

# TEKNIK PAL CODER

MILIK UPT PERPUSTAKAAN  
IKIP PADANG

|                                    |
|------------------------------------|
| MILIK UPT PERPUSTAKAAN IKIP PADANG |
| TANGGAL 13 April 1993              |
| S H R A H                          |
| K E J                              |
| NO. 208/110/93 - 10/12             |
| PAI 601.388 Jay to                 |

Oleh

**Drs. Putra Jaya**

PERPUSTAKAAN IKIP PADANG  
FAKULTAS BAHASA DAN ILMU  
TAK DIPINJAMKAN  
KHUSUSNYA DALAM PERPUSTAKAAN

**FAKULTAS PENDIDIKAN TEKNOLOGI DAN KEJURUAN**

**IKIP PADANG**

**1991**

## KATA PENGANTAR

Buku dengan judul Teknik PAL Coder sengaja penulis susun dengan harapan agar dapat menambah literatur buku teknik dibidang elektronika komunikasi. Isi buku ini membahas tentang prinsip dasar proses pemodulasian sinyal video dengan menggunakan teknik Phase Alternation Line (PAL).

Dalam pembahasannya, dikemukakan uraian mengenai blok diagram coder dengan sistem PAL, identifikasi sistem PAL, komponen sinyal video, level dan perioda serta bentuk sinyal komposit video warna sebagai hasil dari proses pemodulasian Teknik PAL Coder. Pada bagian yang lain, dikemukakan uraian mengenai rangkaian matriks, perhitungan frekuensi sinyal sub pembawa warna dan sistem penyisipan spektrum. Sedangkan pada bagian akhir dibahas mengenai masalah sistem modulasi yang meliputi penempatan sinyal burs warna, modulasi quadrature amplitudo, croma adder, pulsa PAL, cara menghindari kesalahan warna dan rangkaian penjumlah sinyal komposit video warna.

Dalam menguraikan uraian pembahasan isi dari buku ini, penulis telah banyak mendapat bantuan berupa sumbangan pikiran dari berbagai pihak. Sehingga buku yang sederhana ini dapat penulis susun. Oleh sebab itu telah sepantasnya penulis mengucapkan ucapan terima kasih, terutama kepada teman seprofesi di Jurusan Pendidikan Teknik Elektronika Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan IKIP Padang.

Penulis juga menyadari, bahwa buku ini masih terdapat kekurangan-kekurangan yang disebabkan oleh faktor keterba-

tasan ilmu pengetahuan dan faktor kekhilafan yang tidak diduga. Atas kritikan dan saran para pembaca yang bersifat membangun demi untuk mencapai kesempurnaan buku ini, sangat penulis harapkan.

Akhirnya semoga buku yang sederhana ini, memberi manfaat bagi para pembaca yang membutuhkannya.

Padang, Oktober 1991

Penulis

## DAFTAR ISI

| BAB  | Halaman |
|--|---------|
| KATA PENGANTAR .....                         | i       |
| DAFTAR ISI .....                             | iii     |
| I. PENDAHULUAN .....                         | 1       |
| A. Identifikasi Sistem PAL .....             | 4       |
| B. Komponen Sinyal Video .....               | 5       |
| C. Level dan Periode Sinyal Video .....      | 8       |
| D. Sinyal Komposit Video Warna .....         | 9       |
| II. RANGKAIAN MATRIKS .....                  | 11      |
| A. Koreksi Gamma .....                       | 11      |
| B. Matriks Sinyal Luminan .....              | 15      |
| C. Matriks Sinyal Perbedaan Warna .....      | 20      |
| III. SINYAL SUB PEMBAWA WARNA .....          | 23      |
| A. Dasar Penetapan Frekuensi .....           | 23      |
| B. Half Line Offsett .....                   | 24      |
| C. Quarter Line Offsett .....                | 32      |
| IV. MODULASI SINYAL VIDEO .....              | 40      |
| A. Burs Warna .....                          | 40      |
| B. Quadrature Amplitudo .....                | 43      |
| C. Croma Adder .....                         | 46      |
| D. Pulsa PAL .....                           | 56      |
| E. PAL Switcher Colour Sub Carrier .....     | 56      |
| F. Sinyal Sinkronisasi dan Blanking .....    | 59      |
| G. Rangkaian Penjumlah Sinyal Komposit ..... | 63      |

## I. PENDAHULUAN

Pada prinsipnya, untuk memancarkan ketiga sinyal video warna yang berasal dari out put tabung kamera televisi diperlukan tiga jalur saluran pemancar secara terpisah. Pembentukan jalur saluran ini bertujuan untuk mendapatkan kualitas gambar dengan warna yang asli pada penerima televisi warna. Sistem pemancar yang demikian dipandang kurang memberi keuntungan karena :

- membutuhkan lebar band yang lebar,
- membutuhkan komponen yang banyak untuk membentuk rangkaian,
- bentuk rangkaian akan menjadi rumit,
- kurang praktis dan
- tidak ekonomis.

Penemuan sistem coder pada peralatan baru dari pemancar televisi sistem NTSC dan PAL, sistem pemancar yang dijelaskan di atas telah semakin jarang dipergunakan. Pada sistem coder, ketiga sinyal video warna yang dihasilkan dari tabung kamera televisi dapat digabungkan guna membentuk sinyal luminan dan sinyal krominan tanpa terjadi percampuran warna dari ketiga sinyal video warna primer.

Sinyal luminan yang berfungsi sebagai sinyal sub pembawa warna akan digabungkan bersama sinyal krominan dengan menghasilkan bentuk sinyal komposit video warna. Pemancar televisi akan memancarkan sinyal komposit dengan menggunakan satu sa-

luran. Pada penerima televisi warna, akan menerima sinyal gambar yang dipancarkan dalam bentuk sinyal komposit video warna untuk direproduksi kembali menjadi bentuk gambar yang sama.

Secara diagram blok, coder dengan sistem PAL dibentuk dari beberapa sub blok, yaitu :

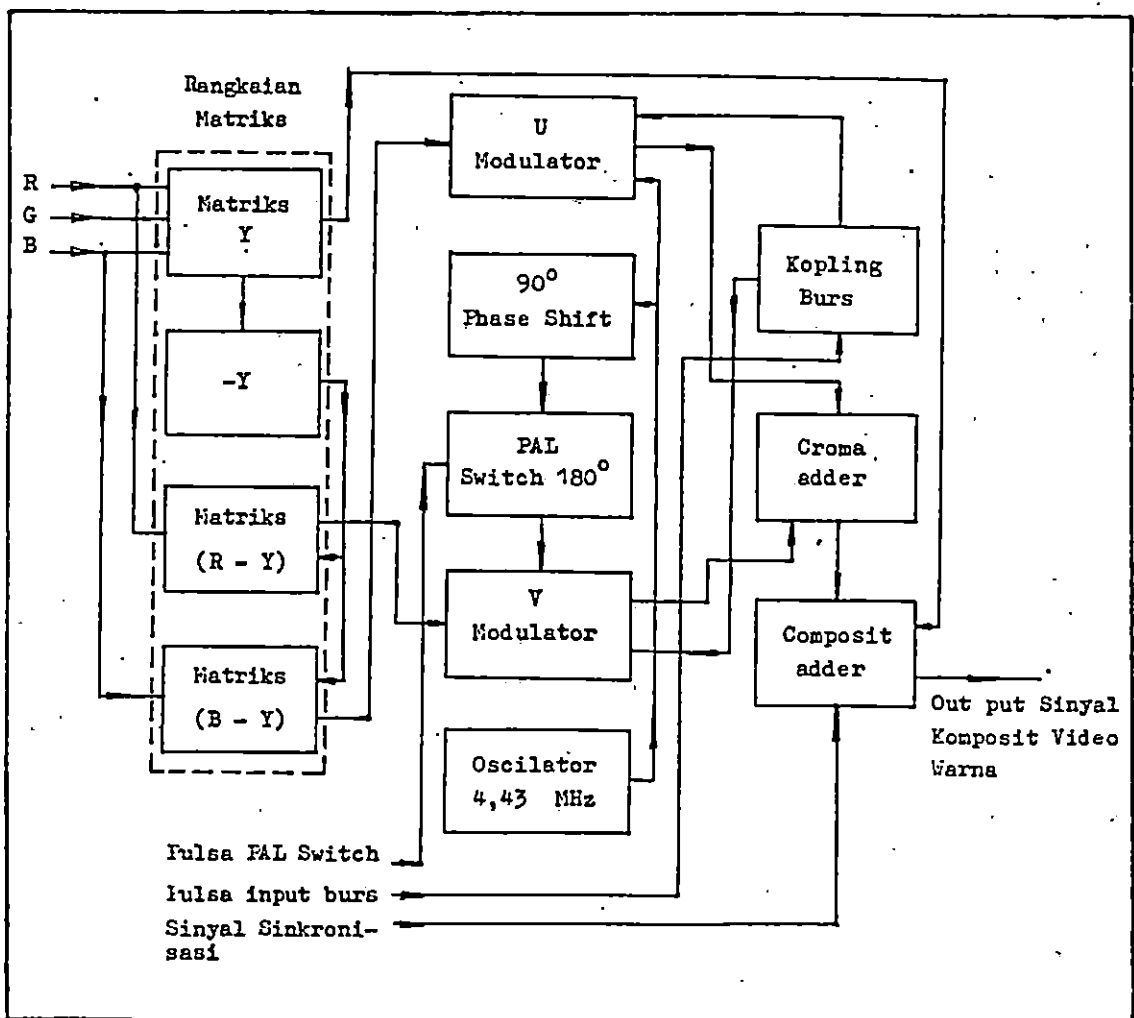
- sub blok rangkaian matriks,
- sub blok rangkaian pulsa switching PAL,
- sub blok rangkaian burs warna,
- sub blok rangkaian osilator 4,43 MHz,
- sub blok rangkaian croma adder.

Hubungan antara satu sub blok dengan sub blok yang lain diperlihatkan pada gambar 1 halaman 3. Sedangkan fungsi setiap sub blok rangkaian adalah sebagai berikut :

- sub blok rangkaian matriks berfungsi untuk membentuk sinyal luminan dan sinyal perbedaan warna,
- sub blok rangkaian modulator berfungsi untuk memodulasikan sinyal perbedaan warna, sehingga menghasilkan sinyal perbedaan warna yang termodulasi,
- sub blok rangkaian pulsa switching PAL berfungsi untuk membalikkan fasa dari sinyal perbedaan warna pada setiap terjadinya pergantian garis horizontal,
- sub blok rangkaian burs warna berfungsi sebagai pengisi pesan warna pada jalur samping dari sinyal sub pem-

bawa warna,

- sub blok rangkaian croma adder berfungsi untuk membentuk sinyal perbedaan warna termodulasi agar menjadi sinyal krominan,
- sub blok rangkaian composit adder berfungsi untuk menyatukan sinyal krominan dan luminan, kemudian ditambahkan dengan sinyal sinkronisasi supaya membentuk sinyal komposit video warna.



Gambar 1. Blok Rangkaian Coder dengan sistem PAL

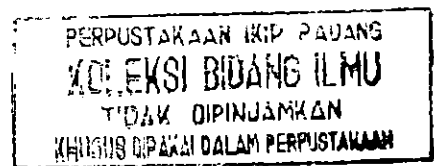
## A. Identifikasi Sistem PAL

Dalam proses pembentukan sinyal komposit video warna metoda coder pada sistem PAL, terdapat beberapa ciri-ciri yang menunjukkan identitas dari sistem PAL (Sims, 1975) dengan spesifikasi sebagai berikut :

- jumlah garis horizontal untuk satu rangka gambar penuh terdiri dari 625 garis,
- frekuensi horizontal = 15625 Hz,
- frekuensi vertikal = 50 Hz,
- lebar seluruh bandwidth adalah 7 Mhz,
- frekuensi sub pembawa sinyal krominan adalah sebesar 4,43 MHz,
- frekuensi gelombang pembawa gambar 1,25 MHz lebih tinggi dari batas terendah frekuensi kanal,
- frekuensi gelombang pembawa suara 5,5 MHz lebih besar dari frekuensi pembawa gambar,
- besarnya sinyal perbedaan warna terdiri dari:  
 $E_V = 0,877(E_R - E_Y)$  dan  $E_U = 0,493(E_B - E_Y)$ ,
- Besarnya sinyal krominan dinyatakan dengan persamaan  $E_{Kr} = E_U \sin wt + E_V \cos wt$ ,
- Besarnya amplitudo sinyal krominan dinyatakan dalam bentuk persamaan :

$$M = \sqrt{E_U^2 + E_V^2}$$

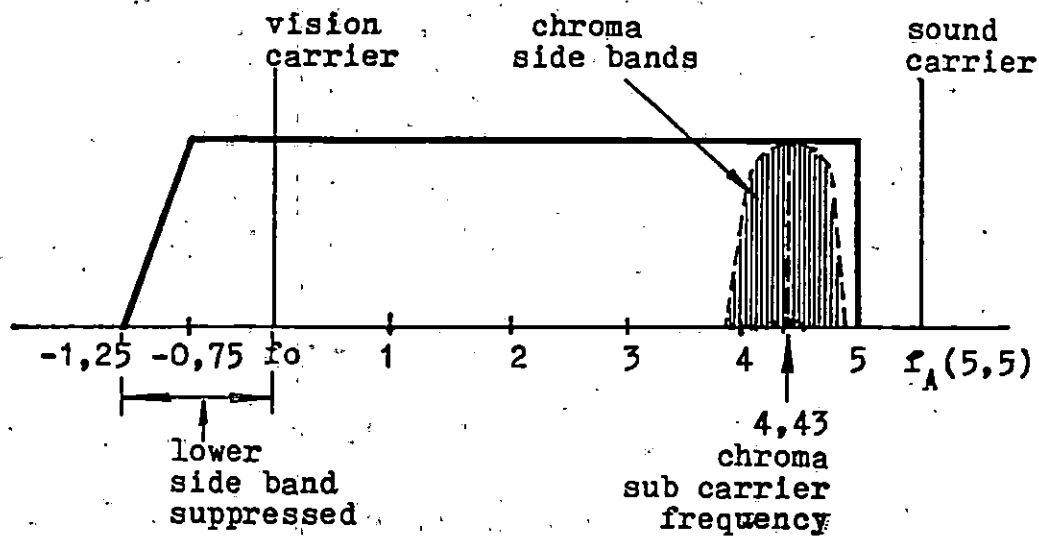
- total sinyal komposit video warna dinyatakan dengan persamaan :





$$E_K = E_Y + E_U \sin wt + E_V \cos wt,$$

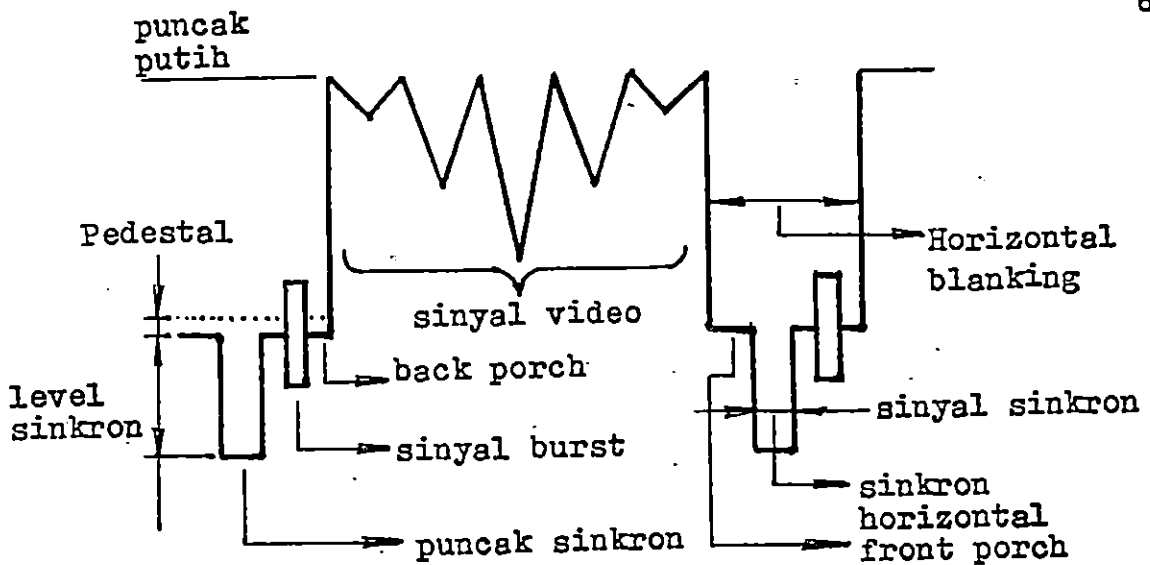
- bentuk lebar band dari kanal sinyal yang dihasilkan diperlihatkan pada gambar 2.



Gambar 2. Bentuk Lebar Band dari Kanal sinyal yang dihasilkan.

### B. Komponen Sinyal Video

Satu periode sinyal video disusun dari beberapa komponen. Setiap komponen berfungsi sebagai pemberi informasi dalam bentuk kode yang sangat diperlukan oleh penerima televisi. Gambar 3 diperlihatkan satu periode sinyal video pada saat terjadinya scanning horizontal.



Gambar 3. Satu Periode Sinyal Video Pada saat terjadinya Scanning Horizontal.

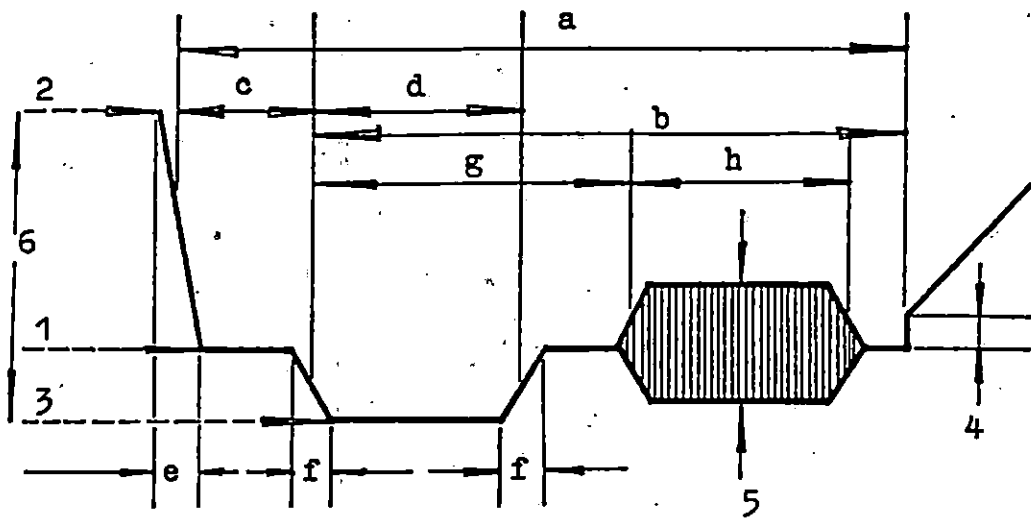
Setiap kode informasi mempunyai arti yang dapat didefinisikan sebagai berikut :

1. signal video adalah suatu isyarat yang terjadi karena proses scanning raster.
2. Puncak putih (peak white) adalah level video maksimum yang terjadi dari proses scanning gambar putih.
3. Pedestal adalah suatu daerah level yang membatasi atau memisahkan antara daerah level sinyal video terhadap sinyal sinkron.
4. Signal sinkron adalah suatu isyarat yang berfungsi untuk mengemudi kembali tiap permulaan penelusuran garis horizontal dan vertikal.
5. Level sinkron adalah suatu besaran tegangan dari sinyal sinkron.

6. Puncak sinkron (sinc TIP) adalah batas ujung terendah dari sinyal sinkron.
7. Front Porch adalah suatu daerah sela (kosong) dari sinyal video yang berfungsi sebagai tenggang waktu (masa persiapan) datangnya retrace horizontal yang akan dikemudikan oleh sinyal sinkronisasi horizontal.
8. Back Porch adalah suatu daerah sela (kosong) sinyal video yang berfungsi untuk masa persiapan (tenggang waktu) selesainya retrace horizontal.
9. Horizontal Blanking adalah suatu daerah sela sinyal video pada setiap satu scanning horizontal yang berfungsi untuk front porch, sinyal sinkronisasi horizontal dan back porch. Definisi yang sama juga berlaku untuk vertikal blanking.
10. Sinkron Horizontal adalah suatu isyarat yang berguna untuk mengemudi tiap-tiap retrace horizontal dari raster. Pengertian yang sama juga berlaku untuk sinkron vertikal.
11. Sinyal Burs adalah suatu pulsa yang terletak di daerah back porch yang berfungsi sebagai pembangkit sinyal sub pembawa warna dengan fasa dan frekuensi yang sama pada penerima televisi warna.

### C. Level dan Periode Sinyal Video

Besarnya level dan periode sinyal video dalam sistem PAL dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Level dan Periode Sinyal Video Sistem PAL.

Peterangan gambar :

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Signal Level          | 1 unit = 0,00699 V,                            |
| 1. Blanking reference | 0 unit = 0 V,                                  |
| 2. Peak White         | 100 unit = 0,7 V,                              |
| 3. Synchronising      | -43 unit = 0,3 V,                              |
| 4. Pedestal           | 0 unit,  |
| 5. Peak to peak burs  | $43,4 \text{ unit} = 0,3 \pm 0,03 \text{ V}$ , |
| 6. Peak to peak video | 143 unit = 1 Vp-p.                             |

Signal timing dalam satuan micro secon :

|                                      |             |
|--------------------------------------|-------------|
| a. Line Blanking Interval            | 12 ± 0,3    |
| b. OH to end of blanking             | 10,5        |
| c. Front Porch                       | 1,5 ± 0,3   |
| d. Sinc pulse                        | 4,7 ± 0,2   |
| e. Rise/fall time of blanking        | 0,3 ± 0,1   |
| f. Rise/fall time of line sync       | 0,2 ± 0,1   |
| g. Start of burst (minimum breezway) | 5,6 ± 0,1   |
| h. Duration of burst                 | 2,25 ± 0,25 |

#### D. Sinyal Komposit Video Warna

Pemancar televisi dengan sistem PAL mempunyai sifat kompatibilitas. Pada sifat ini, sinyal komposit video warna yang dipancarkan melalui pemancar televisi dengan menggunakan satu saluran, dapat diterima pada penerima televisi hitam putih.

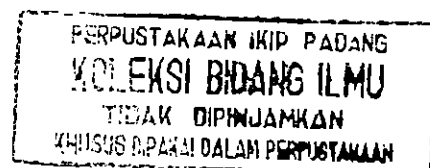
Untuk dapat memenuhi sifat kompatibilitas dari ketiga sinyal video warna primer R,G,B yang dibangkitkan oleh tabung kamera televisi warna, ketiga sinyal video warna primer akan mengalami suatu proses dengan menggunakan sistem PAL supaya diperoleh sinyal komposit video warna.

Dalam sinyal komposit video warna, terdapat beberapa sinyal. Sinyal-sinyal tersebut terdiri dari :

- sinyal luminan,
- sinyal perbedaan warna,

- sinyal sub pembawa,
- sinyal krominan,
- sinyal burs warna,
- sinyal pulsa PAL dan
- sinyal sinkronisasi.

Fungsi dan kegunaan dari setiap sinyal dalam proses pembentukan sinyal video komposit metoda coder dengan sistem PAL akan dijelaskan pada uraian-uraian berikut.



## II. RANGKAIAN MATRIKS

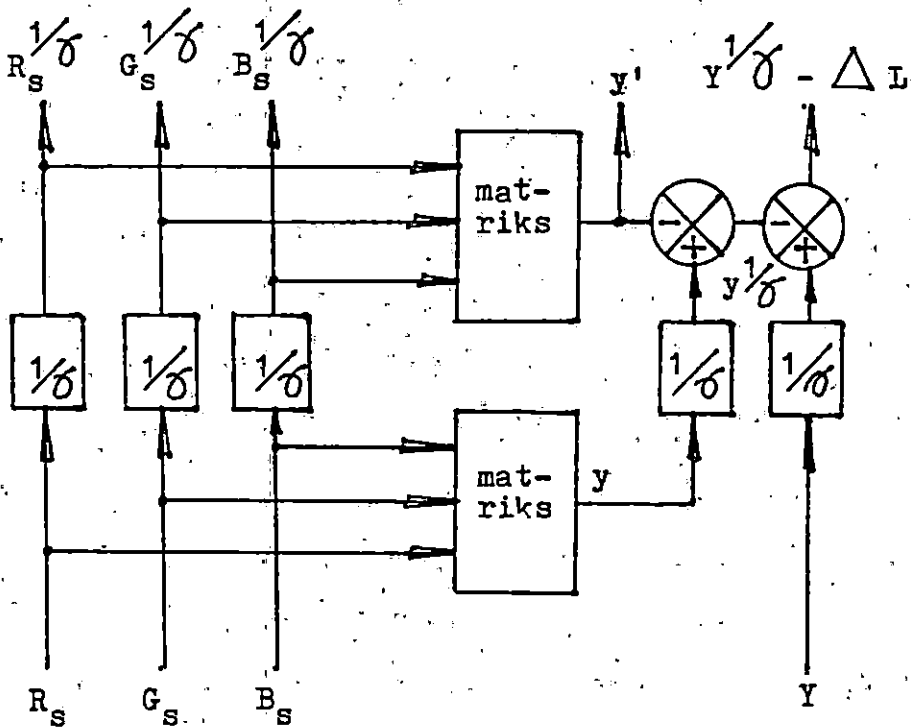
Rangkaian matriks pada PAL Coder berfungsi untuk menghasilkan sinyal luminan dan sinyal perbedaan warna. Sebagai input rangkaian adalah sinyal video warna primer R,G,B yang telah mengalami proses koreksi warna dengan sistem gamma.

### A. Koreksi Gamma

Sinyal video yang telah mendapat penguatan dan perbaikan serta pengontrolan pada tingkat-tingkat sebelumnya, diharapkan dapat menghasilkan warna pemandangan gambar yang sama, baik pada penerima televisi dengan sistem hitam putih maupun pada televisi warna. Maka untuk itu diperlukan suatu bentuk sinyal luminan yang linear. Tetapi dalam prakteknya tujuan ini belum tercapai karena disebabkan ketidaklinearan dari sinyal video yang diproduksi oleh tabung kamera televisi maupun disebabkan ketidaklinearan dari sinyal video yang dihasilkan oleh reproduksi tabung gambar (King, 1978: 75). Disamping itu, juga disebabkan oleh kesalahan-kesalahan yang terjadi pada setiap tingkat amplififier baik pada penerima televisi maupun pada sistem pemancar. Dari beberapa hal yang ditemui, menyebabkan terjadinya kesalahan warna.

Untuk mengatasi dan menghindari terjadinya kesalahan warna yang disebabkan oleh ketidaklinearan dari sinyal video sebagai dasar untuk membentuk sinyal luminan yang li-

near, diperlukan suatu bentuk-proses koreksi warna terhadap sinyal video yang diproduksi maupun terhadap sinyal video yang direproduksi. Proses ini disebut dengan "Gamma Koreksi". Pada sistem PAL Coder, proses gamma koreksi dilakukan pada saat sinyal video sebelum diproses pada blok rangkaian matriks. Gambar 5 diperlihatkan suatu bentuk proses koreksi gamma dengan menggunakan sistem koreksi  $\Delta L$  (Wiono 1981: VI-12).



Gambar 5. Proses Koreksi Warna dengan Sistem Koreksi  $\Delta L$ .



Proses koreksi warna dengan sistem koreksi  $\Delta L$  yang terdapat pada gambar 34, dikenal dengan sistem koreksi warna "Livingstone". Kesalahan warna yang disebabkan oleh ketidaklinearan dari sinyal video warna primer R,G,B yang diproduksi pada tabung kamera televisi, akan diadakan koreksi warna dengan memanfaatkan bidang frekuensi yang sempit. Koreksi warna dari ketiga warna primer tersebut akan diproses dalam sub blok rangkaian  $1/\sigma$  secara terpisah. Sedangkan kesalahan warna yang disebabkan oleh ketidaklinearan sinyal luminan, akan diadakan koreksi warna dengan memanfaatkan lebar bidang frekuensi yang lebar. Sinyal ini akan diproses dalam sub blok rangkaian  $1/\sigma$  pada sub blok rangkaian yang lain.

Salah satu tujuan dari pemanfaatan bidang frekuensi yang berbeda dari sinyal video warna primer R,G,B dan sinyal luminan adalah untuk mendapatkan hasil dari proses koreksi warna yang terhindar dari kesalahan warna. Sehingga pada out put rangkaian koreksi warna diperoleh hasil sinyal video warna primer R,G,B dan sinyal luminan yang dapat menghasilkan pemandangan warna gambar yang sama antara pemancar dan penerima televisi.

Secara matematis, besarnya koreksi warna yang telah dilakukan terhadap sinyal-sinyal hasil produksi tabung kamera televisi adalah :

$$Y' = Y^{1/\sigma} \quad ; \quad R' = R^{1/\sigma} \quad ; \quad G' = G^{1/\sigma} \quad \text{dan} \quad B' = B^{1/\sigma}$$

Bentuk sinyal video yang telah mengalami koreksi warna dalam sub blok rangkaian  $1/\sigma$  diberi simbol dengan ( $'$ ).

Sinyal video warna primer R,G,B yang telah mengalami proses koreksi warna, akan dimasukkan ke dalam sub blok rangkaian matriks untuk membentuk sinyal luminan yang terhindar dari kesalahan warna. Besarnya hasil koreksi warna terhadap sinyal video warna primer yang telah membentuk sinyal luminan ( $y = 0,3R_s + 0,59G_s + 0,11B_s$ ), dalam rangkaian matriks dengan bidang frekuensi yang sempit, ditulis secara persamaan :

$$y' = 0,3R_s^{1/\sigma} + 0,59G_s^{1/\sigma} + 0,11B_s^{1/\sigma}$$

Besarnya hasil koreksi warna yang telah dilakukan terhadap sinyal luminan yang ideal ( $Y = 0,3R + 0,59G + 0,11B$ ) dengan bidang frekuensi yang lebar, ditulis dengan persamaan :

$$Y' = (0,3R + 0,59G + 0,11B)^{1/\sigma}$$

Secara keseluruhan, besarnya sinyal-sinyal video yang telah mengalami proses koreksi warna untuk ditransmisikan dalam sistem pemancar kompatibilitas, berubah bentuk menjadi :

$$Y^{1/\sigma} ; (R_s^{1/\sigma} - y') ; (B_s^{1/\sigma} - y')$$

Pada sistem penerima televisi, sinyal di atas akan di reproduksi kembali dengan mengalami suatu bentuk proses koreksi warna sebesar :

$$\begin{aligned} (R_s^{1/\sigma} - y') + Y^{1/\sigma} &= R_s^{1/\sigma} + (Y^{1/\sigma} - y') \\ &= R_s^{1/\sigma} + (y^{1/\sigma} - y') + (Y^{1/\sigma})_T \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (B_s^{1/\sigma} - y') + Y^{1/\sigma} &= B_s^{1/\sigma} + (Y^{1/\sigma} - y') \\
 &= B_s^{1/\sigma} + (y^{1/\sigma} - y') + (Y^{1/\sigma})_T
 \end{aligned}$$

Dari hal yang telah dikemukakan, jelas kelihatan bahwa pada penerima televisi terjadi kesalahan warna untuk sinyal perbedaan warna yang terdapat dalam sinyal luminan sebesar  $(Y^{1/\sigma} - y')$ . Harga kesalahan ini disebut dengan  $\Delta L$ .

Metoda untuk menghindari kesalahan yang terjadi, setiap sinyal luminan yang akan dipancarkan harus mendapat koreksi warna sebesar  $\Delta L$ . Dengan demikian, besarnya sinyal luminan yang akan dipancarkan berubah bentuk menjadi :

$$Y^{1/\sigma} - \Delta L$$

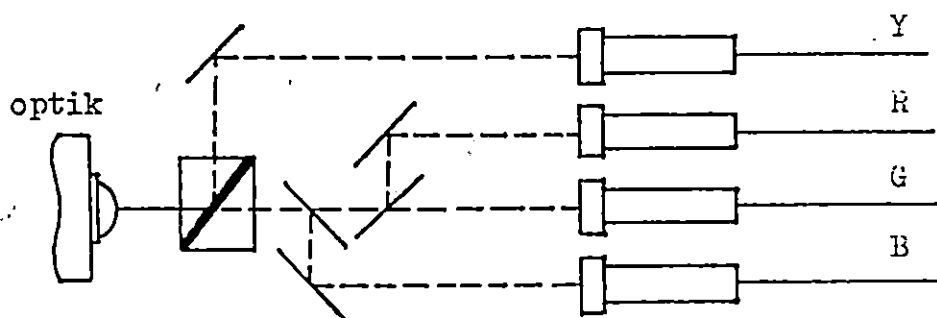
seperti telah diperlihatkan pada gambar 5.

## B. Matriks Sinyal Luminan

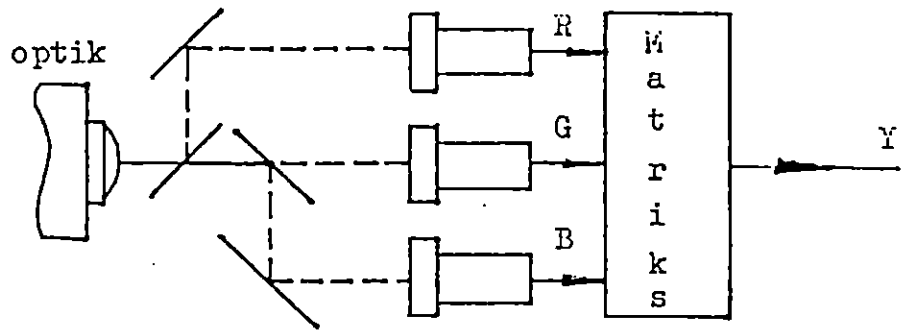
Pada penerima televisi hitam putih, sinyal luminan pada sinyal komposit video warna, berfungsi sebagai informasi sinyal video. Tetapi lain halnya pada penerima televisi warna, sinyal luminan yang terdapat di dalam sinyal komposit video warna, berfungsi sebagai sinyal untuk mengatur kecerahan dari suatu warna tertentu supaya dapat memenuhi kepekaan mata manusia terhadap warna.

Sistem proses pembangkitan sinyal luminan pada kamera televisi warna, dapat dilakukan dengan menggunakan dua sistem (Wahid, 1978: 30). Kedua sistem tersebut terdiri dari:

- sistem pembangkitan sinyal luminan dengan menggunakan tabung kamera khusus yang terdapat di dalam tabung kamera televisi warna. Sedangkan untuk membangkitkan sinyal video warna primer R,G,B diperlukan tabung kamera yang lain. Sehingga dalam satu kamera televisi warna, terdapat empat buah tabung kamera televisi. Sistem ini diperlihatkan pada gambar 6,
- sistem pembangkitan sinyal luminan dengan menggunakan rangkaian matriks, seperti diperlihatkan pada gambar 7.



Gambar 6. Sistem Pembangkitan Sinyal Luminan dengan menggunakan Tabung Kamera Khusus.



Gambar 7. Sistem Pembangkitan Sinyal Luminan dengan menggunakan Rangkaian Matriks.

Sinyal luminan yang dibangkitkan dengan menggunakan tabung kamera khusus akan menghasilkan sinyal luminan yang mempunyai kualitas yang lebih baik, jika dibandingkan dengan sinyal luminan yang dihasilkan dari sistem yang menggunakan rangkaian matriks. Tetapi dengan sistem ini, dipandang kurang ekonomis karena dalam satu kamera televisi warna akan membutuhkan empat buah tabung kamera. Sehingga akan membuat ukuran kamera menjadi lebih besar. Disamping akan membutuhkan pemakaian sirkuit yang lebih banyak dengan rangkaian yang lebih rumit. Oleh sebab itu, sistem pembangkitan sinyal luminan dengan menggunakan tabung kamera khusus dalam sebuah kamera televisi warna telah semakin jarang dipergunakan.

MILIK UPT PERPUSTAKAAN  
 PERPUSTAKAAN IKIP PADANG  
 KOLEKSI BIDANG ILMU  
 TIDAK DIPINJAMKAN  
 KHUSUS DIPAKAI DALAM PERPUSTAKAAN  
 PADANG

Sistem pembangkitan sinyal luminan yang diperlihatkan pada gambar 7, merupakan pengembangan dari sistem pembangkitan sinyal luminan yang diperlihatkan pada gambar 6.

Sinyal luminan yang diperoleh dari hasil proses rangkaian matriks adalah penggabungan dari ketiga sinyal video warna primer dengan menggunakan perbandingan untuk masing-masing sinyal pada nilai tertentu. Standar perbandingan dari ketiga sinyal video warna primer, ditetapkan berdasarkan pada kepekaan penglihatan mata manusia terhadap kuat cahaya. Nilai standar paling tinggi terletak pada warna cahaya hijau, kemudian akan menurun pada warna cahaya merah dan paling rendah terhadap warna cahaya biru.

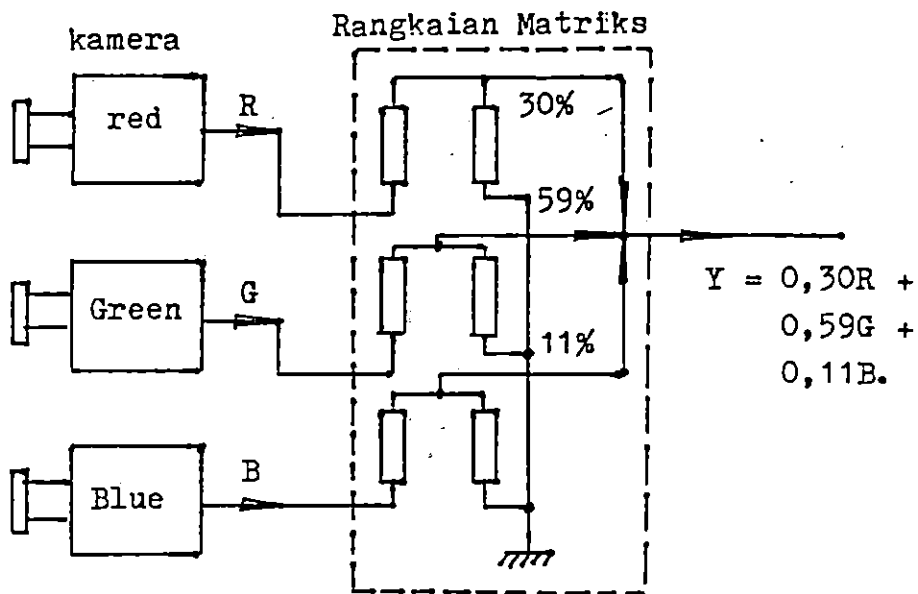
Ketentuan yang telah ditetapkan, untuk membentuk sinyal luminan dari ketiga sinyal video warna primer, diperlukan 59% sinyal video warna hijau (G), 30% sinyal video warna merah (R) dan 11% sinyal video warna biru (B). Secara matematis, persamaan sinyal luminan yang diperoleh dari rangkaian matriks ditulis dengan persamaan :

$$Y' = 30\%R' + 59\%G' + 11\%B'$$

Jika untuk mengambil objek dengan warna cahaya putih terang, ketiga out put tabung kamera R,G,B harus dapat menghasilkan tegangan yang sama besar. Misalnya pada ketiga tabung kamera menghasilkan out put sebesar 100% dengan besaran tegangan 1 Volt, dengan demikian diperoleh persamaan sinyal luminan dalam bentuk tegangan sebagai berikut :

$$Y' = 0,3 E'_R + 0,59 E'_G + 0,11 E'_B$$

Sinyal luminan yang telah diperoleh, disebut dengan persamaan sinyal luminan standar. Gambar 8 diperlihatkan rangkaian matriks untuk menghasilkan sinyal luminan (Herrick, 1973: 32).



Gambar 8. Rangkaian Matriks Untuk Menghasilkan Sinyal Luminan.

### C. Matriks Sinyal Perbedaan Warna

Sinyal perbedaan warna di dalam sinyal komposit video warna, berfungsi untuk memberikan informasi dari tingkat warna dan kroma. Karena sinyal perbedaan warna akan berubah pada setiap terjadi perubahan dari objek. Dan hal ini, akan diikuti oleh perubahan tingkat warna dan kroma.

Untuk menghasilkan sinyal perbedaan warna dari ketiga sinyal video warna primer R,G,B dilakukan dengan cara mengurangi sinyal video warna primer dengan sinyal luminan yang telah diperoleh pada proses sebelumnya. Uraian di bawah ini, menjelaskan cara untuk memperoleh sinyal perbedaan warna dari sinyal luminan :

$$Y' = 0,3 E_R' + 0,59 E_G' + 0,11 E_B'$$

$$Y' = 0,3 E_Y' + 0,59 E_Y' + 0,11 E_Y'$$

---


$$0 = 0,3(E_R' - E_Y') + 0,59(E_G' - E_Y') + 0,11(E_B' - E_Y')$$

Dengan merubah bentuk persamaan di atas, diperoleh ketiga persamaan sinyal perbedaan warna yang terdiri dari :

$$(E_R' - E_Y'), (E_G' - E_Y') \text{ dan } (E_B' - E_Y')$$

adalah sebagai berikut :

$$E_R' - E_Y' = -1,96(E_G' - E_Y') - 0,375(E_B' - E_Y')$$

$$E_G' - E_Y' = -0,51(E_R' - E_Y') - 0,190(E_B' - E_Y')$$

$$E_B' - E_Y' = -2,68(E_R' - E_Y') - 5,260(E_G' - E_Y')$$



Sinyal komposit video warna yang terdiri dari beberapa sinyal, dipancarkan melalui satu saluran dengan lebar bidang frekuensi sebesar 5 MHz. Keterbatasan lebar bidang frekuensi menyebabkan ketiga sinyal perbedaan warna, tidak dapat dipancarkan secara keseluruhan.

Untuk dapat memenuhi lebar bidang frekuensi yang telah ditentukan, hanya dapat dipancarkan dua dari tiga sinyal dengan lebar bidang frekuensi untuk masing-masing sinyal sebesar 1,3 MHz (Ennes, 1971: 364). Dan sinyal ini harus dapat memenuhi persyaratan ketentuan sebagai berikut :

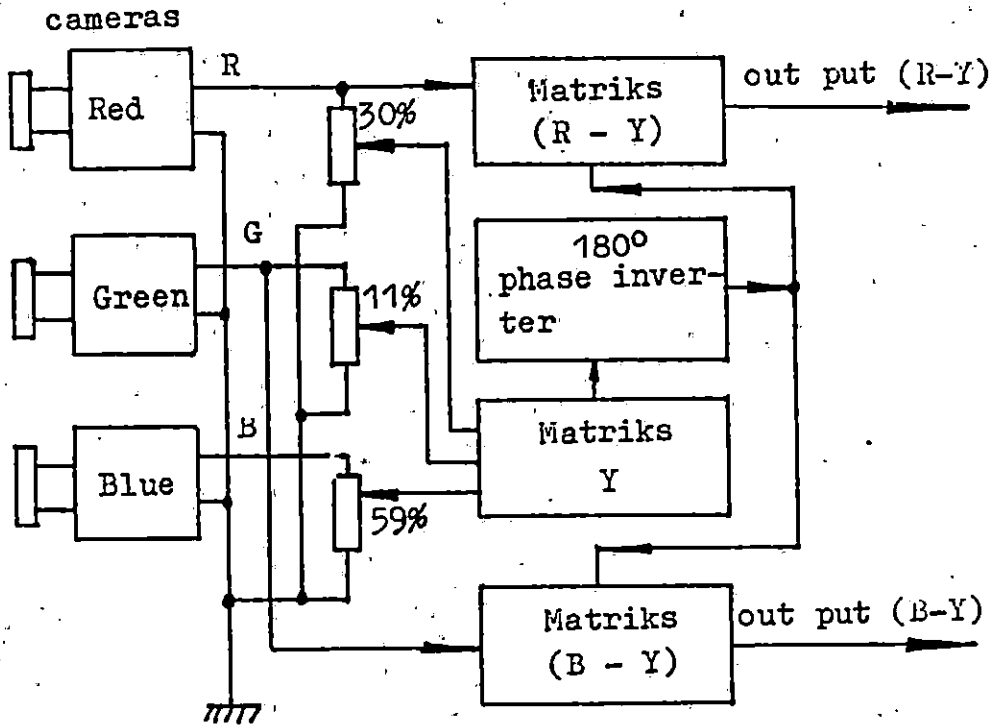
- Bila dipancarkan dari kedua sinyal perbedaan warna maka pada penerima televisi warna harus dapat menghasilkan sinyal perbedaan warna yang tidak ikut dipancarkan,
- Dalam hal untuk menghasilkan sinyal perbedaan warna yang tidak ikut dipancarkan pada penerima televisi warna, harus dapat memberikan keuntungan yang lebih baik.

Dari ketiga sinyal perbedaan warna yang telah diperoleh, yang memenuhi syarat ketentuan terdiri dari sinyal :

$$E'_R - E'_Y \quad \text{dan} \quad E'_B - E'_Y$$

Kedua sinyal ini memberikan keuntungan dan kemudahan dalam menghasilkan sinyal perbedaan warna  $E'_G - E'_Y$  pada penerima televisi warna dengan sistem peredaman dan tidak memerlukan penguatan, seperti halnya pada sinyal perbedaan warna

na yang lain. Proses untuk menghasilkan sinyal perbedaan warna  $E_R^i - E_Y^i$  dan  $E_B^i - E_Y^i$  pada rangkaian matriks, diperlihatkan pada gambar 9.



Gambar 9. Proses untuk menghasilkan Sinyal Perbedaan Warna ( $E_R^i - E_Y^i$ ) dan Sinyal Perbedaan Warna ( $E_B^i - E_Y^i$ ).

### III. SINYAL SUB PEMBAWA WARNA

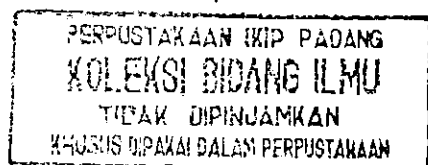
Dalam sistem pemancaran sinyal informasi, selalu diperlukan sinyal pembawa dengan tujuan agar diperoleh daya yang cukup kuat untuk memancarkan sinyal informasi. Demikian pula pada sistem pemancaran sinyal video televisi. Dimana sinyal perbedaan warna  $E'_R - E'_Y$  dan  $E'_B - E'_Y$  yang telah diperoleh, masih mempunyai daya yang lemah dengan amplitudo yang masih rendah dan belum dapat untuk dipancarkan.

Untuk mencegah supaya kedua sinyal perbedaan warna tidak saling bercampur dalam satu saluran pada sistem pemancar televisi PAL, diperlukan dua macam sinyal sub pembawa dengan fasa yang berbeda. Proses pemodulasian antara sinyal perbedaan warna dengan sinyal pembawa akan dilakukan dalam modulator seimbang. Proses ini akan menghasilkan sinyal perbedaan warna yang termodulasi dengan daya dan amplitudo yang cukup kuat.

Sebelum dipancarkan, sinyal perbedaan warna termodulasi, akan disatukan bersama sinyal luminan. Kedua sinyal hasil penyatuan berfungsi sebagai sinyal sub pembawa warna. Pada sistem PAL sinyal ini akan dipancarkan dalam satu saluran.

#### A. Dasar Penetapan Frekuensi

Keterbatasan lebar bidang frekuensi pada pemancar sistem PAL menyebabkan sinyal sub pembawa warna tidak dapat ditetapkan secara bebas. Dasar penetapannya akan ditentukan

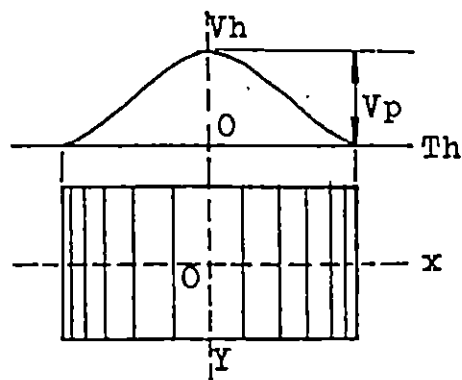


kan oleh beberapa persyaratan sebagai berikut :

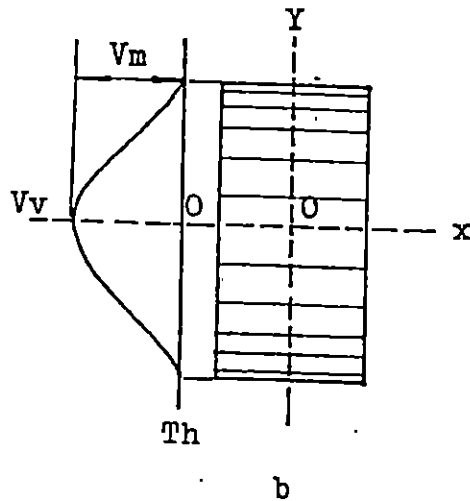
- Sinyal luminan yang berfungsi sebagai sinyal sub pembawa warna yang dipancarkan bersama dengan sinyal perbedaan warna termodulasi, dimana lebar band frekuensi untuk seluruh sinyal tidak boleh melebihi lebar bidang frekuensi pada sistem pemancar televisi hitam putih,
- Besarnya frekuensi sinyal sub pembawa untuk sinyal perbedaan warna, harus berada dalam frekuensi sinyal sub pembawa warna (frekuensi sinyal luminan).

#### B. Half Line Offset

Dasar metoda untuk menentukan spektrum dari frekuensi sinyal luminan, dijelaskan secara pola gambar dari dua bentuk sinyal luminan (Wiono, op.cit., pp VII-5-6) seperti ditunjukkan pada gambar 10.



a



Gambar 10. Pola Gambar untuk Menentukan Besarnya Frekuensi dari Sinyal Luminan.

Menurut analisa deret forrier dari kedua bentuk pola gambar gelombang pada gambar 10 dinyatakan dengan persamaan :

$$V_v = \sum_{m=0}^{MS} V_m \cdot \cos m\omega_v t$$

$$V_h = \sum_{q=0}^{MS} V_q \cdot \cos q\omega_h t$$

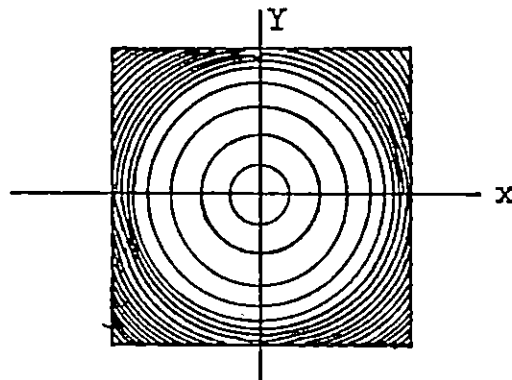
Hasil perkalian dari kedua bentuk persamaan  $V_v$  dan  $V_h$ , merupakan persamaan sinyal input dari sinyal gambar pada televisi penerima. Secara persamaan dinyatakan :

$$V_{v.h} = \sum_{m=0}^{MS} \sum_{q=0}^{MS} V_m \cdot q \cdot \cos m\omega_v t \cdot \cos q\omega_h t$$

Dengan menyederhanakan dari persamaan hasil perkalian, maka di dapat bentuk sebuah persamaan dalam deret forrier se bagai berikut :

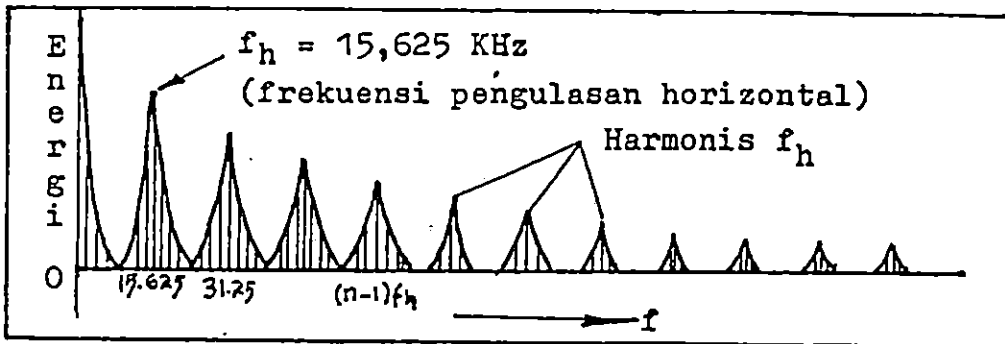
$$\begin{aligned}
 V_{v.h} &= V_m \cdot q \left\{ \frac{1}{2} \cdot \cos(mw_v - qw_h)t + \frac{1}{2} \cdot \cos(mw_v + qw_h)t \right\} \\
 &= \frac{1}{2} \cdot V_m \cdot q \cdot \cos(mw_v - qw_h)t + \frac{1}{2} \cdot V_m \cdot q \cdot \cos(mw_v + qw_h)t
 \end{aligned}$$

Bentuk pola gambar yang dihasilkan pada televisi penerima, diperlihatkan pada gambar 11.



Gambar 11. Pola Gambar Sinyal Input  
pada penerima televisi

Dan bentuk spektrum dari sinyal luminan yang dihasilkan di perlihatkan pada gambar 12 (Rio dan Sawamura, 1981:39).



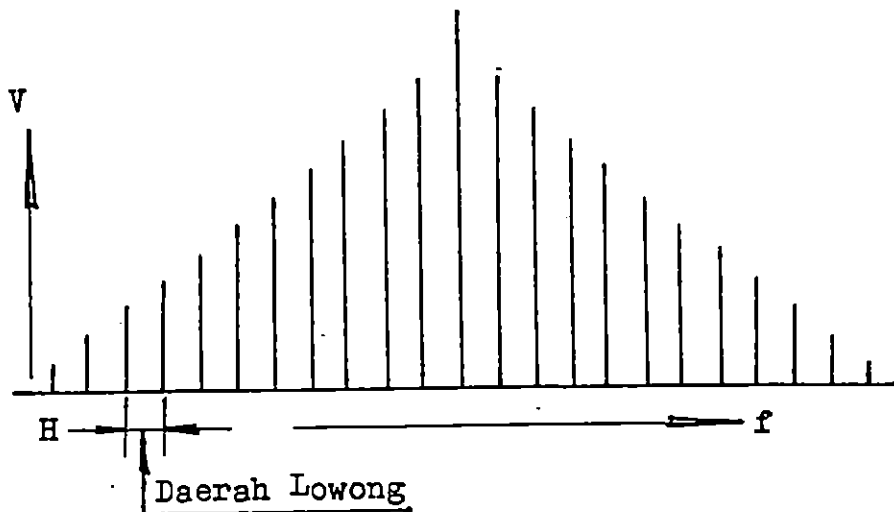
Gambar 12. Bentuk Spektrum Frekuensi Sinyal Luminan.

Pada gambar 12, komponen spektrum dikelompokkan pada setiap harmonik dari gelombang garis  $qw_h$  untuk harga  $q$  bilangan bulat. Kemudian setiap harmonik mempunyai upper side band dan lower side band yang dinyatakan dengan persamaan:

- persamaan upper side band =  $qw_h + mw_v$
- persamaan lower side band =  $qw_h - mw_v$

kedua persamaan yang telah dikemukakan juga berlaku untuk setiap harga  $m$  bilangan bulat.

Dengan adanya upper side band dan lower side band, maka terdapat daerah lowong seperti diperlihatkan pada gambar 13 yang merupakan sebahagian dari spektrum sinyal luminan.



Gambar 13. Sebagian Spektrum dari Sinyal Luminan.

Kemudian dasar metoda untuk menentukan frekuensi spektrum dari sinyal sub pembawa pada sinyal perbedaan warna, dijelaskan dengan sistem interlace scanning dan hubungan antara frekuensi vertikal dengan frekuensi horizontal. Pada sistem interlace scanning terdapat jumlah garis yang ganjil. Secara persamaan dinyatakan dengan  $N = 2M + 1$ . Antara frekuensi horizontal dan vertikal terdapat suatu hubungan yang dinyatakan dengan persamaan  $f_v = \frac{2 \cdot f_h}{N}$  ( $N$  adalah jumlah garis untuk satu frame). Dengan mensubsitusikan harga  $N$  ke dalam persamaan  $f_v$ , maka diperoleh besarnya frekuensi horizontal ( $f_h$ ) dengan persamaan sebagai berikut :

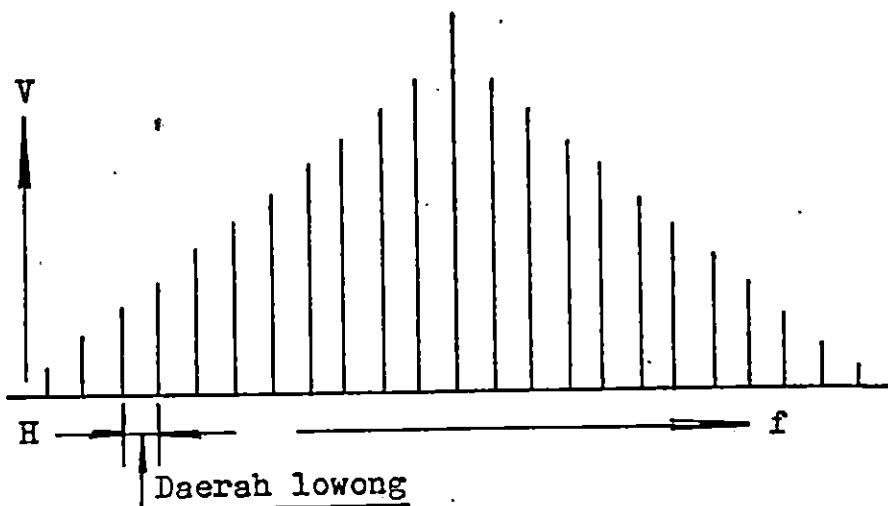
$$f_v = \frac{2 \cdot f_h}{N} = \frac{2 \cdot f_h}{2M + 1} \quad \text{disederhanakan menjadi persamaan}$$

$$f_v(2M + 1) = 2 \cdot f_h ; \text{ nilai } f_h \text{ adalah :}$$

$$f_h = \frac{1}{2} \cdot f_v (2M + 1) = f_v (M + \frac{1}{2})$$

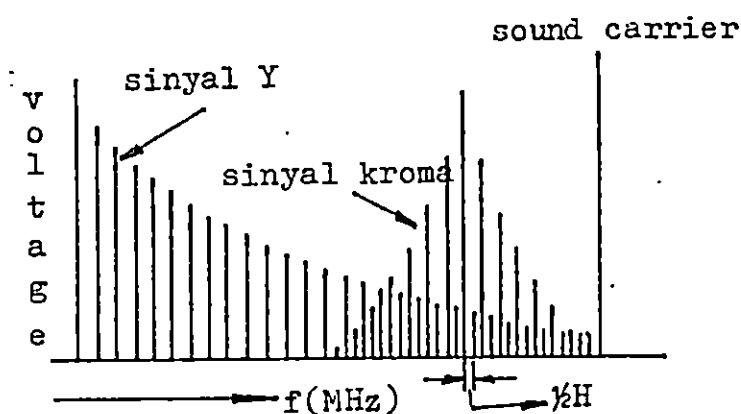


Dari persamaan  $f_h$  yang telah diperoleh menyatakan bahwa besarnya frekuensi horizontal adalah sejumlah perkalian dari bilangan  $M$  terhadap  $f_v$  kemudian ditambah dengan  $\frac{1}{2} \cdot f_v$ . Dengan demikian menyebabkan terjadinya komponen upper side band dan lower side band di antara dua komponen  $f_h$  yang tidak saling berimpit dan mengakibatkan terdapatnya daerah yang lowong. Gambar 14 diperlihatkan daerah yang lowong dari spektrum frekuensi sinyal sub pembawa yang terdapat pada sinyal perbedaan warna.



Gambar 14. Spektrum Frekuensi Sinyal Sub Pembawa pada Sinyal Perbedaan Warna.

Kedua daerah yang lowong yang terdapat pada spektrum frekuensi sinyal luminan (gambar 13) dan spektrum frekuensi sinyal sub pembawa pada sinyal perbedaan warna (gambar 14), memungkinkan kedua sinyal tersebut untuk saling ber-sisipan, seperti diperlihatkan pada gambar 15.



Gambar 15. Spektrum Frekuensi yang Saling Bersisipan.

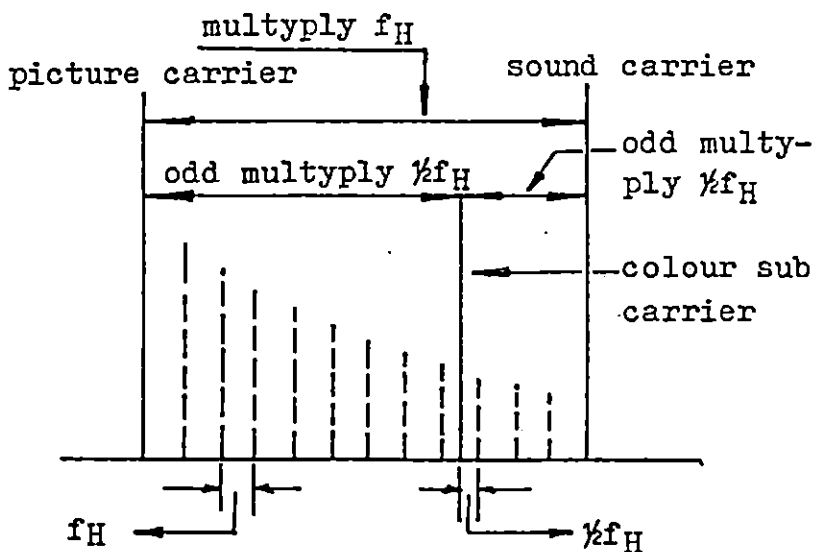
Pada sistem televisi NTSC, penyisipan dari spektrum frekuensi sinyal sub pembawa untuk sinyal perbedaan warna akan ditempatkan di antara harmonik-harmonik dari spektrum frekuensi sinyal luminan pada bagian atas dari jarak antara dua komponen  $f_h$ . Hal ini bertujuan untuk menghindari interferensi yang terjadi antara frekuensi sinyal sub pembawa gambar dengan frekuensi sinyal sub pembawa suara, akibat terjadinya defleksi frekuensi dari kedua spektrum pada

saat transmisi mengalami ketidaklinearan.

Berdasarkan ketentuan yang telah ditetapkan, maka diperoleh besarnya frekuensi sinyal sub pembawa untuk sinyal perbedaan warna sebesar kelipatan dari setengah frekuensi horizontal. Sistem ini disebut dengan "Half Line Offset". Secara persamaan, frekuensi sinyal sub pembawa untuk sinyal perbedaan warna dinyatakan dengan persamaan :

$$f_{c_{NTSC}} = (k - \frac{1}{2})f_h$$

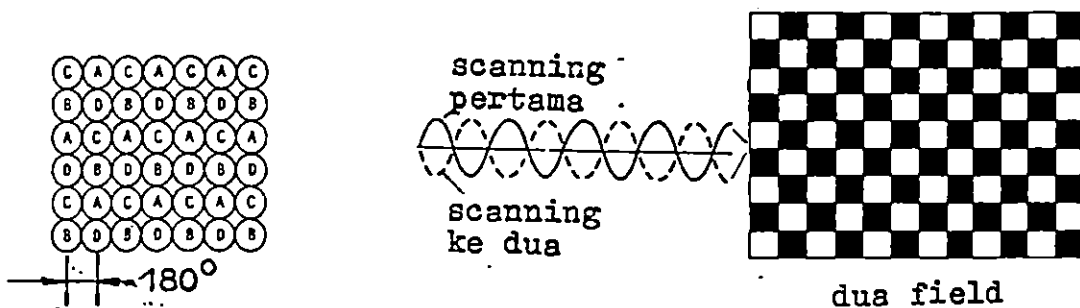
Dengan mensubstitusikan harga  $k = 284$  dan frekuensi horizontal ( $f_h$ ) sebesar 15625 Hz, maka didapatkan harga  $f_c$  sebesar 4,4296875 MHz. Distribusi frekuensi sinyal luminan dan sinyal sub pembawa untuk sinyal perbedaan warna serta distribusi frekuensi untuk sinyal sub pembawa suara, diperlihatkan pada gambar 16.



Gambar 16. Distribusi Frekuensi Sinyal Pembawa pada Televisi NTSC.

### C. Quarter Line Offsett

Sistem "Half Line Offsett" yang diterapkan oleh televisi NTSC tidak dapat memenuhi sifat kompatibilitas secara baik. Karena masih terdapat kelemahan dalam bentuk kedipan pada raster penerima televisi hitam putih. Kedipan ini terjadi pada saat penelusuran garis horizontal. Sinyal sub pembawa gambar hanya mampu membuat terang gelapnya detail garis gambar dalam waktu 283,5 cycle dari 284 cycle waktu yang telah ditentukan. Sisa waktu 0,5 cycle akan diteruskan pada proses penelusuran untuk garis horizontal berikutnya. Sehingga pada setiap line untuk setiap field akan terjadi perbedaan fasa, yang merupakan faktor penyebab terbentuknya gangguan pada setiap field sebagai rangkaian titik (dot) dalam bentuk pola papan catur (Ennes, op. cit., pp 338-339), perhatikan gambar 17.

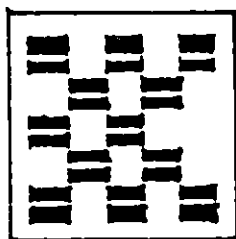


Gambar 17. Bentuk Pola Gangguan yang terdapat pada sistem "Half Line Offsett".

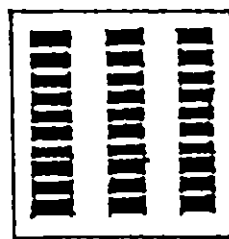
Pada gambar 17, penelusuran untuk field ke dua akan diakhiri setelah melakukan penelusuran sebanyak 625 garis. Dan pada waktu yang bersamaan, sinyal sub pembawa telah membuat terang gelapnya detail garis gambar dalam waktu  $625 \times 283,5 = 177187,5$  cycle. Hal ini berarti bahwa gangguan pada field ke satu akan berbeda fasa 0,5 cycle dari pada gangguan yang terjadi pada field ke tiga.

Bentuk gangguan yang terjadi pada setiap satu frame akan dikompensasikan oleh bentuk gangguan dari frame berikutnya. Karena bentuk gangguan terjadi pada setiap dua field dengan frekuensi  $\frac{1}{2} \cdot f_v$  atau 12,5 Hz, menyebabkan akan terlihat sebagai kedipan pada raster yang sangat mengganggu penglihatan mata manusia.

Jika sistem half line offsett yang terdapat pada televisi NTSC dipergunakan pada televisi dengan sistem PAL, maka akan timbul gangguan raster dalam bentuk titik (dot) yang tersusun secara vertikal pada setiap sinyal yang mengandung komponen V, seperti diperlihatkan pada gambar 18.



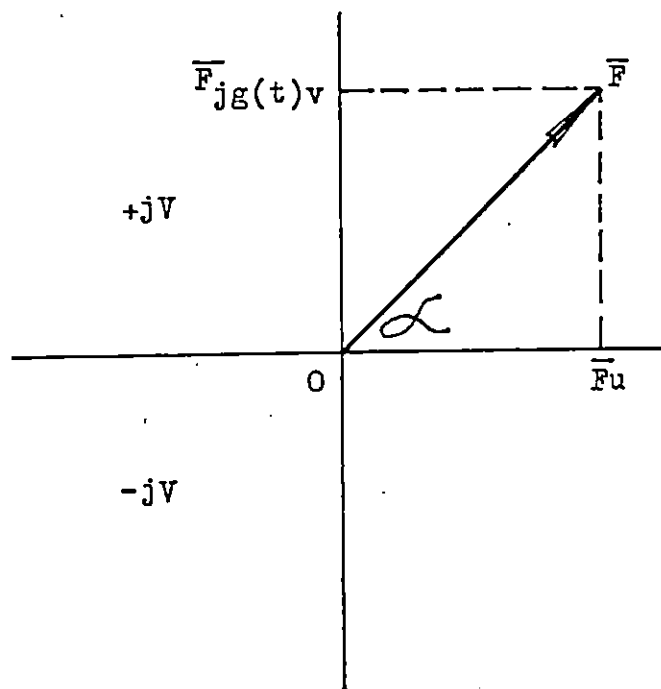
field I + II



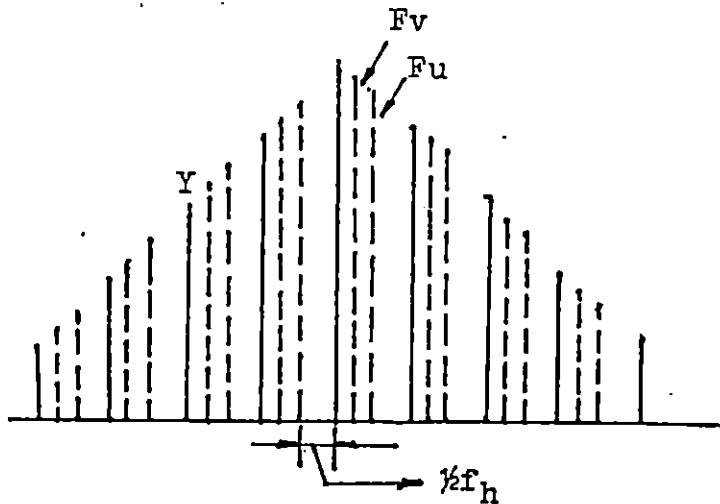
field III+IV

Gambar 18. Pola Gangguan Sistem "Half Line Offsett" pada Televisi dengan Sistem PAL.

Bentuk gambar 18, disebabkan oleh pembalikan fasa dari sumbu  $V$  sebesar  $180^\circ$  secara periodik atau line demi line. Secara teoritis, gangguan yang terjadi dapat dijelaskan dengan menggunakan diagram fasor dan spektrum frekuensi dari sinyal perbedaan warna pada sistem PAL, seperti di perlihatkan pada gambar 19 dan gambar 20.



Gambar 19. Diagram Fasor Sinyal Perbedaan Warna pada Televisi dengan Sistem PAL.



Gambar 20. Spektrum Frekuensi Sinyal Perbedaan Warna pada Sistem PAL Half Line Offsett

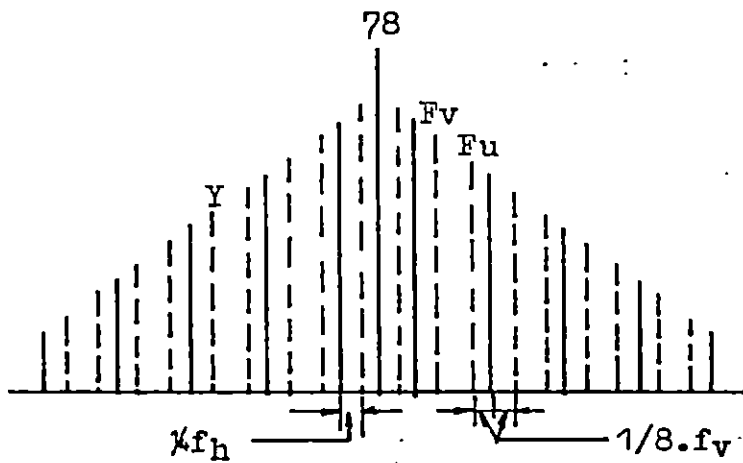
Persamaan sinyal krominansi dari diagram phasor, ditulis dengan persamaan :

$$\bar{F}_{PAL} = \bar{F}_u + \bar{F}_{jg(t)v}$$

dimana  $g(t)v$  adalah fungsi polaritas dari sinyal sub pembawa. Pada gambar 20, jelas kelihatan bahwa komponen  $\bar{F}_u$  terletak pada  $(k - \frac{1}{2})f_h$  atau  $\frac{1}{2}.f_h$  sedangkan komponen  $\bar{F}_{jg(t)v}$  terletak pada  $k.f_h$ . Hal ini menyebabkan terjadinya crosstalk pada sinyal luminansi.

Untuk mengatasi gangguan yang terjadi, pada sistem televisi PAL digunakan sistem offsett pada seperempat garis (Quarter Line Offsett). Prosesnya dilakukan dengan cara menggeserkan frekuensi sub pembawa warna sebesar  $\Delta f$ . Dengan cara memilih  $\Delta f$  sebesar kelipatan ganjil dari frekuensi

ensi vertikal, komponen  $\bar{F}_u$  terletak pada  $\frac{1}{8}.f_v$  di atas komponen Y, sedangkan komponen  $\bar{F}_v$  terletak pada  $\frac{1}{8}.f_v$  di bawah komponen Y. Sehingga diperoleh jatuhnya sinyal sub pembawa warna tepat diantara spasi dari komponen Y, seperti diperlihatkan pada gambar 21.



Gambar 21. Spektrum Frekuensi Sinyal Perbedaan Warna pada Sistem PAL Quarter Line offset.

Secara perhitungan, dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$f_v = \frac{2.f_h}{N} \quad \text{dimana} \quad f_h = \frac{N.f_v}{2}$$
 , untuk pergeseran seperempat  $f_h$  ( $\frac{1}{4}.f_h$ ) akan diperoleh suatu persamaan frekuensi sebesar :

$$\frac{1}{4}.f_h = \frac{\frac{1}{4}.N.f_v}{2} = \frac{N.f_v}{8} ; \text{ untuk harga } N \text{ sebesar } 625 \text{ ga-}$$



ris, diperoleh harga pergeseran untuk  $\frac{1}{4} \cdot f_h$  sebesar :

$$\frac{1}{4} \cdot f_h = (78 + \frac{1}{8}) \cdot f_v$$

Dari persamaan yang telah diperoleh, dapat disimpulkan bahwa setiap pergeseran dari spektrum sinyal luminan sebesar  $\frac{1}{4} \cdot f_h$  akan diikuti dengan pergeseran sinyal sub pembawa sejauh  $\frac{1}{8} \cdot f_v$ . Dengan demikian kedua spektrum tidak akan berimpit untuk setiap pergantian line demi line pada setiap satu field.

Secara persamaan, besarnya harga frekuensi sinyal sub pembawa pada sinyal perbedaan warna, dinyatakan dengan persamaan :

$$f_{c_{PAL}} = (284 - \frac{1}{4}) \cdot f_h + \Delta f$$

Dengan menggantikan  $\Delta f$  sebesar  $\frac{1}{8} \cdot f_v$  atau  $\frac{f_h}{625}$  (25 Hz), maka diperoleh besarnya frekuensi  $f_{c_{PAL}}$  :

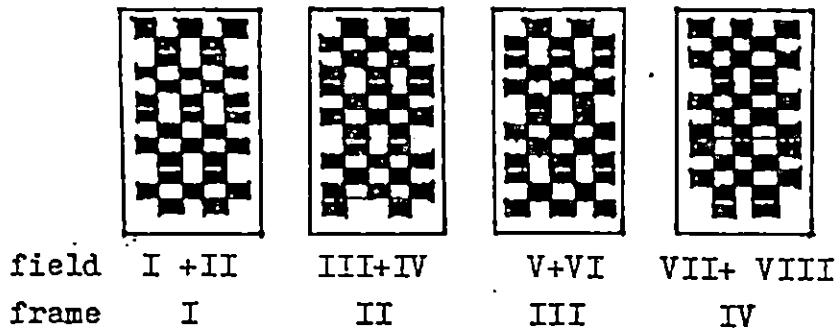
$$f_{c_{PAL}} = (284 - \frac{1}{4}) \cdot 15625 + 25$$

$$= 4,43361875 \text{ MHz (Rio dan Sawamura, op.}$$

cit., pp 31-32).

Penambahan frekuensi sebesar 25 HZ, merupakan pergeseran yang optimum dari spektrum frekuensi sinyal sub pembawa warna.

Proses kompensasi dari gangguan yang ditimbulkan pada setiap satu frame dapat disisipkan diantara frame berikutnya. Gambar 22 diperlihatkan bentuk pola gangguan gambar titik dari sistem PAL quarter line offsett (Sims, op.Cit, p 101).



Gambar 22. Pola Gambar Titik dari Sistem PAL Quarter Line Offset.

Proses kompensasi dari pola gambar titik yang diperlihatkan pada gambar 22, dapat dilakukan dengan cara penyisipan dari setiap celah yang terdapat pada setiap frame dengan pola gambar titik dari frame berikutnya. Dalam hal ini, penyisipan dari pola gambar titik pada raster frame pertama yang terdiri dari field ke I dan field ke II dapat digeserkan agar masuk ke celah dari raster frame ke dua, yang terdiri dari field ke III dan field ke IV.

Sedangkan penyisipan dari pola gambar titik dari raster frame ke tiga yang terdiri dari field ke V dan ke VI dapat digeserkan agar masuk ke celah dari raster frame ke empat, yang terdiri dari field ke VII dan ke VIII. Proses kompensasi dari setiap pola gambar titik yang terdapat pada setiap field akan selesai dalam empat frame (Sims, Op. Cit., p 102).

Usaha yang telah dilakukan dengan sistem PAL Quarter Line Offsett, merupakan usaha yang maksimal untuk memperkecil dari gangguan yang terjadi.

#### IV. MODULASI SINYAL VIDEO

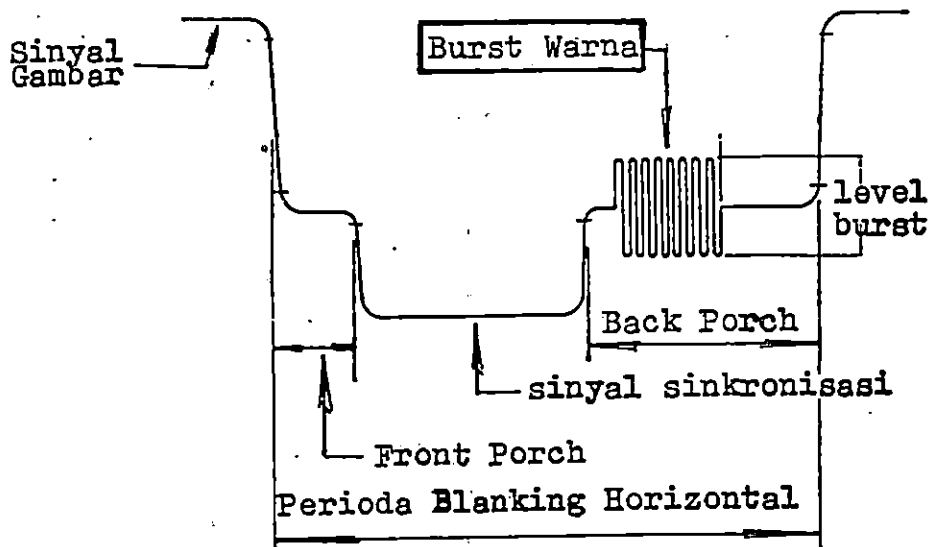
Untuk dapat membentuk sinyal krominan dari kedua sinyal perbedaan warna ( $E'_R - E'_Y$ ) dan ( $E'_B - E'_Y$ ), kedua sinyal perbedaan warna tersebut terlebih dahulu diproses dalam sub blok rangkaian modulator. Pada sub blok rangkaian ini, sinyal perbedaan warna ( $E'_R - E'_Y$ ) dan ( $E'_B - E'_Y$ ) akan dimodulasikan bersama dengan sinyal sub pembawa warna. Sehingga pada out put rangkaian modulator diperoleh kedua bentuk sinyal perbedaan warna yang termodulasi. Kemudian kedua sinyal perbedaan warna termodulasi dimasukkan dalam rangkaian croma adder, untuk diproses agar dapat membentuk sinyal krominan.

##### A. Burs Warna

Dalam sistem pemancar televisi warna dengan sistem PAL, sinyal sub pembawa warna tidak dipancarkan secara keseluruhan. Melainkan hanya dipancarkan jalur samping (side band) dari sinyal sub pembawa warna. Karena disebabkan oleh keterbatasan dari lebar bidang jalur frekuensi.

Untuk mengganti fungsi dari sinyal sub pembawa warna secara keseluruhan, pada jalur samping dari sinyal sub pembawa warna yang terdapat pada back porch (serambi belakang) sinyal sinkronisasi, disisipkan suatu bentuk pesan warna yang disebut dengan istilah "Burs Warna". Burs warna merupakan suatu bentuk sinyal yang mempunyai getaran 8 sampai 12 cycle dengan frekuensi 4,43 MHz. Frekuensi ini sama be-

sarnya dengan frekuensi sinyal sub pembawa warna yang tidak dipancarkan. Bentuk dari sinyal burs warna, diperlihatkan pada gambar 23.



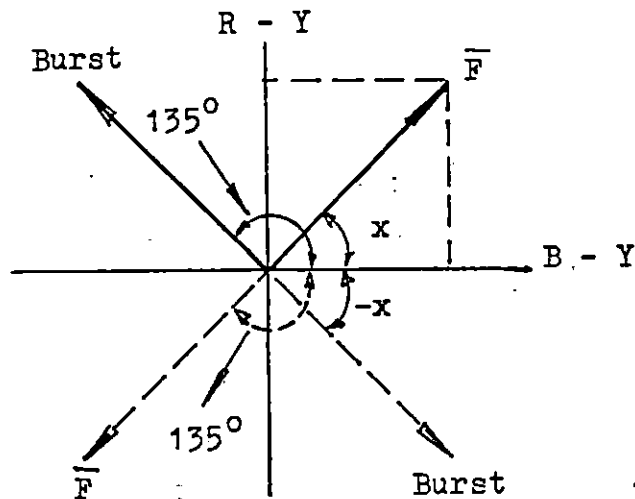
Gambar 23. Bentuk Sinyal Burst Warna.

Pada penerima televisi warna, burs warna berfungsi untuk :

- Membangkitkan sinyal sub pembawa warna pada besaran fasa dan frekuensi yang sama dengan sinyal sub pembawa warna dalam sistem pemancar televisi,
- Menyinkronkan frekuensi dan fasa dari sinyal sub pembawa warna yang dibangkitkan agar sama dengan fasa dan frekuensi dari osilator 4,43 MHz yang terdapat pada penerima televisi.

Dari kedua fungsi burs, sinyal video yang direproduksi pada penerima televisi warna akan dapat didemodulasi.

Secara diagram vektor, burs warna ditempatkan pada posisi  $\pm 135^\circ$  terhadap sumbu positif dari sinyal perbedaan warna ( $E_R^i - E_Y^i$ ) yang terdapat pada diagram phasor dari sinyal video perbedaan warna (King, op.cit., 1978:70), seperti diperlihatkan pada gambar 24.



Gambar 24. Diagram Vektor dari Burst Warna.

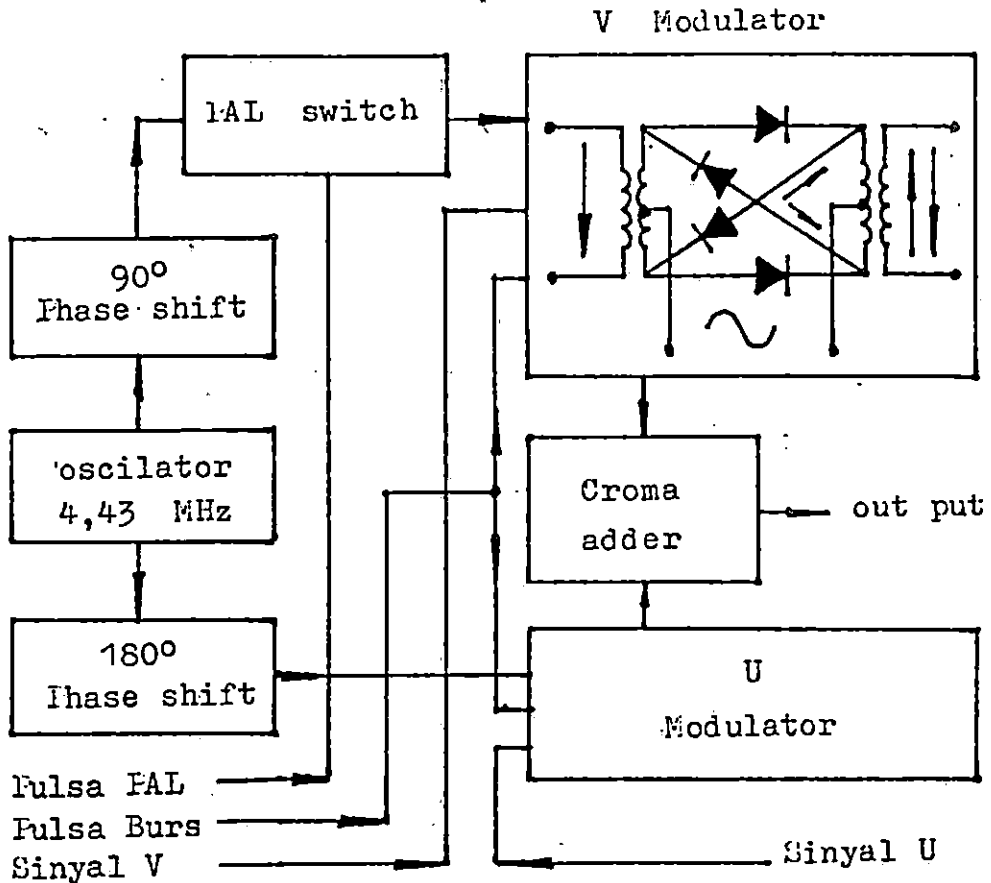
Penempatan dari diagram vektor dengan sudut  $\pm 135^\circ$  bertujuan supaya burs warna dapat mengikuti polaritas dari sinyal ( $E_R^i - E_Y^i$ ) pada setiap terjadinya pembalikan fasa dari line demi line. Pada saat ditransmisi sinyal  $+(E_R^i - E_Y^i)$ , burs warna akan berada pada posisi  $135^\circ$ . Dan saat pentransmisian sinyal  $-(E_R^i - E_Y^i)$ , burs warna akan berada pada posisi  $-135^\circ$ . Sehingga terdapat beda fasa sebesar  $0^\circ$ . Kesalahan warna antara pemancar televisi dengan penerima tidak akan terjadi.

## B. Quadrature Amplitudo

Pada televisi dengan sistem PAL, proses modulasi dilakukan dengan menggunakan modulator "Quadrature Amplitudo" atau sistem modulasi pembawa suppress (modulasi seimbang). Dalam sistem quadrature amplitudo modulator, gelombang sinyal sub pembawa tidak dipancarkan secara keseluruhan. Melainkan hanya dipancarkan side band dari gelombang modulasi dalam bentuk upper dan lower side band. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan dari lebar band jalur frekuensi. Sebagai input dari sinyal warna, tiap side band dimasukan sinyal yang terdiri dari pulsa-pulsa burs. Roddy dan Cooleen (1981:284) memperlihatkan blok rangkaian dari sistem modulasi quadrature amplitudo modulator, seperti pada gambar 25 halaman 44.

Dalam sistem modulasi quadrature amplitudo modulator, kedua bentuk sinyal perbedaan warna ( $E'_R - E'_Y$ ) dan ( $E'_B - E'_Y$ ) akan dimodulasikan dalam dua buah modulator seimbang secara terpisah. Sinyal perbedaan warna ( $E'_R - E'_Y$ ) akan dimodulasikan dengan sinyal sub pembawa warna dalam modulator V. Sedangkan sinyal perbedaan warna ( $E'_B - E'_Y$ ) akan dimodulasi kan dengan sinyal sub pembawa warna dalam modulator U.

Sinyal-sinyal sub pembawa warna yang diperlukan sebagai pemodulasian dari kedua bentuk sinyal perbedaan warna tersebut dalam modulator V dan modulator U terdiri dari dua bentuk sinyal sub pembawa warna yang mempunyai sudut



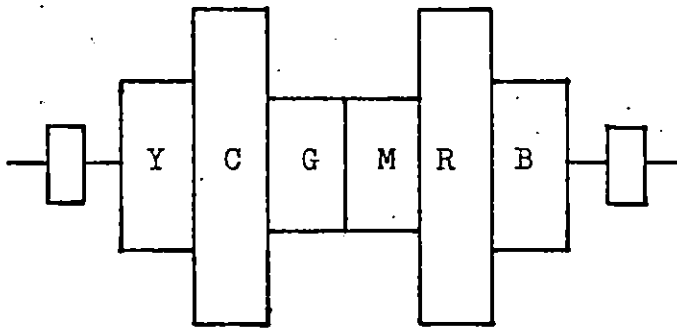
Gambar 25. Blok Rangkaian Sistem Modulasi  
Quadrature Amplitude Modulator

phasa yang berbeda. Pada modulator U, diperlukan sinyal sub pembawa warna yang mempunyai sudut phasa  $180^\circ$ . Dan pada modulator V, diperlukan sinyal sub pembawa warna dengan sudut phasa yang diputar  $90^\circ$  untuk setiap terjadinya pembalikan phasa dari sinyal perbedaan warna ( $E_R' - E_Y'$ ). Dengan demikian posisi dari sinyal perbedaan warna ( $E_R' - E_Y'$ ) un-



tu<sup>k</sup> setiap terjadinya pembalikan fasa akan terletak pada posisi  $90^{\circ}$  atau pada posisi  $270^{\circ}$ . Karena pulsa-pulsa burs berada pada back porch sinyal sinkronisasi horizontal, pulsa-pulsa tersebut juga ikut berputar dengan sudut fasa  $90$  derajat untuk setiap terjadinya pembalikan fasa sinyal perbedaan warna ( $E'_R - E'_Y$ ). Hal ini bertujuan untuk menghindari kesalahan warna pada sudut fasa  $0^{\circ}$  yang disebabkan oleh sinyal sub pembawa warna.

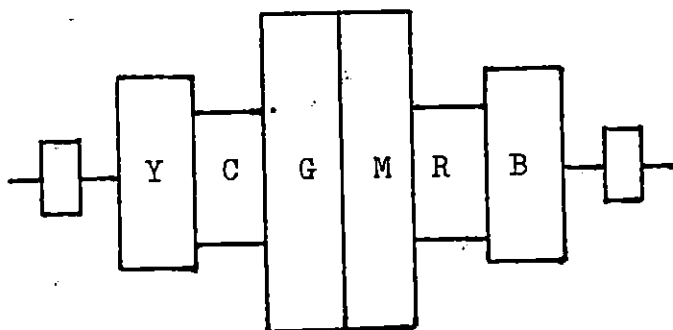
Persamaan sinyal out put yang dihasilkan oleh modulator V adalah  $\bar{F} = \pm \bar{V} \cdot \cos wt$  dan bentuk gelombang sinyal perbedaan warna ( $E'_R - E'_Y$ ) termodulasi yang diperoleh diperlihatkan pada gambar 26 (Ennes, Op. Cit., p 68)



Gambar 26. Bentuk Sinyal Perbedaan Warna  
( $E'_R - E'_Y$ ) Termodulasi

Persamaan sinyal out put yang dihasilkan oleh modulator U adalah  $\bar{F} = \bar{U} \cdot \sin wt$  dan bentuk gelombang sinyal per-

bedaan warna ( $E'_B - E'_Y$ ) termodulasi diperlihatkan pada gambar 27.



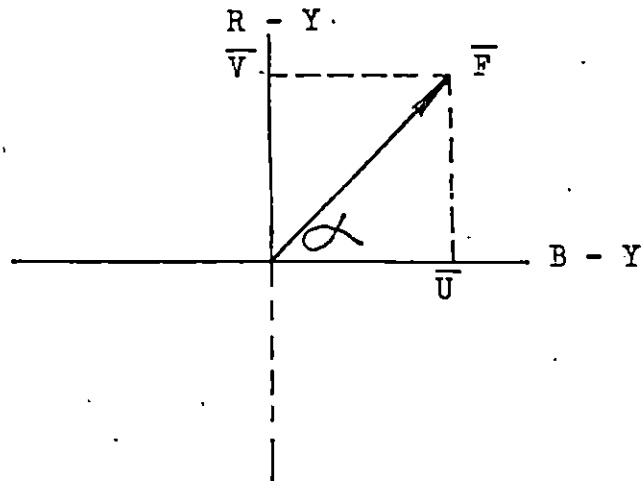
Gambar 27. Bentuk Sinyal Perbedaan Warna ( $E'_B - E'_Y$ ) Termodulasi.

### C. Croma Adder

Kedua sinyal warna termodulasi yang telah diperoleh dari kedua out put modulator U dan V akan mengalami suatu proses penggabungan yang tidak saling bercampur dalam rangkaian croma adder untuk membentuk sinyal krominan.

Apabila sinyal krominan digabungkan bersama sinyal luminan dan dipancarkan dalam satu saluran pemancar televisi maka pada input tabung gambar penerima televisi warna dengan melalui suatu proses, akan diperoleh kembali sinyal video warna primer.

Secara diagram vektor, posisi sinyal krominan ( $\bar{F}$ ), di perlihatkan pada gambar 28.



Gambar 28. Diagram Vektor dari Sinyal Krominan.

Pada gambar 28, besarnya amplitudo dari sinyal krominan yang telah diperoleh dari kedua out put modulator dapat di hitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\cos \alpha = \frac{U}{F} \quad \text{dan} \quad \sin \alpha = \frac{V}{F}$$

$$\cos^2 \alpha = \frac{U^2}{F^2} \quad \text{dan} \quad \sin^2 \alpha = \frac{V^2}{F^2}$$

Dengan menjumlahkan persamaan  $\cos^2 \alpha$  dan  $\sin^2 \alpha$  , maka di peroleh persamaan amplitudo dari sinyal krominan untuk suatu warna tertentu :

$$\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha = \frac{U^2}{F^2} + \frac{V^2}{F^2} = \frac{U^2 + V^2}{F^2}$$

$$1 = \frac{U^2 + V^2}{F^2}$$

$$F^2 = U^2 + V^2$$

Untuk mengetahui kualitas dari suatu hasil modulasi yang telah diperoleh agar dapat memenuhi level sinyal video dan persyaratan sinyal video lainnya, dipergunakan peralatan test colour bar pada posisi titik jenuh warna 100% dengan amplitudo 100% sebagai alat uji.

Uraian berikut ini akan menjelaskan cara pengetesan suatu hasil modulasi dengan menggunakan peralatan test colour bar. Cara pengetesan ini akan didahului dengan suatu perhitungan guna mengetahui besarnya amplitudo sinyal krominan pada posisi 100% untuk suatu warna tertentu.

Untuk membentuk sinyal krominan pada posisi amplitudo 100%, diperlukan amplitudo sinyal dari warna-warna primer pada posisi  $R = 1$ ,  $G = 1$  dan  $B = 0$ . Dengan mensubsitusikan harga-harga amplitudo dari warna-warna primer  $R, G, B$  yang telah ditetapkan kedalam persamaan sinyal luminan standar ( $Y = 0,3 R + 0,59 G + 0,11 B$ ), maka diperoleh amplitudo sinyal luminan pada posisi amplitudo 100% sebesar 0,89. Dengan mensubsitusikan harga dari amplitudo sinyal luminan 0,89 kedalam persamaan sinyal perbedaan warna ( $E'_R - E'_Y$ ) dan ( $E'_B - E'_Y$ ), diperoleh pula besarnya amplitudo dari sinyal perbedaan warna sebagai berikut :

$$(E'_R - E'_Y) = (1 - 0,89) = 0,11$$

$$(E'_B - E'_Y) = (0 - 0,89) = -0,89$$

Dengan mensubsitusikan harga amplitudo dari sinyal perbedaan warna di atas ke dalam persamaan amplitudo dari sinyal

krominan ( $\bar{F}$ ), diperoleh besarnya amplitudo sinyal krominan pada posisi 100% sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\bar{F} &= \sqrt{(E'_R - E'_Y)^2 + (E'_B - E'_Y)^2} \\ &= \sqrt{(0,11)^2 + (0,89)^2} \\ &= 0,8967719 \cong 0,90\end{aligned}$$

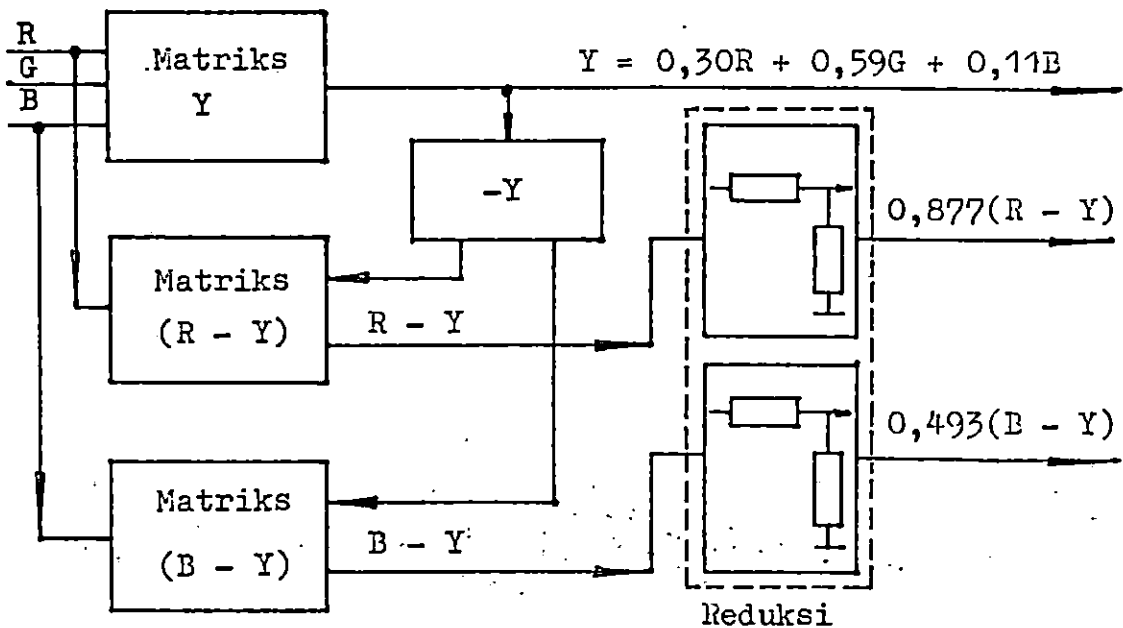
Dengan cara yang sama untuk menentukan besarnya amplitudo dari sinyal krominan pada posisi 100% untuk warna lain, maka diperoleh besarnya amplitudo dari sinyal krominan untuk warna tertentu seperti diperlihatkan pada tabel 1 di bawah ini :

Tabel 1. Detail Sinyal Colour Bar Dengan Amplitudo 100% dan Saturasi 100%

| Warna   | R | G | B | Y    | $E'_R - E'_Y$ | $E'_B - E'_Y$ | $\bar{F}$ |
|---------|---|---|---|------|---------------|---------------|-----------|
| White   | 1 | 1 | 1 | 1,00 | 0,00          | 0,00          | 0,00      |
| Yellow  | 1 | 1 | 0 | 0,89 | -0,89         | +0,11         | 0,90      |
| Cyan    | 0 | 1 | 1 | 0,70 | +0,30         | -0,70         | 0,76      |
| Green   | 0 | 1 | 0 | 0,59 | -0,59         | -0,59         | 0,83      |
| Magenta | 1 | 0 | 1 | 0,41 | +0,59         | +0,59         | 0,83      |
| Red     | 1 | 0 | 0 | 0,30 | -0,30         | +0,70         | 0,76      |
| Blue    | 0 | 0 | 1 | 0,11 | +0,89         | -0,11         | 0,90      |
| Black   | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00          | 0,00          | 0,00      |



tudo dari sinyal krominan berarti membatasi (mereduksi) besarnya amplitudo sinyal input perbedaan warna antara kedua modulator seimbang, seperti diperlihatkan pada gambar 30 (Herrick, op.cit., p 39).



Gambar 30. Blok Rangkaian Reduksi

Jika besarnya harga pembatasan (reduksi) sinyal input perbedaan warna ( $E_B^i - E_Y^i$ ) dan ( $E_R^i - E_Y^i$ ) dinyatakan dengan  $m$  dan  $n$  yang mempunyai harga ketetapan sebesar 0,493 dan 0,877, maka persamaan amplitudo sinyal krominan tereduksi dinyatakan dengan :

$$\bar{F} = \sqrt{m (E'_B - E'_Y)^2 + n (E'_R - E'_Y)^2}$$

$$F = \sqrt{0,493(E'_B - E'_Y)^2 + 0,877(E'_R - E'_Y)^2}$$

bilangan  $m = 0,493$  dan  $n = 0,877$  disebut sebagai faktor reduksi.

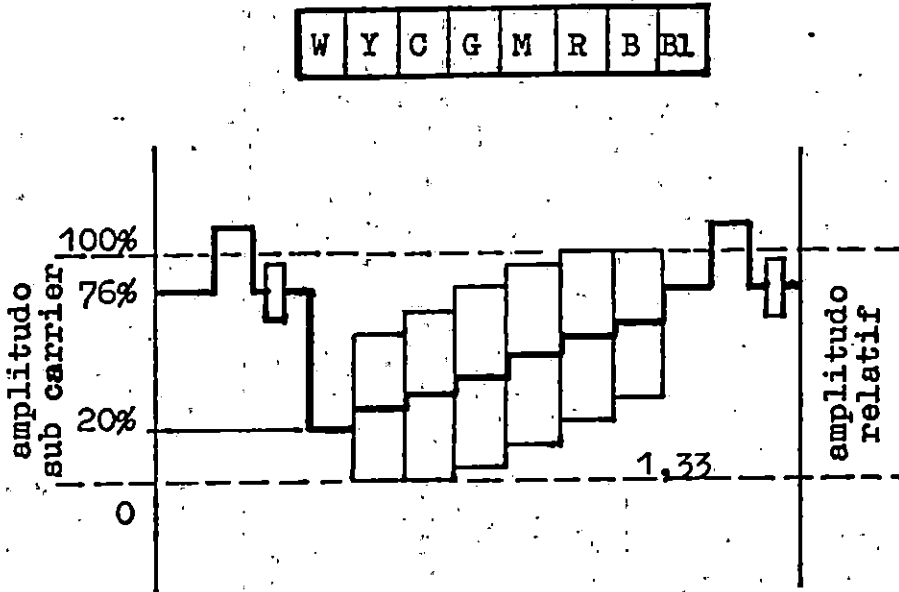
Sebagai syarat pengetesan, ditetapkan limit dari colour bar dengan ketentuan bahwa jumlah dari sinyal krominan dan luminan tidak boleh melebihi dari 33% terhadap level hitam dan putih pada posisi amplitudo dan saturasi 100 persen. Dasar ketentuan ini, akan menghasilkan detail sinyal colour bar dengan amplitudo dan saturasi 100% seperti diperlihatkan pada tabel 2 (King, op.cit., p 63).

Tabel 2. Detail Sinyal Colour Bar dengan Amplitudo dan Saturasi 100% yang telah tereduksi.

| Warna   | $0,493(E'_B - E'_Y)$ | $0,877(E'_R - E'_Y)$ | F    | $\theta$ |
|---------|----------------------|----------------------|------|----------|
| White   | 0,0000               | 0,0000               | 0,00 | -        |
| Yellow  | -0,4388              | 0,0965               | 0,44 | 167°     |
| Cyan    | +0,1479              | -0,6139              | 0,63 | 283°     |
| Green   | -0,2909              | -0,5174              | 0,59 | 241°     |
| Magenta | +0,2909              | +0,5174              | 0,59 | 61°      |
| Red     | -0,1479              | +0,6139              | 0,63 | 103°     |
| Blue    | -0,4388              | -0,0965              | 0,44 | 347°     |
| Black   | 0,0000               | 0,0000               | 0,00 | -        |



Bentuk sinyal komposit dari colour bar yang telah mengalami reduksi, diperlihatkan pada gambar 31.



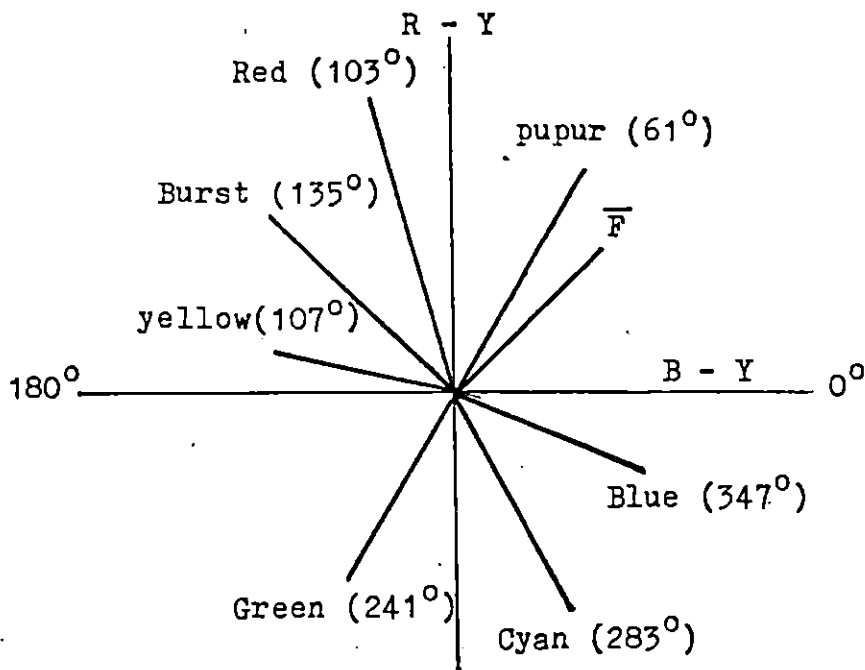
Gambar 31. Bentuk Sinyal Colour Bar Yang telah Tereduksi.

Bentuk vektor diagram dan sudut fasa nol dari warna primer dan warna komplementer dengan amplitudo 100% yang telah mengalami reduksi, diperlihatkan pada gambar 32.

Tetapi dalam prakteknya, untuk mendapatkan colour bar dengan amplitudo dan saturasi pada posisi 100% akan memerlukan persyaratan yang berlebihan. Untuk itu hanya dipergunakan colour bar pada posisi amplitudo 100% dengan saturasi 95% (standar yang ditetapkan oleh BBC). Hasilnya dapat dilihat pada tabel 3 pada halaman 54.

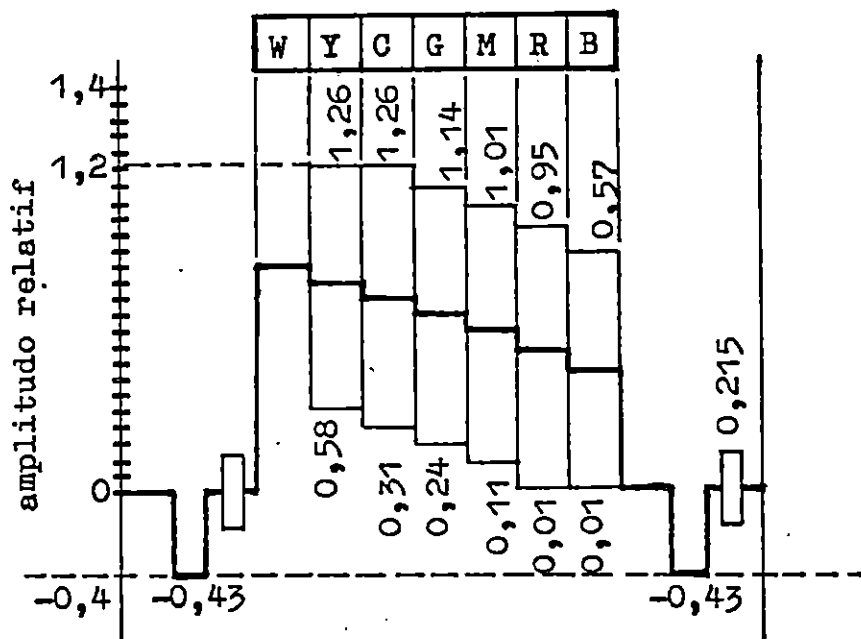
Tabel 3. Detail Sinyal Colour Bar dengan Amplitudo 100% dan Saturasi 95% yang telah mengalami reduksi.

| Warna   | R    | G    | B    | R'   | G'   | B'   | Y'   | B'-Y' | R'-Y' | U     | v     | $\bar{F}$ |             |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------------|
|         |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |       | F         | $\theta$    |
| Putih   | 1,0  | 1,0  | 1,0  | 1,0  | 1,0  | 1,0  | 1,0  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0         | -           |
| Kuning  | 1,0  | 1,0  | 0,05 | 1,0  | 1,0  | 0,25 | 0,92 | -0,67 | +0,08 | -0,33 | +0,07 | 0,34      | 167° (193°) |
| Cyan    | 0,05 | 1,0  | 1,0  | 0,25 | 1,0  | 1,0  | 0,78 | +0,23 | -0,53 | +0,11 | -0,46 | 0,47      | 283° (77°)  |
| Hijau   | 0,05 | 1,0  | 0,05 | 0,25 | 1,0  | 0,25 | 0,69 | -0,44 | -0,44 | -0,22 | -0,39 | 0,45      | 241° (119°) |
| Magenta | 1,0  | 0,05 | 1,0  | 1,0  | 0,25 | 1,0  | 0,56 | +0,44 | +0,44 | +0,22 | +0,39 | 0,45      | 61° (299°)  |
| Merah   | 1,0  | 0,05 | 0,05 | 1,0  | 0,25 | 0,25 | 0,48 | -0,23 | +0,52 | -0,11 | +0,46 | 0,47      | 103° (257°) |
| Biru    | 0,05 | 0,05 | 1,0  | 0,25 | 0,25 | 1,0  | 0,33 | +0,67 | -0,08 | +0,33 | -0,07 | 0,34      | 347° (13°)  |
| Hitam   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0         | -           |



Gambar 32. Bentuk Vektor Diagram dan Sudut Phasa Nol dari Warna Primer dan Warna Komplementer.

Bentuk sinyal komposit colour bar dari data tabel 3 yang telah mengalami reduksi, diperlihatkan pada gambar 33.



Gambar 33. Bentuk Sinyal Komposit Colour Bar pada posisi 100% dan Saturasi 95% yang telah mengalami reduksi.

Sedangkan persamaan sinyal komposit colour bar untuk sinyal krominan yang telah mengalami reduksi ditulis dengan persamaan sebagai berikut :

$$E_{Kr} = 0,493(E_B^i - E_Y^i) \cdot \sin w_p t \pm 0,877(E_R^i - E_Y^i) \cdot \cos w_p t$$

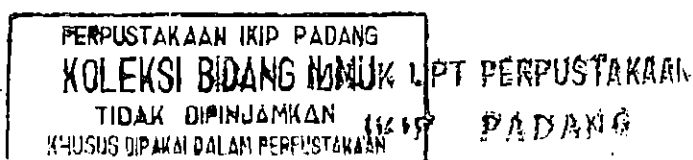
#### D. Pulsa PAL

Pada bagian terdahulu, telah dijelaskan bahwa pulsa burs warna disisipkan pada setiap garis horizontal dari se rambi belakang (back porch) sinyal sinkronisasi. Oleh se bab itu perlu pembalikan fasa dari line demi line, supaya burs warna dapat mengikuti komponen  $(E_R^i - E_Y^i)$  dari frekuen si sinyal sub pembawa warna.

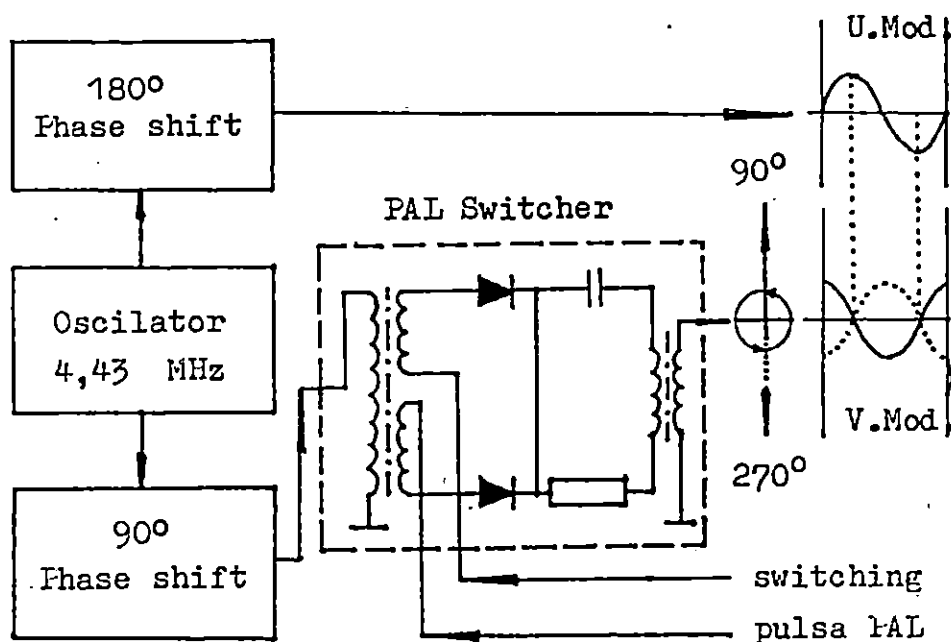
Dalam memenuhi kebutuhan tersebut, televisi sistem PAL di buat suatu pulsa identitas dengan fungsi untuk mem balikkan fasa dari sinyal sub pembawa warna sebesar  $0^\circ$  /  $180^\circ$  dari line demi line. Sistem pulsa yang demikian di sebut dengan istilah "Pulsa PAL". Pulsa PAL juga mempunyai suatu besaran frekuensi, yang besarnya adalah setengah da ri frekuensi horizontal ( $\frac{1}{2} \cdot f_h$ ) atau 7812,5 Hz.

#### E. PAL Switcher Colour Sub Carrier

Untuk menghindari terjadinya kesalahan warna pada su dut fasa nol yang disebabkan oleh pergantian line demi li ne yang dibuat oleh sinyal sub pembawa warna, pada sistem PAL Coder di buat suatu bentuk pulsa switching yang dapat



membalikkan fasa dari sinyal perbedaan warna untuk setiap terjadinya penelusuran garis horizontal agar dapat mengikuti pergantian line demi line. Adapun bentuk blok rangkaiannya, diperlihatkan pada gambar 34.



Gambar 34. Blok Rangkaian PAL Switcher Colour Sub Carrier.

Prinsip kerja dari blok rangkaian PAL Switcher colour sub carrier dijelaskan pada uraian berikut ini.

Osilator kristal 4,43 MHz berfungsi untuk menghasilkan sinyal sub pembawa warna yang mempunyai sudut fasa sebesar  $180^\circ$ . Sinyal ini akan dimasukkan ke dalam sub blok

rangkaian  $180^\circ$  phasa shift guna membentuk sinyal sub pembawa warna yang mempunyai sudut phasa pada  $0^\circ$  dan  $180^\circ$ . Sinyal ini dipergunakan sebagai input untuk rangkaian modulator U dengan fungsi membalikkan phasa dari sinyal perbedaan warna  $0,493(E_B^i - E_Y^i)$  antara  $0^\circ$  dan  $180^\circ$  untuk setiap perubahan tingkat warna dan kroma.

Sebahagian sinyal sub pembawa warna yang dihasilkan dari rangkaian osilator 4,43 MHz dipergunakan sebagai input modulator V. Dimana sinyal ini sebelum dimanfaatkan sebagai input modulator V, terlebih dahulu dimasukkan ke dalam blok rangkaian  $90^\circ$  phasa shift guna membentuk sinyal sub pembawa warna yang dapat memutar sudut phasa sinyal burs sebesar  $90^\circ$  pada setiap terjadinya pembalikan phasa dari sinyal V. Pembentukan sinyal tersebut bertujuan supaya dapat mengikuti pergantian line demi line yang di buat oleh sinyal sub pembawa warna pada proses penelusuran garis horizontal.

Out put dari rangkaian  $90^\circ$  phasa shift akan dimasukan lagi ke blok rangkaian PAL switcher untuk membentuk sinyal sub pembawa warna dengan sudut phasa  $90^\circ$  dan  $270^\circ$ . Sinyal ini akan dipergunakan untuk input modulator V dengan fungsi sebagai pengatur kedudukan sinyal V pada posisi  $90^\circ$  atau pada posisi  $270^\circ$  serta memutar sudut phasa sinyal pulsa burs sebesar  $90^\circ$  untuk setiap terjadi pergantian line demi line pada proses penelusuran horizontal.

## F. Sinyal Sinkronisasi dan Blanking

Tujuan utama dari suatu sistem transmisi adalah untuk mendapatkan pengiriman informasi dari suatu sistem pemancar agar pada penerima dapat menerima informasi dengan bentuk dan kualitas yang sama seperti halnya informasi yang dikirimkan dari pemancar.

Pada sistem televisi, tujuan utama dari sistem transmisi akan dicapai apabila pada penerima televisi dapat membentuk kembali gambar yang telah terurai pada pemancar televisi dengan bentuk dan kualitas yang sama. Untuk itu, setiap pemancaran sinyal informasi (video) dipancarkan pula sinyal sinkronisasi dan blanking. Sinyal ini pada penerima televisi berfungsi sebagai :

- Pengatur agar proses scanning dapat terjadi dalam waktu yang sama,
- Penentu posisi letak titik permulaan dan titik pemberhentian dari suatu proses scanning pada permukaan fosfor tabung gambar supaya sama dengan posisi letak dari titik permulaan dan titik pemberhentian penelusuran sewaktu terjadinya proses scanning pada permukaan target tabung kamera televisi.

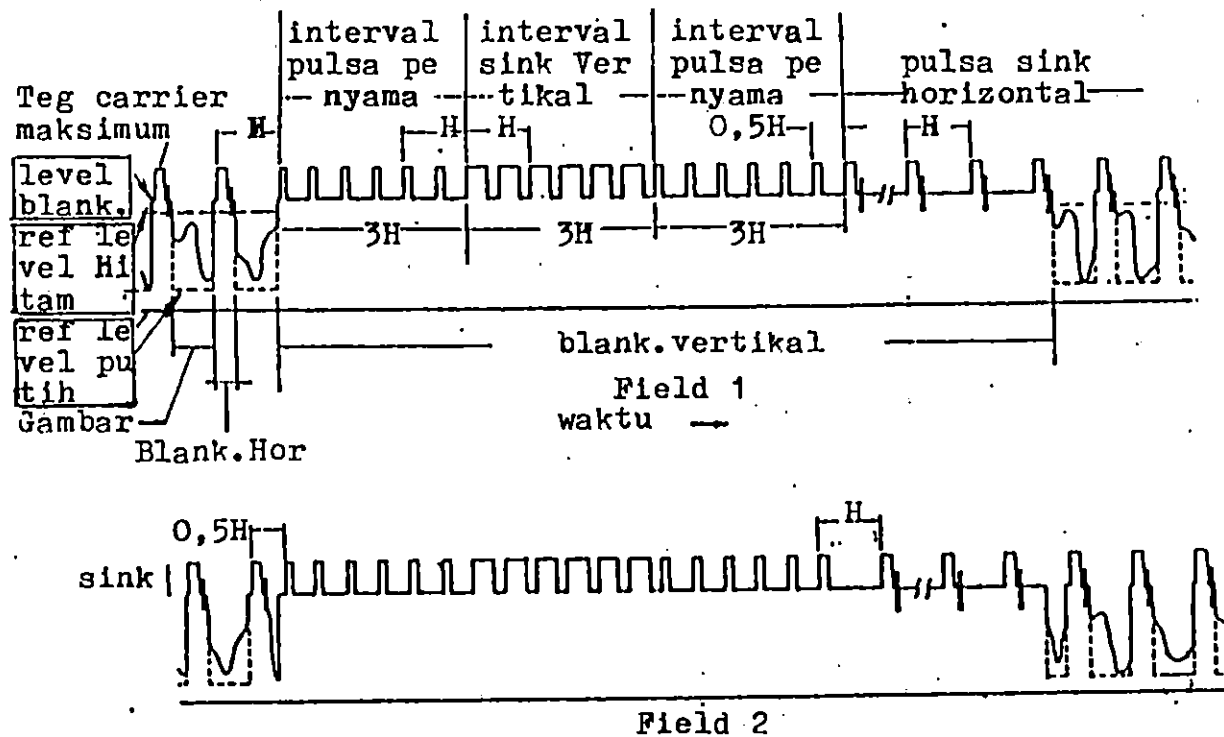
Proses sinkronisasi dalam bentuk kualitas yang stabil dapat diperoleh dengan cara memancarkan satu pulsa sinyal sinkronisasi pada setiap akhir terjadinya suatu proses penelusuran dalam satu bidang gambar. Dengan demikian diper-

lukan tiga macam jenis sinyal sinkronisasi, yang terdiri dari sinyal sinkronisasi horizontal, sinyal sinkronisasi vertikal dan sinyal sinkronisasi equalisasi (penyama). Satu pulsa dari sinyal sinkronisasi horizontal yang dipancarkan berfungsi hanya untuk menyinkronkan antara proses scanning horizontal yang terjadi pada permukaan fosfor tabung gambar agar mempunyai waktu dan kedudukan yang sama pada proses scanning horizontal yang terjadi pada tabung kamera televisi. Sedangkan untuk menyinkronkan proses scanning vertikal, akan dipancarkan satu pulsa yang lain. Untuk mendapatkan kestabilan dari proses scanning yang telah sinkronkan dipancarkan satu pulsa dari sinyal sinkronisasi equalisasi. Ketiga bentuk sinyal sinkronisasi yang terdapat di antara beberapa sinyal yang tergabung dalam sinyal komposit video warna pada saat sinyal video mengalami blangking vertikal, diperlihatkan pada gambar 35 halaman 61.

Untuk mendapatkan keunggulan dari kestabilan sistem interlace scanning, maka pada gambar 35 jelas kelihatan bahwa frekuensi dari pulsa sinyal sinkronisasi equalisasi di buat jauh lebih besar dari pada frekuensi yang terdapat pada pulsa sinyal sinkronisasi horizontal dan vertikal. Dalam hal ini, besarnya frekuensi dari pulsa sinyal sinkronisasi equalisasi di buat dua kali lipat dari pada frekuensi pulsa sinyal sinkronisasi horizontal.

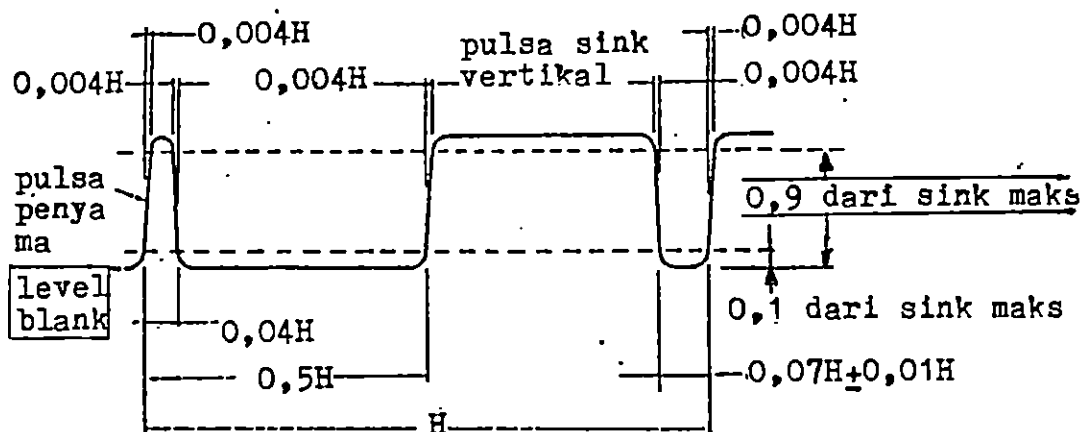
Bentuk sesungguhnya dari pulsa sinyal sinkronisasi bukannya seperti empat persegi panjang, seperti diperlihatkan



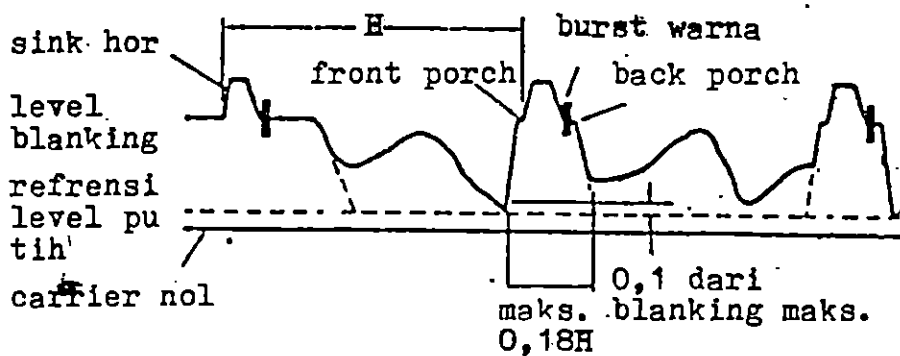


Gambar 35. Bentuk Sinyal Sinkronisasi dalam sinyal komposit video warna pada saat sinyal video mengalami blanking vertikal.

kan pada gambar 35, melainkan mirip dengan bentuk trapesium. Gambar. 36 diperlihatkan bentuk sesungguhnya dari sinyal sinkronisasi yang telah diperbesar (Ennes, op.cit., p 52)



Gambar 36a. Bentuk Sesungguhnya dari Sinyal Sinkronisasi Vertikal dan Equalisasi

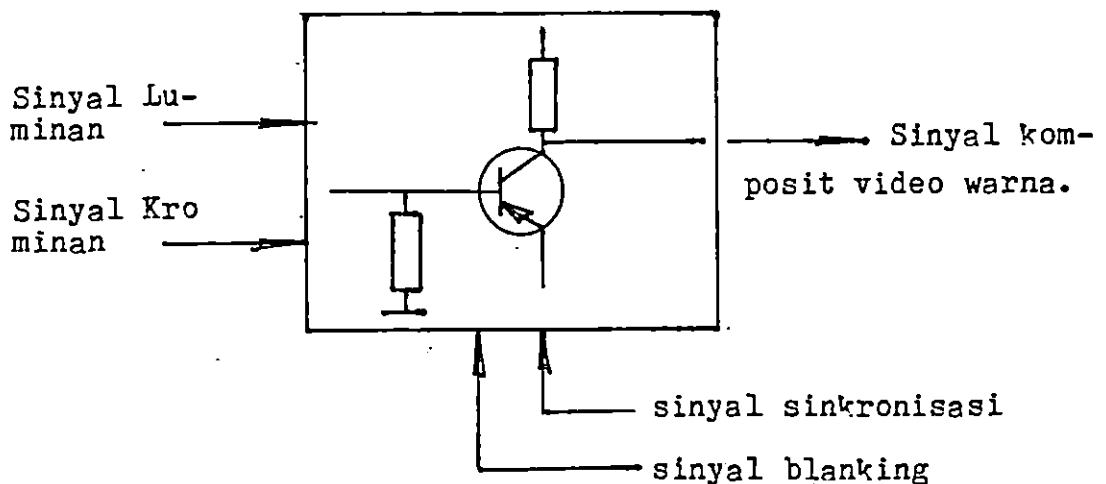


Gambar 36b. Bentuk Sesungguhnya dari Sinyal Sinkronisasi Horizontal.

### G. Rangkaian Penjumlah Sinyal Komposit

Rangkaian penjumlah sinyal komposit merupakan tahap akhir dari proses sinyal video warna primer agar dapat membentuk sinyal komposit video warna.

Sinyal video warna primer yang telah dirobah bentuknya menjadi bentuk sinyal luminan dan sinyal krominan pada proses sebelumnya akan diproseskan lagi dalam blok rangkaian penjumlah sinyal komposit guna dapat membentuk suatu sinyal gabungan. Kemudian sinyal ini akan ditambahkan dengan sinyal sinkronisasi dan blanking agar dapat membentuk sinyal komposit video warna. Gambar 37 diperlihatkan bentuk rangkaian dari penjumlah sinyal komposit video warna.



Gambar 37. Rangkaian Penjumlah Sinyal Komposit.

Pada gambar 37, sinyal luminan dan sinyal krominan dalam bentuk sinyal gabungan dimasukkan ke input rangkaian melalui kaki basis transistor, sedangkan pada kaki emiter dimasukkan sinyal sinkronisasi dan blanking. Pada kaki kolektor transistor yang berfungsi sebagai output rangkaian diperoleh sinyal komposit video warna.

Bentuk persamaan sinyal komposit video warna yang dihasilkan dari rangkaian penjumlah sinyal komposit, ditulis dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 E_{sk} &= E_Y' + E_{Kr}' \\
 &= E_Y' + E_U' \cdot \sin w_p t \pm E_V' \cdot \cos w_p t \\
 &= E_Y' + 0,493(E_B' - E_Y') \cdot \sin w_p t \pm 0,877(E_R' - E_Y') \cdot \cos w_p t
 \end{aligned}$$

## DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Ennes, Harold E. 1971. Television Broadcasting Camera Chains. USA: Howard W Sams & Co. INC.
- Herrick, Clyde. 1973. Colour Television Theory and Servicing. Virginia: Reston Publishing Company, INC.
- King, Gordon J. 1978. Colour Television. London: United Kingdom Butterworth & Co (Publisher) Ltd.
- Rio dan Sawamura. 1981. Teknik Reparasi Televisi Berwarna. Jakarta: P. T. Dainippon Gitakarya Printing.
- Roddy dan Coolen. 1981. Electronic Communications. New Delhi: Prentice-Hald Of India Private Limited.
- Sims, H.V. 1975. Principle Of PAL Colour Television. London : Newness Butterworths.
- Wahid, Wardi. 1978. Televisi Berwarna Suatu Pengantar. Jakarta: Pusdiklat Direktorat Televisi RI.
- Wiono, Kiki. 1981. Pembangkitan Sinyal dan Reproduksi Gambar Televisi Berwarna (Thesis). Jakarta: Universitas Indonesia.

