gambar 6.41. Permasalahan modulasi 100% dari Sinyal Video Negatif

Sedangkan level 100% merupakan batas puncak dari pulsa sinkronisasi. Untuk warna kuning yang mempunyai hue dengan tingkat kecerahan paling tinggi posisi modulasi diletakkan pada titik skala tangga abu-abu diatas putih, sedangkan untuk warna biru posisi modulasi diletakkan pada titik skala tangga paling gelap atau sebelum hitam. Selain posisi modulasi semua warna diletakkan pada posisi yang tepat sesuai dengan tingkat skala luminan, masalah lain yang perlu diperhatikan adalah level tegangan warna yang akan dimodulasi tidak boleh melebihi batas level titik putih dan level puncak titik hitam. Sinyal vektor perbedaan warna

termodulasi U_F' dan tereduksi dapat dinyatakan seperti persamaan (6.19) berikut:

$$U_F' = \sqrt{(U_R - U_Y)^2 + (U_B - U_Y)^2} \quad (6.19)$$

$$U_F' = \sqrt{[v(U_R - U_Y)]^2 + [w(U_B - U_Y)]^2} \quad (6.20)$$

6.3.10. Reduksi Untuk Modulasi Perbedaan Warna Biru (B-Y)

Dengan menggunakan persamaan (1.14), maka persamaan faktor reduksi (w) untuk modulasi warna biru (B) dapat ditentukan, dengan harga sinyal perbedaan warna ($U_R - U_Y$) = -0,11 dan sinyal perbedaan warna ($U_B - U_Y$) = 0,89, dan nilai tegangan vektor $U_F' = \pm 0,44$, dengan demikian dihasilkan persamaan kuadrat reduksi seperti berikut:

$$U_F' = \sqrt{[v(U_R - U_Y)]^2 + [w(U_B - U_Y)]^2} \quad (6.21)$$

$$\pm 0,44 = \sqrt{[v(-0,11)]^2 + [w(0,89)]^2}$$

$$(\pm 0,44)^2 = [v(-0,11)]^2 + [w(0,89)]^2$$

Sehingga kuadrat reduksi tegangan untuk modulasi warna biru (B)

$$0,1936 = 0,0121 v^2 + 0,7921 w^2 \quad (6.22)$$

6.3.11. Reduksi untuk Modulasi Perbedaan Warna Merah (R-Y).

Dengan menggunakan persamaan 6.20, maka persamaan faktor reduksi (v) untuk modulasi warna merah (R) dapat ditentukan, dengan harga sinyal perbedaan warna ($U_R - U_Y$) = 0,7 dan sinyal perbedaan warna ($U_B - U_Y$) = -0,3, dan nilai tegangan vektor $U_F' = \pm 0,63$, dengan demikian dihasilkan persamaan kuadrat reduksi seperti berikut:

$$U_F' = \sqrt{[v(U_R - U_Y)]^2 + [w(U_B - U_Y)]^2} \quad (6.23)$$

$$\pm 0,63 = \sqrt{[v(0,7)]^2 + [w(-0,3)]^2}$$

$$(\pm 0,63)^2 = [v(0,7)]^2 + [w(-0,3)]^2$$

$$0,3969 = 0,49 v^2 + 0,09 w^2 \quad (6.24)$$

Untuk menentukan nilai faktor reduksi (w), untuk itu besarnya faktor reduksi (v) dari persamaan 6.22 difaktorkan dengan bilangan 0,49, sehingga didapatkan persamaan 6.25 seperti berikut:

$$0,1936 \times 0,49 = (0,0121 v^2 + 0,7921 w^2) \times 0,49$$

$$0,0948 = 0,005929 v^2 + 0,388129 w^2 \quad (6.25)$$

Untuk menentukan nilai faktor reduksi (w), untuk itu besarnya faktor reduksi (v) dari persamaan 6.24 difaktorkan dengan bilangan 0,0121, sehingga didapatkan persamaan 6.26 seperti berikut:

$$0,3969 \times 0,0121 = (0,49 v^2 + 0,09 w^2) \times 0,0121$$

$$-0,0048 = 0,005929 v^2 + 0,001090 w^2 \quad (6.26)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (6.25) dan persamaan (6.26), maka faktor reduksi (w) dapat ditentukan:

$$0,0948 = 0,005929 v^2 + 0,388129 w^2$$

$$-0,0048 = 0,005929 v^2 + 0,001090 w^2$$

$$0,09 = 0 + 0,387039 w^2$$

$$w^2 = \frac{0,09}{0,387039} \approx 0,24$$

sehingga faktor reduksi untuk sinyal perbedaan warna (B-Y) adalah:

$$w = \sqrt{0,24} = 0,49$$

atau

$$\frac{1}{w} = \frac{1}{(B-Y)} = \frac{1}{0,49} = 2,03$$

Dengan memasukan nilai faktor reduksi ($w = 0,49$) kedalam persamaan (1.16), maka besarnya faktor reduksi (v) dari komponen (R-Y) dapat ditentukan:

$$0,3969 = 0,49 v^2 + 0,09 (0,24)$$

$$0,3969 = 0,49 v^2 + 0,0216$$

$$0,49 v^2 = 0,3969 - 0,0216$$

$$v^2 = \frac{0,3969 - 0,0216}{0,49}$$

$$v^2 = \frac{0,3753}{0,49} = 0,76$$

Dengan demikian besarnya faktor reduksi (v) dari komponen (R-Y) adalah:

$$v = \sqrt{0,76} \approx 0,87$$

atau

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{(B-Y)} = \frac{1}{0,87} = 1,14$$

6.3.12. Warna Kuning

Warna komplemen kuning merupakan penjumlahan dari warna dasar merah (R) dan warna dasar hijau (G). Didalam warna komplemen kuning mengandung unsur sinyal perbedaan warna (R-Y) dengan nilai 0,11 dan juga berisi sinyal perbedaan warna (B-Y) dengan nilai -0,89. Dengan demikian untuk menentukan besarnya faktor reduksi warna kuning cukup difaktorkan dengan nilai vektor reduksi ($v = 0,87$), sehingga diperoleh nilai (R-Y)' sebesar:

$$(R-Y)' = 0,87 \times (R-Y)$$

$$(R-Y)' = 0,87 \times 0,11$$

$$(R-Y)' = 0,0957$$

Karena warna komplemen kuning merupakan hasil penjumlahan antara warna dasar merah (R) dan warna dasar hijau (G), dengan demikian untuk memperoleh nilai (B-Y)' dikalikan dengan faktor reduksi ($w = 0,49$), sehingga diperoleh nilai (B-Y)' seperti berikut:

$$(B-Y)' = 0,49 \times (B-Y)$$

$$(B-Y)' = 0,49 \times -(0,89)$$

$$(B-Y)' = -0,4361$$

Besarnya tegangan vektor U_F' kuning setelah direduksi adalah

$$U_F' = \sqrt{(U_R - U_Y)^2 + (U_B - U_Y)^2}$$

$$U_F' = \sqrt{(0,0957)^2 + (-0,4361)^2}$$

$$U_F' = \sqrt{0,00915 + 0,19018}$$

$$U_F' = \sqrt{0,19933}$$

Sehingga didapatkan tegangan vektor,

$$U_F' = \pm 0,446 \approx \pm 0,44$$

Besarnya sudut phasa

$$\tan \alpha' = \frac{(B-Y)}{(R-Y)}$$

$$\tan \alpha' = \frac{-0,4361}{0,0957} \Rightarrow \tan \alpha' = -4,5569 \Rightarrow \alpha' = 77,6^\circ$$

Sehingga besarnya sudut warna komplemen kuning terletak pada kuadran II setelah direduksi adalah $\varphi' = 77 + 90^\circ = 167,6^\circ \approx 167^\circ$

6.3.13. Warna Cyan

Warna komplemen cyan merupakan penjumlahan dari warna dasar biru (B) dan warna dasar hijau (G). Didalam warna komplemen cyan mengandung unsur sinyal perbedaan warna (R-Y) dengan nilai -0,70 dan juga berisi sinyal perbedaan warna (B-Y) dengan nilai 0,30. Dengan demikian untuk menentukan besarnya besarnya faktor reduksi warna kuning cukup difaktorkan dengan nilai vektor reduksi ($v = 0,87$), sehingga diperoleh nilai (R-Y)' sebesar:

$$(R-Y)' = 0,87 \times (R-Y)$$

$$(R-Y)' = 0,87 \times -0,70$$

$$(R-Y)' = -0,609$$

Karena warna komplemen cyan merupakan hasil penjumlahan antara warna dasar merah (R) dan warna dasar hijau (G), dengan demikian untuk memperoleh nilai (B-Y)' dikalikan dengan faktor reduksi ($w = 0,49$), sehingga diperoleh nilai (B-Y)' seperti berikut:

$$(B-Y)' = 0,49 \times (B-Y)$$

$$(B-Y)' = 0,49 \times (0,30)$$

$$(B-Y)' = -0,147$$

Besarnya tegangan vektor U_F' cyan setelah direduksi adalah

$$U_F' = \sqrt{(U_R - U_Y)^2 + (U_B - U_Y)^2}$$

$$U_F' = \sqrt{(-0,609)^2 + (0,147)^2}$$

$$U_F' = \sqrt{0,370881 + 0,021609}$$

$$U_F' = \sqrt{0,39249}$$

Sehingga didapatkan tegangan vektor,

$$U_F' = \pm 0,626 \approx \pm 0,63$$

Besarnya sudut phasa

$$\tan \alpha' = \frac{(B-Y)}{(R-Y)}$$

$$\tan \alpha' = \frac{0,147}{-0,609} \quad \Rightarrow \tan \alpha' = -0,2414 \quad \Rightarrow \alpha' = 13,57^\circ$$

Sehingga besarnya sudut warna komplemen cyan terletak pada kuadran IV setelah direduksi adalah $\varphi' = 13,57 + 270^0 = 283,57^0 \approx 283^0$

6.3.14. Warna Hijau (G)

Warna dasar hijau (G) mengandung unsur sinyal perbedaan warna (R-Y) dengan nilai -0,59 dan juga berisi sinyal perbedaan warna (B-Y) dengan nilai -0,59. Dengan demikian untuk menentukan besarnya faktor reduksi warna kuning cukup difaktorkan dengan nilai vektor reduksi ($v = 0,87$), sehingga diperoleh nilai (R-Y)' sebesar:

$$(R-Y)' = 0,87 \times (R-Y)$$

$$(R-Y)' = 0,87 \times -0,59$$

$$(R-Y)' = -0,5133$$

Untuk mendapatkan nilai sinyal perbedaan warna (B-Y)' dikalikan dengan faktor reduksi ($w = 0,49$), sehingga diperoleh nilai (B-Y)' seperti berikut:

$$(B-Y)' = 0,49 \times (B-Y)$$

$$(B-Y)' = 0,49 \times (-0,59)$$

$$(B-Y)' = -0,2891$$

Besarnya tegangan vektor U_F' hijau setelah direduksi adalah

$$U_F' = \sqrt{(U_R - U_Y)^2 + (U_B - U_Y)^2}$$

$$U_F' = \sqrt{(-0,5133)^2 + (-0,2891)^2}$$

$$U_F' = \sqrt{0,26347689 + 0,08357881}$$

$$U_F' = \sqrt{0,3470557}$$

Sehingga didapatkan tegangan vektor,

$$U_F' = \pm 0,589 \approx \pm 0,59$$

Besarnya sudut phasa

$$\tan \alpha' = \frac{(B-Y)}{(R-Y)}$$

$$\tan \alpha' = \frac{-0,2891}{-0,5133} \Rightarrow \tan \alpha' = 0,5632 \Rightarrow \alpha' = 29,39^0$$

Sehingga besarnya sudut warna dasar hijau (G) terletak pada kuadran III setelah direduksi adalah $\varphi' = 270^0 - 29,39^0 = 240,61^0 \approx 242^0$

6.3.15. Warna Magenta

Warna komplemen magenta merupakan penjumlahan dari warna dasar biru (B) dan warna dasar merah (R). Didalam warna komplemen cyan mengandung unsur sinyal perbedaan warna (R-Y) dengan nilai 0,59 dan juga berisi sinyal perbedaan warna (B-Y) dengan nilai 0,59. Dengan demikian untuk menentukan besarnya besarnya faktor reduksi warna kuning cukup difaktorkan dengan nilai vektor reduksi ($v = 0,87$), sehingga diperoleh nilai (R-Y)' sebesar:

$$(R-Y)' = 0,87 \times (R-Y)$$

$$(R-Y)' = 0,87 \times 0,59$$

$$(R-Y)' = 0,5133$$

Karena warna komplemen magenta merupakan hasil penjumlahan antara warna dasar merah (R) dan warna dasar biru (B), dengan demikian untuk memperoleh nilai (B-Y)' dikalikan dengan faktor reduksi ($w = 0,49$), sehingga diperoleh nilai (B-Y)' seperti berikut:

$$(B-Y)' = 0,49 \times (B-Y)$$

$$(B-Y)' = 0,49 \times (0,59)$$

$$(B-Y)' = 0,2891$$

Besarnya tegangan vektor U_F' magenta setelah direduksi adalah

$$U_F' = \sqrt{(U_R - U_Y)^2 + (U_B - U_Y)^2}$$

$$U_F' = \sqrt{(0,5133)^2 + (0,2891)^2}$$

$$U_F' = \sqrt{0,26347689 + 0,08357881}$$

$$U_F' = \sqrt{0,3470557}$$

Sehingga didapatkan tegangan vektor,

$$U_F' = \pm 0,5891 \approx \pm 59$$

Besarnya sudut phasa

$$\tan \alpha' = \frac{(B-Y)}{(R-Y)}$$

$$\tan \alpha' = \frac{0,2811}{0,5133} \Rightarrow \tan \alpha' = 0,5476 \Rightarrow \alpha' = 28,70^\circ$$

Sehingga besarnya sudut warna komplemen magenta terletak pada kuadran I setelah direduksi adalah $\phi' = 90^\circ - 28,70^\circ = 61,30^\circ \approx 62^\circ$

6.3.16 Warna Merah (R)

Warna dasar merah (R) mengandung unsur sinyal perbedaan warna (R-Y) dengan nilai 0,70 dan juga berisi sinyal perbedaan warna (B-Y) dengan nilai -0,30. Dengan demikian untuk menentukan besarnya faktor reduksi warna kuning cukup difaktorkan dengan nilai vektor reduksi ($v = 0,87$), sehingga diperoleh nilai (R-Y)' sebesar:

$$(R-Y)' = 0,87 \times (R-Y)$$

$$(R-Y)' = 0,87 \times 0,70$$

$$(R-Y)' = 0,609$$

Untuk mendapatkan sinyal perbedaan warna (B-Y)' dikalikan dengan faktor reduksi ($w = 0,49$), sehingga diperoleh nilai (B-Y)' seperti berikut:

$$(B-Y)' = 0,49 \times (B-Y)$$

$$(B-Y)' = 0,49 \times (-0,30)$$

$$(B-Y)' = -0,147$$

Besarnya tegangan vektor U_F' merah (R) setelah direduksi adalah

$$U_F' = \sqrt{(U_R - U_Y)^2 + (U_B - U_Y)^2}$$

$$U_F' = \sqrt{(0,609)^2 + (-0,147)^2}$$

$$U_F' = \sqrt{0,370881 + 0,021609}$$

$$U_F' = \sqrt{0,39249}$$

Sehingga didapatkan tegangan vektor,

$$U_F' = \pm 0,6265 \approx \pm 0,63$$

Besarnya sudut phasa

$$\tan \alpha' = \frac{(B-Y)}{(R-Y)}$$

$$\tan \alpha' = \frac{-0,147}{0,609} \Rightarrow \tan \alpha' = -0,2414 \Rightarrow \alpha' = 13,57^\circ$$

Sehingga besarnya sudut warna dasar merah (R) terletak pada kuadran II setelah direduksi adalah $\varphi' = 13,57^\circ + 90^\circ = 103,57^\circ \approx 103^\circ$

6.3.17. Warna biru (B)

Warna dasar biru (B) mengandung unsur sinyal perbedaan warna (R-Y) dengan nilai -0,11 dan juga berisi sinyal perbedaan warna (B-Y) dengan nilai 0,89. Dengan demikian untuk menentukan besarnya faktor

reduksi warna kuning cukup difaktorkan dengan nilai vektor reduksi ($v = 0,87$), sehingga diperoleh nilai $(R-Y)'$ sebesar:

$$(R-Y)' = 0,87 \times (R-Y)$$

$$(R-Y)' = 0,87 \times -0,11$$

$$(R-Y)' = -0,0957$$

Untuk mendapatkan sinyal perbedaan warna $(B-Y)'$ dikalikan dengan faktor reduksi ($w = 0,49$), sehingga diperoleh nilai $(B-Y)'$ seperti berikut:

$$(B-Y)' = 0,49 \times (B-Y)$$

$$(B-Y)' = 0,49 \times (0,89)$$

$$(B-Y)' = 0,4361$$

Besarnya tegangan vektor U_F' biru (B) setelah direduksi adalah

$$U_F' = \sqrt{(U_R - U_Y)^2 + (U_B - U_Y)^2}$$

$$U_F' = \sqrt{(-0,0957)^2 + (0,4361)^2}$$

$$U_F' = \sqrt{0,00915849 + 0,19018321} \quad \Rightarrow \quad U_F' = \sqrt{0,1993417}$$

Sehingga didapatkan tegangan vektor,

$$U_F' = \pm 0,446 \approx \pm 0,44$$

Besarnya sudut phasa

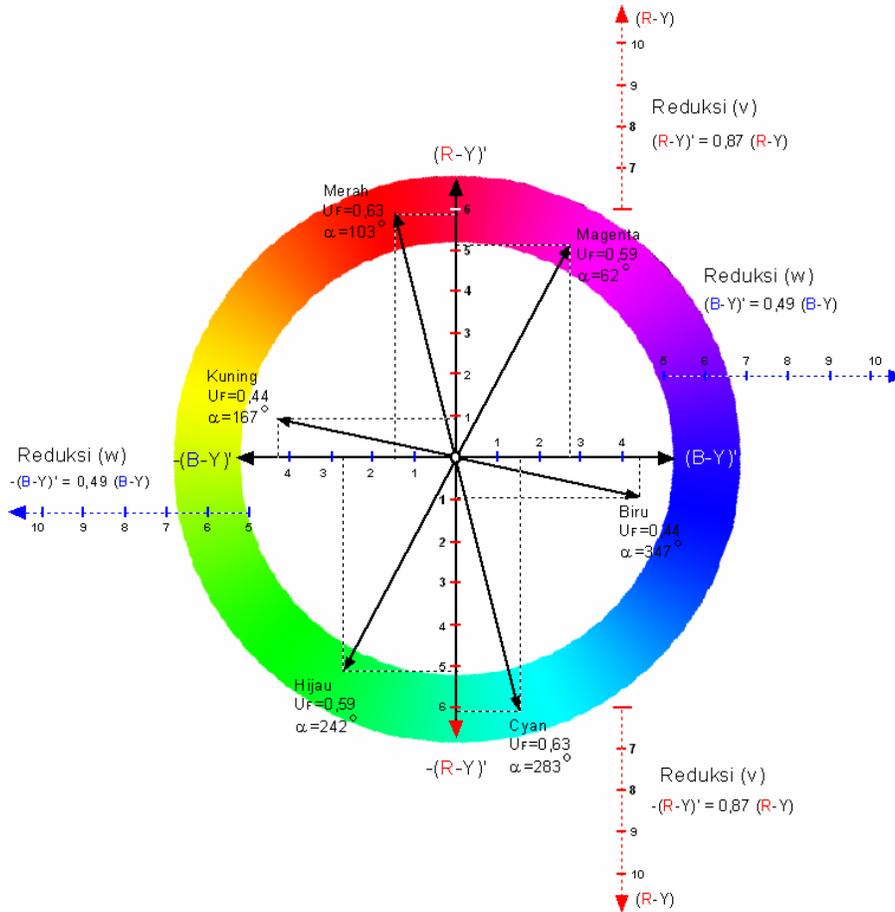
$$\tan \alpha' = \frac{(B-Y)'}{(R-Y)'}$$

$$\tan \alpha' = \frac{0,4361}{-0,0957} \quad \Rightarrow \quad \tan \alpha' = -4,557 \quad \Rightarrow \quad \alpha' = 77,62^\circ$$

Sehingga besarnya sudut warna biru (B) terletak pada kuadran IV setelah direduksi adalah $\varphi' = 77,62^\circ + 270^\circ = 347,62^\circ \approx 347^\circ$

Sudut warna yang dimaksud diperlihatkan pada Gambar 6.42.

Hitam dan putih merupakan luminan bukan termasuk warna dengan demikian dalam proses QUAM=Quadrature Amplitude Modulation.

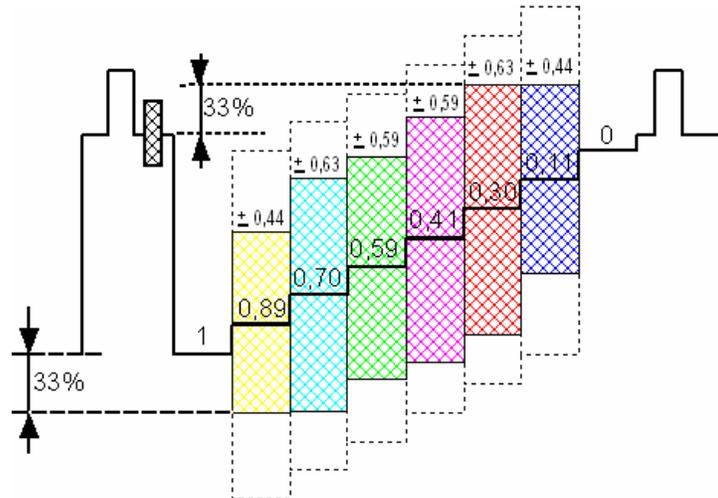


Gambar 6.42 Reduksi Quadrature Amplitude Modulation (QUAM) standar PAL

Tabel 6.6. Perbandingan koordinat warna sebelum dan sesudah direduksi

Warna	Tegangan Vektor dalam (%)		Sudut Fasa	
	U_F	U_F'	φ	φ'
Putih	-	-	-	-
Kuning	$\pm 89\%$	$\pm 44\%$	173^0	167^0
Cyan	$\pm 76\%$	$\pm 63\%$	293^0	283^0
Hijau	$\pm 84\%$	$\pm 59\%$	225^0	242^0
Magenta	$\pm 84\%$	$\pm 59\%$	45^0	62^0
Merah	$\pm 76\%$	$\pm 63\%$	113^0	103^0
Biru	$\pm 89\%$	$\pm 44\%$	353^0	347^0
Hitam	-	-	-	-

Gambar 6.43 memperlihatkan perbedaan tegangan U_F sebelum direduksi (garis putus-putus) terhadap tegangan U_F' setelah direduksi.

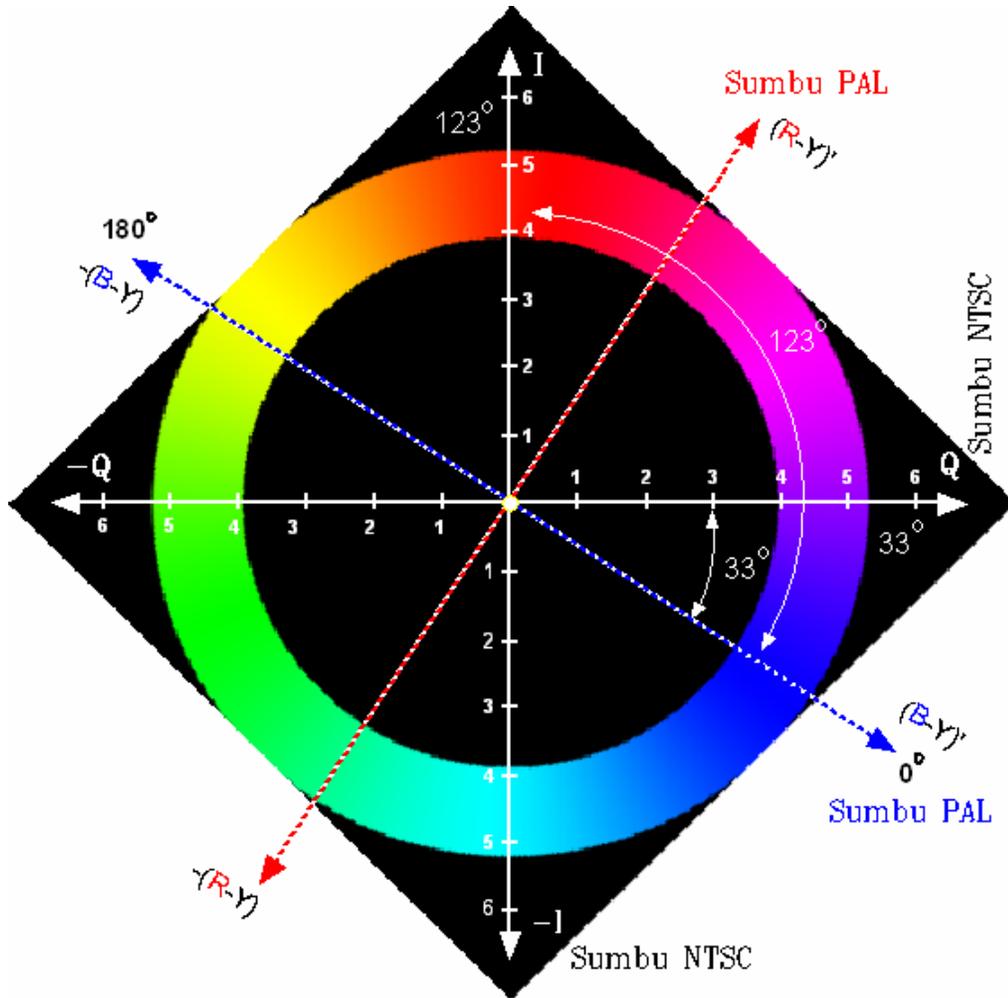


Gambar 6.43 Sinyal Video Setelah Direduksi

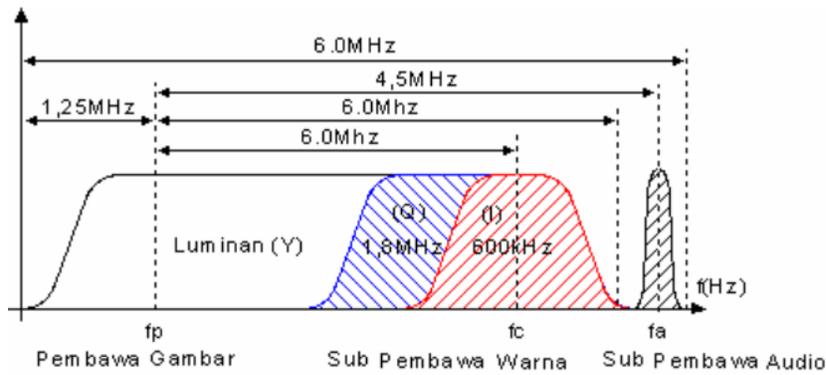
6.3.18. Konversi Modulasi Aksis NTSC ke Modulasi Aksis PAL

Sinyal perbedaan warna pada NTSC menggunakan model pendekatan sinyal perbedaan warna I dan Q, untuk PAL menggunakan model pendekatan sinyal perbedaan warna U dan V. Yang dimaksud sinyal perbedaan warna U pada sistem PAL sama dengan I untuk sistem NTSC yang maksudnya adalah sinyal perbedaan warna antara (R-Y). Sedangkan yang dimaksud sinyal perbedaan warna V pada sistem PAL sama dengan Q untuk sistem NTSC yang maksudnya adalah sinyal perbedaan warna antara (B-Y). I kependekan dari Inphase dan Q singkatan dari Quadraturphase dari sistem amplitudo modulasi. Ada perbedaan didalam proses penglihatan daerah tampak dari spektrum warna, untuk itu ada sedikit perbedaan didalam menetapkan koordinat dari sudut warna antara sistem NTSC dan PAL. Gambar 6.44, berikut memperlihatkan perbedaan sistem koordinat didalam menetapkan aksis sudut perbedaan warna antara (R-Y)', (B-Y)' dengan sinyal perbedaan warna I dan Q.

Sifat dari mata manusia mempunyai perbedaan resolusi didalam proses transformasi antara sinyal perbedaan (R-Y) dan (B-Y). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sifat mata manusia ternyata lebih sulit menerima sinyal perbedaan warna (B-Y) bila dibandingkan dengan sinyal perbedaan warna (R-Y). Untuk alasan tersebut mengapa pemilihan lebar pita frekuensi pada sistem NTSC untuk sinyal perbedaan warna Q dipilih lebih sempit ($\pm 600\text{kHz}$) bila dibandingkan dengan sinyal perbedaan warna I ($\pm 1,8\text{MHz}$). Gambar 6.45, memperlihatkan lebar pita frekuensi untuk sinyal luminansi (Y), sinyal perbedaan warna dari sinyal I dan Q.

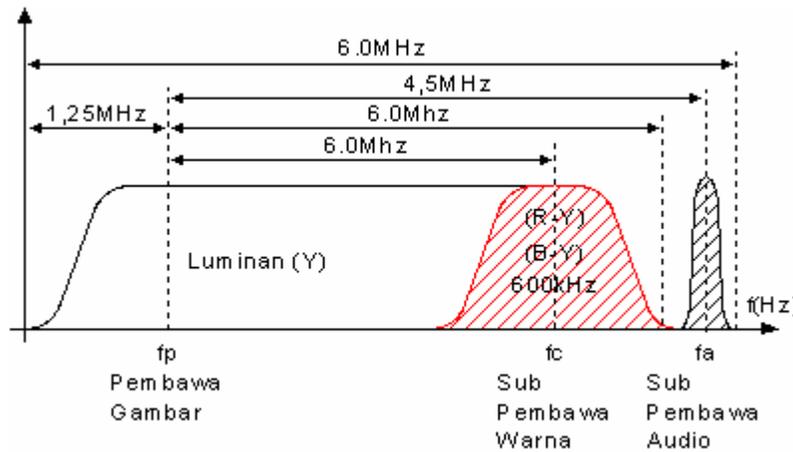


Gambar 6.44 Konversi Aksis I dan Q terhadap (R-Y) dan (B-Y).



Gambar 6.45. Lebar Pita Frekuensi Sinyal Perbedaan Warna I dan Q sistem NTSC

Oleh karena pada sistem NTSC lebar pita frekuensi untuk sinyal perbedaan warna antara I dan Q berbeda, untuk itu sebagai tuntutan di tingkat pemancar maupun penerima diperlukan sebuah rangkaian tunda untuk sinyal perbedaan warna I. Berbeda dengan sistem yang dipakai PAL, bahwa lebar pita dari sinyal perbedaan warna I pada sistem NTSC dianggap terlalu besar sehingga pada akhirnya dapat menyebabkan pemborosan energi baik di tingkat pemancar maupun penerima, untuk itu pemilihan lebar pita frekuensi sinyal perbedaan V atau (R-Y) dan U atau (B-Y) perlu dibatasi didalam sistem PAL, dimana keduanya dibatasi dan dibuat sama yaitu $\pm 600\text{kHz}$, untuk itu posisi pemilihan sudut aksis dari kedua sinyal perbedaan warna juga dibuat berbeda. Gambar 6.46, memperlihatkan pemilihan lebar pita frekuensi sinyal perbedaan warna (R-Y), (B-Y) dan sinyal luminan (Y) sistem PAL. Suatu kelebihan pada sistem PAL, bahwa lebar pita frekuensi untuk sinyal perbedaan warna antara (R-Y) dan (B-Y) dibuat sama, maka dari itu baik di tingkat pemancar maupun penerima tidak lagi memerlukan rangkaian tunda untuk kedua sinyal perbedaan warna (R-Y) dan (B-Y).



Gambar 6.46 Lebar Pita Frekuensi Sinyal Perbedaan Warna (R-Y) dan (B-Y) sistem PAL

6.3.19. Konversi Modulasi I dan Q terhadap (R-Y) dan (B-Y)

Diatas telah dijelaskan, bahwa terdapat perbedaan antara sinyal perbedaan warna I dan Q terhadap sinyal perbedaan warna setelah direduksi (R-Y)' dan (B-Y)' didalam menempatkan posisi aksis sudut modulasi untuk kedua sinyal perbedaan warna. Pada sistem NTSC dipilih sudut aksis untuk sinyal perbedaan warna I dan Q sebesar 33° . Persamaan 6.27 berikut memperlihatkan konversi sinyal perbedaan warna I dan Q terhadap sinyal perbedaan warna (R-Y)' dan (B-Y)'.

$$I = (R-Y) \cdot \cos 33^\circ + (B-Y) \cdot \sin 33^\circ \tag{6.27}$$

$$Q = (R-Y) \cdot \sin 33^\circ + (B-Y) \cdot \cos 33^\circ \tag{6.28}$$

Sehingga didapatkan konversi faktor reduksi dari sinyal (R-Y) dan (B-Y) seperti persamaan berikut:

$$I = (R-Y) \cdot 0,87 \cdot \cos 33^\circ - (B-Y) \cdot 0,49 \cdot \sin 33^\circ$$

$$I = 0,74 \cdot (R-Y) - 0,27 \cdot (B-Y) \quad (6.29)$$

$$Q = (R-Y) \cdot \sin 33^\circ + (B-Y) \cdot \cos 33^\circ$$

dan,

$$Q = (R-Y) \cdot 0,87 \cdot \sin 33^\circ + (B-Y) \cdot 0,49 \cdot \cos 33^\circ$$

$$Q = 0,48 \cdot (R-Y) + 0,41 \cdot (B-Y) \quad (6.30)$$

6.3.20 Konversi Warna Pola BARS

Warna Kuning

$$(R-Y) = 0,11 \text{ dan } (B-Y) = -0,89$$

Untuk sinyal I diperoleh:

$$I = 0,74 \cdot (R-Y) - 0,27 \cdot (B-Y)$$

$$I = 0,74 \times (0,11) - 0,27 \times (-0,89)$$

$$I = 0,0814 - (-0,2403) = 0,0814 + 0,2403$$

$$I = 0,3217 \approx 32\%$$

Dan untuk Q didapatkan

$$Q = 0,48 \cdot (R-Y) + 0,41 \cdot (B-Y)$$

$$Q = 0,48 \times (0,11) + 0,41 \times (-0,89)$$

$$Q = 0,0528 - 0,3649$$

$$Q = -0,3121 \approx -31\%$$

Warna Cyan

$$(R-Y) = -0,70 \text{ dan } (B-Y) = 0,30$$

Untuk sinyal I diperoleh:

$$I = 0,74 \cdot (R-Y) - 0,27 \cdot (B-Y)$$

$$I = 0,74 \times (-0,70) - 0,27 \times (0,30)$$

$$I = -0,518 - 0,081$$

$$I = -0,599 \approx -60\%$$

Dan untuk Q didapatkan

$$Q = 0,48 \cdot (R-Y) + 0,41 \cdot (B-Y)$$

$$Q = 0,48 \times (-0,70) + 0,41 \times (0,30)$$

$$Q = -0,336 + 0,123$$

$$Q = -0,213 \approx -21\%$$

Warna Hijau

$$(R-Y) = -0,59 \text{ dan } (B-Y) = -0,59$$

Untuk sinyal I diperoleh:

$$I = 0,74.(R-Y) - 0,27.(B-Y)$$

$$I = 0,74 \times (-0,59) - 0,27 \times (-0,59)$$

$$I = -0,4366 + 0,1593$$

$$I = -0,2773 \approx -28\%$$

Dan untuk Q didapatkan

$$Q = 0,48.(R-Y) + 0,41.(B-Y)$$

$$Q = 0,48 \times (-0,59) + 0,41 \times (-0,59)$$

$$Q = -0,2832 - 0,2419$$

$$Q = -0,5251 \approx -52\%$$

Warna Magenta

$$(R-Y) = 0,59 \text{ dan } (B-Y) = 0,59$$

Untuk sinyal I diperoleh:

$$I = 0,74.(R-Y) - 0,27.(B-Y)$$

$$I = 0,74 \times (0,59) - 0,27 \times (0,59)$$

$$I = 0,4366 - 0,1593$$

$$I = 0,2773 \approx 28\%$$

Dan untuk Q didapatkan

$$Q = 0,48.(R-Y) + 0,41.(B-Y)$$

$$Q = 0,48 \times (0,59) + 0,41 \times (0,59)$$

$$Q = -0,2832 + 0,2419$$

$$Q = 0,5251 \approx 52\%$$

Warna Merah

$$(R-Y) = 0,70 \text{ dan } (B-Y) = -0,30$$

Untuk sinyal I diperoleh:

$$I = 0,74.(R-Y) - 0,27.(B-Y)$$

$$I = 0,74 \times 0,70 - 0,27 \times (-0,30)$$

$$I = 0,518 + 0,081$$

$$I = 0,599 \approx 60\%$$

Dan untuk Q didapatkan

$$Q = 0,48.(R-Y). + 0,41.(B-Y)$$

$$Q = 0,48 \times 0,70. + 0,41 \times (-0,30)$$

$$Q = 0,336 - 0,123$$

$$Q = 0,213 \approx 21\%$$

Warna Biru

$$(R-Y) = -0,11 \text{ dan } (B-Y) = 0,89$$

Untuk sinyal I diperoleh:

$$I = 0,74.(R-Y) - 0,27.(B-Y)$$

$$I = 0,74 \times (-0,11) - 0,27 \times (0,89)$$

$$I = -0,0814 - 0,2403$$

$$I = -0,3217 \approx -32\%$$

Dan untuk Q didapatkan

$$Q = 0,48.(R-Y). + 0,41.(B-Y)$$

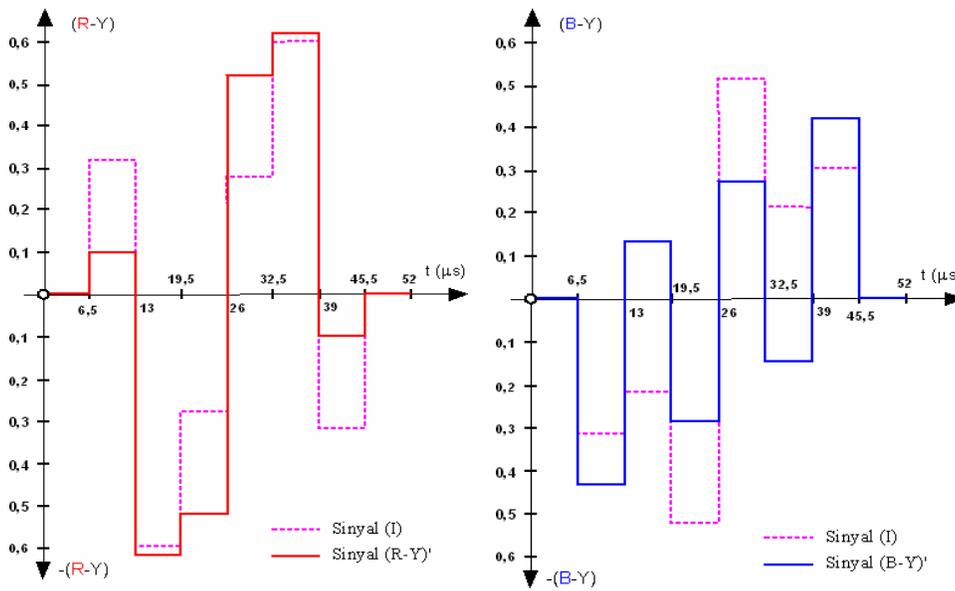
$$Q = 0,48 \times (-0,11). + 0,41 \times (0,89)$$

$$Q = -0,0528 + 0,3649$$

$$Q = 0,3121 \approx 31\%$$

Tabel 6.7. Konversi I dan Q terhadap (R-Y)' dan (B-Y)'

Warna	Sinyal Perbedaan Warna dalam (%)			
	(R-Y)'	I	(B-Y)'	Q
Putih	-	-	-	-
Kuning	10%	32%	-43%	-31%
Cyan	-62%	-60%	14%	-21%
Hijau	-52%	-28%	-28%	-52%
Magenta	52%	28%	28%	52%
Merah	62%	60%	-14%	21%
Biru	-10%	-32%	43%	31%
Hitam	-	-	-	-

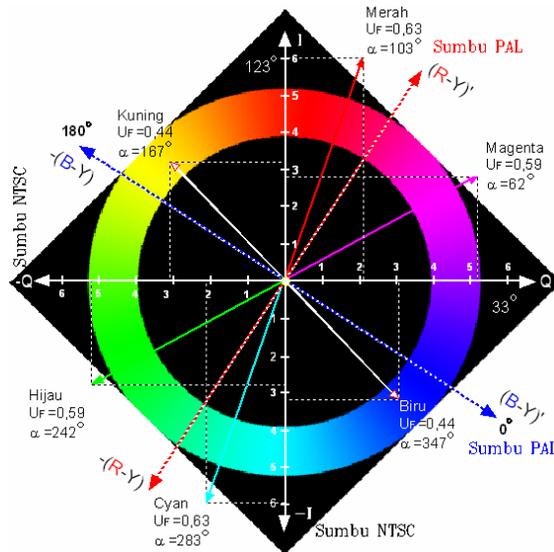


Gambar 6.47 Konversi Sinyal Perbedaan warna I dan Q terhadap $(R-Y)'$ dan $(B-Y)'$

Kedua sinyal perbedaan warna $(R-Y)$ sistem (PAL) terhadap (I) sistem NTSC mempunyai kemiripan bentuk, sedangkan untuk sinyal perbedaan warna $(B-Y)$ sistem (PAL) terhadap (Q) sistem (NTSC) mempunyai pola yang berbeda.

6.3.21. Koordinat Warna NTSC dan PAL

Koordinat perbedaan warna sistem PAL berbeda dengan sistem NTSC.



Gambar 6.48 Koordinat warna I dan Q terhadap aksis $(R-Y)$ dan $(B-Y)$

Tabel 6.8. Konversi koordinat warna sistem NTSC terhadap sistem PAL

Warna	U _F ' dalam (%)		Sudut Phasa φ^0	
	U _F '	I + Q		I & Q
Putih	-	-	-	-
Kuning	$\pm 44\%$	$\pm 44\%$	167^0	167^0
Cyan	$\pm 63\%$	$\pm 63\%$	283^0	283^0
Hijau	$\pm 59\%$	$\pm 59\%$	242^0	242^0
Magenta	$\pm 59\%$	$\pm 59\%$	62^0	62^0
Merah	$\pm 63\%$	$\pm 63\%$	103^0	103^0
Biru	$\pm 44\%$	$\pm 44\%$	347^0	347^0
Hitam	-	-	-	-

6.3.22. Modulator R-Y dan B-Y

Pembatasan lebar pita antara sinyal perbedaan warna R-Y dan sinyal perbedaan warna B-Y dilakukan secara terpisah, hal ini bertujuan untuk memudahkan proses modulasi (pengolahan) kedua sinyal perbedaan warna pada tingkat modulator baik itu di tingkat pemancar maupun demodulator pada tingkat penerima. Oleh karena kedua sinyal perbedaan warna mempunyai lebar pita yang sama dan untuk memudahkan sekaligus membedakan kedua sinyal perbedaan warna sedemikian rupa sehingga tidak saling mengganggu satu sama lain di tingkat modulator Sinyal perbedaan warna R-Y dimodulasi dengan sudut awal ($A_0 \cos \omega t$), sebaliknya untuk sinyal perbedaan warna B-Y dimodulasi dengan sudut awal ($A_0 \sin \omega t$). Sinkronisasi warna dilakukan oleh Burst.

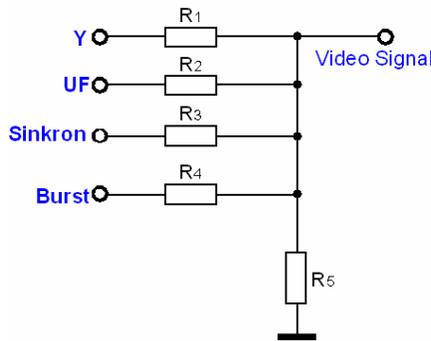
6.3.24. Penjumlahan Tingkat Warna

Sinyal hasil modulasi dari rangkaian blok modulator adalah sinyal perbedaan warna (R-Y)' dan sinyal perbedaan warna (B-Y)' yang telah direduksi amplitudonya keduanya dijumlahkan pada rangkaian blok penjumlahan HF. Proses modulasi kedua sinyal perbedaan warna pada tingkat modulator dan proses penjumlahan pada tingkat penjumlahan HF pada sistem PAL menggunakan metoda modulasi amplitudo kuadrat atau lebih dikenal dengan sebutan QUAM-Quadratur Amplitude Modulation. Hasil penjumlahan pada tingkat ini menghasilkan sinyal modulasi U_F,

yaitu merupakan representasi atau resultan dari penjumlahan sinyal perbedaan warna (R-Y)' dan (B-Y)' secara akar kuadrat (vektor).

6.3.25. Penjumlahan Tingkat Video (FBAS)

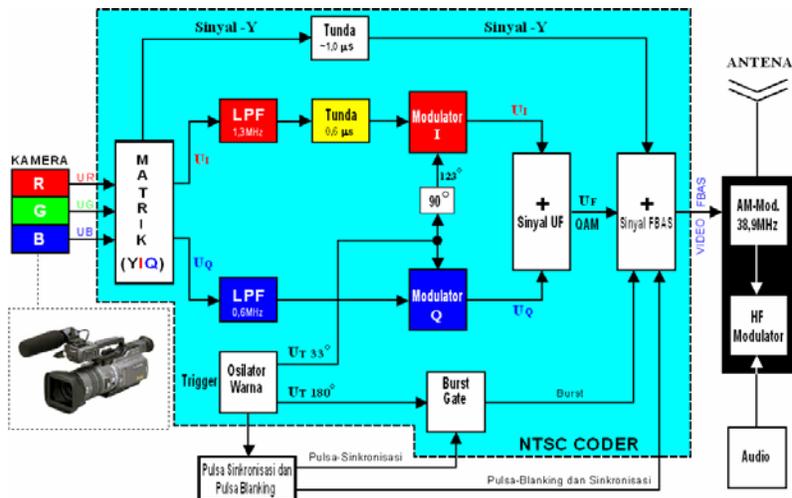
Blok rangkaian pada tingkat ini bertugas untuk menjumlahkan sinyal modulasi U_F , yaitu hasil dari penjumlahan secara akar kuadrat dan sinyal luminansi Y, dimana proses penjumlahan pada tingkat ini antara kecerahan sinyal luminansi Y dan kecerahan warna dari sinyal modulasi U_F posisi keduanya selalu disesuaikan dengan tingkat kecerahannya.



Gambar 6.49 Rangkaian Penjumlah

6.3.26 PEMANCAR NTSC

Terminal masukan dari NTSC CODER yang terkoneksi dengan sinyal warna merah (R), hijau (G) dan biru (B) merupakan tegangan dengan bentuk pulsa dari keluaran kamera warna yang dilengkapi dengan koreksi gamma, kemudian diproses oleh bagian matrik. Rangkaian matrik menghasilkan tiga macam sinyal yang berbeda bentuknya menurut norma NTSC, yaitu Y, I dan Q.



Gambar 6.50 Blok Pemancar NTSC

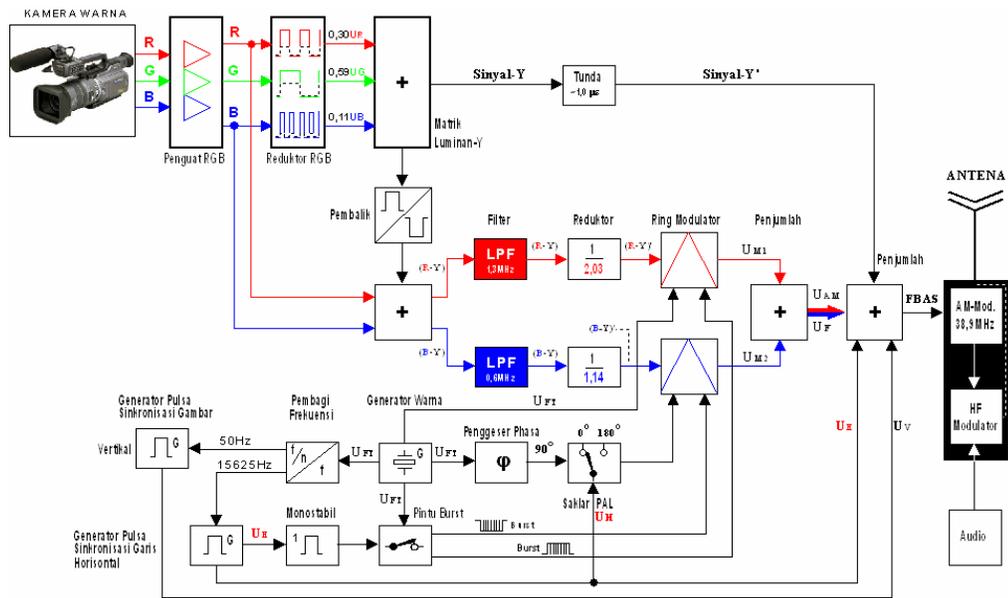
Sinyal Y merupakan representasi tingkat kecerahan (luminan) yang merupakan hasil penjumlahan dari warna primer RGB sesuai dengan pernyataan persamaan 6.31. Sinyal I merupakan representasi dari pernyataan persamaan 6.31a yang menunjukkan suatu sinyal perbedaan warna antara warna primer merah (R) dan luminan (Y) atau lebih dikenal dengan sinyal (R-Y). Sedangkan untuk sinyal Q merupakan representasi dari pernyataan persamaan 6.31b yang menunjukkan suatu sinyal perbedaan warna antara warna primer biru (B) dan luminan (Y) atau lebih dikenal dengan sinyal (B-Y).

$$U_Y = 0,30.U_R + 0,59.U_G + 0,11.U_B \quad (6.31)$$

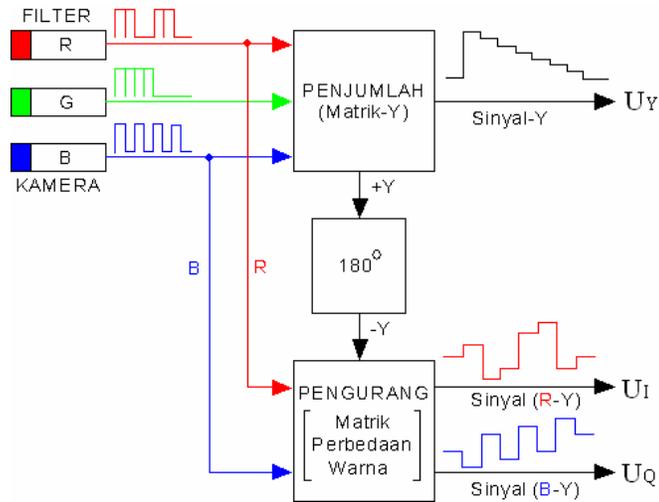
$$U_I = 0,60.U_R - 0,28.U_G - 0,32.U_B \quad (6.31a)$$

$$U_Q = 0,21.U_R - 0,52.U_G + 0,31.U_B \quad (6.31b)$$

Berdasarkan dari pernyataan diatas, maka prinsip dan tugas dari rangkaian matrik ada macam, pertama sebagai rangkaian penjumlah, yaitu menjumlahkan sinyal-sinyal warna primer merah (R), hijau (G) dan biru (B). Sedangkan fungsi yang kedua adalah sebagai rangkaian pengurang, yaitu mengurangi tegangan warna merah (R) dengan tegangan luminan (Y). Fungsi yang ketiga adalah sama dengan fungsi kedua, yaitu mengurangi tegangan warna biru (B) dengan tegangan luminan (Y).

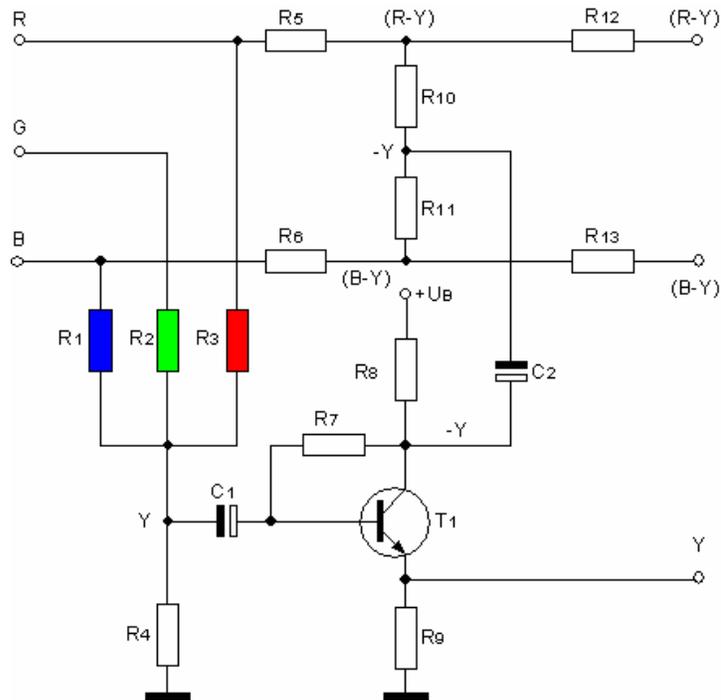


Gambar 6.51 Blok Skema Pemancar Standar PAL



Gambar 6.52 Blok Matrik Luminan dan Perbedaan Warna

Gambar 6.52 memperlihatkan rangkaian blok matrik luminan (Y), sinyal perbedaan warna (R-Y) dan (B-Y). Rangkaian matrik luminan (Y) dapat dibangun dengan menggunakan 4 buah resistor dengan faktor perbandingan seperti pernyataan dari persamaan (6.3), kemudian dimasukan ke masukan penguat membalik (inverting amplifier) yang fungsinya adalah membalikan fasa dari sinyal (Y) sebesar 180° .



Gambar 6.53 Rangkaian Matrik Luminan dan Perbedaan Warna

Untuk membentuk rangkaian pengurang yang diperlukan untuk mendapatkan sinyal perbedaan warna $U_I = U_V = (R-Y)$ dan $U_Q = U_U = (B-Y)$ diperlukan masing-masing 3 buah resistor. Gambar 6.53. memperlihatkan implementasi dari rangkaian matrik sinyal luminan (Y), sinyal perbedaan warna (R-Y) dan (B-Y). Susunan resistor R1, R2, R3 dan R4 membentuk jaringan rangkaian matrik luminan (Y). Transistor T1 merupakan penguat yang fungsinya adalah untuk membalik sinyal luminansi (Y) sebesar 180° . Rangkaian pengurang yang dibentuk oleh resistor R5, R10 dan R12 menghasilkan sinyal perbedaan warna (R-Y) atau dikenal juga dengan sebutan sinyal U_I , sedangkan jaringan yang dibentuk oleh resistor R6, R11 dan R13 menghasilkan sinyal perbedaan warna (B-Y) atau disebut sinyal U_Q . Sinyal perbedaan warna U_I dan U_Q sebelum dimasukkan pada rangkaian modulator I dan modulator Q terlebih dahulu lebar pita frekuensinya masing-masing harus dibatasi. Karena lebar pita frekuensi dari sinyal luminan (Y), sinyal perbedaan warna (I) dan sinyal perbedaan warna (Q) mempunyai lebar pita yang berbeda beda, untuk itu diperlukan dua buah rangkaian tunda, yaitu rangkaian tunda untuk sinyal luminan (Y) dan sinyal perbedaan warna (I) Karena sinyal perbedaan warna (Q) mempunyai lebar pita frekuensi paling kecil bila dibandingkan dengan sinyal luiminan (Y) dan sinyal perbedaan warna (I), untuk itu tidak diperlukan rangkaian tunda.

6.3.27. AM Modulasi

Tabel 6.6 Modulasi Produk

	- Tegangan		=	Modulasi Produk	
		$U_u + U_o$	\cong	$U_T \times U_i$	
Mod.Prod		cos cos		cos cos	
+		cos -cos		sin sin	
		sin sin		cos cos	
Trigger		+ Tegangan Trigger U_T		+ Tegangan Trigger U_T	
		cos		cos	
		sin		sin	
		sin		sin	
Hasil	U_{AM} dengan Informasi			U_{AM} dengan Informasi	
Amplitudo Modulasi		cos		cos	
		sin		sin	
		cos		cos	

Rangkaian modulator menyediakan tegangan keluaran (I) dan (Q) yang sudah termodulasi, sinyal modulasi dari keluaran modulator (I) dan modulator (Q) dapat dinyatakan seperti pada persamaan 6.30 berikut:

$$U_{FI} = U_I \cdot \cos(2\pi \cdot f_{FT} \cdot t + \pi/2 + 33^\circ) \tag{6.32}$$

$$U_{FQ} = U_Q \cdot \cos(2\pi \cdot f_{FT} \cdot t + 33^\circ) \tag{6.33}$$

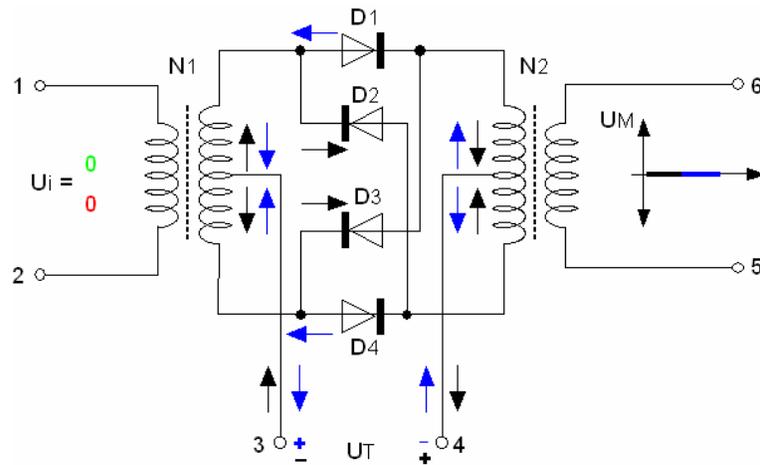
dimana,

- U_{FI} = Sinyal modulasi dari sinyal perbedaan warna (I) atau (R-Y)
- U_{FQ} = Sinyal modulasi dari sinyal perbedaan warna (Q) atau (B-Y)
- U_I = Sinyal perbedaan warna (I) atau (R-Y)
- U_Q = Sinyal perbedaan warna (Q) atau (B-Y)
- f_{FT} = Frekuensi trigger untuk warna
- t = Waktu

Frekuensi trigger warna disaklar pada sudut phasa 0° dan 123° secara bergantian atau digeser dengan sudut 33° .

6.3.28 Ring Modulator

Gambar 6.54 memperlihatkan rangkaian ring modulator, dimana rangkaian dasar modulator cincin dapat dibangun dengan menggunakan 4 buah dioda frekuensi tinggi, bilamana antara terminal 1 dan 2 diletakkan tegangan informasi U_i sebesar 0V, sedangkan pada terminal 3 dan 4 diletakkan tegangan trigger U_T dengan polaritas seperti yang ditunjukkan contoh pada gambar rangkaian berikut.



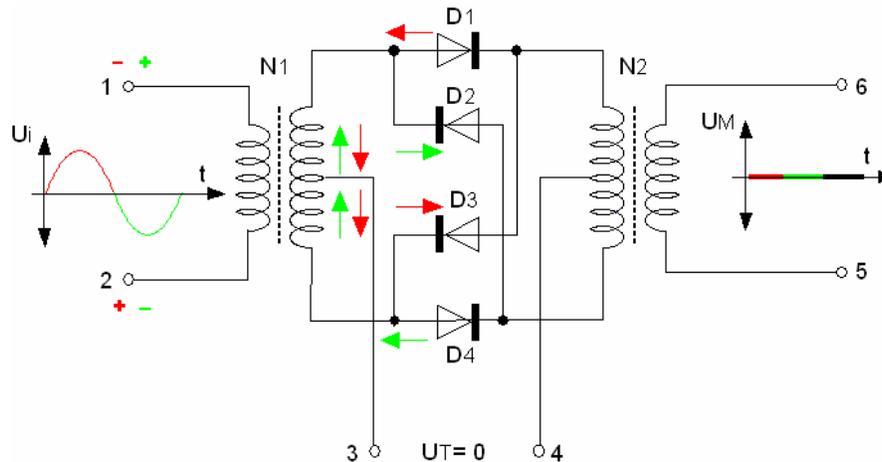
Gambar 6.54 Prinsip Ring Modulator Saat $U_i = 0$

Kondisi untuk warna “biru”, bila terminal 3 mendapat polaritas tegangan lebih positif terhadap terminal 4. Pada keadaan ini dioda D_1 dan D_4

menghantarkan arus (konduksi), sedangkan dioda D_2 dan D_3 dalam kondisi tidak menghantarkan arus (menyumbat). Pada situasi seperti ini dihasilkan arah arus pada gulungan kumparan transformator sekunder N_1 dan arah arus pada gulungan primer transformator N_2 saling berlawanan arah, sehingga menyebabkan pada terminal keluaran 5 dan 6 tidak ada tegangan induksi pada sisi gulungan sekunder transformator N_2 .

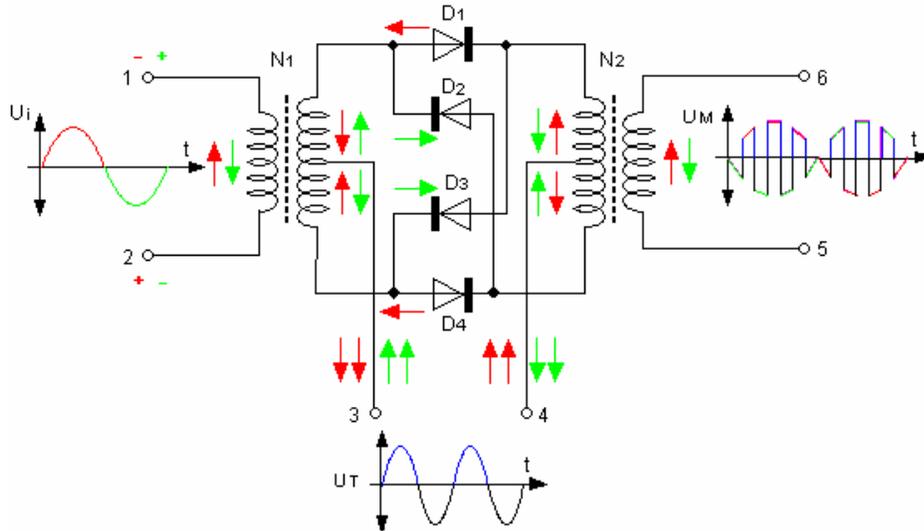
Pada saat kondisi warna "hitam", bila terminal 3 mendapat tegangan lebih negative terhadap terminal 4. Pada keadaan ini dioda D_1 dan D_4 tidak menghantarkan arus (menyumbat), sedangkan dioda D_2 dan D_3 dalam kondisi menghantarkan arus (konduksi). Pada situasi seperti ini dihasilkan arah arus pada gulungan kumparan transformator sekunder N_1 dan arah arus pada gulungan primer transformator N_2 berkebalikan arah seperti kejadian untuk kondisi warna "biru", sehingga situasi seperti ini juga menyebabkan pada keluaran gulungan sekunder transformator N_2 terminal 5 dan 6 tidak menghasilkan tegangan induksi. Dari kedua kejadian dapat disimpulkan, bahwa rangkaian ring modulator dapat difungsikan untuk menghilangkan atau menekan tegangan trigger atau menekan frekuensi pembawa pada penerima.

Gambar 6.55, berikut memperlihatkan kondisi yang berbeda, dimana terminal masukan 1 dan 2 diletakan tegangan informasi U_i lebih besar daripada 0V, sebaliknya untuk terminal 3 dan 4 diletakan tegangan trigger sama dengan 0V. Untuk kondisi ini, dimana tegangan trigger $U_T = 0$ aliran arus yang menuju sisi sekunder transformator N_1 baik untuk warna "merah" maupun "hijau" dihasilkan polaritas aliran arus hubung singkat. Dengan menganggap semua dioda mempunyai resistansi dinamis arah maju sama besar, dengan demikian akibat dari tegangan trigger arus yang mengalir pada masing-masing dioda juga sama besar.



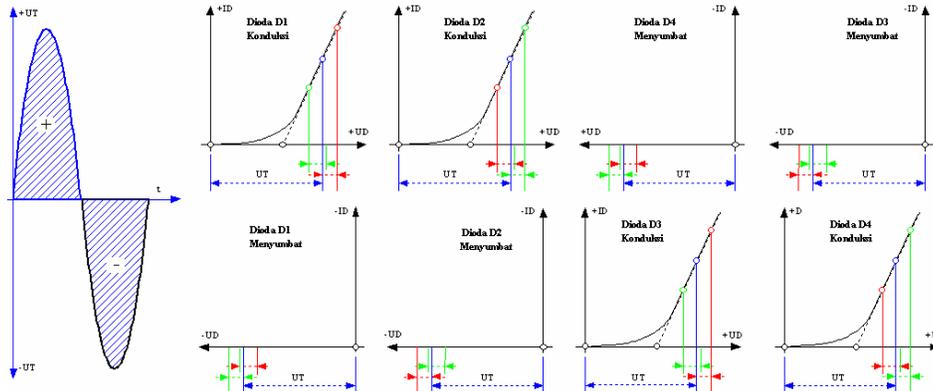
Gambar 6.55. Prinsip Ring Modulator Saat $U_T = 0$

Secara prinsip dengan mengkondisikan tegangan trigger $U_T = 0$ atau tegangan informasi $U_i = 0$, keduanya dihasilkan tegangan modulasi $U_M = 0$.



Gambar 6.56. Prinsip Dasar Rangkaian Modulator Cincin

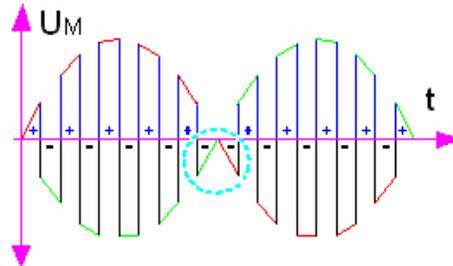
Dengan menghubungkan terminal 1 dan 2 tegangan informasi U_i dan terminal 3 dan 4 tegangan trigger U_T secara bersamaan. Untuk menghidupkan dioda D_1 , D_2 , D_3 dan D_4 pada titik kerja yang baik, untuk itu tetapkan sedemikian rupa sehingga tegangan trigger U_T cukup besar untuk mengendalikan tegangan konduksi dioda-dioda tersebut. Untuk mdulasi pada umumnya tegangan trigger U_T dibuat lebih besar daripada tegangan informasi U_i .



Gambar 6.57 Hubungan Titik Kerja Dioda Terhadap Tegangan Trigger U_T .

Pada saat kondisi tegangan trigger U_T positif area warna “biru” titik kerja dioda D_1 , D_2 berada pada daerah “maju-konduksi” sebaliknya diode D_3 , D_4 mendapat bias “mundur-menyumbat”, sehingga menyebabkan aliran

arus dengan tanda warna “merah”. Pada saat kondisi tegangan trigger U_T negatif area warna “hitam” titik kerja dioda D3, D4 berada pada daerah “maju-konduksi” sebaliknya diode D1, D2 mendapat bias “mundur-menyumbat”, sehingga menyebabkan aliran arus dengan tanda warna “hijau”. Dari dua kejadian tersebut dihasilkan tegangan modulasi U_M seperti yang diperlihatkan Gambar 6.58 berikut,

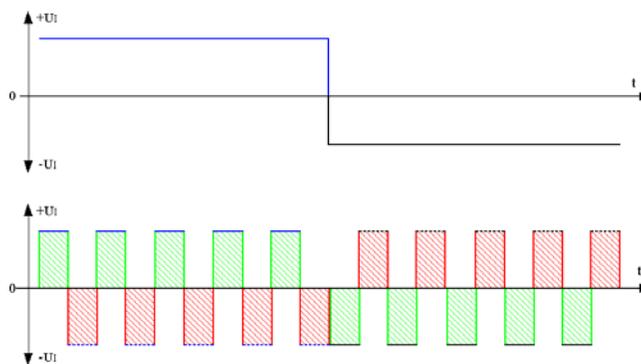


Gambar 6.58 Tegangan hasil modulasi

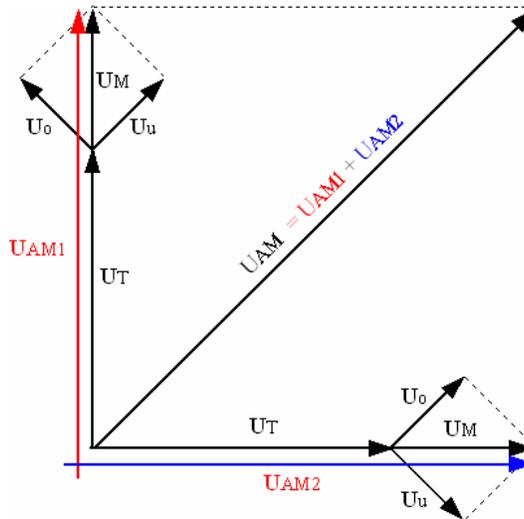
Tegangan modulasi U_M merupakan hasil perkalian dari tegangan informasi U_i dengan tegangan trigger U_T , kelemahan dari hasil perkalian tersebut adalah pergantian fasa dari positif ke negatif atau sebaliknya, sehingga dihasilkan tegangan keluaran U_M antara terminal 5 dan 6. Tabel 6.6 berikut memperlihatkan tegangan modulasi U_M yang merupakan hasil perkalian dari tegangan informasi U_i dan tegangan trigger U_T , dimana pada tabel tersebut diilustrasikan tiga kali kejadian fasa sama.

Tabel 6.6 Perkalian tegangan informasi dengan tegangan trigger

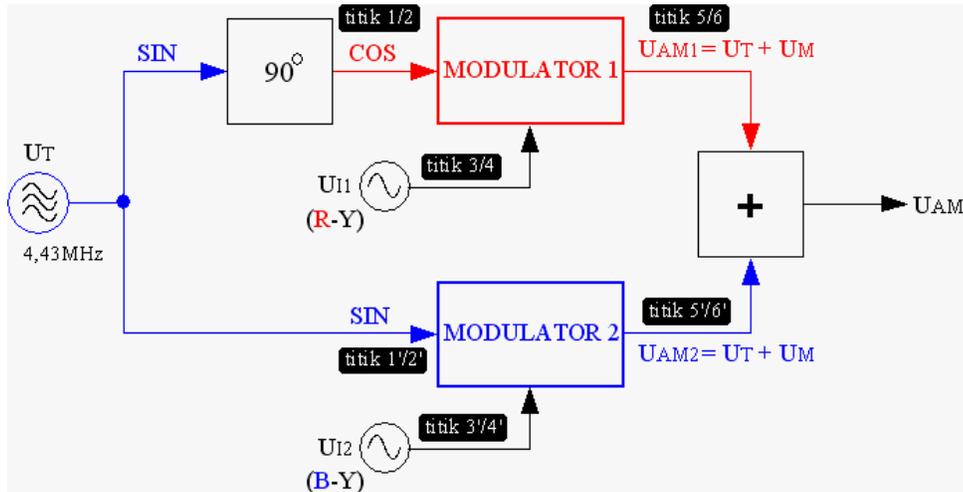
U_i	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-
U_T	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
U_M	+	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+
					Negatif				Positif				Negatif			



Gambar 6.59 Perkalian tegangan informasi dengan tegangan trigger



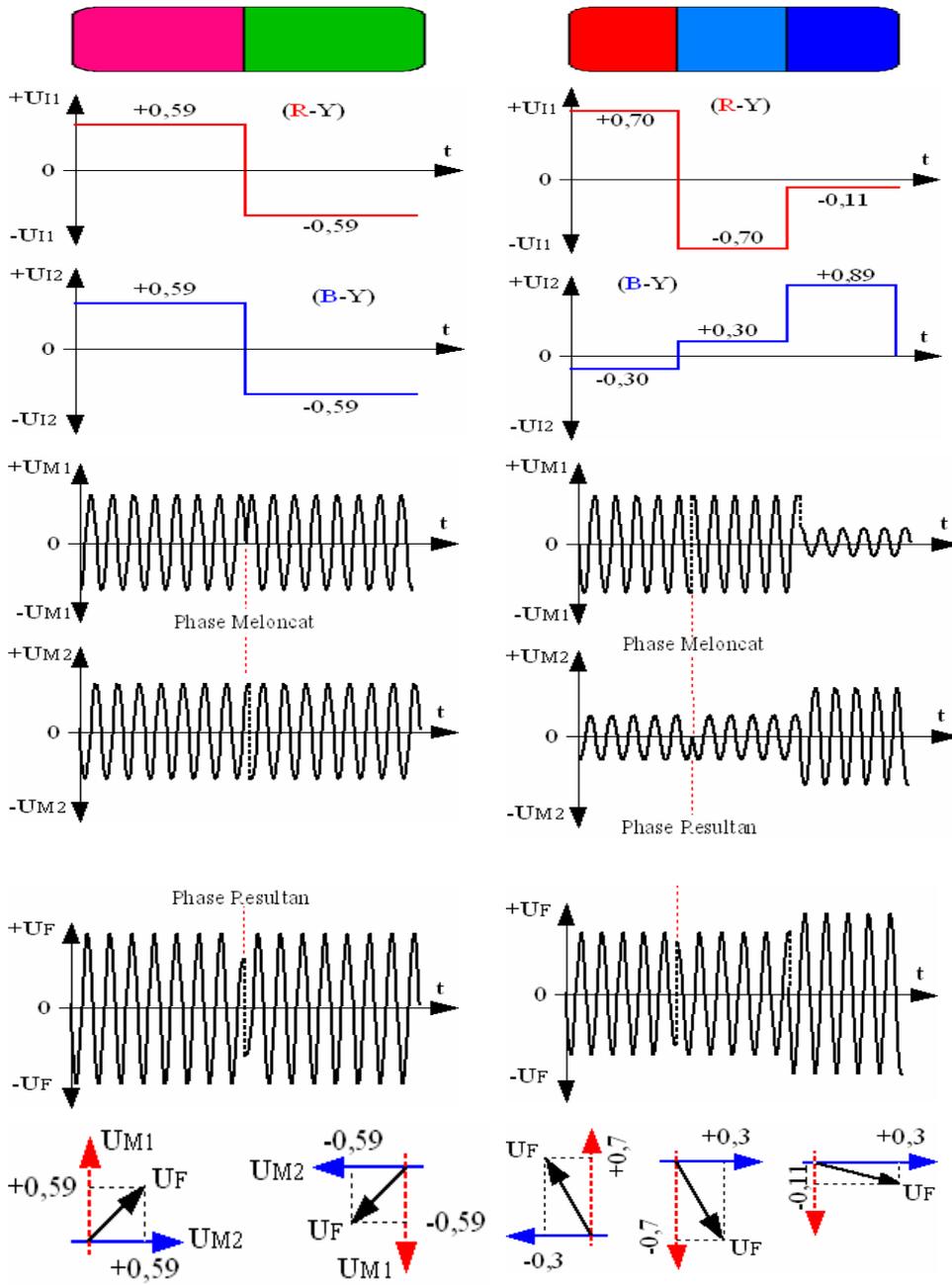
Gambar 6.60 Bentuk Vektor Modulasi AM



Gambar 6.61. Skema Blok Modulator

6.3.29. Contoh Modulasi Sinyal warna

Gambar 6.62 berikut sebuah contoh modulasi sinyal warna, pada gambar kiri jika layar televisi menampilkan gambar dua warna (gambar paling atas). Sedang gambar kanan bila layar televisi menampilkan gambar tiga warna (gambar paling atas).



Gambar 6.62 Proses Modulasi Sinyal Warna