



# **METODE**

# **PRODUKSI GRAFIKA**

**Sulartopo. S.Pd., M.Kom.**



# **METODE PRODUKSI GRAFIKA**

**Sulartopo. S.Pd., M.Kom.**



**YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK**

**PENERBIT :**  
**YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK**  
**Jl. Majapahit No. 605 Semarang**  
**Telp. (024) 6723456. Fax. 024-6710144**  
**Email : penerbit\_ypat@stekom.ac.id**

## **METODE PRODUKSI GRAFIKA**

### **Penulis :**

Sulartopo, S.Pd., M.Kom.

**ISBN : 9 786239 504298**

### **Editor :**

Dr. Joseph Teguh Santoso, S.Kom., M.Kom.

### **Penyunting :**

Dr. Mars Caroline Wibowo. S.T., M.Mm.Tech

### **Desain Sampul dan Tata Letak :**

Irdha Yudianto

### **Penebit :**

Yayasan Prima Agus Teknik Bekerja sama dengan  
Universitas Sains & Teknologi Komputer (Universitas STEKOM)

### **Redaksi :**

Jl. Majapahit no 605 Semarang

Telp. (024) 6723456

Fax. 024-6710144

Email : [penerbit\\_ypat@stekom.ac.id](mailto:penerbit_ypat@stekom.ac.id)

### **Distributor Tunggal :**

#### **Universitas STEKOM**

Jl. Majapahit no 605 Semarang

Telp. (024) 6723456

Fax. 024-6710144

Email : [info@stekom.ac.id](mailto:info@stekom.ac.id)

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa ijin tertulis dari penerbit

# Kata Pengantar

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena dengan rahmat, karunia, serta taufik dan hidayah-Nya kami dapat menyelesaikan penyusunan buku berjudul **METODE PRODUKSI GRAFIKA** dengan harapan untuk dapat dipergunakan oleh kalangan para akademisi.

Tujuan utama penyusunan buku ini adalah untuk memudahkan mahasiswa dalam memahami dan menguasai dasar-dasar ilmu mengenai media cetak maupun produksi cetak. Buku teks ini memberikan gambaran tentang proses produksi digital image, sehingga memudahkan para mahasiswa untuk memahami apa yang disampaikan pada buku ini serta bagi pendidik dapat menunjang untuk proses kegiatan belajar mengajar.

Semoga buku ini dapat dipahami bagi siapapun yang membacanya. Sekiranya buku yang telah disusun ini dapat berguna bagi kami sendiri maupun orang yang membacanya. Sebelumnya kami mohon maaf apabila terdapat kesalahan kata-kata yang kurang berkenan dan kami memohon kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa depan.

Semarang, Desember 2020

**Sulartopo, S.Pd., M.Kom.**

Penulis

# DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>iv</b>
<b>KAMERA DIGITAL DAN SCANNER.....</b>	<b>1</b>
1. Kamera foto digital .....	1
2. Arsitektur kamera foto digital.....	2
3. Pencitraan Optik.....	4
4. Sensor Image.....	8
5. Sistem Shutter .....	11
6. Dynamic range pada kamera digital .....	13
7. Colour capture.....	15
8. Kamera Three-sensor .....	15
9. Kamera Sequential colour.....	16
10. Kamera CFA (Colour filter array) .....	16
11. Super CCD™ .....	18
12. Sensor Foveon™ .....	19
13. Proses Rendering kamera dan tanpa rendering.....	21
14. Menentukan Eksposur dan auto-eksposur .....	22
15. Kontrol Autofokus .....	23
16. Proses Analog .....	24
17. Proses Digital .....	24
18. Colour demosaicing .....	25
19. Setting white balance .....	27
20. Digital zoom, resizing dan cropping.....	29
21. Noise reduction .....	30
22. Sharpening .....	31
23. Tone/Colour rendering.....	32
24. Tipe Kamera.....	32
25. Compact digital camera (Kamera digital compact) .....	34
26. Bridge digital cameras (Kamera digital Bridge).....	35
27. Kamera DSLR (Digital-single-lens-reflex) .....	36
28. Kamera digital dan kamera punggung untuk format sedang dan besar .....	37

29. Specialist digital camera (Kamera digital spesialis) .....	38
30. Image Scanner.....	39
<b>JENIS SCANNER.....</b>	<b>43</b>
31. Drum Scanner .....	43
32. Flatbed scanner .....	44
33. Film scanner.....	46
34. Flextight scanner.....	47
35. Multi-spectral scanner.....	48
<b>KARAKTERISTIK SCANNER.....</b>	<b>49</b>
36. Sampling dan resolusi .....	49
37. Dynamic range .....	50
38. Bit Depth.....	52
39. Scanning Speed.....	53
40. Image Transfer .....	53
41. Scanner driver .....	54
<b>DISPLAY (TAMPILAN).....</b>	<b>56</b>
42. Pengantar.....	56
43. Display Image .....	56
44. Display CRT (Chatode ray tube) .....	56
45. Display LCD (Liquid crystal display).....	63
<b>TEKNOLOGI DISPLAY LAINNYA .....</b>	<b>69</b>
46. PDP (Plasma Display Panel).....	69
47. OLED (Organic light-emitting display).....	69
48. Display fleksibel .....	70
<b>KARAKTERISTIK DISPLAY .....</b>	<b>72</b>
49. Refresh rate dan waktu respon.....	72
50. Resolusi.....	73
51. Luminance.....	75
52. Rasio kontras.....	75
53. Viewing angle .....	76

54. Warna.....	78
55. Artefak Display.....	79
56. Efek pada viewing condition .....	81
<b>DIGITAL PRINTING DAN BAHAN .....</b>	<b>82</b>
57. Teknologi Printing .....	82
57.1. Printer Inkjet .....	82
57.2. Printer Elektrografis.....	87
58. Termografi .....	90
59. Piktografi.....	93
60. Media Percetakan dan propertinya.....	94
61. Kertas untuk Inkjet Printing.....	95
62. Tinta untuk Inkjet Printing.....	96
63. Bahan Toner.....	97
64. Warna, resolusi dan output .....	97
65. Half-toning dan dithering.....	98
66. Resolusi.....	101
67. Mesin Cetak .....	103
68. Relief Printing.....	104
69. Planografi Printing (atau litografi).....	104
70. Recess Printing.....	105
71. Through printing .....	106
<b>BIBLIOGRAFI .....</b>	<b>107</b>

# KAMERA DIGITAL DAN SCANNER

## 1. Kamera foto digital

sistem fotografi silver halida konvensional menghasilkan gambar dengan merekam fungsi intensitas cahaya sebagai gambar laten, yang merupakan perubahan kimiawi yang diinduksi cahaya dalam emulsi silver halida. Gambar dibuat terlihat dan disimpan secara permanen sebagai hasil pengembangan dan fiksasi film; Oleh karena itu, sensor gambar dalam sistem kamera halida perak juga merupakan media penyimpanan. Setiap gambar memerlukan sensor gambar terpisah (frame film) dan karakteristik bahan pencitraan dapat diubah dari frame ke frame dengan mengubah emulsi fotografis.

Dalam sistem kamera elektronik, sensor gambar mengubah fungsi intensitas cahaya menjadi sinyal elektronik. Prosesnya berbeda secara mendasar dari sistem halida perak di mana sensor gambar hanya merupakan perangkat penangkap dan konversi dan merupakan komponen kamera yang tetap secara permanen. Oleh karena itu, kamera memerlukan perangkat penyimpanan terpisah selain sensor gambar. prototipe kamera foto elektronik pertama, Mavica, diumumkan oleh Sony pada bulan Agustus 1981. Kamera elektronik awal tersebut adalah perangkat analog, yang menyimpan gambar berfungsi sebagai sinyal video pada beberapa jenis media penyimpanan elektromagnetik. Kamera foto digital (DSC) juga mengandalkan sensor yang mengubah fungsi intensitas cahaya menjadi sinyal elektronik, tetapi mereka mengeluarkan sinyal digital dengan melewatkannya melalui konverter analog-ke-digital (ADC). Sinyal tersebut kemudian dikodekan dan disimpan pada beberapa bentuk perangkat penyimpanan digital.

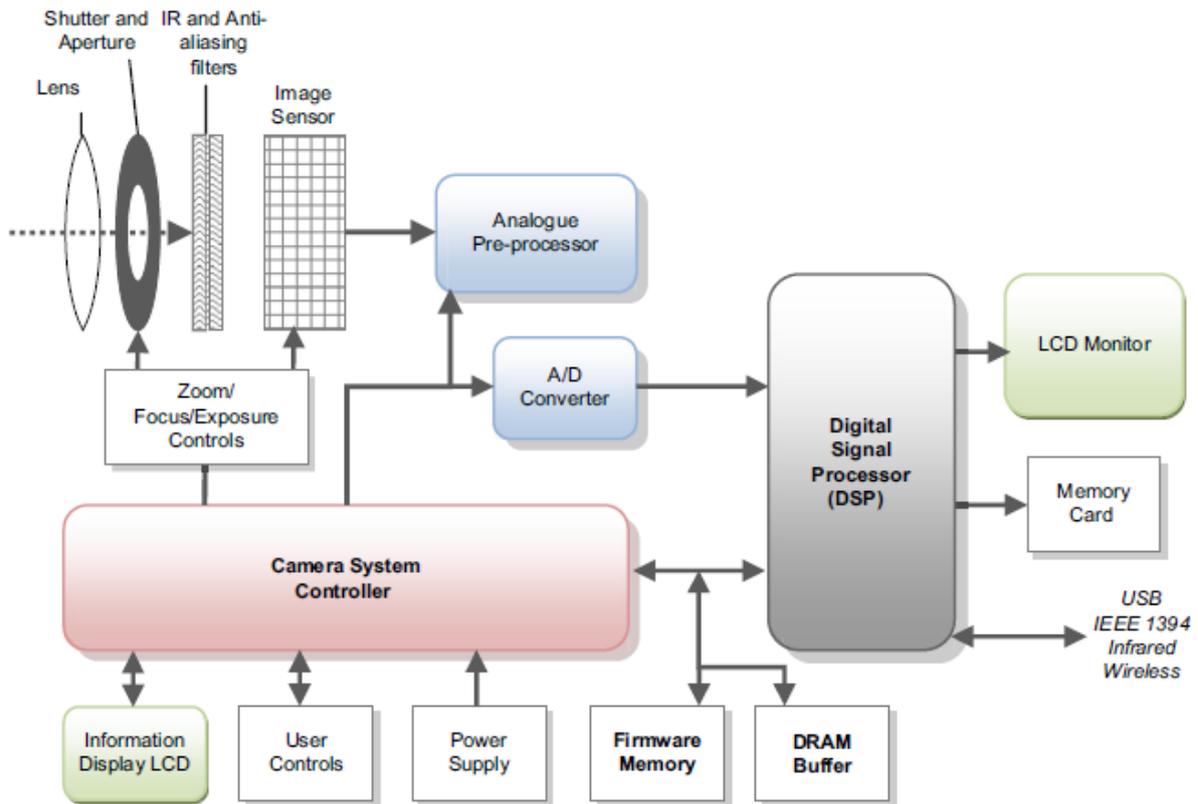
Karena kamera digital memiliki sensor tetap, maka penting untuk dapat mengubah berbagai karakteristik sensor, seperti sensitivitasnya (setara dengan kecepatan film ISO) dan responsnya terhadap iluminan dengan karakteristik spektrum berbeda (setara dengan keseimbangan warna film). Ini dicapai dengan memanipulasi sinyal keluaran baik sebelum atau sesudah konversi analog-ke-digital.

Banyak fungsi, fitur, dan arsitektur kamera foto digital yang mirip dengan kamera film konvensional. Mereka terdiri dari sistem lensa, shutter dan jendela bidik, sashutter untuk menentukan pencahayaan, pemfokusan, fitur otomatis, dan tampilan data.

## **2. Arsitektur kamera foto digital**

Ada banyak jenis kamera digital yang berbeda. Kategori utama desain kamera, yang dapat diklasifikasikan secara luas berdasarkan format gambar dan fitur kamera, akan dijelaskan nanti di bab ini. Diagram blok dari arsitektur generik kamera foto digital diilustrasikan pada Gambar 14.1. Banyak komponen mekanis dan optik kamera digital mungkin serupa dengan analognya yang setara, terutama pada kamera refleksi lensa tunggal (SLR) digital. Karakteristik kamera digital ditentukan oleh kombinasi perangkat keras (sensor, dan komponen optik dan mekanis), firmware kamera, pengontrol sistem kamera, dan algoritme pemrosesan gambar yang diterapkan dalam prosesor sinyal digital (DSP).

Perangkat lunak dalam DSP cenderung menyediakan pemrosesan gambar dengan level lebih tinggi, yang mungkin dipengaruhi oleh pengaturan pengguna, beberapa di antaranya mungkin dilewati jika mengambil gambar RAW. Sebaliknya, firmware kamera adalah perangkat lunak yang disematkan dalam memori kamera read-only, yang sering kali menyediakan pemrosesan tingkat rendah, tetapi penting untuk fungsi dasar kamera. Program firmware mengontrol mikroprosesor dan sirkuit, yang pada gilirannya mengontrol, misalnya layar LCD, fungsi fokus otomatis, sensor dan penyangga, maka koneksi langsung dengan pengontrol sistem kamera ada di Gambar 14.1. Pembaruan firmware sering kali dirilis oleh produsen kamera untuk meningkatkan kinerja atau menambah fungsionalitas.



Gambar 14.1 Diagram blok kamera foto digital generik.

Arsitektur kamera secara luas dapat dibagi menjadi tiga subsistem. Subsistem optik dan mekanis menentukan bagaimana pemandangan asli ditangkap; struktur ini sering kali serupa dengan yang ada pada sistem kamera berbasis film, dengan beberapa perbedaan kecil. Front-end analog terdiri dari sensor gambar, pra-prosesor analog dan ADC, yang menangkap dan memproses sinyal analog sebelum mengubahnya menjadi sinyal digital untuk diproses lebih lanjut. Digital back-end terdiri dari DSP, pengontrol sistem kamera, Layar LCD dan berbagai komponen lainnya. Sirkuit digital menerapkan berbagai proses gambar dan kompresi gambar jika diperlukan, sebelum menyimpan gambar dalam format yang sesuai (lihat Bab 17 dan 29 untuk informasi tentang format file yang digunakan dalam kamera digital dan metode kompresi). Umumnya, gambar yang diproses akan disimpan di kartu memori yang dapat dilepas. Mereka juga dapat diunduh langsung ke komputer melalui universal serialbus (USB) atau antarmuka lainnya.

Pencahayaan otomatis, fokus otomatis (AF), dan kontrol keseimbangan putih otomatis dilakukan oleh pengontrol sistem kamera berdasarkan sinyal gambar yang dihasilkan di DSP saat shutter ditekan setengah. Dalam kamera digital kompak, sinyal ini biasanya

berasal dari sensor gambar. SLR digital mungkin memiliki sensor terpisah untuk AF dan eksposur otomatis.

Kontrol kamera yang tersedia untuk pengguna akan bergantung pada jenis kamera. SLR digital, misalnya, mungkin serupa dalam desain dan pemosisian kontrol eksternal untuk film SLR yang setara oleh pabrikan yang sama. LCD tampilan informasi digunakan untuk menerapkan banyak pengaturan kamera, termasuk resolusi gambar, metode kompresi, ruang warna pengambilan, keseimbangan putih, dan fitur-fitur seperti reduksi mata merah.

Banyak DSC memiliki jendela bidik elektronik dalam bentuk layar LCD transistor film tipis serta jendela bidik optik, meskipun beberapa kamera hanya memiliki jendela bidik elektronik. Untuk keperluan pemframean dan pemfokusan, saat shutter ditekan setengah, gambar sub-sampel diambil, diproses dan disimpan dalam buffer dynamic random access memory (DRAM) dan output thumbnail ke layar LCD, untuk tinjauan instan.

Namun, dalam SLR digital, layar LCD hanya memutar ulang gambar yang diambil dan tidak berfungsi sebagai jendela bidik. Resolusi gambar yang rendah dan fakta bahwa gambar sering dilihat dalam kondisi pencahayaan sekitar yang cerah dapat menjadi masalah dalam mengevaluasi eksposur gambar dan reproduksi warna, meskipun resolusi dan rendering warna dari tampilan LCD tersebut telah meningkat dalam beberapa tahun terakhir. Banyak kamera memiliki ketentuan untuk tampilan opsional dari histogram gambar bersama versi yang diperkecil dari gambar yang diambil. Ini memberikan metode evaluasi eksposur yang jauh lebih akurat dan memungkinkan pengguna untuk mengidentifikasi sorotan atau bayangan yang terpotong dan menyesuaikan eksposur untuk mengimbangnya. Selain itu, beberapa kamera memungkinkan tampilan warna yang tidak sesuai atau area sorotan atau bayangan yang terpotong pada gambar itu sendiri (disebut peringatan gamut; piksel biasanya akan ditutupi dengan warna tertentu yang sangat jenuh).

### **3. Pencitraan Optik**

Imaging optic terdiri dari lensa pencitraan, pemfilteran inframerah (IR), dan filter lintasan rendah optik.

Pembaca harus mengacu pada Bab 6 untuk memperoleh pemahaman tentang optik geometris, dan Bab 10 untuk desain dan karakteristik lensa. Namun demikian, ada gunanya meringkas di bawah ini beberapa poin penting tentang lensa untuk kamera digital.

Sensor digital saat ini, dalam sebagian besar kasus, memiliki dimensi yang lebih kecil daripada format film utama. Panjang fokus lensa yang diperlukan untuk memberikan bidang pandang ‘standar ‘ (sudut sekitar 50; lihat Bab 6) kira-kira sesuai dengan diagonal sensor dan oleh karena itu panjang fokusnya jauh lebih pendek daripada untuk format film yang setara. Elemen lensa asferis dan bahan dengan indeks bias tinggi digunakan untuk menghasilkan lensa yang lebih kecil, terutama untuk kamera saku. Banyak kamera digital (hampir semua kamera digital konsumen) menggunakan lensa zoom. Dalam film compact, lensa zoom biasanya memiliki desain retrofokus (lihat Bab 10). Sensor gambar digital yang dilengkapi dengan lensa mikro (lihat Bab 9) mensyaratkan sudut sinar cahaya yang keluar dari pupil hampir sejajar. Untuk lensa zoom, ini harus diterapkan di seluruh rentang panjang fokus. Konfigurasi kelompok elemen lensa dibalik dibandingkan dengan lensa fokus retro; ini dikenal sebagai lensa telecentric.

Sensor kecil dan panjang fokus yang lebih pendek menghasilkan kedalaman fokus yang kecil dan depth of field yang jauh lebih besar. Hal ini terutama berlaku untuk compact digital, di mana dimensi sensornya paling kecil, yang berarti mungkin sulit untuk mengisolasi subjek menggunakan depth of field yang dangkal.

Dalam banyak kasus, lensa yang digunakan dalam kamera refleksi lensa tunggal (SLR) film dapat ditransfer ke SLR digital. Namun demikian, jika ukuran sensor lebih kecil seperti yang dijelaskan di Bab 9, panjang fokus efektifnya akan bertambah, karena sensor tersebut menggambarkan area yang lebih kecil dari bagian tengah gambar.

Perubahan panjang fokus ini sering kali digambarkan sebagai ‘panjang fokus efektif ‘ atau sebagai ‘panjang fokus setara ‘ (relatif terhadap kamera 35mm full-frame). Hubungan juga dapat dinyatakan sebagai ‘faktor tanaman ‘ (kadang-kadang disebut ‘pengganda panjang fokus’), yang digunakan untuk mengalikan panjang fokus lensa untuk menemukan panjang fokus yang setara. Faktor krop (CF) paling sering dihitung dengan:  $CF = \frac{\text{diagonal } 35\text{mm}}{\text{sensor diagonal}}$ . Faktor krop dan panjang fokus ekuivalen untuk rentang lensa untuk sensor gambar 1,8, tipikal dari tipe yang digunakan pada sejumlah kamera SLR digital semi-profesional yang tersedia saat ini, diberikan pada Tabel 14.1.

Jelas dari tabel bahwa apa yang akan menjadi lensa ‘standar ‘ pada frame 35mm (panjang fokus 50 mm) menjadi lensa telefoto dengan sensor 1,8, karena hanya akan mencitrakan area dari area tengah frame, dan karena itu sudut pandang bidang berkurang. Untuk mencapai sudut pandang bidang yang serupa dengan lensa standar dengan sensor

membutuhkan panjang fokus yang jauh lebih pendek antara 24 dan 35 mm, yang mendekati dimensi diagonal sensor.

Ini berdampak pada gambar: Pertama, pencitraan dari bagian tengah lensa dapat mengurangi beberapa efek distorsi sebagai akibat dari penyimpangan lensa, yang lebih buruk di dekat pinggiran. Kedua, pemframean gambar yang sama diinginkan pada film frame penuh dan sensor gambar yang lebih kecil dapat dicapai dengan dua cara: lensa dengan panjang fokus yang lebih pendek dapat digunakan dengan sensor gambar yang lebih kecil, yang akan menghasilkan panjang fokus ekuivalen yang sama; atau jika menggunakan lensa yang sama pada keduanya, kamera dengan sensor yang lebih kecil akan lebih jauh dari subjek. Dalam kedua kasus, pada aperture yang sama, depth of field pada gambar akan lebih besar untuk gambar yang dihasilkan dengan sensor yang lebih kecil (lihat Gambar 6.10).

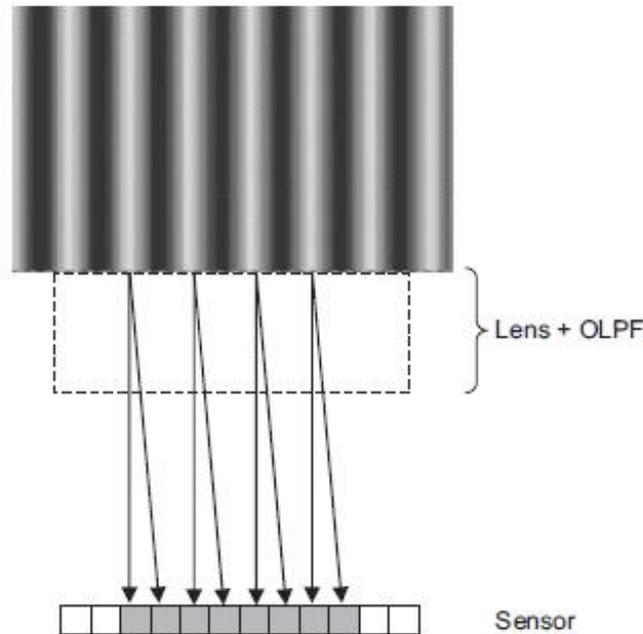
Berbagai permukaan dalam sistem optik memantulkan cahaya, menghasilkan hilangnya artefak kontras dan ghosting, yang diminimalkan dengan menggunakan lapisan anti-pantulan pada elemen lensa. Masalahnya lebih parah pada kamera digital, karena permukaan sensor yang sangat reflektif dan elemen tambahan seperti filter IR (lihat di bawah). Selain itu, bahan dengan indeks bias tinggi yang digunakan dalam elemen lensa menghasilkan peningkatan refleksi. Faktor-faktor ini memerlukan pelapis anti-refleksi multi-layer yang lebih baik untuk lensa digital dan berarti bahwa beberapa penurunan kualitas gambar mungkin terlihat saat menggunakan lensa yang dirancang untuk kamera film.

Seperti dijelaskan dalam Bab 9, sensitivitas IR inheren dari sensor gambar mengharuskan penggunaan filter IR, yang pada sebagian besar kasus merupakan filter absorpsi, meskipun filter refleksi IR dan filter absorpsi dan refleksi gabungan kadang-kadang digunakan. Filter IR biasanya diposisikan di belakang lensa pencitraan, tetapi dapat dipasang langsung ke lensa. Filter dapat dilepas dalam jangkauan terbatas SLR digital. Pembuangan ini adalah prosedur yang rumit, di mana perawatan harus dilakukan untuk menghindari kerusakan pada sensor dan penumpukan debu di badan kamera. Bersamaan dengan kamera digital IR high-end spesialis yang dikembangkan untuk digunakan dalam aplikasi ilmiah, beberapa produsen kamera utama yang lebih besar juga telah merilis versi SLR digital mereka tanpa filter IR untuk aplikasi pencitraan ilmiah dan terapan.

**Tabel 14.1 Panjang fokus setara untuk lensa yang digunakan dengan sensor yang lebih kecil dari format frame penuh 35mm (24x36mm)**

<b>FORMAT SENSOR (lihat tabel 14.2 untuk dimensi sensor)</b>	<b>DIAGONAL FULL FRAME 35( MM)</b>	<b>DIAGONAL SENSOR (MM)</b>	<b>FAKTOR CROP (focal length multiplier)</b>	<b>FOCAL LENGTH LENSA (MM) (pada full frame 35mm)</b>	<b>EKUIVALEN FOCAL LENGTH (MM)</b>
1.8	43.3	26.7	1.6	24	38.4
				35	56
				50	80
				105	168
				200	320

Filter low-pass optik (OLPF), kadang-kadang disebut filter anti-aliasing, digunakan untuk melemahkan frekuensi di luar batas Nyquist sensor, untuk mencegah aliasing (lihat Bab 7). Itu diposisikan tepat di depan sensor gambar. Filter paling sering dibuat dari bahan birefringent, biasanya kuarsa, meskipun kalsit dan lithium niobate juga digunakan. Pelat tipis dari bahan tersebut diapit menjadi satu. Bahan bias ganda memiliki dua indeks bias, yang bergantung pada polarisasi dan arah perjalanan sinar cahaya melalui bahan (lihat Bab 2). Ketika sinar datang memasuki materi, sinar itu terbagi menjadi dua sinar, yang dibiarkan dengan jumlah yang berbeda dan karenanya muncul dengan pemisahan kecil. Akibatnya, sebuah titik cahaya menjadi sedikit kabur pada satu arah. Setiap pelat tipis akan memisahkan sinar ke arah yang berbeda. Dengan menggabungkan beberapa pelat yang berbeda, beberapa gambar dari titik yang sama akan dihasilkan, diburamkan ke arah yang berbeda. Jenis yang paling umum adalah filter anti-aliasing fourspot, yang menghasilkan empat gambar titik yang terpisah. Pemisahan antar titik ditentukan oleh ketebalan setiap pelat. Untuk mencegah aliasing, seberkas cahaya harus dipisahkan sehingga kedua sinar tersebut jatuh pada piksel yang berurutan. Jika sinusoid dicitrakan pada frekuensi Nyquist, setiap titik akan diburamkan pada dua piksel, sehingga menghasilkan modulasi nol (Gambar 14.2).



Gambar 14.2 Hasil penggunaan filter anti-aliasing empat titik pada gambar sinusoid pada frekuensi Nyquist sensor. Pencahayaan di setiap puncak sinusoid dicitrakan pada dua piksel berturut-turut, yang berarti bahwa setiap piksel menerima jumlah cahaya yang sama, menghasilkan modulasi nol.

Kombinasi ukuran sensor yang lebih besar dengan jarak piksel yang sangat kecil yang sekarang tersedia membutuhkan lensa dengan daya penyelesaian yang lebih tinggi daripada yang diperlukan untuk sistem berbasis film. Hal ini terutama berlaku untuk lensa yang akan digunakan dengan punggung digital format lebih besar. Modulation transfer function (MTF) (lihat Bab 7, 19 dan 24) imaging optic adalah produk MTF lensa pencitraan dan MTF OLPF (juga MTF komponen pencitraan lainnya seperti lensa mikro sensor jika mereka digunakan). Lensa harus dirancang untuk memastikan kinerja yang baik pada frekuensi di bawah dan dekat dengan Nyquist. Ini membutuhkan level MTF yang wajar pada rentang frekuensi hingga 80% dari frekuensi Nyquist. Lensa dengan resolving power yang tinggi diperlukan untuk mencapai ini; oleh karena itu, MTF lensa biasanya akan memiliki frekuensi cut-off yang lebih tinggi daripada frekuensi Nyquist sensor.

#### 4. Image Sensor (Sensor Gambar)

Sensor perangkat berpasangan-biaya (CCD) dan sensor semikonduktor oksida logam komplementer (CMOS) digunakan dalam kamera foto digital. Bab 9 membahas struktur dan karakteristik kedua jenis sensor secara rinci. Sampai saat ini CCD menjadi dominan, tetapi kamera dengan sensor CMOS sekarang menjadi lebih luas. Ada banyak variasi dalam ukuran sensor, jarak piksel, dan jumlah piksel, yang menghasilkan beragam desain kamera.

Jika kamera film diklasifikasikan ke dalam tiga jenis utama, yang didasarkan pada format gambar yang umum, kamera digital dengan desain setara yang sama mungkin sangat berbeda dalam hal ukuran dan resolusi sensor. Tabel 14.2 memberikan beberapa contoh variasi dimensi dan jenis sensor yang saat ini tersedia dalam berbagai kamera foto digital.

<b>Tabel 14.2 Dimensi sensor dan format yang umumnya digunakan dalam kamera foto digital</b>						
<b>FORMA R SENSOR</b>	<b>HORIS ONTAL (MM)</b>	<b>VERTI KAL (MM)</b>	<b>DIAGONAL (MM)</b>	<b>ASPEK RASIO</b>	<b>TIPE SENSOR</b>	<b>TIPE KAMERA</b>
<b>Sensor digital : Pasar konsumen</b>						
1/5	2.6	1.9	3.2	4:3	CMOS	Mobile Phone
1/2.7	5.4	4.0	6.7	4:3	CDD/CMOS	Compact
1/2	6.4	4.8	8.0	4:3	CDD/CMOS	Compact
1/1.8	7.2	5.3	8.9	4:3	CDD/CMOS	Compact
2/3	8.8	6.6	11.0	4:3	CDD/CMOS	Compact
1	12.8	9.6	16.0	4:3	CDD/CMOS	Compact
1.8	22.2	14.8	26.7	3:2	CMOS	SLR
1.8	23.7	15.7	28.4	3:2	CDD	SLR
<b>Sensor digital : pasar profesional</b>						
35 mm	3.6	24.0	43.3	3:2	CMOS	Scanning back
Format belakang sedang/besar	36.9	36.9	52.2	1:1	CDD	Scanning back
Format belakang sedang/besar	48.0	36.0	60.0	4:3	CDD	Scanning back
Format belakang	49.0	36.9	61.0	4:3	Trilinier array CCD	Scanning back

sedang/be sar						
Format belakang besar	96.0	72.0	120.0	4:3	Trilinier array CCD	
Format belakang besar	100.0	84.0	130.6	4:3	Trilinier array CCD	Scanning back

Istilah format full-frame dalam deskripsi tipe kamera pada Tabel 14.2 tidak mengacu pada arsitektur pembacaan sensor (lihat Bab 9 dan di bawah untuk informasi tentang arsitektur sensor). Dalam kasus ini, ini adalah istilah yang umum digunakan dalam komunitas pencitraan untuk mendeskripsikan kamera dengan sensor yang memiliki dimensi yang sama dengan sistem berbasis film yang setara. Beberapa SLR digital kelas atas dan punggung format menengah memiliki ukuran sensor yang setara, sedangkan sebagian besar kamera digital bergantung pada sensor yang lebih kecil dari format film yang sesuai.

Untuk kamera saku, dimensi sensor kecil sebenarnya tidak menjadi masalah. Pada saat penulisan, ada ukuran piksel yang tersedia di kamera konsumen 1.4mm atau kurang, menghasilkan sensor yang berisi 10-12 juta piksel. Resolusi kamera ini lebih dari cukup untuk menghasilkan gambar untuk disaring atau dicetak. Kerugian menggunakan piksel yang lebih kecil, seperti yang dijelaskan nanti di bab ini, adalah lebih banyak noise, sehingga rasio signal-to-noise lebih rendah (faktor pengisian piksel lebih rendah) dan dynamic range berkurang dibandingkan dengan sensor yang menggunakan piksel lebih besar. Selain itu, tingkat noise yang lebih tinggi memerlukan lebih banyak pemrosesan pengurangan noise di DSP, yang sering kali mengurangi sharpness pada gambar akhir. Namun demikian, sensor kecil memungkinkan penggunaan lensa dengan panjang fokus yang lebih pendek dan karenanya memfasilitasi desain kamera yang lebih ringkas. Sebuah sensor 2/3 inci, misalnya, dengan dimensi 6,6×8,8 mm, memiliki diagonal hanya 11 mm, yang menunjukkan panjang fokus yang mendekati nilai ini untuk bidang pandang standar sekitar 50°.

Seperti dijelaskan sebelumnya, untuk kamera dengan lensa yang dapat dilepas, terdapat keuntungan yang signifikan dalam menggunakan ukuran sensor yang setara dengan format film yang relevan, karena lensa yang digunakan dalam sistem berbasis film kemudian dapat ditransfer ke sistem kamera digital, dan panjang fokus dan karakteristik depth of field akan sama untuk kedua sistem. Tentu saja, keuntungan utama lainnya dengan area penginderaan yang lebih besar adalah ruang untuk lebih banyak piksel. Kenaikan biaya produksi sensor yang lebih besar berarti bahwa kamera full-frame adalah sistem profesional resolusi tinggi di atas kisaran harga untuk setiap format.

## **5. Sistem Shutter**

Metode yang digunakan untuk mengontrol waktu eksposur di DSC bergantung pada jenis sensor dan arsitektur pembacaan sensor. Perbedaan utamanya adalah dalam penggunaan shutter mekanis (biasanya bidang fokus) atau shutter elektronik

Seperti dijelaskan di Bab 9, beberapa arsitektur pembacaan digunakan dalam sensor gambar CCD. CCD frame penuh (Gambar 9.10a) adalah yang paling sederhana dalam desain, menggunakan sebagian besar area chip untuk penginderaan gambar, setelah itu muatan dibaca baris demi baris ke dalam register CCD serial horizontal. Frame-transfer CCDs, digambarkan pada Gambar 9.10b, terdiri dari area penginderaan gambar yang mirip dengan array full-frame, tetapi memiliki area penyimpanan muatan yang terlindung dari cahaya, di mana muatan disimpan sebelum dibaca. CCD transfer interline memiliki strip terlindung untuk pembacaan muatan vertikal antara strip piksel (Gambar 9.10d). Muatan dibaca ke dalam strip ini setelah periode integrasi dan dibaca baris demi baris ke dalam register CCD serial horizontal saat gambar berikutnya sedang diambil. Metode keempat adalah kombinasi dari dua metode lainnya, CCD frame-interline.

Dalam kasus CCD full-frame, area fotosensitif harus benar-benar terlindung dari cahaya selama pembacaan, jika tidak, pembawa muatan yang dibangkitkan cahaya akan terus terakumulasi saat muatan dipindahkan dari sensor, menghasilkan noda noda. Oleh karena itu, shutter mekanis harus digunakan. Sensor CCD full-frame adalah tipikal dari SLR digital profesional, yang cenderung dibuat serupa dengan padanan berbasis filmnya dan oleh karena itu menyertakan penutup mekanis dengan desain serupa (lihat Bab 11 untuk detail tentang sistem shutter mekanis).

Banyak kamera konsumen menggunakan CCD transfer antar baris (ITCCD). Ada dua metode untuk membaca sinyal dari CCD ini, dengan pemindaian progresif, di mana seluruh muatan ditransfer ke register geser vertikal secara bersamaan, atau dengan pemindaian terjalin, di mana garis horizontal ganjil dan genap dibaca secara terpisah. Dalam kasus pemindaian interlace, periode integrasi untuk semua piksel dimulai pada titik yang sama, tetapi bidang ganjil dan genap dibacakan secara berurutan setelah periode integrasi berakhir. Ini membutuhkan penggunaan shutter mekanis untuk melindungi sensor dari cahaya selama periode pembacaan. Pembacaan ITCCD oleh pemindaian progresif tidak memerlukan pelindung dan oleh karena itu dapat menggunakan penutup elektronik. Setelah pemaparan, pulsa gerbang transfer diterapkan ke elektroda vertikal dan sinyal dibaca. Perbedaan waktu antara awal integrasi dan titik di mana pulsa gerbang transfer diterapkan menjadi kecepatan rutter. Penggunaan shutter elektronik memiliki beberapa keuntungan: tidak mengalami keausan atau keakuratan shutter mekanis dan shutter speed dapat dikontrol dengan lebih tepat. Hal ini memungkinkan penggunaan shutter speed yang jauh lebih tinggi (shutter kecepatan super tinggi 1/10.000 detik dimungkinkan) daripada yang dapat dicapai dengan menggunakan shutter mekanis. Namun, ini harus diimbangi dengan inefisiensi dalam hal area penginderaan gambar menggunakan CCD transfer interline sebagai lawan dari CCD full frame atau frame-transfer. Ruang ekstra yang diperlukan untuk area pembacaan muatan vertikal mengurangi potensi faktor pengisian piksel.

Ada juga arsitektur pembacaan yang mungkin berbeda untuk sensor gambar CMOS. Arsitektur pembacaan seri piksel memilih piksel satu per satu demi baris dan kolom dan membacanya serta memprosesnya secara berurutan, memungkinkan pengalamatan X-Y penuh. Pembacaan paralel kolom, yang digunakan di sebagian besar sensor gambar CMOS, membaca piksel dalam satu baris secara bersamaan dan memproses seluruh baris (misalnya, menekan noise pola tetap dan menerapkan ADC) secara paralel. Pembacaan paralel piksel melakukan pemrosesan sinyal pada setiap piksel secara paralel menggunakan elemen prosesor yang terdapat dalam piksel, dan kemudian mentransfer kumpulan sinyal terkompresi untuk semua piksel secara bersamaan. Konfigurasi piksel dalam sensor paralel piksel jauh lebih kompleks dan pikselnya lebih besar. Oleh karena itu, metode ini tidak digunakan di sebagian besar kamera foto digital, tetapi terbatas pada aplikasi spesialis berkecepatan tinggi. Sensor CMOS memerlukan pemindaian ulang di mana pulsa shutter memindai array piksel sebelum pembacaan. Pulsa shutter sesuai dengan awal eksposur, yang diselesaikan saat piksel dibacakan. Ini adalah bentuk shutter bergulir elektronik.

Karena ini menggeser waktu pencahayaan di antara piksel, ini tidak sesuai untuk menangkap gambar diam. Oleh karena itu, shutter mekanis umumnya digunakan untuk mengontrol eksposur di DSC menggunakan sensor CMOS. Dalam hal ini pulsa reset selesai dalam waktu yang relatif singkat atau bersamaan; kemudian eksposur dimulai dan diselesaikan saat shutter mekanis ditutup.

## **6. Dynamic range pada kamera digital**

Seperti dijelaskan di Bab 12, eksposur optimal bergantung pada hubungan antara rentang pencahayaan subjek dan dynamic range kamera. Hal ini juga bergantung pada konten pemandangan dan niat fotografer, untuk menentukan area pemandangan mana yang paling penting dalam gambar dan memerlukan reproduksi nada yang optimal, mungkin dengan mengorbankan area lain.

Dynamic range sensor, sebelum konversi analog-ke digital, ditentukan oleh rasio antara kapasitas sumur penuh piksel (tingkat saturasi, atau jumlah maksimum elektron yang dapat ditangkap piksel) dan lantai noise (minimum muatan terdeteksi di atas gangguan sensor), diberikan dalam Ekuasi 9.1. Kapasitas sumur penuh terkait dengan ukuran piksel, yang berarti bahwa sensor dengan piksel lebih besar (misalnya, yang berada di SLR digital dibandingkan dengan kamera saku) akan memiliki kapasitas yang lebih besar dan oleh karena itu potensi dynamic range yang lebih tinggi. Lantai noise tergantung pada jenis sensor dan sangat bervariasi.

Kekasaran kuantisasi dalam konversi analog-ke-digital merupakan faktor pembatas dalam dynamic range. Ketepatan konverter menentukan jumlah maksimum level yang dapat direproduksi dan oleh karena itu dynamic range maksimum teoritis tanpa batasan noise. Dalam sebuah file RAW 10-, 12- atau 14-bit kuantitas linier yang tidak dirender dapat digunakan. Karena jumlah level yang dapat dikodekan sama dengan 2 bit, maka rasio kontras maksimum yang dapat dicapai oleh kuantizer 12-bit, misalnya, adalah 1: 4096, yang sesuai dengan 12 stop ( $2^{12} = 4096$ ).

Dalam kuantisasi linier (yang paling umum pada file RAW dari kamera digital), bagaimanapun, setiap peningkatan level luminansi sebanyak satu stop sesuai dengan penggandaan intensitas cahaya dan penggandaan jumlah level output yang dialokasikan oleh ADC. Tingkat langkah minimum kuantisasi yang diperlukan untuk mencegah kontur yang terlihat di area intensitas terendah gambar (lihat Bab 21) menentukan jumlah

minimum tingkat yang akan dialokasikan ke zona eksposur terendah. Karena jumlah level yang dialokasikan untuk setiap perhentian/zona berikutnya meningkat dari yang sebelumnya dengan faktor 2, jumlah maksimum perhentian yang diwakili dan dynamic range yang dapat digunakan lebih rendah dari kedalaman bit pembilang dalam praktiknya.

Faktor tambahan mempengaruhi jangkauan dinamis kamera jika dibandingkan dengan sensor. Seperti yang dijelaskan dalam Bab 9, proses konversi analog-ke-digital menghasilkan derau kuantisasi karena kesalahan pembulatan, yang meningkatkan tingkat noise secara keseluruhan. Pemrosesan selanjutnya mengurangi dynamic range akhir yang dapat digunakan dari kamera. Penguatan sinyal, misalnya, saat menggunakan ISO speed selain ISO asli dari sensor, juga memperkuat noise; penerapan fungsi pemetaan non-linier dalam koreksi gamma, atau untuk meniru kurva karakteristik seperti film (untuk memberikan gradasi dan detail yang lebih halus di area bayangan dan gradasi yang lebih halus dalam sorotan), sekaligus meningkatkan kontras yang dirasakan, dapat mengurangi rentang pencahayaan yang ditangkap secara efektif. Dynamic range akhir kamera kemungkinan besar lebih dekat ke 5-9 stop (10 stop dimungkinkan untuk beberapa kamera format menengah, dengan asumsi ADC presisi lebih tinggi).

Karena dynamic range dari banyak pemandangan akan melebihi yang tersedia untuk kamera, maka pemandangan tersebut perlu diekspos sehingga informasi penting terpapar dengan benar, yang mungkin berarti mengorbankan beberapa detail di kedua ujung kisaran nada warna. Perlu dicatat bahwa dynamic range sensor tidak akan digunakan sepenuhnya dalam gambar yang ditampilkan. Gambar JPEG, misalnya, dibatasi hingga 8 bit. Data RAW yang tidak dirender dapat mempertahankan lebih banyak dynamic range sensor, memungkinkan beberapa penyesuaian pada eksposur pada tahap pasca-pemrosesan sebelum gambar dirender menjadi 8 atau 16 bit - ini dibahas dan diilustrasikan di Bab 25. 'Mengekspos ke kanan'. seperti yang dijelaskan di Bab 12, adalah teknik yang digunakan untuk mengoptimalkan distribusi tonal di area bayangan di file RAW. Hal ini dicapai sebagai hasil dari eksposur dan pasca-pemrosesan yang cermat, tanpa memotong highlight, karena klip highlight secara signifikan lebih bermasalah secara visual daripada pemotongan bayangan. Metode eksposur otomatis sederhana tidak dapat menentukan apa yang penting dalam kaitannya dengan konten adegan. Jadi, untuk jenis pemandangan tertentu, pengukuran titik zona gambar tertentu atau penggunaan mode pencahayaan terprogram yang canggih sangat penting untuk mendapatkan hasil yang memuaskan.

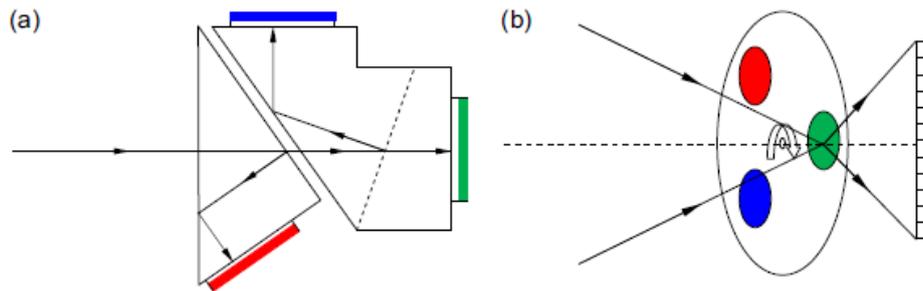
Pencitraan dynamic range tinggi (pencitraan HDR) memberikan solusi potensial untuk masalah sensor dynamic range rendah. Dijelaskan di Bab 12, pencitraan HDR menggabungkan beberapa gambar dari pemandangan yang sama yang dikelompokkan pada eksposur berbeda menjadi file dengan kedalaman bit tinggi. Beberapa rentang warna setiap gambar digunakan untuk gambar akhir, yang kemudian dikompresi menjadi format gambar dengan kedalaman 8 atau 16 bit. Pada tahap pengembangan yang relatif awal, ada batasan dalam penggunaannya, karena memerlukan subjek statis untuk bracketing dan tingkat pasca-pemrosesan yang wajar. Namun, pada saat penulisan, sejumlah kamera saku dan satu SLR digital baru-baru ini dirilis dengan teknologi pencitraan HDR bawaan. Fuji Super CCD SR yang dijelaskan di bagian selanjutnya adalah sensor yang menggunakan adaptasi paling awal dari prinsip pencitraan HDR.

## **7. Colour capture**

Penting untuk diperhatikan bahwa sensor itu sendiri adalah perangkat monokromatik. Ini hanya menangkap cahaya dan mengubahnya menjadi sinyal elektronik. Seperti yang telah kita lihat di bab-bab sebelumnya, menangkap warna dalam film fotografi memerlukan analisis radiasi yang masuk ke dalam pita spektrum yang berbeda. Hal ini dicapai dengan membuat peka lapisan emulsi terpisah ke pita dengan panjang gelombang berbeda, yang, setelah diproses, membentuk lapisan pewarna untuk memungkinkan pembentukan gambar berwarna. Demikian pula, sensor gambar digital memerlukan beberapa mekanisme untuk pemisahan cahaya menjadi pita panjang gelombang yang berbeda. Ada berbagai metode yang digunakan dalam kamera digital untuk mencapai pemisahan warna, seperti yang diperkenalkan di Bab 9 dan diringkas di bawah ini.

## **8. Kamera Three-sensor**

Kamera digital awal ini menggunakan beamsplitter, biasanya prisma dichroic, untuk memisahkan cahaya yang masuk menjadi tiga komponen (lihat Gambar 14.3). Ini diarahkan ke tiga sensor terpisah, masing-masing disaring untuk panjang gelombang red, green, dan blue. Setiap sensor menghasilkan rekaman monokromatik dari cahaya yang difilter saja, sesuai dengan salah satu dari tiga saluran gambar. Gambar dari tiga sensor terpisah memerlukan registrasi yang cermat untuk menghasilkan gambar berwarna penuh. Karena setiap sensor menghasilkan rekaman gambar beresolusi penuh, kamera ini tidak mengalami chromatic aliasing khas kamera yang menggunakan array Bayer (lihat di bawah). Namun, penggunaan tiga sensor berarti kamera ini mahal dan besar.



Gambar 14.3

## 9. Kamera Sequential colour

Kamera ini menangkap eksposur tersaring red, green, dan blue berturut-turut, menggunakan roda filter warna atau filter LCD yang dapat disetel untuk memisahkan cahaya menjadi tiga komponen (lihat Gambar 14.3b). gambar tersebut kemudian dibentuk oleh kombinasi dari ketiga gambar yang dihasilkan. Sedangkan untuk kamera tiga sensor, setiap saluran ditangkap pada resolusi penuh dari sensor, menghasilkan gambar berkualitas sangat tinggi. Namun demikian, metode sekuensial warna hanya cocok untuk subjek statis, karena ketiga saluran ditangkap pada waktu yang agak berbeda dan setiap kesalahan daftar subjek akan menghasilkan pinggiran warna di tepinya. Masalah tambahan adalah iluminasi, yang dapat bervariasi selama eksposur yang berurutan. Oleh karena itu, pendekatan ini terbatas pada sejumlah kamera studio profesional yang dibatasi.

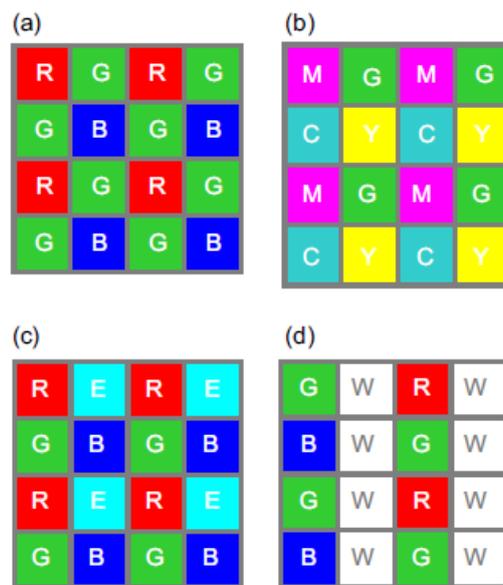
Memindai punggung untuk kamera big format memiliki batasan yang mirip dengan kamera sekuensial warna. Paling umum mereka menggunakan array CCD trilinear, yang memindai seluruh format gambar. Dalam kasus ini, ketiga saluran ditangkap pada waktu yang sama, jadi kesalahan registrasi ketiga saluran tidak menjadi masalah, tetapi pergerakan subjek dapat mengakibatkan distorsi gambar. Iluminasi yang tidak konsisten menghasilkan perubahan eksposur di seluruh bidang gambar.

## 10. Kamera CFA (Colour filter array)

Hampir semua kamera digital yang tersedia secara komersial (selain yang menggunakan sensor Foveon, dijelaskan di bagian selanjutnya) menggunakan larik filter warna yang diposisikan langsung di depan sensor tunggal, menangkap pita panjang gelombang terpisah ke piksel individual. Oleh karena itu, setiap piksel hanya berkontribusi ke salah satu saluran warna dan nilai untuk dua saluran lainnya pada piksel itu harus diinterpolasi. Proses interpolasi nilai warna dikenal sebagai demosaicing. Jika gambar yang

ditampilkan dihasilkan oleh kamera, yang paling sering terjadi, demosaicing dilakukan oleh prosesor sinyal digital kamera. Sebagai alternatif, jika data kamera RAW akan di-output (dalam pemrosesan kamera tanpa rendering), demosaicing biasanya akan dilakukan nanti selama konversi RAW (lihat Bab 17, 25 dan 26).

Sejumlah pola CFA yang berbeda telah dikembangkan, tetapi dua yang paling sering digunakan adalah susunan Bayer dan pola mosaik pelengkap. Ini ditunjukkan pada Gambar 14.4a dan b (lihat juga Gambar 9.21).



Gambar 14.4 Susunan filter warna. (a) Susunan Bayer. (b) Pola mosaik pelengkap. (c) Pola filter RGBE (Sony). (d) Contoh pola filter RGBW (Kodak).

Larik Bayer adalah yang paling umum, terdiri dari filter red, green, dan blue, dengan dua kali jumlah piksel yang difilter hijau ke merah dan biru. Seperti yang dijelaskan dalam Bab 9, sensitivitas spektral piksel yang difilter hijau paling dekat dengan sensitivitas pencahayaan puncak dari sistem visual manusia, oleh karena itu alokasi yang lebih tinggi, memberikan diskriminasi pencahayaan yang lebih baik. Ini menghasilkan frekuensi Nyquist yang lebih tinggi untuk saluran hijau daripada saluran merah dan biru. Frekuensi Nyquist yang berbeda menghasilkan jumlah aliasing yang berbeda di tiga saluran, muncul sebagai aliasing berwarna pada frekuensi spasial tinggi. Efeknya, yang diindikasikan dengan color fringing, diimbangi dengan penggunaan OLPF yang dijelaskan sebelumnya dalam bab ini.

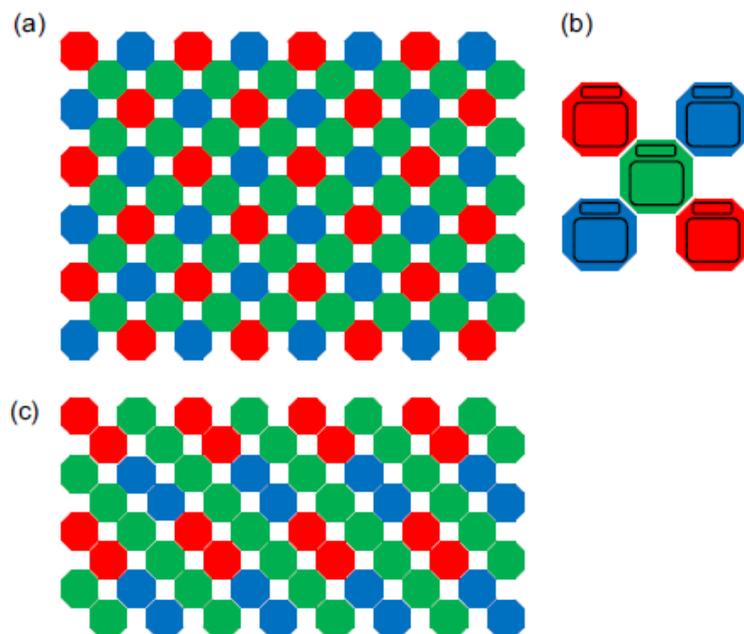
Pola mosaik pelengkap, yang digunakan di beberapa kamera foto digital, terdiri dari photosites yang difilter dengan warna cyan, magenta, kuning, dan hijau yang sama. Karena filter pelengkap menyerap lebih sedikit cahaya daripada filter utama, CFA ini lebih sensitif terhadap cahaya daripada pola filter RGB. Namun, koreksi warna lebih banyak diperlukan dengan filter pelengkap, yang mengarah ke peningkatan noise dan pengurangan rasio signal-to-noise pada tingkat iluminasi yang lebih tinggi; oleh karena itu, pola filter RGB lebih umum.

Kombinasi filter lain juga dapat digunakan, misalnya pola red, green, blue dan ‘zamrud ‘ (RGBE), mirip dengan susunan Bayer, tetapi dengan filter ‘zamrud ‘ layar biru menggantikan beberapa filter hijau (Gambar 14.4c ), dengan tujuan untuk lebih mencocokkan respons spektral sensor dengan sistem visual manusia. Array RGBE digunakan di beberapa kamera Sony. Perkembangan lain yang cukup baru adalah pola RGBW (red, green, blue, putih) (contohnya digambarkan pada Gambar 14.4d). Kodak mengumumkan beberapa pola RGBW pada tahun 2007, yang akan tersedia di beberapa kamera pada tahun 2008. Elemen filter ‘putih ‘ sebenarnya transparan, atau pankromatik, mentransmisikan semua panjang gelombang yang terlihat dan meningkatkan jumlah cahaya yang terdeteksi. Data dari piksel RGB yang tersisa diproses menggunakan algoritma demosaicing Bayer.

## **11. Super CCD™**

Super CCD pertama kali diumumkan oleh Fujifilm pada tahun 1999 dan kamera kompak dan jembatan Fuji yang saat ini tersedia menggunakan versi generasi kedelapan dari sensor berpemilik ini. Suatu bentuk larik mozaik, yang didasarkan pada piksel oktagonal daripada persegi panjang, yang memungkinkan piksel dipetakan secara diagonal (Gambar 14.5), dengan jarak horizontal dan vertikal yang lebih kecil daripada larik mosaik tradisional dengan nomor piksel yang setara. Peningkatan resolusi horizontal dan vertikal dengan mengorbankan resolusi diagonal (meskipun ini kurang penting untuk sistem visual manusia dan oleh karena itu arsitekturnya masih merupakan perbaikan pada sensor mosaik konvensional). Generasi keempat dari sensor ini, diumumkan pada tahun 2003, didiversifikasi menjadi sensor Super CCD HR ( ‘high-resolution’), seperti yang digambarkan pada Gambar 14.5a, dan sensor Super CCD SR ( ‘high-dynamic range’) (Gambar 14.5 b). Sensor terakhir memiliki dua fotodiode per piksel, dengan ukuran dan sensitivitas berbeda. Fotodiode ‘primer ‘ yang lebih besar memiliki sensitivitas tinggi tetapi

dynamic range yang relatif rendah dan melayani intensitas gelap dan sedang, sedangkan fotodiode ‘sekunder’ yang lebih kecil memiliki sensitivitas rendah tetapi dynamic range yang sangat besar. Kedua fotodiode diekspos pada saat yang sama, tetapi kedua sinyal tersebut dibaca secara berurutan, sebelum digabungkan dalam kamera DSP menjadi gambar dengan dynamic range tinggi. Keluaran gabungan dari dua fotodiode adalah empat kali dynamic range fotodiode konvensional. Generasi kelima dan keenam dari sensor ini meningkatkan kinerja pada ISO tinggi. Versi paling terbaru, Super CCD EXR, diumumkan pada September 2008, menggunakan pengaturan filter warna baru untuk ‘membuang’ keluaran dari dua piksel berturut-turut yang difilter dengan warna yang sama, menghasilkan piksel berukuran ganda yang efektif, untuk menggabungkan keunggulan baik teknologi HR dan SR sebelumnya (Gambar 14.5c).



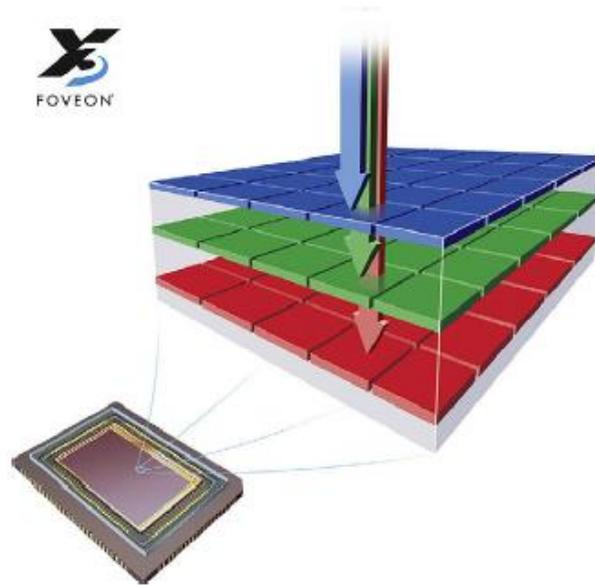
Gambar 14.5 Sensor Fuji Super CCD™. (a) Super CCD HR. (b) Super CCD SR. (c) Super CCD EXR.

## 12. Sensor Foveon™

Seperti disebutkan di Bab 9, ada metode reproduksi warna lain, yang dikembangkan oleh Foveon Inc, dan saat ini digunakan di sejumlah kamera digital. Pendekatan ini diimplementasikan melalui desain sensor itu sendiri dan bukan melalui arsitektur kamera, dan didasarkan pada penyerapan gelombang cahaya yang berbeda dalam lapisan sensor yang berbeda, serupa dengan film warna multi-layer.

Sensor gambar silikon tiga lapis Foveon X3 diumumkan pada tahun 2002 dan menggunakan fotodiode silikon bertumpuk, diproduksi menggunakan jalur pemrosesan CMOS standar. Panjang gelombang cahaya yang berbeda menembus ke dalam silikon yang berbeda; oleh karena itu, ketika cahaya diserap oleh sensor, ia menghasilkan pasangan lubang listrik yang sebanding dengan koefisien absorpsi (lihat Bab 7). Panjang gelombang pendek akan menghasilkan lebih banyak pasangan lubang elektron di dekat permukaan sensor, sedangkan panjang gelombang panjang menembus paling dalam sebelum menghasilkan pembawa muatan. Dengan mengubur diode pada kedalaman yang berbeda dalam silikon, panjang gelombang yang berbeda ditangkap pada kedalaman ini, oleh karena itu memperoleh ketiga saluran warna pada setiap piksel. Sensitivitas spektral sensor ditentukan oleh kedalaman diode. Gambar 14.6 mengilustrasikan teknologi.

Pada kamera CFA yang menggunakan larik Bayer, hanya 50% piksel (piksel sensitif hijau) yang berkontribusi pada sinyal pencahayaan. Namun, ada informasi luminansi di saluran merah dan jumlah yang lebih kecil di saluran biru. Dalam kamera yang menggunakan sensor Foveon X3, informasi ini dapat ditangkap di setiap photosite di ketiga saluran, dan digabungkan secara linier untuk menghasilkan sinyal luminansi berkualitas sangat tinggi. Tanpa interpolasi yang diperlukan oleh CFA, gambar luminansi yang dihasilkan mungkin jauh lebih tajam daripada kamera CFA dengan jumlah piksel yang setara, dan tidak ada masalah karakteristik chromatic aliasing kamera CFA (meskipun penggunaan OLPF dan perbaikan dalam teknik demosaicing berarti bahwa ini bukan masalah dengan kebanyakan kamera saat ini yang menggunakan array Bayer). Pada saat penulisan, rilis kamera terbaru yang menggunakan sensor Foveon X3 termasuk Sigma SD14 (kamera digital SLR yang dirilis pada Maret 2007) dan Sigma DP1 (kamera saku yang diluncurkan pada musim semi 2008).



Gambar 14.6 Teknologi sensor Foveon™

### 13. Proses Rendering kamera dan tanpa rendering

Untuk sebagian besar aplikasi pencitraan, persyaratannya adalah gambar yang diproses sepenuhnya dan gambar berwarna yang dirender menjadi output dan disimpan dalam format file standar. Dalam hal ini pengaturan kamera akan digunakan untuk menangkap data mentah dari sensor. Dalam kamera yang menggunakan larik filter warna untuk pemisahan warna, data akan didemosisikan, koreksi white balance diterapkan, dan rendering nada dan warna dilakukan untuk menghasilkan gambar rujukan keluaran. Gambar kemudian akan dipertajam, dikompresi dan disimpan, paling sering dalam format file Exif/JPEG menggunakan kompresi lossy, meskipun beberapa kamera juga memungkinkan penyimpanan sebagai JPEG 2000 atau file TIFF yang tidak dikompresi. Lihat Bab 17 untuk detail tentang format file dan Bab 29 untuk informasi tentang kompresi gambar.

Opsi untuk mengeluarkan data gambar yang tidak dirender telah menjadi pengembangan yang lebih baru di kamera digital. Dalam hal ini, data mentah dan relatif tidak diproses dari sensor secara opsional dikompresi, disimpan, dan dikeluarkan tanpa kerugian dalam format file RAW yang biasanya merupakan hak milik. Data gambar kemudian dibuka di perangkat lunak konversi RAW, dan pemrosesan yang akan dilakukan oleh kamera, seperti white balancing, penyesuaian eksposur, penajaman dan bahkan perubahan resolusi, diterapkan sebelum atau dalam hubungannya dengan demosaicing warna untuk menghasilkan gambar hasil akhir yang disebut (dalam banyak kasus). Ini

memberi pengguna kontrol tingkat tinggi atas rendering gambar dan memungkinkan penyesuaian pencahayaan menggunakan lebih banyak dynamic range yang tersedia dari sensor. Lihat Bab 25 untuk informasi tentang alur kerja pengambilan RAW.

#### **14. Menentukan Eksposur dan auto-eksposur**

Faktor-faktor yang memengaruhi eksposur yang diperlukan untuk pemandangan yang ditangkap dengan menggunakan kamera digital sama dengan faktor-faktor untuk sistem berbasis film: kombinasi tingkat iluminasi pemandangan dan pantulan dalam pemandangan (kisaran pencahayaan subjek) dan sensitivitas sensor, yang bersama-sama tentukan apertur lensa dan shutter speed yang diperlukan.

Sensor akan memiliki sensitivitas asli, atau kecepatan nominal. Ini dapat ditentukan dengan menggunakan beberapa pendekatan berbeda, yang didefinisikan dalam standar ISO 12232: 2006 dan dijelaskan dalam Bab 20. Namun demikian, sebagian besar kamera digital memiliki kisaran pengaturan ISO speed yang dapat dipilih oleh pengguna, yang terendah biasanya berkaitan dengan sensitivitas sensor. Sedangkan untuk kamera film, mengubah ke pengaturan ISO speed yang lebih cepat akan mengubah kisaran shutter speed dan kombinasi apertur yang ditentukan oleh pengontrol sistem kamera dari pembacaan eksposur, untuk mengurangi eksposur ke sensor. Namun, dalam kasus sensor digital, sensitivitas sensor tidak benar-benar berubah dan eksposur yang berkurang menghasilkan sinyal output yang berkurang. Sebagai gantinya, penguatan analog atau digital disesuaikan untuk memperkuat sinyal, tetapi dengan penguatan terkait noise dalam sinyal. Meskipun algoritma pemrosesan noise terus berkembang, ini merupakan faktor pembatas dalam penggunaan pengaturan kecepatan di atas ISO 400 di banyak kamera digital.

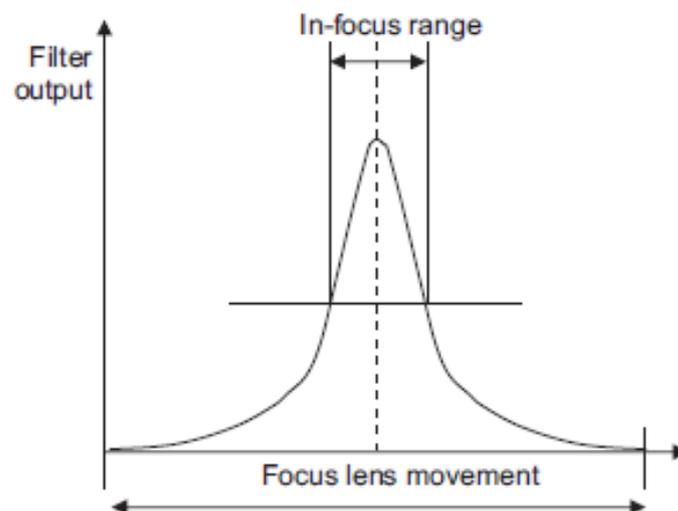
Setelah pengaturan ISO speed dipilih oleh pengguna, kamera harus mengambil pembacaan eksposur dari pemandangan. Seperti disebutkan sebelumnya, pembacaan eksposur dalam kamera saku biasanya berasal dari sensor itu sendiri, sedangkan untuk SLR digital, sensor terpisah dapat digunakan. Berbagai metering mode eksposur berbeda yang digunakan dalam kamera dibahas secara mendetail di Bab 11 dan tipe pengukuran eksposur dibahas di Bab 12.

Selama eksposur otomatis (AE) di DSC, area penginderaan gambar atau sensor AE terpisah dapat dibagi menjadi segmen yang tidak tumpang tindih, atau jendela AE. Sinyal dari setiap jendela AE diubah menjadi nilai luminansi, yang diteruskan ke blok pemrosesan

sinyal AE. Untuk setiap segmen, nilai rata-rata dan puncak pencahayaan (atau terkadang varians) dihitung, dan ini diteruskan ke pengontrol sistem kamera. Program aplikasi kontrol AE mengevaluasi semua nilai ini untuk menetapkan eksposur yang optimal dan mengatur shutter speed yang diperlukan.

## 15. Kontrol Autofokus

Ada serangkaian sistem berbeda yang digunakan untuk kontrol fokus, termasuk pengukuran jarak elektronik, yang menggunakan dioda pemancar inframerah, pengukuran jarak aktif menggunakan pemancar pulsa ultrasonik, dan autofocus deteksi fase, yang semuanya dijelaskan di Bab 11.



Gambar 14.7 Kurva nilai fokus integrasi digital. Kurva diperoleh dengan mengintegrasikan output dari filter band-pass AF pada setiap posisi fokus dan mengambil nilai absolut dari hasil yang dicapai filter (lihat Gambar 14.7). Frekuensi resonansi (frekuensi puncak) filter tergantung pada sistem lensa yang digunakan.

Metode selanjutnya, digunakan secara luas dalam kamera foto digital, menggunakan penyesuaian fokus untuk memaksimalkan komponen frekuensi tinggi dalam gambar. Pendekatan ini menggunakan algoritma yang diimplementasikan dalam prosesor sinyal digital pada gambar yang diperoleh dari sensor; oleh karena itu, kamera tidak memerlukan sensor fokus otomatis eksternal. Ini didasarkan pada asumsi bahwa komponen frekuensi tinggi dalam gambar, yang sesuai dengan tepi dan detail halus, akan meningkat hingga maksimum saat gambar berada dalam fokus. Filter band-pass digital, yang melewatkan frekuensi dalam pita sambil melemahkan frekuensi lain (lihat Bab 28 untuk informasi tentang filter yang diterapkan dalam domain frekuensi), diterapkan ke gambar yang

diperoleh dan keluaran dari filter diintegrasikan untuk menghasilkan absolut nilai. Nilai absolut digunakan oleh pengontrol sistem kamera untuk menyesuaikan posisi lensa hingga keluaran puncak

## **16. Proses Analog**

Sinyal analog dari sensor pertama-tama diproses dalam pra-prosesor analog, yang menjalankan berbagai fungsi, tergantung pada sensornya. Ini mungkin termasuk pengambilan sampel ganda yang berkorelasi (CDS) untuk menekan gangguan reset dan untuk mengurangi gangguan pola tetap, kontrol penguatan otomatis, dan generasi tingkat hitam referensi untuk gambar yang direproduksi. Referensi hitam diperoleh dari piksel yang diarsir pada sensor, yang menghasilkan sinyal sebagai hasil dari arus gelap yang dihasilkan secara termal. Sinyal yang dihasilkan ini kemudian dikurangkan dari sinyal dari piksel di area penginderaan array. Generasi tingkat hitam dapat dilakukan untuk setiap warna secara terpisah. Selain itu, keseimbangan putih dapat dilakukan pada sinyal analog dengan menggunakan pengaturan penguatan yang berbeda untuk saluran warna yang berbeda, meskipun ini paling sering dilakukan pada sinyal digital. Ujung depan analog juga dapat mengontrol pengoperasian sensor gambar dengan menghasilkan pulsa waktu. Sinyal tersebut kemudian didigitalkan dalam konverter analog-ke-digital (ADC). Bab 9 membahas amplifikasi dan konversi analog-ke-digital secara rinci.

## **17. Proses Digital**

Output sinyal digital dari ADC terdiri dari data RAW yang tidak dirender. Untuk menghasilkan gambar yang dirender (dan dapat dilihat), sejumlah besar pemrosesan gambar harus dilakukan untuk menyesuaikan dan mengoptimalkan gambar. Selain itu, beberapa proses diterapkan di sirkuit digital kamera untuk menyesuaikan respons kamera, misalnya eksposur otomatis, fokus otomatis, dan keseimbangan putih otomatis. Seperti yang dinyatakan sebelumnya, mayoritas kamera foto digital yang tersedia saat ini adalah kamera CFA sensor tunggal; oleh karena itu, sisa bab ini mengacu pada tipikal pemrosesan kamera ini.

Fungsi pemrosesan gambar akan bergantung pada fitur kamera, tetapi mungkin termasuk:

- Demosaicing
- Keseimbangan putih dan koreksi warna

- Koreksi nada dan gamma
- Pemfilteran digital (non-adaptif dan adaptif, penghilangan dan penajaman noise)
- Memperbesar dan mengubah ukuran gambar
- Stabilisasi digital
- Penghapusan mata merah
- Deteksi wajah
- Enkripsi gambar
- Kompresi gambar
- Pemformatan dan penyimpanan.

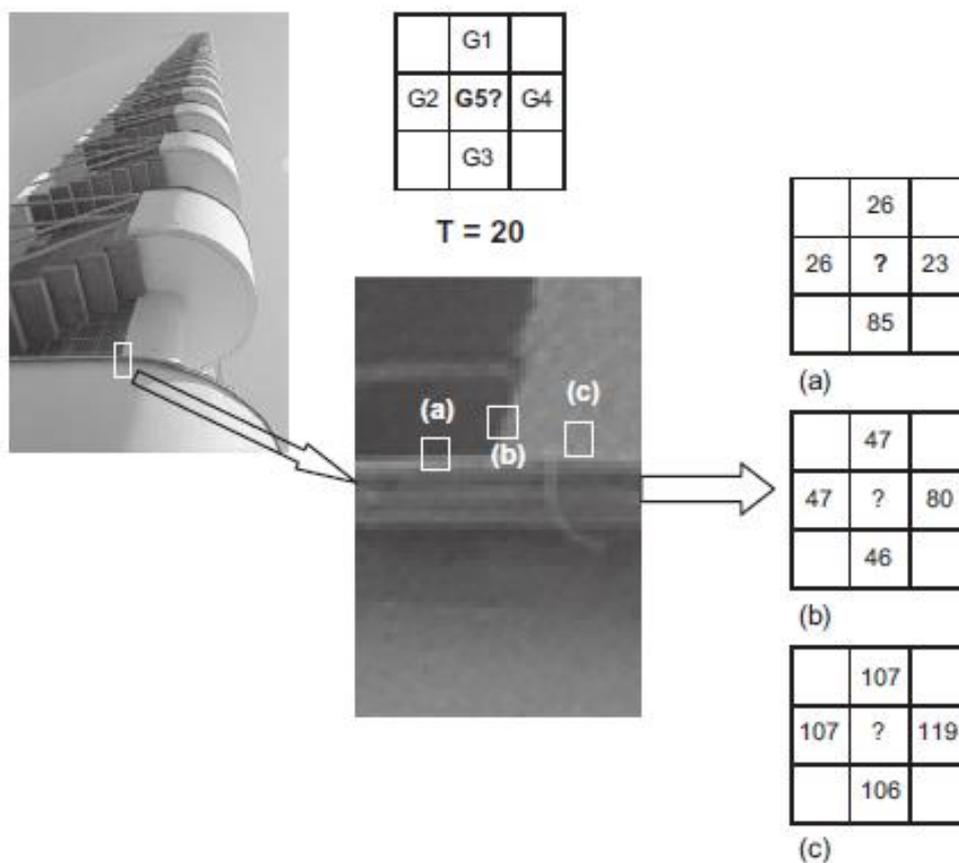
Urutan proses dilakukan bervariasi. Algoritme tertentu yang dipilih akan berdampak di seluruh jalur pemrosesan gambar. Sebagian besar proses gambar dapat dilakukan sebelum atau setelah demosaicing (penghilangan mata merah dan deteksi wajah adalah pengecualian dan dilakukan setelah interpolasi warna). Karena data CFA secara efektif skala abu-abu sebelum demosaicing, proses yang dilakukan sebelumnya akan dilakukan hanya pada satu saluran dibandingkan dengan tiga saluran, yang menunjukkan penghematan komputasi yang signifikan. Namun, beberapa proses akan menghasilkan hasil yang lebih baik setelah datanya didemosa, meskipun proses tersebut dapat meningkatkan artefak lain yang harus diperbaiki lebih lanjut. Meskipun data RAW yang tidak dirender akan menjadi keluaran, karena file RAW saat ini merupakan hak milik (lihat Bab 17), pemrosesan gambar yang diterapkan ke data RAW, sebelum interpolasi warna, akan sangat bervariasi di antara produsen.

Penghematan komputasi lebih lanjut dapat dicapai dengan menerapkan proses bersamaan. Umumnya, ini dapat dicapai jika proses individu diterapkan dengan cara yang serupa. Pendekatan semacam itu dapat meningkatkan kinerja langkah pemrosesan gambar individual, menekan artefak, dan meningkatkan kualitas gambar yang dihasilkan. Contoh proses yang dapat diterapkan bersama termasuk penghalusan dan penajaman gambar, yang keduanya merupakan operasi pemfilteran, atau koreksi warna dan keseimbangan putih. Selain itu, proses seperti denoising dan pengubahan ukuran dapat diterapkan bersama dengan proses demosaicing.

Banyak dari algoritma pemrosesan gambar yang relevan dibahas secara rinci dalam dua bab terakhir buku ini; oleh karena itu, hanya deskripsi singkat yang diberikan dalam bab ini.

## 18. Colour demosaicing

Berbagai algoritme demosaicing tersedia untuk berbagai pola CFA yang berbeda, dengan berbagai tingkat kerumitan. Pendekatan paling sederhana menggunakan interpolasi bilinear (lihat Bab 23 dan 25) di mana nilai warna diinterpolasi dengan mengambil rata-rata dari empat nilai terdekat (dua horizontal dan dua vertikal) dengan warna yang sama. Ini secara komputasi efisien, tetapi mengurangi sharpness dan meningkatkan visibilitas artefak chromatic aliasing.



Gambar 14.8 Klasifikasi piksel dalam interpolasi demosaicing penginderaan tepi. (a)  $G4 - G2 < T$ ,  $G3 - G1 > T$ ,  $G5 = \text{rata-rata}(26, 23) = 25$ . (b)  $G4 - G2 > T$ ,  $G3 - G1 < T$ ,  $G5 = \text{rata-rata}(47, 46) = 47$ . (c)  $G4 - G2 < T$ ,  $G3 - G1 < T$ ,  $G5 = (\text{rata-rata}(119, 107) + \text{rata-rata}(107, 106))/2 = 110$ .

Pendekatan adaptif alternatif, demosaicing penginderaan tepi, dapat meningkatkan hasil. Metode ini pertama-tama menghitung hijau (komponen luminansi), menggunakan lingkungan yang sama dengan interpolasi bilinear, dua piksel horizontal dan vertikal terdekat dari piksel hijau yang hilang, tetapi pertama mengklasifikasikan piksel yang hilang menurut apakah itu bagian dari tepi atau area seragam. Ini dicapai dengan mengevaluasi perbedaan dalam arah horizontal dan vertikal dan membandingkannya dengan ambang

batas. Jika perbedaan horizontal dan vertikal berada di bawah ambang batas, maka piksel diklasifikasikan sebagai seragam. Jika salah satu perbedaan berada di atas ambang batas, maka piksel diklasifikasikan sebagai bagian dari tepi dengan gradien ke arah itu (Gambar 14.8). Piksel yang diidentifikasi sebagai seragam dihitung menggunakan interpolasi bilinear dari empat nilai. Nilai-nilai yang diidentifikasi sebagai bagian dari tepi horizontal dihitung sebagai rata-rata dari dua nilai vertikal, dan demikian pula nilai-nilai yang merupakan bagian dari tepi vertikal dirata-ratakan antara nilai-nilai horizontal. Ini memastikan bahwa nilai tidak dirata-ratakan pada suatu tepi, yang akan menghaluskan gambar. Setelah komponen luminansi dihitung, itu digunakan untuk menghitung nilai merah dan hijau yang hilang. Untuk nilai biru, misalnya, nilai B/G di kedua sisinya dihitung secara horizontal, dan nilai B/G untuk nilai pusat yang hilang diambil sebagai rata-rata di antara keduanya, dari mana nilai B yang hilang dapat diturunkan.

Banyak metode lanjutan yang dapat digunakan, beberapa didasarkan pada pendekatan adaptif yang serupa dengan yang di atas, menggunakan operasi pemfilteran. Metode lain memodelkan demosaicing sebagai proses rekonstruksi, membuat model matematika berdasarkan asumsi tentang gambar sebelumnya atau tentang korelasi antara saluran warna dan memberikan solusi untuk masalah rekonstruksi berdasarkan model ini. Pendekatan lain, yang digunakan oleh beberapa algoritme, memodelkan seluruh proses pembentukan gambar sebagai rangkaian transformasi warna yang memperhitungkan efek CFA, distorsi lensa, dan noise. Algoritme ini kemudian menghitung gambar keluaran yang paling mungkin dari nilai CFA yang diukur.

## **19. Setting white balance**

Seperti yang dijelaskan dalam Bab 5, sistem visual manusia melakukan adaptasi kromatik, menyesuaikan kepekaan berbagai jenis reseptor kerucut, untuk mempertahankan keteguhan warna, memastikan bahwa objek putih akan terus tampak putih meskipun ada perubahan dalam kualitas spektral iluminasi. Proses yang setara dalam kamera digital adalah white balance, untuk memperkirakan titik putih sumber cahaya dan menyesuaikan gambarnya. Pendekatan yang berbeda dapat digunakan. Seperti dijelaskan sebelumnya, beberapa kamera menyesuaikan penguatan analog saluran, menghasilkan nilai sinyal rendah di pra-prosesor analog saat mereka membaca sensor. Namun, yang lebih umum, white balance diterapkan pada sinyal setelah digitalisasi dalam prosesor sinyal digital.

Keseimbangan putih dapat diterapkan oleh pengguna dengan berbagai cara. Keseimbangan putih dapat diatur secara manual, biasanya dari rangkaian iluminan prasetel atau suhu warna dalam pengaturan menu. Dalam hal ini prasetel yang dipilih akan menentukan transformasi adaptasi kromatik mana (CAT; lihat Bab 5) yang digunakan oleh kamera selama rendering gambar. Pendekatan ini mungkin memadai dalam situasi di mana suhu warna iluminan yang mencapai kamera dapat diukur secara eksternal dan dengan akurat. Namun, jika iluminan prasetel digunakan, penting untuk diperhatikan bahwa suhu warna beberapa iluminan berbeda secara signifikan dari unit ke unit dan dari waktu ke waktu (lihat Bab 3). Iluminasi campuran selanjutnya akan mengubah kualitas spektral cahaya yang mencapai sensor, yang berarti bahwa hasilnya mungkin tidak akurat.

Alternatifnya, white balance kustom dapat digunakan, di mana area putih atau netral, seperti target uji abu-abu, disertakan dalam bidikan percobaan dari pemandangan yang sama. Ini kemudian dipilih dan digunakan oleh kamera untuk menyesuaikan white balance pada gambar berikutnya. Metode ini juga dapat digunakan untuk melakukan keseimbangan putih selama pemrosesan file RAW dalam aplikasi konversi RAW. Keberhasilan pendekatan akan bergantung pada ukuran dan posisi target netral dalam frame.

Pendekatan ketiga adalah white balancing otomatis oleh kamera. Ini dapat dicapai dengan menggunakan fotodiode berfilter RGB terpisah di bagian depan kamera, yang mengukur sumber cahaya. Pendekatan yang lebih umum diterapkan (dan seringkali lebih akurat) adalah memperkirakan white balance dari colour gamut pemandangan menggunakan gambar yang diambil. Sumber cahaya diperkirakan dengan mengukur distribusi warna gambar dan menghubungkannya dengan entri dalam basis data nada warna yang dibuat untuk pemandangan dan sumber cahaya umum. Gambar dibagi menjadi beberapa segmen (antara 20 dan 100) dan nilai RGB rata-rata dihitung untuk setiap segmen. Ini kemudian diubah menjadi sinyal perbedaan warna untuk analisis terhadap nilai yang dihasilkan oleh sumber cahaya berbeda. Setelah iluminan pemandangan atau titik putih ditetapkan, sinyal RGB mungkin diperkuat dengan jumlah yang sesuai untuk menyeimbangkan warna putih gambar yang diambil.

Setelah, atau pada saat yang sama, koreksi white balance, koreksi warna dapat diterapkan untuk mengkompensasi luntur warna silang dalam filter, menggunakan matriks 3x3 untuk memberikan nilai RGB yang dikoreksi. Selain itu, gambar dapat dikonversi ke

ruang warna  $YCbCr$ , yang merupakan langkah penting jika gambar akan dikeluarkan sebagai file terkompresi JPEG. Bab 23 memberikan rincian transformasi ini.

## **20. Digital zoom, resizing dan cropping**

Zoom digital atau elektronik didasarkan pada pemrosesan sinyal digital dari gambar yang diambil, bukan zoom optik, yang dicapai dengan menggeser posisi elemen lensa untuk mengubah panjang fokus lensa. Gambar diperbesar dengan menginterpolasi nilai piksel baru di antara yang sudah ada. Konsep interpolasi diperkenalkan di awal bab ini sehubungan dengan proses demosaicing, yang merupakan kasus khusus di mana nilai warna yang hilang dihitung. Interpolasi lebih umum diterapkan dalam zoom digital dan berbagai operasi resampling lainnya di seluruh imaging chain, di mana dimensi spasial gambar diubah, misalnya dalam pembesaran, atau koreksi distorsi geometris.

Jika zoom optik memperbesar gambar dan dapat menampilkan detail halus lebih lanjut, tidak demikian halnya dengan zoom digital. Zoom optik beroperasi sebelum pengambilan gambar, oleh karena itu meningkatkan batas Nyquist dari gambar asli. Jumlah total piksel tidak akan berubah, tetapi area yang lebih kecil dari pemandangan asli akan ditangkap dengan jumlah piksel tersebut. Zoom digital, bagaimanapun, diterapkan setelah pengambilan gambar. Seperti semua proses interpolasi, karena didasarkan pada rata-rata piksel yang ada, gambar yang diperbesar mungkin tampak buram, dan dapat menampilkan artefak interpolasi lainnya. Tiga metode utama interpolasi non-adaptif adalah tetangga terdekat, interpolasi bilinear, dan interpolasi bikubik. Dalam praktiknya, metode terakhir paling umum digunakan karena menghasilkan lebih sedikit artefak daripada dua lainnya, tetapi interpolasi bilinear yang lebih sederhana secara komputasi dapat digunakan jika kecepatan menjadi masalah. Metode interpolasi dan artefak terkait dibahas dalam Bab 25, dan contoh diilustrasikan pada Gambar 25.3 dan 25.4. Penurunan kualitas gambar dengan zoom digital berarti bahwa metode ini cenderung digunakan di pasar konsumen dengan harga yang lebih rendah, terutama untuk ponsel kamera dan kamera saku, walaupun beberapa kamera kelas menengah mungkin menawarkan fitur zoom optik dan digital.

Gambar juga dapat diubah ukurannya, atau gambar dengan resolusi lebih rendah dari sensor dapat dikeluarkan. Ini adalah proses pengambilan sampel. Pendekatan paling sederhana untuk mengubah ukuran adalah dengan menjatuhkan setiap piksel lainnya, yang akan menghasilkan gambar beresolusi lebih rendah dari pemandangan yang sama. Namun, metode ini agak merugikan kualitas gambar. Pendekatan yang lebih baik adalah dengan

low-pass filter gambar sebelum down-sampling. Filter low-pass, yang dijelaskan di Bab 27 dan 28, secara efektif mengurangi frekuensi tinggi di dalam gambar, menghasilkan gambar yang kabur dibandingkan aslinya, tetapi setelah pengambilan sampel di bawah, pemburaman tidak akan terlihat. Jika gambar akan diubah ukurannya menjadi rasio non-integer, maka langkah interpolasi juga diperlukan. Dalam kasus ini, penyaringan low-pass mungkin tidak diperlukan dalam semua kasus, karena operasi interpolasi juga merupakan operasi pengaburan atau low-pass, tetapi implementasi sebenarnya akan berbeda dari satu pabrikan ke pabrikan.

## **21. Noise reduction**

Ada berbagai penyebab noise yang berbeda di kamera digital. Sumber noise dan karakteristiknya dijelaskan dalam Bab 24. Mereka dapat diklasifikasikan secara luas menjadi noise yang terkait dengan sifat kuantum sinyal itu sendiri, fluktuasi yang tidak bergantung pada sinyal (misalnya, sebagai akibat dari pembangkitan termal, atau proses kuantisasi) dan yang disebabkan oleh kerusakan pada elemen sensor individu.

Tujuan dalam mendesain ujung depan analog kamera harus mengurangi noise pada sinyal sebanyak mungkin sebelum interpolasi CFA. Noise warna palsu, dan noise fase warna, yang dihasilkan saat menggunakan white balance digital dan muncul saat warna bergeser di area gelap gambar, dapat dikurangi dengan meningkatkan resolusi ADC, atau menggunakan white balance analog (dijelaskan di bagian sebelumnya pada pemrosesan analog).

Noise lintas warna, yang merupakan karakteristik sensor CCD yang menggunakan CFA, disebabkan oleh perdarahan warna silang antara filter warna yang berdekatan dan dapat dikoreksi menggunakan matriks 3x3 pada nilai RGB, seperti yang dijelaskan sebelumnya.

Sumber noise signifikan lainnya adalah akibat variabilitas arus gelap di seluruh sensor. Ingat bahwa kalibrasi tingkat hitam referensi dilakukan dengan merata-ratakan sinyal arus gelap dari optik hitam atau piksel berbayang pada sensor dan bahwa nilai ini kemudian akan dikurangi dari sinyal piksel. Namun, arus gelap dapat bervariasi di seluruh sensor sebagai akibat dari pembangkitan panas. Dalam CCD, tingkat gangguan gelap secara bertahap meningkat dari awal hingga akhir pembacaan sensor. Di beberapa kamera, sensor akan didinginkan untuk mengurangi arus gelap dan noise terkait. Lebih lanjut, variasi

piksel-ke-piksel dalam tingkat gelap dapat ditentukan oleh pabrikan dan digunakan sebagai topeng untuk mengubah nilai offset yang dikurangi untuk referensi hitam di setiap piksel di awal jalur pemrosesan sinyal.

Pengurangan noise lebih lanjut dapat dilakukan dengan menggunakan proses penyaringan digital. Karena banyak dari proses gambar yang diimplementasikan dalam DSP, seperti koreksi nada dan warna, memperkuat sinyal, dan akibatnya noise, pengurangan noise biasanya dilakukan sebelum proses ini. Selain itu, adanya noise dapat mengurangi keakuratan algoritme interpolasi yang digunakan dalam demosaicing, terutama jika metode adaptif seperti algoritme interpolasi penginderaan tepi yang dijelaskan di atas digunakan. Dengan demikian, hasil yang lebih baik dapat diperoleh dengan pengurangan noise sebelum interpolasi CFA, menggunakan proses penyaringan skala abu-abu. Hal ini dicapai dengan mengumpulkan piksel non-interpolasi dari setiap warna filter dan memperlakukan setiap saluran sebagai gambar skala abu-abu. Filter akses rendah (linier) atau median (non-linier) biasanya digunakan. Operasi dan karakteristik keduanya dibahas di Bab 27.

## **22. Sharpening**

Penajaman dilakukan untuk mengatasi efek kabur dari sistem optik dan proses interpolasi apa pun. Pengaburan dalam sistem optik merupakan kombinasi dari batasan optik lensa dan pengaburan yang disengaja yang diperkenalkan oleh filter anti-aliasing pada sensor. Penajaman biasanya diimplementasikan dengan menggunakan variasi masking unsharp, yang dikenal sebagai high-boost filtering. Penopengan tidak tajam pada awalnya adalah metode kamar gelap yang digunakan untuk mempertajam gambar dan melibatkan pengurangan versi buram gambar dari aslinya untuk meningkatkan frekuensi tinggi. Dalam pemfilteran peningkatan tinggi, gambar yang hanya berisi frekuensi tinggi, keluaran dari filter deteksi tepi, ditambahkan ke versi asli yang diperkuat. Gambar yang dipertajam biasanya diperoleh dengan menggunakan filter deteksi tepi turunan kedua Laplacian, yang merupakan filter konvolusi linier dua dimensi. Gambar asli diperkuat dengan mengalikannya dengan konstanta. Lihat Bab 27 untuk detail semua operasi ini. Jangkauan dan desain filter serta faktor amplifikasi akan menentukan tingkat penajaman pada gambar yang dihasilkan dan tingkat artefak penajaman terkait.

### **23. Tone/Colour rendering**

Output sinyal dari sensor gambar berada dalam status gambar sensor, yaitu nilainya sepenuhnya bergantung pada perangkat. Data gambar sensor tidak dapat dilihat, pada dasarnya karena nilai-nilai tersebut belum diinterpretasikan. Proses mengubah data menjadi keadaan di mana mereka dapat dipahami dan direproduksi sebagai nilai warna oleh perangkat lain seperti layar atau printer dikenal sebagai rendering warna. Proses rendering warna mengubah gambar ke status gambar yang mengacu pada keluaran, di mana nilainya ditentukan dalam hal reproduksi pada perangkat output nyata atau virtual. Rendering dapat diimplementasikan dalam prosesor sinyal digital di kamera atau, jika data RAW yang tidak dirender dikeluarkan, akan diterapkan pada konversi RAW. Proses rendering warna adalah prosedur yang sangat kompleks, melibatkan banyak tahapan dan dibahas secara rinci dalam Bab 23. Ini juga mungkin melibatkan penggunaan profil warna, jika manajemen warna Konsorsium Warna Internasional (ICC) sedang diterapkan. Ini adalah pokok bahasan dari Bab 26. Dalam hal pemrosesan gambar, rendering warna biasanya akan melibatkan tahap pemetaan nada warna, yang dikenal sebagai koreksi gamma (lihat Bab 21). Ini adalah proses di mana output linier (biasanya) dari sensor diubah menggunakan fungsi non-linier, yang paling umum diterapkan menggunakan tabel pencarian. Berbagai tahapan dalam rendering warna dapat dilakukan dengan menggunakan tabel pencarian atau transformasi matriks dari nilai RGB yang didemosikan dari sensor. Penyeimbangan putih dan koreksi warna diimplementasikan sebagai bagian dari proses rendering warna. Pembaca harus mengacu pada bab-bab relevan yang diidentifikasi di atas untuk mengetahui lebih banyak tentang subjek ini.

### **24. Tipe Kamera**

Desain sistem kamera berbasis film dibedakan berdasarkan format gambar, sistem jendela bidik, dan kompleksitas komponen kamera.

Ada beragam desain dan braket nasi untuk sistem kamera digital. Meningkatnya kemampuan komputer desktop dan pertumbuhan pesat dalam penggunaan Internet telah membantu menstimulasi pengembangan perangkat keras dan perangkat lunak untuk fotografi digital dan menyediakan aplikasi yang luas untuk gambar digital di seluruh jaringan global. Teknologi telah berkembang melalui upaya penelitian dan pengembangan dari berbagai disiplin ilmu. Bersamaan dengan pabrikan peralatan fotografi yang terkenal,

sistem kamera telah diproduksi oleh pabrikan baru di pasar, yang sebelumnya terlibat dalam jenis teknologi lain.

Berbagai macam desain kamera digital telah berkembang sebagai respons terhadap (dan memulai) metode dan aplikasi pencitraan yang berbeda. Pertimbangkan perkembangan pesat kamera digital yang dimasukkan ke dalam ponsel. Model ponsel kamera awal terdiri dari sensor CMOS beresolusi sangat rendah dan fitur yang agak mendasar, tetapi model yang tersedia pada saat penulisan dapat diintegrasikan ke dalam perangkat komunikasi canggih, yang menggabungkan fitur seperti konektivitas jaringan, kemampuan email, streaming video, dan high besar. layar sentuh resolusi. Kamera ini memiliki resolusi sensor hingga 8 megapiksel, built-in flash, sistem pemfokusan manual dan otomatis dan berbagai fitur canggih lainnya, seperti deteksi wajah dan pengambilan video. Peningkatan kualitas gambar sebagai hasil dari jumlah piksel yang lebih tinggi, optik yang lebih baik, dan pemrosesan gambar yang canggih berarti bahwa ponsel kamera telah menemukan aplikasi yang tersebar luas sebagai alternatif untuk kamera digital kompak. Ini sebagian karena konsumen lebih cenderung membawa ponsel daripada kamera terpisah, tetapi juga karena banyak ponsel sekarang mampu mengkomunikasikan data gambar melalui teknologi Bluetooth atau jaringan broadband.

Ada berbagai macam desain kamera digital yang digunakan untuk berbagai aplikasi. Mulai dari kamera ‘mainan’ berbiaya rendah yang digunakan terutama untuk mengambil gambar untuk situs web, hingga kamera format menengah frame penuh dan punggung pemindaian big format yang ditujukan untuk fotografer profesional, dengan harga mencapai puluhan ribu pound. Fitur dari format kamera utama diringkas di bawah ini dan contoh diilustrasikan pada Gambar 14.9.



Gambar 14.9 Jenis kamera digital. (a) Ultracompact. (b) Compact kelas atas. (c) Jembatan. (d) SLR Digital. (e) Kamera digital format sedang dan punggung digital. (a) iStockPhoto/bbee2000, (b) iStockPhoto/Ronen, (c) iStockPhoto/hayesphotography/Mark Hayes (d) iStockPhoto/Joss/Jostein Hauge, (e) iStockPhoto/Nikada

## 25. Compact digital camera (Kamera digital compact)

Sejauh ini, ini adalah jenis kamera digital paling populer di kalangan konsumen. Mereka dirancang untuk menjadi kecil, portabel dan mudah digunakan, dengan banyak fitur otomatis. Beberapa model tingkat lanjut menawarkan kisaran terbatas lensa yang dapat dipertukarkan dan konverter optik, meskipun sebagian besar kamera ini memiliki lensa zoom yang tidak dapat dipertukarkan. Tampilan monitor LCD biasanya berfungsi sebagai jendela bidik, dan jendela bidik optik mungkin dihilangkan, untuk menghemat biaya dan ukuran.

Model yang paling kecil sering kali dipasarkan sebagai subkompak atau ultra-kompak. Ini cenderung menjadi yang paling otomatis, sebagian besar tanpa pencari tampilan optik. Dengan dimensi sekitar  $100\text{mm} \times 55\text{mm} \times 22\text{mm}$  dan berat antara 100 dan 200 g, mereka benar-benar berukuran saku. Sub-compact atau ultra-compact biasanya menggunakan sensor gambar CCD; dengan beberapa model saat ini yang memiliki lebih dari 10 juta piksel efektif, resolusi lebih dari cukup untuk aplikasi konsumen. Dengan kontrol manual

yang lebih sedikit, penekanannya ada pada fitur otomatis, dengan banyak mode pemotretan tingkat lanjut dan mode pemandangan prasetel. Banyak dari kamera ini memiliki berbagai mode eksposur otomatis dan juga memungkinkan pengaturan eksposur manual. Beberapa model menawarkan fungsi seperti mode makro dan film, dan bantuan jahitan untuk produksi gambar panorama. Meskipun banyak sub-kompak hanya akan mengeluarkan gambar terkompresi JPEG, beberapa model yang lebih baru juga mengeluarkan file RAW.

Kamera saku kelas atas kadang-kadang diberi label sebagai kamera saku prosumer (konsumen profesional), yang menunjukkan bahwa kamera itu dipasarkan kepada para amatir yang serius atau fotografer profesional. Meskipun kecil, mereka lebih besar daripada kebanyakan compact digital dan desain eksternal seringkali lebih tradisional, dengan bodi kamera hitam dan kontrol eksternal untuk eksposur dan pemfokusan lebih konsisten dengan yang ada pada kamera digital SLR. Mereka cenderung memiliki lebih sedikit fitur otomatis dan penekanan pada peningkatan kualitas gambar melalui komponen optik yang lebih mahal, seringkali juga menggabungkan stabilisasi gambar untuk mengurangi goyangan kamera. Dengan sensor CCD atau CMOS yang berisi hingga 12 juta megapiksel, resolusi sensor menyaingi banyak SLR digital, meskipun ukuran sensor biasanya jauh lebih kecil. Beberapa dari kamera ini memiliki lensa tetap daripada lensa zoom; sebagai alternatif, kamera mungkin memiliki zoom optik dengan rasio sangat tinggi.

## **26. Bridge digital cameras (Kamera digital Bridge)**

Nama untuk kamera digital kelas ini berasal dari desainnya, yang dimaksudkan untuk memberikan langkah perantara antara kamera saku dan kamera digital SLR. Seperti kamera saku digital kelas atas, kamera ini sering dipasarkan sebagai kamera prosumer. Dimensi, berat, dan bentuk bodinya serupa dengan kamera digital SLR, tetapi tanpa lensa yang dapat dilepas atau bidikan tampilan refleks lensa tunggal, mengandalkan pratinjau langsung gambar pada layar LCD dan jendela bidik optik atau elektronik. Mereka memiliki sensor yang lebih kecil daripada SLR digital, dengan dimensi yang lebih tipikal dari kamera saku (sensor 1/2,5 inci, dengan dimensi  $5,8 \times 4,3$  mm, biasanya). Hasilnya, lensanya lebih kecil daripada lensa SLR digital, sehingga memungkinkan lensa tersebut menggabungkan rentang panjang fokus yang sangat luas ke dalam lensa zoom yang tidak dapat dilepas. Model terbaru memungkinkan zoom optik hingga x20, memberikan kisaran panjang fokus sekitar 20-500mm (setara dengan panjang fokus 35 mm). Untuk alasan inilah beberapa kamera bridge diklasifikasikan sebagai kamera superzoom. Resolusi sensor sekitar 10 juta

piksel saat ini tersedia dan mereka menyertakan tingkat fitur otomatis dan canggih yang sama seperti compact di samping banyak kontrol manual SLR digital. Seperti compact, banyak model yang lebih baru mengeluarkan file RAW serta JPEG terkompresi. Beberapa model juga menawarkan fungsi seperti mode pemotretan burst kecepatan tinggi, yang memungkinkan pengambilan banyak frame per detik berturut-turut (13 frame per detik, gambar pada resolusi yang dikurangi, dikutip untuk satu model saat ini), fitur yang kurang umum di kompak. Namun, masa depan jenis desain kamera ini tidak pasti, karena perkembangan fitur-fitur canggih pada kamera saku dan penurunan yang signifikan dalam biaya kamera digital SLR, khususnya model semi-profesional (lihat di bawah), dibandingkan dengan beberapa bertahun-tahun lalu.

## **27. Kamera DSLR (Digital-single-lens-reflex)**

Kamera ini sangat mirip dalam desain dengan kamera film 35mm yang setara dan, seperti yang telah disebutkan, beberapa produsen telah mempertahankan posisi dan desain kontrol eksternal dari kamera film mereka untuk memudahkan transisi bagi fotografer dari film ke gambar digital. Seperti pada SLR konvensional, mereka menggunakan sistem cermin mekanis dan pentaprisme untuk memberikan gambar dalam sebuah penunjuk tampilan optik, dan mereka ditujukan untuk pasar fotografer amatir dan profesional tingkat lanjut. Perbedaan utama dari SLR film adalah penggunaan sensor digital dan tampilan LCD yang, tidak seperti kamera kompak dan bridge, hanya berfungsi sebagai perangkat pemutaran gambar yang diambil dan bukan sebagai jendela bidik. Mereka menggabungkan sebagian besar fitur dalam hal mode fokus, eksposur, dan pengukuran eksposur dari film SLR dan memiliki rangkaian aksesoris yang serupa. Mereka juga dapat mencakup banyak fitur lanjutan yang khusus untuk kamera digital, seperti kemampuan untuk menerapkan ‘gaya’ gambar yang telah ditentukan sebelumnya untuk usia (misalnya, mengubah saturasi untuk persyaratan berbagai jenis konten adegan atau untuk menghasilkan gambar monokrom). Namun, kamera ini tidak memiliki berbagai macam fungsi otomatis yang merupakan karakteristik dari kamera saku.

Dimensi sensor lebih besar daripada yang digunakan pada kamera compact dan bridge (lihat Tabel 14.2), dan sensor CMOS lebih umum, meskipun kelas kamera ini masih didominasi oleh CCD. Resolusi sensor dalam model terbaru berkisar dari sekitar 10 juta hingga 24,6 juta piksel untuk beberapa format sensor full-frame yang, seperti dijelaskan sebelumnya, memiliki dimensi yang setara dengan film 35 mm.

SLR digital terbagi dalam dua kelas besar. SLR digital semi-profesional, ditujukan untuk amatir yang serius, secara signifikan lebih murah daripada SLR digital profesional (sebagian besar setara 35 mm, meskipun ada beberapa model format menengah yang tersedia, dijelaskan di bagian selanjutnya). Di Inggris Raya pada saat penulisan, kategori pertama umumnya di bawah £ 1000, sedangkan biaya SLR profesional dapat mencapai beberapa ribu pound untuk bodi kamera saja. Harga DSLR semi-profesional yang lebih rendah ditunjukkan pada sensor yang lebih kecil, kualitas optik lensa yang menyertainya lebih rendah, dan kualitas bodi kamera yang dibuat, yang cenderung dibuat dari bahan yang lebih murah dan kurang tangguh daripada yang lebih tinggi- akhiri kamera profesional. Ukuran sensor yang lebih kecil berarti bahwa panjang fokus efektif lensa dari film SLR meningkat. Selain itu, mereka memiliki fitur yang mirip dengan rekan mereka yang lebih mahal, tetapi mungkin memiliki lebih banyak fitur otomatis untuk menarik pasar konsumen.

## **28. Kamera digital dan kamera punggung untuk format sedang dan besar**

Sulit dan mahal untuk membuat sensor digital area besar tanpa ketidaksempurnaan yang berarti. Ini berarti bahwa pengembangan kamera digital untuk produksi gambar yang setara dengan kamera film format menengah dan besar jauh lebih lambat daripada format yang lebih kecil. Hal ini juga sebagian karena fakta bahwa fotografer yang menggunakan format gambar yang lebih besar menempati bagian yang relatif kecil dari pasar profesional. Sistem kamera ini sangat mahal untuk semua kecuali fotografer profesional, dan secara umum jauh lebih mahal daripada film yang setara.

Sejumlah opsi berbeda tersedia untuk format medium digital. Ini termasuk SLR digital format menengah dengan lensa yang dapat dipertukarkan, punggung digital untuk digunakan dengan sistem kamera format menengah yang ada, dan sistem kamera format menengah digital dengan desain dan pengaturan jendela bidik serupa dengan kamera film format menengah.

SLR digital format menengah memiliki sensor yang lebih besar dari SLR digital setara 35mm dan menggunakan lensa format sedang. Mereka bervariasi dalam desain; beberapa memiliki bodi kamera yang sangat mirip dengan SLR digital format lebih kecil, dengan jendela bidik pentaprisma tetap di bagian atas bodi kamera yang menampung sensor dan sistem cermin refleksi. Contohnya adalah model paling awal, ZD Mamiya, yang diumumkan di Photokina pada tahun 2004. Model lainnya lebih terlihat seperti sistem

kamera format menengah tradisional dan desainnya modular, memungkinkan pemilihan jendela bidik yang berbeda, misalnya. Kedua tipe ini relatif kompak dibandingkan dengan sistem kamera format medium digital lainnya. Mereka biasanya menggunakan sensor CCD  $48\text{mm} \times 36\text{ mm}$ , dengan resolusi sensor hingga 50 juta piksel dalam model yang diumumkan pada tahun 2008.

Sistem kamera format menengah memiliki badan kamera berdasarkan desain sistem kamera format menengah tradisional, dengan jendela bidik yang dapat diganti (45, 90, dan setinggi pinggang) dan sistem shutter diafragma lensa. Sensor ditempatkan di punggung digital, yang dalam beberapa kasus kompatibel dengan banyak kamera format sedang dan besar yang berbeda. Model saat ini memiliki sensor CCD yang berkisar dari format persegi  $36 \times 36\text{ mm}$ , dengan 16 juta piksel efektif, hingga sensor frame lebar sebenarnya dari  $56 \times 36\text{mm}$  dengan 56 juta piksel efektif dalam model yang baru-baru ini diumumkan. Seperti disebutkan di atas, punggung digital mungkin dijual terpisah untuk digunakan dengan sistem kamera yang ada.

Seperti yang telah disebutkan, beberapa punggung digital yang menggunakan larik area untuk format sedang juga dapat digunakan dengan kamera big format. Pilihan lain untuk big format adalah penggunaan scan back, yang dapat diintegrasikan ke dalam sistem kamera atau mungkin modular untuk digunakan dengan kamera view. Pindai punggung menggunakan CCD trilinear dan beroperasi dengan memindai di seluruh area gambar. Oleh karena itu, mereka hanya cocok untuk subjek benda mati dan pekerjaan reproduksi. Resolusi hingga sekitar 400 juta piksel tersedia di ujung paling atas pasar. Bahkan pada resolusi ini, mereka tidak sepenuhnya menutupi dimensi film format  $4 \times 5$  inci ( $102 \times 127\text{ mm}$ ), lebih mendekati  $3 \times 4$  inci ( $76 \times 102\text{ mm}$ ), tetapi lebih dari resolusi yang diperlukan.

## **29. Specialist digital camera (Kamera digital spesialis)**

Kamera untuk aplikasi industri dan ilmiah ditawarkan oleh produsen spesialis. Kamera berkinerja tinggi ini dirancang untuk tujuan tertentu. Persyaratan kualitas gambar dari aplikasi yang dirancang, menggunakan teknik khusus dalam kondisi pencitraan tertentu, menentukan desain kamera dan sangat berbeda dengan kebutuhan aplikasi pencitraan konsumen dan komersial standar. Misalnya, dalam beberapa kasus, sensor yang digunakan mungkin tidak selalu menawarkan resolusi yang sama seperti yang digunakan pada kamera konsumen, tetapi desain dan kinerja sensor dalam kondisi tertentu akan optimal. Tentu saja

banyak penekanan ditempatkan pada desain optik, karena banyak kriteria akan sama seperti untuk kamera film dan perangkat pencitraan untuk aplikasi ilmiah.

Kamera industri dapat digunakan untuk berbagai aplikasi seperti inspeksi optik otomatis, metrologi, inspeksi panel datar, manajemen lalu lintas, biometrik, pencitraan tiga dimensi, dan banyak lainnya untuk industri yang berbeda. Komponen pabrikan peralatan asli (OEM) juga tersedia untuk disematkan dalam sistem oleh pabrikan lain (OEM tertanam). Kamera ilmiah dirancang untuk aplikasi penglihatan yang luas, seperti mikroskop digital, untuk digunakan dalam pencitraan medis dan forensik. Aplikasi pengawasan memerlukan kamera spesialis resolusi tinggi dengan kinerja superior di bawah tingkat cahaya rendah dan dapat menggunakan arsitektur sensor yang dirancang khusus dan teknik pemrosesan gambar tingkat lanjut. Dalam kamera digital untuk astrofotografi, penekanannya adalah pada kecepatan frame yang cepat dan noise yang sangat rendah. Selain keuntungan dalam hal fleksibilitas dan kecepatan yang ditawarkan oleh sensor gambar digital, banyak dari aplikasi ini menggunakan pemrosesan gambar digital secara ekstensif untuk lebih memperluas kemampuan sistem pencitraan.

### **30. Image Scanner**

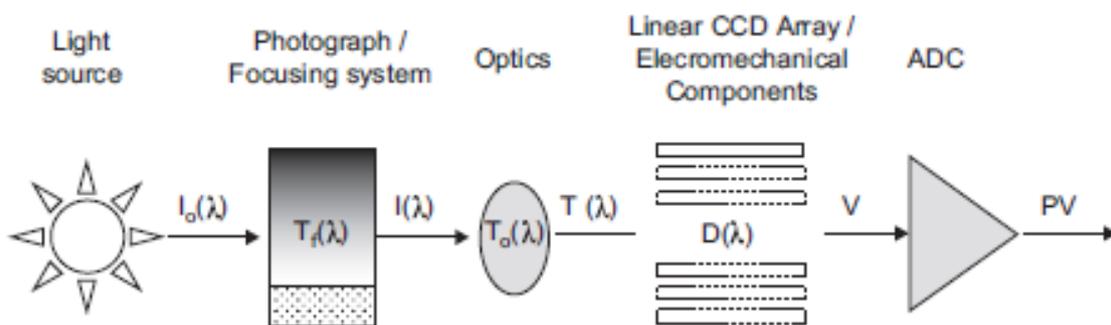
Digitalisasi dokumen asli foto, baik dalam bentuk film atau cetakan, dilakukan dengan menggunakan scanner gambar. Scanner pertama yang dikembangkan adalah scanner Murray dan Morse pada tahun 1941 dan scanner Hardy dan Wurzburg pada tahun 1948, yang bertujuan untuk menghasilkan pelat fotografi warna kontinu.

Ada beberapa jenis scanner, yang paling umum: scanner drum, digunakan untuk memindai film dan transparansi; scanner alas datar (lihat Gambar 14.10), digunakan untuk memindai foto cetakan, dokumen dan, dengan beberapa model, film; dan scanner film khusus. Jenis teknologi scanner yang lebih baru, scanner Flextight, menggabungkan beberapa aspek dari scanner drum dan scanner film. Perangkat Allin-one terdiri dari scanner alas datar dan printer yang digabungkan dalam satu unit.

Ketika suatu bahan dipindai, itu diterangi oleh sumber cahaya yang sesuai dan cahaya yang dipancarkan atau dipantulkan dari bahan yang dipindai ditangkap oleh sensor digital. Tegangan sensor diubah menjadi nilai digital oleh konverter analog-ke-digital (A/D) (lihat Gambar 14.11).



Gambar 14.10 yang dikembangkan adalah scanner Murray dan Morse pada tahun 1941 dan scanner Hardy dan Wurzburg pada tahun 1948, yang bertujuan untuk menghasilkan pelat foto berwarna kontinu.



Gambar 14.11 Komponen dasar scanner, di mana  $I_o(\lambda)$  adalah distribusi spektral iluminasi scanner,  $T_f(\lambda)$  adalah transmisi spektral (atau reflektansi) dari media,  $T_o(\lambda)$  adalah transmitansi spektral dari optik, lensa,  $D(\lambda)$  adalah sensitivitas sensor pencitraan,  $V$  adalah tegangan sensor gambar dan  $PV$  adalah nilai digital yang dikonversi (atau nilai piksel). Diadaptasi dari Triantaphillidou (2001)

Scanner warna biasanya memiliki tiga baris elemen sensor CCD (yaitu tiga CCD linier) yang ditutupi dengan filter red, green, dan blue (RGB), untuk memisahkan gambar menjadi tiga saluran warna. Pemisahan warna sebagai alternatif dapat dicapai dengan menggunakan sensor CCD linier tanpa filter dan larik RGB dioda pemancar cahaya (LED) yang memberikan flash hijau dan biru terpisah untuk setiap garis pemindaian. Pengecualiannya adalah scanner multi-spektral yang dijelaskan nanti dalam bab ini.

Pada scanner yang menggunakan tiga baris CCD tersaring, filter memiliki karakteristik pita sempit dan puncak red, green, dan blue dipilih untuk memberikan kecocokan yang wajar dengan karakteristik pewarna dari berbagai media asli hard copy/film. Misalnya, dalam scanner yang dirancang terutama untuk mendigitalkan gambar fotografi, puncak RGB filter sangat cocok dengan penyerapan pewarna subtraktif cyan, magenta, dan kuning yang khas pada kertas foto. Dalam praktiknya, efek metamerisme (lihat Bab 5) dapat terjadi dalam beberapa kasus, di mana dua warna yang tampak berbeda secara visual pada gambar hard copy menghasilkan nilai RGB yang sama pada gambar digital.

Metode pengambilan gambar, jenis sensor dan sumber cahaya bergantung pada jenis scanner. Stabilitas temporal merupakan karakteristik penting dari sumber cahaya yang digunakan dalam scanner dan bergantung pada jenis sumbernya. Stabilitas yang baik selama pemindaian gambar sangat penting; walaupun variasi apapun dari sumber dapat disesuaikan baik dengan mengoreksi nilai reflektansi atau transmitansi dari gambar yang dipindai, atau dengan mengatur catu daya dari sumber, keduanya akan meningkatkan biaya scanner. Distribusi daya spektral sumber merupakan parameter penting dalam reproduksi warna. Pada scanner awal, lampu fluoresen digunakan sebagai sumber cahaya. Mereka kemudian diganti dengan lampu fluoresen katoda dingin (CCFLs) dan baru-baru ini dengan lampu busur xenon dan laser. Pada saat penulisan, lampu LED putih telah diperkenalkan di beberapa model, meminimalkan waktu pemanasan yang diperlukan.

Ketidakteragaman iluminasi yang dihasilkan oleh sumber cahaya, bersama dengan variasi transmisi lensa dan variasi sensitivitas elemen individu dalam sensor digital, dapat menyebabkan ketidakseragaman spasial pada tingkat piksel, yang sangat sulit dikoreksi dalam digital. gambar. Untuk alasan ini scanner dikalibrasi menggunakan target yang dirancang khusus untuk tujuan tersebut dan hasilnya digunakan untuk menghitung nilai individual penguatan elektronik untuk setiap piksel, yaitu unit analog-ke-digital (ADU) per elektron. Informasi ini disimpan dalam memori scanner dan diterapkan ke gambar keluaran digital selama proses pemindaian, untuk memastikan bahwa respons semua piksel adalah sama. Variasi lebih lanjut pada gambar yang dipindai mungkin dihasilkan dari berbagai sumber gangguan lain yang ada di dalam sistem (lihat Bab 9 dan 24).

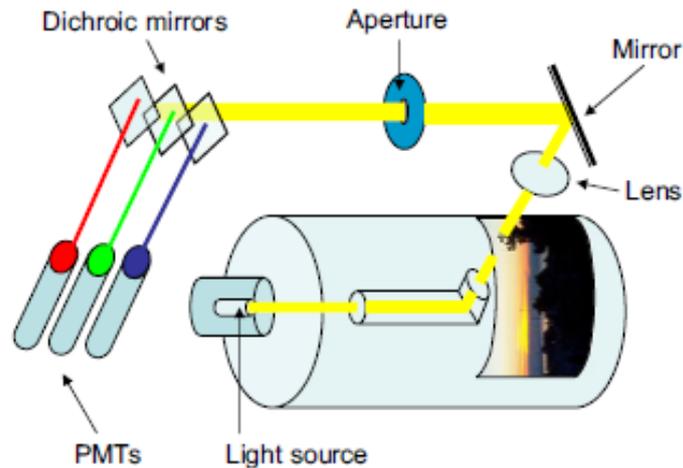
Perlu dicatat bahwa scanner dapat dipengaruhi oleh suhu dan kelembapan yang ekstrim. Oleh karena itu, lokasi yang sesuai untuk perangkat scanner harus dipilih untuk meminimalkan efek kondisi lingkungan. Penggunaan catu daya berkelanjutan juga disarankan karena komponen scanner dapat rusak oleh lonjakan arus listrik. Oleh karena itu, scanner harus dipasang ke perangkat catu daya tak terputus (UPS).

## JENIS SCANNER

### 31. Drum Scanner

Dalam scanner drum, bahan asli, transparan atau reflektif, dipasang di sekitar drum bening dan diterangi oleh lampu xenon atau tungsten ehalogen intensitas tinggi (Gambar 14.12). Saat memindai materi transparan, sumber cahaya terletak di dalam drum, sedangkan untuk memindai materi reflektif terletak di luar drum. Cahaya difokuskan pada bahan asli dan putaran silinder dengan kecepatan tinggi menyebabkan titik cahaya terfokus bergerak di sepanjang silinder dan secara bertahap memindai aslinya. Cahaya terfokus yang melewati (atau dipantulkan dari) materi asli mencapai sekumpulan cermin dichroic. Mirror ini membagi cahaya menjadi komponen red, green, dan blue (RGB) melalui filter RGB dan mengalihkannya ke unit sensor dengan photomultiplier tube (PMTs). PMT adalah perangkat yang mendeteksi foton. Mereka sensitif terhadap rentang panjang gelombang dari panjang gelombang ultraviolet pendek (UV) ke inframerah jauh (IR). Pulsa arus yang dihasilkan oleh setiap foton yang terdeteksi menghasilkan sinyal analog yang dihasilkan oleh PMT. Data ini diubah menjadi bentuk digital menggunakan ADC. Jumlah level terkuantisasi bergantung pada kedalaman bit ADC (seperti yang dijelaskan sebelumnya di bab ini, jumlah level =  $2^b$ , di mana  $b$  adalah jumlah bit yang dialokasikan per piksel). Pendinginan PMT sangat penting untuk mengurangi arus gelap (lihat Bab 9).

Batasan scanner drum adalah persyaratan bahwa dokumen asli fleksibel dan dapat dipasang di sekitar silinder scanner. Namun demikian, untuk sebagian besar materi fotografi, hal ini tidak menjadi masalah. Membengkokkan dokumen asli memungkinkan pemindaian beresolusi sangat tinggi; scanner ini mewakili pasar profesional dalam hal kualitas dan biaya gambar yang dipindai.



Gambar 14.12 Dalam scanner drum, materi hard copy asli dipasang di sekitar drum bening. Cahaya difokuskan pada material hard copy dan silinder berputar. Titik cahaya terfokus bergerak di sepanjang silinder dan secara bertahap memindai aslinya. Cermin Dichroic membagi cahaya menjadi komponen red, green, dan blue dan mengalihkannya ke unit sensor dengan PMT. Data dari PMT diubah menjadi bentuk digital dengan konverter analogueto-digital (A/D atau ADC).

### 32. Flatbed scanner

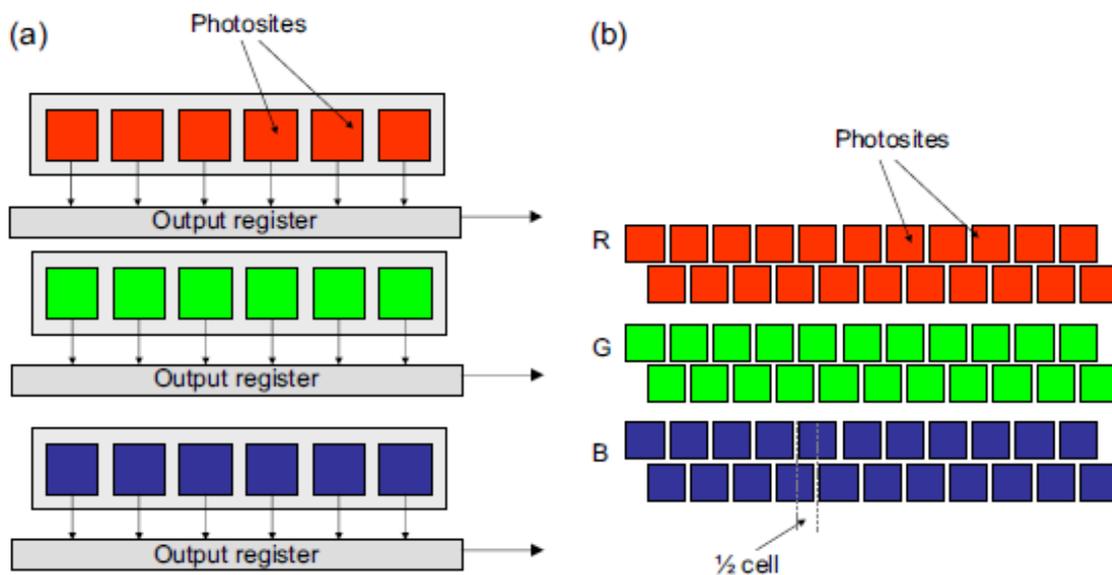
Fungsi utama asli scanner alas datar adalah memindai bahan reflektif, tetapi banyak model yang tersedia saat ini juga memindai bahan transparan. Mereka menggunakan baik sensor CCD atau sensor gambar kontak (CIS) sebagai pengganti tabung pengganda foto (lihat Bab 9). Scanner datar dengan sensor CCD berisi larik linier elemen CCD.

Model yang merekam informasi warna dengan tiga lintasan (untuk merah, hijau, dan biru) berisi sensor CCD dengan satu baris elemen. Setiap lulus merekam satu saluran warna. Warna cahaya berubah setelah setiap lintasan, baik dengan mengganti sumber cahaya RGB atau dengan menggunakan cahaya putih dan mengganti filter RGB. Pengambilan gambar sekali jalan yang menggunakan larik tak tersaring juga telah digunakan dengan penggunaan lampu RGB yang berkedip secara berurutan selama pemindaian setiap baris. Model yang merekam informasi warna dengan satu lintasan menggunakan larik CCD trilinear (dengan tiga baris elemen). Dalam hal ini elemen CCD di setiap baris disaring dengan warna red, green, dan blue (Gambar 14.13a).

Perlu dicatat bahwa ada variasi dalam teknologi CCD yang digunakan, misalnya scanner alas datar resolusi tinggi dapat menggunakan CCD enam baris, sebuah larik dengan baris ganda elemen CCD untuk setiap saluran red, green, dan blue. Dalam kasus ini, resolusi tinggi dicapai dengan tumpang tindih CCD daripada menggunakan elemen CCD

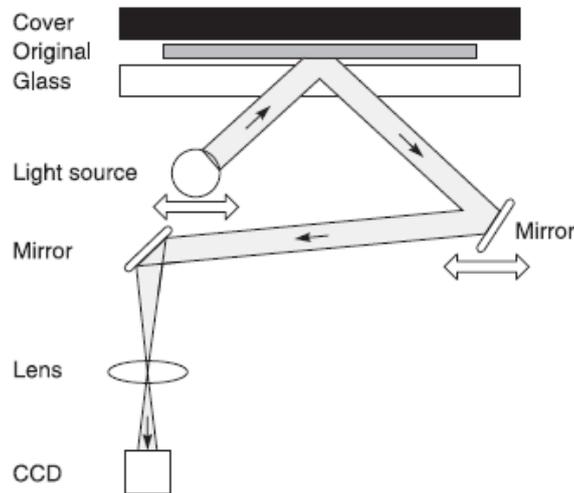
dengan dimensi yang sangat kecil, yang membantu mengurangi tingkat noise yang biasanya terkait dengan elemen penginderaan kecil. Selama pemindaian, setiap baris dokumen asli dipindai oleh kedua baris. Data dari kedua baris kemudian digabungkan untuk satu keluaran red, green, dan blue untuk setiap baris. Contoh dari teknologi ini adalah Canon Hyper CCD (Gambar 14.13b).

Saat memindai materi reflektif, hard copy ditempatkan menghadap ke bawah pada pelat kaca atas (Gbr 14.14). Selama proses pemindaian, sumber cahaya linier, yang dapat berupa tabung fluoresen atau lampu halogen, bersama-sama dengan cermin, bergerak ke bawah sepanjang hard copy. Cahaya dipantulkan oleh gambar hard copy dan kemudian oleh cermin. Dengan bantuan cermin kedua, ini diarahkan ke susunan CCD melalui unit lensa dengan perbesaran tetap. Perbesaran tergantung pada ukuran gambar hard copy dan ukuran sensor.



Gambar 14.13 (a) Larik trilinear CCD dengan elemen filter RGB. (b) Larik CCD dengan baris RGB ganda dari elemen CCD

Karena hard copy asli diletakkan di atas pelat kaca, debu atau tanda apa pun pada kaca dan permukaan hard copy harus dihilangkan secara menyeluruh, jika tidak, debu atau noda tersebut akan muncul pada gambar yang didigit. Meskipun nanti dapat dihapus menggunakan perangkat lunak pencitraan, produktivitas dapat terpengaruh secara merugikan jika gambar dalam jumlah besar dipindai setiap hari. Goresan pada cetakan (atau film) dapat dihilangkan secara digital atau, pada beberapa scanner, dapat dikoreksi dengan menggunakan fitur pengurangan goresan yang dijelaskan nanti dalam bab ini.



Gambar 14.14 Penampang scanner flatbed

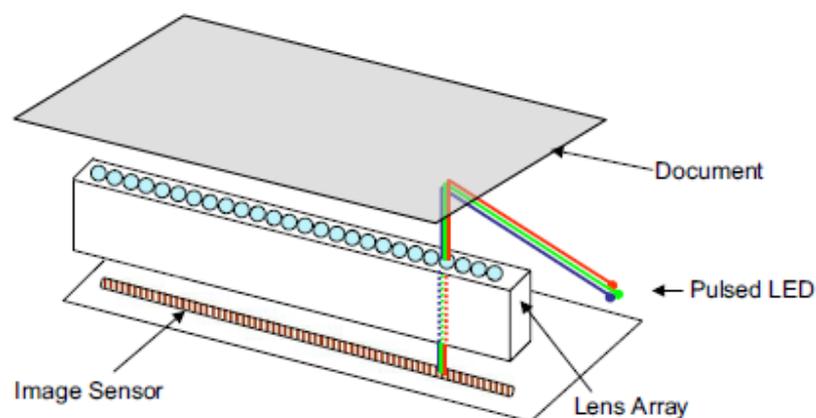
Scanner alas datar untuk bahan reflektif dapat diubah untuk memindai bahan transparan menggunakan sistem optik transmisi cahaya yang tertanam di penutup scanner. Sistem ini memberikan gambar berkualitas baik jika transparansi big format (hingga 200x250 mm) dipindai. Untuk film 35 mm, resolusi optik scanner harus lebih besar dari 2000 piksel per inci untuk hasil yang baik. Resolusi optik dibahas lebih rinci nanti di bab ini.

Scanner alas datar dengan sensor gambar kontak (CIS) lebih ramping dan ringan dibandingkan dengan scanner dengan sensor CCD. CIS terdiri dari dioda pemancar cahaya (LED) red, green, dan blue yang menerangi gambar pada sudut 45, dan deretan sensor CCD atau CMOS yang menangkap cahaya yang dipantulkan melalui susunan lensa yang terletak di atas sensor (lihat Gambar 14.15). Lebar baris sensor sama dengan lebar area pemindaian. Dengan penggunaan teknologi CIS tidak diperlukan sistem optik, lampu, atau filter. Karena alasan ini scanner memiliki konsumsi daya yang lebih rendah dan mengurangi biaya produksi. Dengan CIS, distorsi geometris dari gambar yang dipindai, yang mungkin disebabkan oleh lensa dan cermin dalam scanner CCD, dihilangkan. Colour gamut dari scanner CIS bergantung pada output spektral dari LED daripada filter RGB

### 33. Film scanner

Pemindaian film dilakukan oleh scanner khusus (transmisi film/transparansi), yang juga menggunakan sensor CCD. Scanner ini memberikan gambar berkualitas lebih tinggi daripada scanner alas datar yang dijelaskan di atas, karena dynamic range dan resolusi yang lebih tinggi dibandingkan dengan scanner alas datar. Seperti scanner untuk bahan reflektif,

sensor CCD bersifat linier, yang terdiri dari satu baris elemen CCD yang tidak tersaring (untuk menangkap warna dengan tiga lintasan) atau tiga baris elemen CCD yang disaring (untuk satu lintasan). Pada sebagian besar scanner, sensor tidak bergerak dan film bergerak melintasi sensor. Dalam kasus di mana scanner terdiri dari larik CCD area, informasi gambar direkam dengan serangkaian eksposur dengan cahaya red, green, dan blue. Perlu dicatat bahwa saat film dipindai, emulsi harus menghadap sensor untuk menghilangkan difusi gambar. Difusi dapat terjadi sebagai akibat dari cahaya yang lewat dari dasar film yang lebih tebal setelah melalui emulsi. Selain itu, ketika emulsi menghadap sensor, optik scanner difokuskan pada emulsi.



Gambar 14.15 Scanner dengan teknologi CIS didasarkan pada deretan sensor CCD atau CMOS yang sama dengan lebar area pemindaian. Mereka menangkap cahaya yang dipantulkan oleh materi asli melalui rangkaian lensa.

### 34. Flextight scanner

Scanner Flextight adalah scanner yang menggunakan sensor gambar CCD dan dudukan fleksibel magnetik yang membengkokkan aslinya di sekitar drum virtual. Pembengkokan dokumen asli membantu meningkatkan resolusi pemindaian dan tidak ada kaca antara dokumen asli dan sensor, yang membantu meningkatkan kualitas gambar yang dipindai. Array CCD tetap diam saat aslinya (yang mungkin berupa negatif, positif atau media cetak) diputar. Penerangan aslinya dilakukan oleh tabung cahaya katoda dingin, yang memancarkan radiasi IR tingkat sangat rendah dan karenanya panas. Desain scanner memungkinkan pengaturan lensa yang lebih sederhana, tanpa menggunakan cermin. Ketika format yang berbeda dipindai, lensa melakukan zoom sesuai untuk memastikan bahwa resolusi CCD sesuai dengan lebar aslinya. Fitur lain dari scanner Flextight adalah perubahan intensitas sumber cahaya tergantung pada densitas sumber cahaya. Resolusi

maksimum dari jenis scanner ini, pada saat penulisan, 8000ppi. Untuk alasan ini, dan karena dynamic range yang tinggi dari scanner ini, hasil berkualitas sangat tinggi dapat diperoleh saat memindai film format sedang dan besar. Scanner ini jauh lebih mahal daripada jenis scanner desktop lainnya dan karena itu ditujukan untuk pasar profesional, tetapi memberikan alternatif yang terjangkau untuk pemindaian drum.

### **35. Multi-spectral scanner**

Pengambilan gambar pada tiga kanal warna (RGB) memiliki keterbatasan ketika ada kebutuhan untuk memperoleh data kolorimetri dari gambar digital, karena nilai RGB gambar tergantung pada karakteristik scanner. Solusi seperti koreksi warna melalui karakterisasi scanner (lihat Bab 23) memberikan hasil yang akurat hanya untuk media spesifik yang mengkarakterisasi scanner. Untuk aplikasi khusus di mana ketidakjelasan warna sangat penting, pencitraan multi-spektral diusulkan. Ini pada awalnya dikembangkan untuk aplikasi penginderaan jauh, di mana spektrum yang ditangkap dapat melebihi spektrum yang terlihat.

Dalam pencitraan multi-spektral, warna ditangkap di lebih dari tiga saluran menggunakan filter pita sempit yang sesuai. Perlu diperhatikan bahwa jumlah data yang diolah dengan metode ini jauh lebih besar daripada data dari scanner yang menangkap gambar di tiga saluran dan hal ini berpengaruh pada waktu pemrosesan dan penyimpanan gambar. Data spektral gambar diambil di beberapa saluran tergantung pada sistem. Digitalisasi karya seni adalah contoh salah satu aplikasi yang menggunakan pemindaian multi-spektral, karena nada warna yang lebih besar memberikan lebih banyak informasi tentang karakteristik karya asli, yang seringkali diperlukan untuk tujuan restorasi.

# KARAKTERISTIK SCANNER

## 36. Sampling dan resolusi

Saat gambar fotografis hard copy dipindai, nada kontinu diwakili dalam gambar digital keluaran oleh serangkaian nilai digital. Nilai setiap elemen dari larik mewakili sampel pantulan aslinya di lokasi diskrit yang sesuai dari gambar itu. Array, bagaimanapun, memiliki jumlah nilai yang terbatas, jadi pengambilan sampel gambar nada kontinu spasial berarti bahwa beberapa detail spasial mungkin hilang. Seperti yang dijelaskan dalam bab-bab sebelumnya, penentuan laju pengambilan sampel yang menghindari kehilangan informasi yang signifikan disediakan oleh teorema pengambilan sampel Whittaker-Shannon. Menurut teorema tersebut, frekuensi spasial yang dapat dipulihkan sepenuhnya dari sampel diskrit adalah frekuensi yang berada di bawah frekuensi Nyquist (lihat Bab 7). Frekuensi di atas Nyquist menghasilkan aliasing.

Resolusi scanner terkait dengan laju pengambilan sampelnya dan diukur dalam piksel per inci (ppi) atau sampel per inci (spi). Resolusi terkadang, salah, dikutip dalam titik per inci (dpi). Istilah ini, bagaimanapun, lebih tepat mengacu pada resolusi output, seperti resolusi printer atau layar. Perlu dicatat di sini bahwa mungkin ada perbedaan antara resolusi optik scanner dan resolusi yang dikutip oleh produsen scanner. Resolusi optik bergantung pada jumlah piksel dalam sensor scanner dan pitch piksel. Resolusi yang dikutip dapat berupa resolusi teoritis atau resolusi interpolasi. Dalam hal ini, interpolasi digunakan untuk meningkatkan jumlah piksel pada gambar (lihat Bab 25). Namun, karena data dalam piksel yang diinterpolasi merupakan hasil penghitungan data dari piksel tetangga, gambar tersebut tidak memiliki detail tambahan. Seperti yang dijelaskan di bagian sebelumnya tentang kamera digital, kualitas gambar bergantung pada algoritma interpolasi. Metode interpolasi yang digunakan oleh pengandar scanner mungkin tidak dikutip oleh pabrikan. Jika gambar dengan resolusi berbeda dari resolusi optik scanner diperlukan, biasanya lebih baik memindai dokumen asli dengan resolusi optik dan kemudian menerapkan metode interpolasi yang sesuai menggunakan perangkat lunak pencitraan. Ini akan memberikan kontrol yang lebih baik atas kualitas gambar digital akhir. Pendekatan ini digunakan dalam alur kerja gambar yang syarat utamanya adalah mendapatkan dan menjaga kualitas gambar yang optimal.

Resolusi optik tergantung pada jenis scanner. Scanner film khusus memiliki resolusi optik tipikal dalam kisaran 1000-4800 ppi dan scanner drum dalam kisaran 8000-12.000 ppi. Pada saat penulisan, resolusi optik dari scanner datar dapat mencapai 6400 ppi. Dalam kebanyakan kasus, resolusi optik dikutip oleh produsen yang menggunakan dua angka, misalnya 1200×2000 ppi. Angka pertama mengacu pada resolusi optik dari sensor gambar array linier. Angka kedua, yang mungkin berbeda dengan yang pertama, adalah resolusi dalam arah tegak lurus larik linier.

Penting untuk dipahami bahwa resolusi optimal untuk pemindaian mungkin juga bergantung pada resolusi media keluaran serta persyaratan kualitas gambar dari alur kerja. Jika persyaratan dari alur kerja adalah untuk efisiensi dan kecepatan pemrosesan untuk keluaran tertentu, maka pemindaian pada resolusi yang lebih tinggi daripada resolusi media akan menghasilkan ukuran file yang besar dengan informasi yang tidak akan digunakan oleh perangkat output. Ukuran file yang besar membutuhkan waktu komputasi yang lebih lama selama pemrosesan gambar dan ini menempati lebih banyak ruang di hard disk komputer. Meskipun untuk sejumlah kecil gambar, hal ini mungkin tidak tampak signifikan, namun dapat berdampak buruk pada efisiensi dan produktivitas saat sejumlah besar gambar dipindai, dimanipulasi, dan disimpan setiap hari. Perhitungan resolusi pemindaian dalam hal ini dilakukan dengan mempertimbangkan dimensi fisik hard copy dan gambar keluaran serta resolusi perangkat output:

*Ekuasi 14.1*

$$R_s = R_o \times \frac{S_d}{S_o}$$

di mana  $R_s$  adalah resolusi pemindaian yang diperlukan,  $R_o$  adalah resolusi perangkat output, Begitu juga ukuran asli dan  $S_d$  adalah ukuran yang diinginkan.

### **37. Dynamic range**

Dynamic range (atau rentang kerapatan) scanner bergantung pada sensornya dan mewakili rentang nilai kerapatan yang dapat dibedakan dan ditangkap. Ini diukur sebagai perbedaan antara kerapatan optik bayangan tergelap ( $D_{\max}$ ) dan kerapatan optik sorotan paling terang ( $D_{\min}$ ). Dynamic range, DR, dapat dinyatakan sebagai (lihat juga Bab 21):

### *Ekuasi 14.2*

$$DR = D_{max} - D_{min}$$

Nilai dynamic range berada dalam skala logaritmik dan dapat berkisar dari 0 ( $D_{min}$ ) hingga sekitar 4,0 ( $D_{max}$ ). Spesifikasi teknis scanner mungkin menyertakan nilai  $D_{max}$  sebagai ganti dynamic range scanner. Perlu dicatat, bagaimanapun, bahwa ada kerugian karena konversi analog-ke-digital yang mengurangi dynamic range yang diukur dari scanner. Perbedaan antara dynamic range scanner dan salinan cetak asli berpengaruh pada kisaran nada yang akan ditampilkan dalam gambar digital. Jika gambar asli memiliki jangkauan dinamis yang lebih tinggi daripada scanner, beberapa nadanya akan terpotong. Kebanyakan scanner reflektif saat ini memiliki jangkauan dinamis yang lebih tinggi daripada bahan cetakan.

Beberapa pabrikan menghubungkan dynamic range scanner dengan kedalaman bit konversi analog-ke-digital. Seperti yang terlihat di awal bab, dynamic range yang dihitung,  $DR_{comp}$ , relatif terhadap kedalaman bit, diberikan oleh ekuasi berikut:

### *Ekuasi 14.3*

$$DR_{comp} = \log(2^n)$$

dengan  $n$  adalah kedalaman bit dari konversi A/D. Dengan menggunakan ekuasi ini, kedalaman bit tinggi menghasilkan dynamic range yang dihitung tinggi.

Namun, angka ini menunjukkan jumlah nada yang mampu dihasilkan oleh scanner. Sedangkan untuk kamera digital, ini tidak memperhitungkan dynamic range dari sensor, yang mungkin lebih tinggi atau lebih rendah, dan efek apa pun dari komponen analog yang dapat mengurangi dynamic range akhir dari gambar digital. Untuk alasan ini, sejumlah metode untuk mengukur dynamic range sebagai pengaleng telah dikembangkan. Metode ini menggunakan diagram uji dengan pola skala abu-abu. Skala abu-abu harus memiliki kisaran kerapatan yang serupa dengan bahan yang dipindai. Perlu diperhatikan bahwa kisaran dinamis dari gambar keluaran scanner tergantung pada bahan yang dipindai. Beberapa cara untuk menentukan  $D_{min}$  dan  $D_{max}$  dari scanner untuk mengukur dynamic range telah diusulkan. Organisasi Standar Internasional (ISO) telah menerbitkan standar ISO 21550: 2004 tentang pengukuran dynamic range scanner. Dalam standar ini  $D_{min}$  didefinisikan sebagai 'densitas minimum di mana sinyal keluaran dari fungsi konversi

opto-elektronik luminansi (OECF) tampaknya tidak terpotong'.  $D^{\max}$  didefinisikan sebagai 'densitas dimana rasio signal-to-noise (SNR) adalah 1'. OECF menghubungkan nilai input dan nilai output scanner (lihat Bab 21). SNR ditentukan oleh ekuasi:

*Ekuasi 14.4*

$$\frac{S}{N}(X_i) = \left( \frac{T_i g_i}{\sigma_i} \right)$$

di mana  $\sigma_i$  adalah deviasi standar dari patch densitas,  $g_i$  'adalah penguatan tambahan patch  $i$ ' dan  $T_i$  'adalah tingkat transmisi patch  $i$ '. Jumlah tambalan abu-abu adalah  $i$ '. dengan imin sebagai tambalan paling terang dan imaks sebagai tambalan paling gelap.

Penguatan inkremental didefinisikan dalam standar ISO sebagai laju perubahan tingkat keluaran dibagi dengan laju perubahan dalam kerapatan masukan. Dynamic range dihitung secara individual untuk saluran red, green, dan blue. Untuk melaporkan satu nilai untuk dynamic range (DR) nilai individual untuk red, green, dan blue harus diberi bobot sebagai berikut:

*Ekuasi 14.5*

$$DR = 0.2125 \times DR_{(R)} \times 0.7154 \times DR_{(G)} \times 0.721 \times DR_{(B)}$$

dimana  $DR_{(R)}$  adalah jangkauan dinamis untuk merah,  $DR_{(G)}$  adalah jangkauan dinamis untuk saluran biru dan  $DR_{(B)}$  adalah jangkauan dinamis untuk saluran biru

### **38. Bit Depth**

Seperti yang disebutkan sebelumnya, nilai analog dari sensor gambar diubah menjadi  $n$  bit diskrit per nilai digital piksel melalui ADC. Kedalaman bit (jumlah bit per piksel) menentukan jumlah tingkat abu-abu keluaran per piksel (lihat Bab 1). Untuk scanner warna, kedalaman bit menentukan jumlah warna yang dapat direproduksi. Saat ini sebagian besar model menawarkan kedalaman bit keluaran hingga 48 bit (16 bit per saluran). Akan tetapi, peningkatan kedalaman bit menghasilkan tingkat kuantisasi tambahan, yang meningkatkan ukuran file. Ini membutuhkan lebih banyak memori dan menghasilkan peningkatan waktu pemrosesan gambar. Untuk mencegah hal ini, gambar 48-bit dapat dikurangi menjadi keluaran warna 24-bit melalui perangkat lunak scanner. Tingkat yang dipilih adalah yang menghasilkan perubahan kecerahan yang sama secara visual. Tergantung pada aplikasi dan

ruang penyimpanan yang tersedia, mungkin lebih baik menyimpan gambar digital dalam kedalaman 48-bit. Hal ini dapat memberikan lebih banyak pilihan untuk pemrosesan usia di masa mendatang (lihat Bab 25).

### **39. Scanning Speed**

Kecepatan pemindaian ditentukan oleh solusi pemindaian dalam arah tegak lurus dengan susunan sensor. Resolusi tinggi akan menghasilkan kecepatan pemindaian yang rendah. Kecepatan pemindaian dapat memengaruhi produktivitas saat sejumlah besar gambar dipindai setiap hari. Ini juga bervariasi antar model. Scanner alas datar, misalnya, membutuhkan 14 detik untuk memindai cetakan berwarna A4 pada 300 ppi dan 25 detik untuk memindai cetakan yang sama pada 600 ppi. Saat memindai film, ada juga perbedaan kecepatan antara scanner flatbed dan film khusus. Scanner alas datar mungkin membutuhkan 35-50 detik untuk film 35 mm, positif atau negatif, sementara scanner film mungkin membutuhkan sekitar 20-50 detik. Kecepatan pemindaian juga dapat dipengaruhi oleh ADC. Satu parameter tambahan yang digunakan untuk mempengaruhi kecepatan pemindaian adalah waktu yang dibutuhkan untuk menyimpan gambar. Semakin cepat kecepatan penyimpanan data saat ini berarti hal tersebut tidak memiliki pengaruh yang signifikan.

### **40. Image Transfer**

Ada empat metode di mana scanner dapat dihubungkan ke komputer: port paralel, universal serial bus (USB), antarmuka sistem komputer kecil (SCSI), dan Fire Wire (juga dikenal sebagai IEEE-1394). Jenis koneksi pertama, port paralel, jarang digunakan saat ini karena, dibandingkan dengan alternatif lain, ini adalah metode yang paling lambat karena kecepatan transfernya 70 KB per detik. Koneksi paralel sekarang sebagian besar telah digantikan oleh koneksi USB yang lebih cepat. Versi terbaru, USB 2.0, mampu mentransfer kecepatan hingga 60 MB per detik, jauh lebih tinggi dari 1.5 MB per detik dari USB 1.1 yang lebih lama. Ini adalah standar koneksi paling umum saat ini. Koneksi SCSI adalah koneksi yang lebih cepat dengan kecepatan data yang sangat tinggi. Misalnya, standar Ultra SCSI menyediakan kecepatan data setinggi 160 MB per detik. Akan tetapi, konfigurasi ini dapat menjadi rumit karena memerlukan pengontrol SCSI atau kartu SCSI di komputer. Keuntungan dari koneksi SCSI adalah beberapa perangkat dapat dihubungkan ke satu port SCSI. Misalnya, hingga delapan perangkat dapat dihubungkan di SCSI 2.

Fire Wire digunakan oleh scanner yang memiliki resolusi output sangat tinggi yang membutuhkan kecepatan transfer lebih cepat karena volume data yang tinggi. Ini lebih cepat dari USB 1.0 dan sebanding dengan SCSI sebelumnya dan USB 2.0.

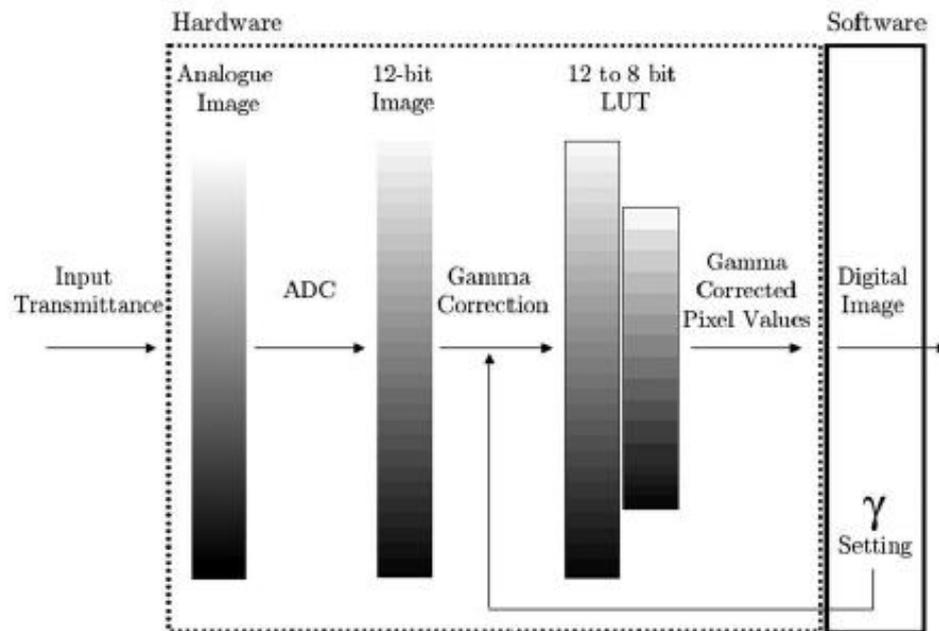
#### **41. Scanner driver**

Produsen scanner memberi pengguna driver, program yang memberikan kontrol atas pengaturan perangkat. Opsi tambahan yang disediakan oleh pabrikan adalah kontrol scanner melalui driver TWAIN (TWAIN bukan singkatan), antarmuka antara perangkat keras scanner dan perangkat lunak pencitraan. Ini memungkinkan komunikasi antara scanner dan aplikasi perangkat lunak pencitraan yang berbeda. Perangkat lunak pemindaian pihak ketiga juga tersedia. Dalam beberapa kasus, pengandar scanner mungkin memberikan lebih banyak fleksibilitas dibandingkan dengan memindai melalui aplikasi perangkat lunak pencitraan dengan menggunakan pengandar TWAIN.

Beberapa opsi tersedia oleh pengemudi untuk mengatur parameter pemindaian. Parameter ini dapat mencakup penajaman, resolusi, kedalaman bit (warna, skala abu-abu, hitam dan putih), keseimbangan warna, saturasi warna, kecerahan, kontras, dan koreksi gamma (lihat Bab 21). Pilihan untuk mengatur koreksi gamma dapat diberikan dengan mengatur nilai  $\gamma$  (yang biasanya merupakan kebalikan dari gamma efektif yang diterapkan dalam pemindaian) dengan mengatur kurva untuk tiga saluran RGB, secara individual atau gabungan. Koreksi gamma sering diterapkan pada sinyal 12-bit atau 16-bit yang kemudian diturunkan sampelnya menjadi 8-bit (Gambar 14.16). Ini dijelaskan lebih rinci pada Bab 21.

Sopir biasanya memberikan opsi untuk menggunakan manajemen warna dan profil. Beberapa driver mengizinkan penggunaan profil kustom. Saat film dipindai, diperlukan pengaturan parameter tambahan. Ini termasuk jenis film (hitam dan putih, positif atau negatif) dan format. Karena fakta bahwa karakteristik pewarna fotografi berbeda-beda, beberapa scanner memungkinkan pengguna menentukan merek film sehingga profil yang sesuai dapat digunakan. Fitur tambahan mungkin juga termasuk seperti pengurangan mata merah, pemulihan warna atau koreksi bayangan. Fitur lainnya adalah dihilangkannya artefak pada gambar digital akibat debu dan goresan pada film. Ini dilakukan dengan terlebih dahulu mendeteksi debu atau goresan pada film, yang dilakukan dengan menyinari film tersebut dengan radiasi IR. Artefak tersebut kemudian ditempatkan dan dihapus menggunakan pemrosesan gambar dengan informasi gabungan dari piksel sekitarnya yang

diperoleh saat film diterangi dengan cahaya putih. Pemilihan ruang warna keluaran (misalnya, sRGB, Adobe RGB -Chapter 23) mungkin tersedia. Gambar RGB digital keluaran dapat disimpan melalui driver sebagai TIFF, bitmap, JPEG atau, dalam beberapa scanner, sebagai format file PNG (lihat Bab 17).



Gambar 14.16 Proses akuisisi, koreksi gamma dan keluaran dilakukan selama pemindaian. Diadaptasi dari Triantaphillidou (2001)

# DISPLAY (TAMPILAN)

## 42. Pengantar

Gambar digital dilihat, dinilai dan dimanipulasi menggunakan sistem tampilan. Teknologi tampilan yang mendominasi hingga saat ini, cathode ray tube display (CRT), berangsur-angsur digantikan oleh liquid crystal display (LCD). Ini telah memungkinkan penggunaan tampilan di banyak perangkat seperti komputer portabel, ponsel, dan kamera digital. Kedua jenis tampilan memiliki perbedaan teknologi yang signifikan yang mempengaruhi kualitas gambar yang ditampilkan. Teknologi lain juga muncul, seperti organic light-emitting diodes (OLEDs) dan flexible display.

## 43. Display Image

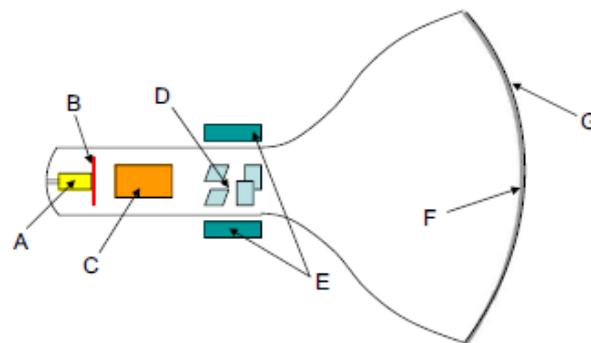
Display image di monitor komputer dilakukan melalui kartu grafis. Data gambar di komputer berupa aliran digit biner (bit). Data ini diubah oleh kartu grafis menjadi bentuk yang sesuai untuk input ke perangkat tampilan. Kartu grafis berkomunikasi dengan central processing unit (CPU) dari komputer melalui motherboard. Daya yang diperlukan untuk kartu grafis disediakan baik dari motherboard atau dari koneksi ke catu daya komputer. Kartu grafis memiliki unit pemrosesannya sendiri, yang melakukan operasi yang diperlukan untuk display image. Ini juga memiliki random access memory (RAM), yang digunakan untuk menyimpan data gambar. Bagian dari RAM adalah penyangga frame tempat seluruh gambar disimpan sebelum ditampilkan di monitor komputer. Ukuran frame buffer bergantung pada jumlah piksel yang membentuk gambar dan jumlah bit yang terkait dengan setiap piksel. Nilai sinyal keluaran dari memori diubah melalui tabel pencarian warna (LUT), menjadi sinyal analog. Ini dicapai dengan konverter digital-ke-analog (DAC). Rentang data LUT dari 0 hingga  $(2^N - 1)$  level, di mana N adalah jumlah bit DAC. Tiga sinyal video analogu-RGB dibentuk dan dikirim ke layar CRT. Sambungan antara kartu grafis dan monitor adalah antarmuka video digital (DVI) untuk LCD dan larik grafis video (VGA) untuk tampilan CRT.

## 44. Display CRT (Cathode ray tube)

Sinar katoda telah dipelajari sejak akhir abad kesembilan belas. Mereka adalah William Crookes, yang mengembangkan tabung Crookes. Berdasarkan tabung Crookes, Profesor Karl Ferdinand Braun pada tahun 1897 menemukan tabung sinar katoda pertama dimana

pembengkokan (defleksi) berkas elektron, sinar katoda, dikendalikan secara elektromagnetik. Dia juga menggunakan fosfor untuk emisi cahaya. Layar CRT di beberapa negara disebut tabung Braun. Fisikawan Inggris Joseph John Thompson juga mengembangkan CRT pada saat yang sama, tetapi perbedaan dari tabung Braun adalah ia menggunakan dua pelat defleksi yang menghasilkan defleksi elektrostatis. Thompson juga pernah bereksperimen dengan tipe defeksi lain.

Tampilan CRT terdiri dari senapan elektron, sistem pemfokusan, sistem refleksi, dan layar yang dilapisi fosfor, yang memancarkan cahaya saat dieksitasi oleh elektron. Berkas elektron dengan kecepatan tinggi, sebuah katoderay, diproduksi oleh senapan elektron dan difokuskan pada layar, membentuk sebuah titik kecil. Posisi titik pada layar dikontrol oleh sistem defeksi (lihat Gambar 15.1).



Gambar 15.1 Sistem tampilan CRT. a, katoda; b, modulator; C, sistem fokus; D, pelat defleksi (untuk defleksi elektrostatis); E, kuk defleksi (untuk defleksi elektromagnetik); F, lapisan fosfor; G dengan pelat muka.

Pistol elektron terdiri dari katoda, silinder dengan elemen pemanas terisolasi (filamen), kisi kontrol dan anoda, yang mempercepat elektron. Arus yang melewati filamen menyebabkannya panas, menghasilkan emisi elektron dalam berkas elektron (sinar katoda). Emisi elektron ditingkatkan dengan lapisan kalsium atau strontium di salah satu ujung silinder katoda. Ada waktu minimum yang diperlukan agar filamen dipanaskan dan memancarkan elektron. Ini dikenal sebagai waktu pemanasan tampilan CRT.

Dalam tampilan CRT warna, warna direproduksi menggunakan sistem aditif RGB (lihat Bab 5). Tiga senjata elektron, sesuai dengan sinyal tegangan red, green, dan blue, difokuskan pada fosfor pemancar red, green, dan blue yang terpisah. Tidak ada perbedaan

antara tiga senjata elektron; masing-masing hanya mengontrol berkas elektron untuk warna yang sesuai. Namun, dalam teknologi tampilan CRT Trinitron yang dikembangkan oleh Sony (televisi berwarna Trinitron pertama memasuki pasar Jepang pada tahun 1968), hanya satu senjata elektron yang digunakan untuk ketiga sinyal tersebut. Output dari satu senjata elektron dan oleh karena itu keberadaan satu saluran pada piksel tertentu, bagaimanapun, mungkin tidak terlepas dari saluran lain pada piksel itu dan ini dapat mempengaruhi warna yang ditampilkan di layar. Penelitian telah menunjukkan bahwa ketidakakuratan warna dapat terjadi karena keterbatasan penguat atau catu daya dan itu tergantung pada tingkat pencahayaan. Juga telah ditunjukkan bahwa semakin tinggi luminansi, semakin besar efeknya.

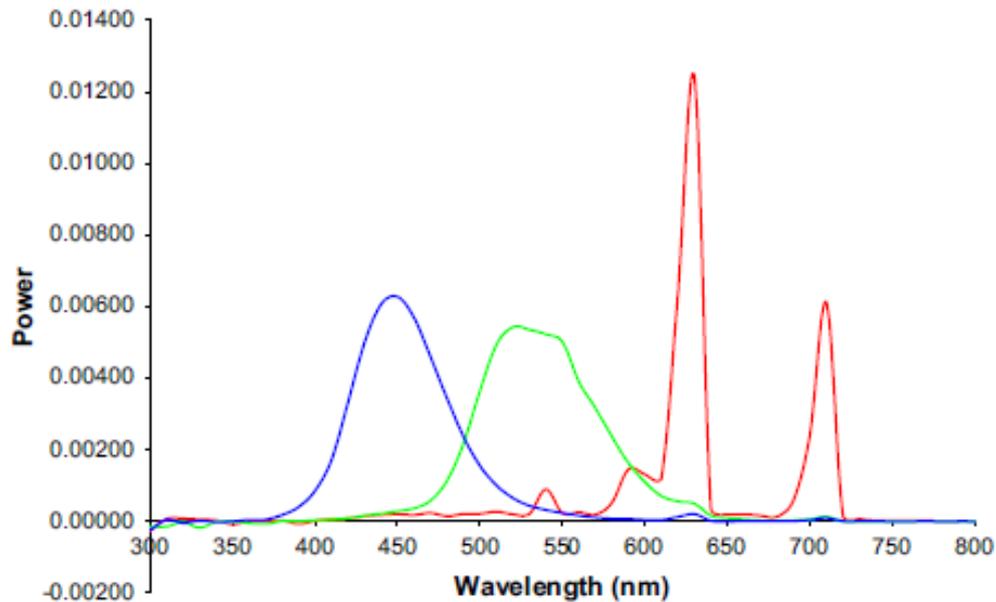
Intensitas berkas elektron dikendalikan oleh grid kontrol atau modulator, dari mana berkas elektron melewati untuk mencapai lapisan fosfor pada layar. Jumlah cahaya yang dipancarkan oleh fosfor bergantung pada jumlah elektron yang merangsang itu. Dengan memvariasikan tegangan grid kontrol, sedikit negatif, jumlah elektron (intensitas berkas elektron) yang merangsang fosfor dapat dikontrol, dan akibatnya pencahayaan layar. Elektron yang keluar dari grid kontrol melewati silinder anoda. Anoda memiliki potensial positif, yang mempercepat elektron.

Lensa elektron memfokuskan berkas elektron ke layar dengan menerapkan potensial yang berbeda. Lensa elektron memiliki karakteristik dan keterbatasan yang serupa dengan lensa optik, seperti aberasi sferis (lihat Bab 6 dan 10). Ada dua sistem pemfokusan dengan lensa elektron: sistem elektromagnetik (EM) dan elektrostatik (ES). Dalam sistem elektromagnetik, kumparan pemfokusan magnetis di luar amplop CRT digunakan untuk memfokuskan berkas elektron. Ukuran spot yang dihasilkan sangat kecil, lebih kecil dari spot yang diperoleh dengan sistem elektrostatik. Dengan sistem elektrostatik, pemfokusan dicapai dengan menggunakan lensa elektrostatik, yang merupakan silinder logam internal. Sistem ini adalah yang paling umum digunakan dalam CRT warna komersial. Kedua sistem pemfokusan memusatkan perhatian di tengah-tengah layar. Layar tampilan CRT memiliki kelengkungan sehingga jarak pemfokusan tidak sama untuk semua titik lapisan fosfor layar. Untuk alasan ini, perlu menggunakan sistem pemfokusan tambahan.

Lokasi titik fokus pada layar dikontrol oleh sistem defeksi dan, sekali lagi, ada jenis sistem elektromagnetik dan elektrostatik. Sistem elektromagnetik menggunakan dua pasang kumparan elektromagnetik dan kumparan elektrostatik. Kedua pasang kumparan

memberikan defleksi horizontal dan vertikal, yang dikontrol dengan memvariasikan arus yang melewatinya. Sebagian besar tampilan CRT yang digunakan untuk melihat gambar memiliki sistem defleksi elektromagnetik yang memberikan pencahayaan lebih tinggi dibandingkan dengan layar dengan sistem defleksi elektrostatik dan ukuran titik yang sangat kecil (diameter efektif titik ditentukan oleh diameternya pada setengah intensitas maksimumnya (FWHM)). Layar CRT dengan sistem defleksi elektrostatik memiliki dua pasang pelat defleksi untuk defleksi horizontal dan vertikal di dalam selubung tabung sinar katoda. Sistem ini memberikan kecepatan defleksi yang lebih tinggi tetapi sudut defleksi harus lebih kecil daripada sudut dalam sistem elektromagnetik, jika tidak, berkas elektron dapat menjadi tidak fokus. Tentu saja sudut defleksi yang lebih kecil menghasilkan CRT yang lebih panjang.

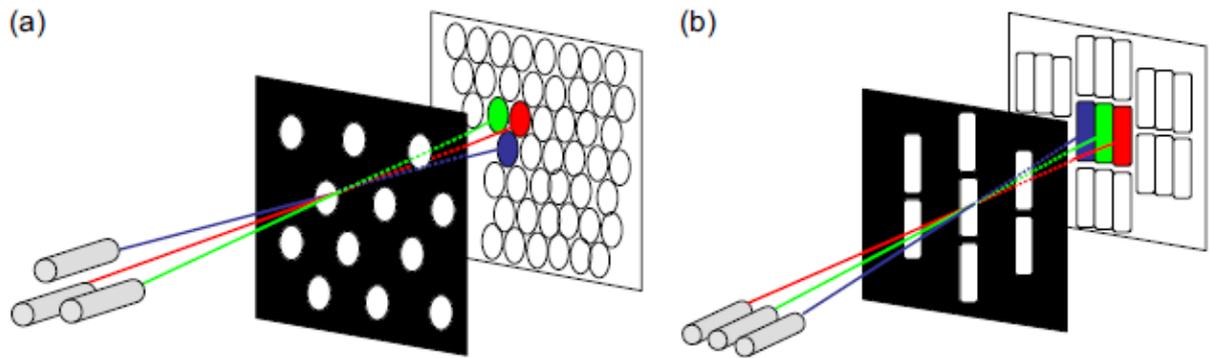
Layar di mana berkas elektron difokuskan dilapisi dengan fosfor, bahan yang bercahaya ketika dieksitasi oleh elektron dan fosfor (terus bersinar) setelah eksitasi berhenti. Pijarannya memudar perlahan dan ini bervariasi tergantung pada jenis fosfor. Ada tiga jenis fosfor menurut durasi pancaran pijar: persistensi pendek, persistensi sedang, dan persistensi panjang. Persistensi fosfor diukur seiring waktu yang dibutuhkan untuk emisi cahayanya menurun hingga 1% dari intensitas maksimumnya. Fosfor yang bertahan lama menghilangkan efek keributan. Namun, jika perubahan konten yang ditampilkan terjadi dengan cepat, seperti pada gambar bergerak, efek jejak gambar dihasilkan. Fosfor persistensi pendek menghilangkan efek ini. Karena dalam tampilan CRT berwarna ada tiga jenis fosfor, penting agar semuanya memiliki ketekunan yang cocok. Pada kebanyakan tampilan CRT, persistensi fosfor sekitar 5 ms.



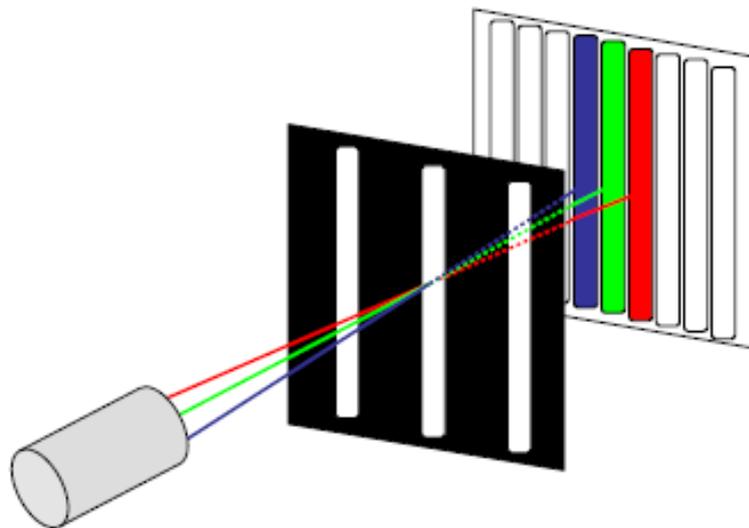
Gambar 15.2 Distribusi daya spektral tipikal fosfor P22

Keluaran cahaya maksimum dari fosfor bergantung pada percepatan elektron berkas dan pada karakteristik fosfor itu sendiri, yang berarti bahwa fosfor yang berbeda dapat memancarkan jumlah cahaya yang berbeda, bahkan jika tereksitasi oleh jumlah elektron yang sama dengan percepatan yang sama. Umur fosfor juga mempengaruhi intensitas cahaya yang dipancarkan karena degradasi fisik yang disebabkan oleh efek kumulatif dari banyak tumbukan elektron. Selain itu, ketika sistem defleksi elektromagnetik digunakan, degradasi juga disebabkan oleh ion-ion yang mengenai permukaan fosfor. Keluaran cahaya dari fosfor dapat ditingkatkan dengan melapisi bagian belakang permukaan fosfor dengan lapisan logam, terutama dari aluminium atau berilium. Lapisan pelapisnya sangat tipis, sekitar 0,127 mm. Layar yang menggunakan metode ini disebut layar fosfor yang didukung logam.

Fosfor ditetapkan dengan nilai P menurut Electronic Industries Association (EIA). Jenis fosfor yang umum untuk tampilan CRT warna komersial adalah P22. Ini adalah satu set merah (YVO<sub>4</sub>: Eu - yttrium atau thovanadate diaktifkan dengan europium), hijau (ZnS: Cu, Au, Al - seng sulfida yang diaktivasi dengan tembaga, emas dan aluminium) dan biru (ZnS: Ag - seng sulfida perak) fosfor. Fosfor P22 merah memiliki emisi puncaknya pada 626 nm, hijau pada 535nm dan biru pada 450nm (Gambar 15.2).



Gambar 15.3 Susunan senjata elektron dan geometri topeng bayangan. (A) Susunan ‘Delta ‘ dan shadowmask dengan geometri titik. (b) Susunan ‘In-line ‘ dan shadow mask dengan geometri slot



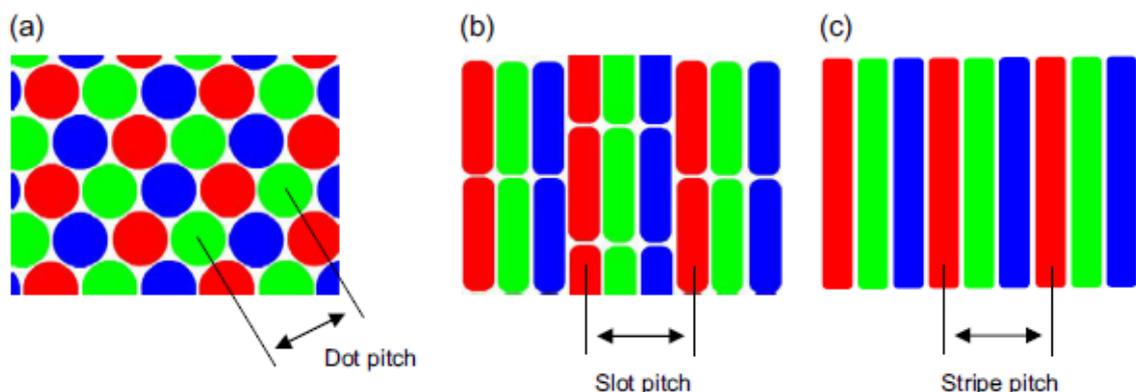
Gambar 15.4 Teknologi Trinitron dengan kisi-kisi apertur

Tiga fosfor disusun dalam tiga serangkai, dengan (secara teoritis) masing-masing triad membentuk piksel. Ada dua jenis susunan senjata elektron yang berbeda tergantung pada teknologi triad fosfor yang digunakan, pengaturan ‘delta ‘ dan ‘sejajar ‘ (Gambar 15.3). Berkas elektron yang terdefeksi secara magnetis dari tiga senjata elektron dengan susunan ‘delta ‘ mencapai permukaan fosfor melalui topeng baja, topeng bayangan dengan geometri titik (Gambar 15.3a). Dengan topeng bayangan, berkas dari senjata elektron hanya mencapai fosfor dengan warna yang sesuai dan fosfor lainnya tetap berada dalam bayangan. Perlu dicatat bahwa sebagian besar berkas elektron, sekitar 70%, tidak melewati lubang shadowmask.

Jarak antara fosfor sama dan fosfor yang berwarna sama membentuk segitiga sama sisi. Ketika tampilan CRT memiliki pengaturan senjata elektron ‘in-line’. masker slot

digunakan dengan tiga slot yang disejajarkan secara vertikal untuk setiap triad, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15.3b. Dalam teknologi ini, yang digunakan oleh NEC di layar Chroma Clear CRT dan Panasonic di layar CRT Murni Datar, fosfor red, green, dan blue memanjang dan sejajar vertikal. Dalam teknologi Trinitron, kisi aperture digunakan (Gambar 15.4), terdiri dari kabel vertikal tipis sebagai pengganti topeng logam dan garis-garis fosfor yang sesuai. Dalam hal ini layar kurang melengkung dibandingkan dengan layar tampilan yang menggunakan shadow mask atau slot mask.

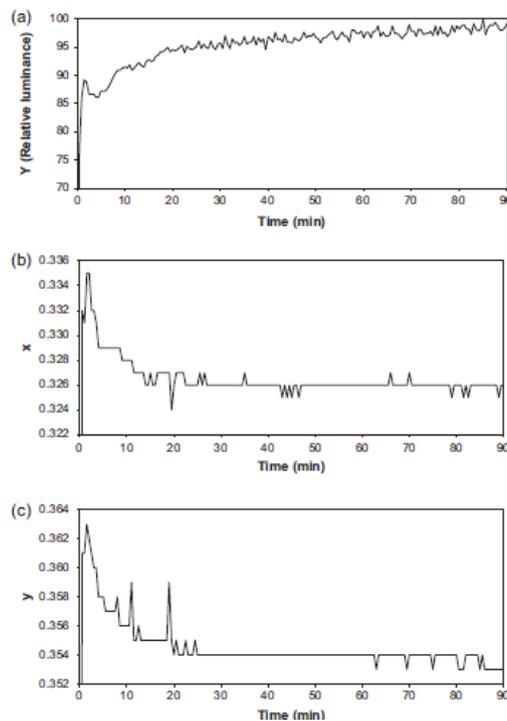
Jarak antara dua fosfor berwarna identik disebut pitch. Semakin kecil jaraknya, semakin tajam dan cerah gambarnya. Pengukuran nada tergantung pada teknologi triad fosfor. Dalam teknologi titik triad, nada diukur secara diagonal antara pusat dua tetangga terdekat, titik fosfor berwarna identik (Gambar 15.5a). Jarak tersebut sering disebut dot pitch dan biasanya 0,27mm atau kurang. Karena layar tampilan CRT memiliki kelengkungan, berkas elektron yang melewati lubang di tengah sungkup bayangan akan membentuk lingkaran pada layar, sedangkan jika melewati lubang di tepi sungkup bayangan akan membentuk elips. Akibatnya titinada titik di tengah layar akan sedikit berbeda dari titinada di tepinya. Untuk alasan ini, pabrikan mengutip titik pitch rata-rata atau mereka mungkin memberikan dua nilai, satu untuk tengah dan satu lagi untuk tepi layar. Istilah pitch topeng digunakan untuk menggambarkan jarak antara dua lubang pada topeng bayangan yang berhubungan dengan dua titik fosfor yang berwarna identik; ini memiliki nilai yang sedikit lebih kecil daripada dot pitch. Dalam tampilan dengan masker slot, pitch diukur sebagai jarak horizontal antara dua strip fosfor berwarna identik dan disebut slot pitch (Gambar 15.5b). Jarak antara dua strip fosfor dengan warna yang identik dalam teknologi aperture grille disebut sebagai stripe pitch (Gambar 15.5c).



Gambar 15.5 Pitch fosfor untuk tiga teknologi triad fosfor yang berbeda: (a) pitch titik; (b) slot pitch; (c) stripe pitch.

Konvergensi yang akurat dari berkas tiga elektron sangat penting untuk tampilan CRT. Namun, konvergensi tidak selalu sempurna dan ini mungkin berpengaruh pada kualitas gambar yang ditampilkan. Efek kesalahpahaman lebih terlihat di tepi layar, sedangkan hasil terbaik muncul di area tengah. Penelitian telah menunjukkan bahwa area pusat juga paling seragam dalam hal pencahayaan dan kromatisitas, sedangkan deviasi terbesar biasanya terjadi di tepi layar. Salah satu alasannya adalah kelengkungan yang disebutkan di atas pada tampilan layar CRT, yang menghasilkan variabilitas dalam jarak perjalanan berkas elektron. Alasan lain termasuk aplikasi fosfor yang tidak seragam pada layar, suhu dan medan magnet. Medan magnet ada secara internal di layar CRT yang menggunakan defleksi elektromagnetik. Medan magnet eksternal, bagaimanapun, dapat menyebabkan sedikit perubahan pada jalur berkas elektron tetapi biasanya hasilnya tidak terlihat. Mematikan dan mencabut peralatan listrik di sekitar dapat mencegah efek medan magnet. Degaussing monitor secara teratur juga meminimalkan efeknya. Jika ada medan magnet yang kuat, kotak pelindung eksternal untuk layar CRT dapat digunakan, atau ruangan berpelindung. Dengan mempertimbangkan ambang batas kontras sistem visual manusia ke frekuensi spasial rendah (lihat Bab 4), kurangnya keseragaman untuk sebagian besar tampilan tidak dirasakan.

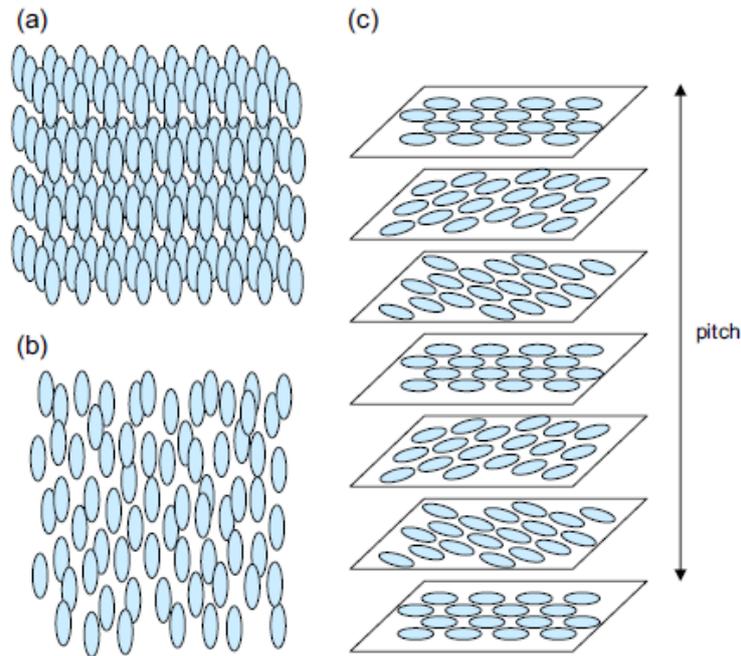
#### 45. Display LCD (Liquid crystal display)



Gambar 15.6 Variasi luminansi dan kromatisitas selama waktu pemanasan tampilan CRT.

Saat melihat gambar pada layar CRT, penting untuk membiarkan layar menjadi hangat. Ini biasanya berlangsung setidaknya selama 30 menit, sehingga mencapai tingkat pencahayaan tertinggi. Waktu pemanasan juga diperlukan untuk pencahayaan yang stabil dan keluaran warna, penting saat melihat gambar. Gambar 15.6 mengilustrasikan variasi pencahayaan dan xy-chromaticities CIE dari layar CRT yang telah dibiarkan memanaskan selama jangka waktu tertentu. Jenis tampilan CRT yang berbeda memerlukan waktu yang berbeda untuk stabil setelah dinyalakan dan diperkirakan dari 15 menit hingga lebih dari 3 jam. Waktu stabilisasi untuk perangkat tertentu dapat ditentukan dengan pengukuran berulang dari luminansi tampilan dan kromatisitas selama periode waktu tertentu yang diperpanjang.

Penemuan kristal cair dimulai pada akhir 1800-an. Namun, tidak lama kemudian, pada 1960-an, penelitian oleh Radio Corporation of America akhirnya mengarah pada pengembangan LCD pertama. Pada tahun 1888, ahli botani Austria, Friedrich Reinitzer, mengamati sifat-sifat cholesteryl benzoate, bahan yang berubah keadaan setelah dipanaskan. Perubahan keadaan terjadi pada dua titik temperatur yang berbeda: dari padat menjadi cairan anisotropik keruh (mesofasa) pada temperatur  $T_1$  dan dari cairan keruh menjadi cairan clearisotropik pada temperatur yang lebih tinggi dari titik  $T_2$ . Otto Lehmann, seorang profesor fisika, mengamati bahwa dalam mesofasa bahan dalam bentuk cair menunjukkan karakteristik kristal dan karena alasan inilah ia menamakannya kristal cair. Jenis kristal cair ini disebut termotropik karena keadaannya berubah dengan suhu (berlawanan dengan kristal cair, yang keadaannya berubah saat bereaksi dengan air, yang disebut liotropik dan dipelajari di bidang seperti biokimia). Molekul kristal cair termotropik memiliki bentuk seperti batang (calamitic) atau bentuk seperti disk (diskotik). Pada LCD, kristal cair dengan bentuk seperti batang (panjangnya kira-kira 2 nm) digunakan, tetapi belakangan ini tipe diskotik juga telah digunakan untuk meningkatkan sudut pandang. Ada tiga jenis kristal cair termotropik, yang dikenal sebagai smektik, nematik, dan kolesterik (Gambar 15.7). Kristal cair memiliki sifat anisotropik, artinya memiliki sifat fisik yang bergantung secara terarah. Ada dua bentuk anisotropi dalam kristal cair: anisotropi optik, yang mengacu pada perbedaan besaran indeks bias dalam arah yang berbeda; dan anisotropi dielektrik, yang mengacu pada konstanta dielektrik, bergantung pada sumbu pengukurannya dan secara spesifik pada orientasi molekul kristal cair.



Gambar 15.7 Jenis kristal cair termotropik: (a) smektik; (b) nematik; (c) kolesterik

Kebanyakan LCD saat ini didasarkan pada sistem twisted nematic (TN), yang telah dijelaskan pada tahun 1970-an oleh Fergason dan oleh Schadt dan Helfrich. Sistem ini didasarkan pada kristal cair nematik. Molekul kristal cair nematik memiliki urutan paralel dan orientasi favoritnya diwakili oleh pengarah, yaitu vektor  $n$ . Seperti disebutkan di atas, mereka dicirikan oleh anisotropi optik dan dielektriknya. Anisotropi optik berfungsi untuk mengatur cahaya terpolarisasi dalam orientasi yang sesuai untuk tampilan. Ini adalah akibat dari refraksi ganda atau birefringence. Anisotropi dielektrik dieksploitasi dengan menerapkan medan listrik untuk mengubah arah molekul kristal cair; ketika medan listrik diterapkan kristal dengan anisotropi dielektrik positif akan sejajar dengan medan, sedangkan kristal yang menunjukkan anisotropi dielektrik negatif akan sejajar dalam orientasi tegak lurus.

Lapisan tipis (4-10 $\mu$ m) kristal cair dengan anisotropi dielektrik positif digunakan dalam sistem TN. Lapisan ini berada di antara dua substrat kaca yang memiliki elektroda konduktif di permukaan internalnya. Permukaan memiliki orientasi atau lapisan pelurusan, yang merupakan film organik atau anorganik yang digunakan untuk memberikan orientasi yang tepat dari molekul, menghasilkan 90 putaran pengarah (Gambar 15.8). Dua polariser linier silang (lihat Bab 2 dan 10), biasanya terbuat dari polivinil asetat (PVA) dengan doping yodium, digunakan untuk mengontrol cahaya yang masuk dan keluar dari lapisan kristal cair. Seperti dijelaskan pada Bab 2, cahaya  $L$  bergerak dalam bentuk gelombang

elektromagnetik. Ketika melewati dua polarizer, intensitas cahaya yang ditransmisikan melalui kedua polarizer bergantung pada sudut  $\theta$ , sudut timbal balik antara sumbu polarisasi keduanya (yaitu hukum Malus):

*Ekuasi 15.1*

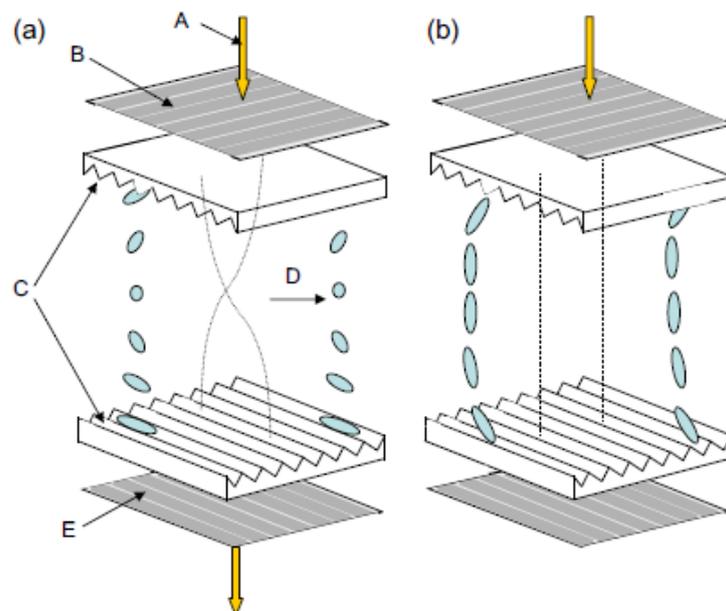
$$L_t = I_i \cos^2 \theta$$

dimana  $I_i$  adalah cahaya insiden ke polarizer pertama. Perlu dicatat bahwa, dalam polarizer ideal, cahaya yang melewati polarizer pertama adalah 50% dari cahaya datang. Jika sudut  $\theta$  sama dengan  $0^\circ$  maka cahaya yang dipancarkan dari polarizer pertama akan melewati juga polarizer kedua, sehingga 50% dari cahaya datang akan ditransmisikan. Jika sudut  $\theta$  sama dengan  $90^\circ$  (yaitu sumbu polarisasi ortogonal) tidak ada cahaya yang akan dikirim melalui polarizer kedua. Namun, dalam praktiknya, ada beberapa penyerapan cahaya pada sumbu optik (dichroism) ketika cahaya melewati polarizer dan ini berpengaruh pada rasio kontras LCD.

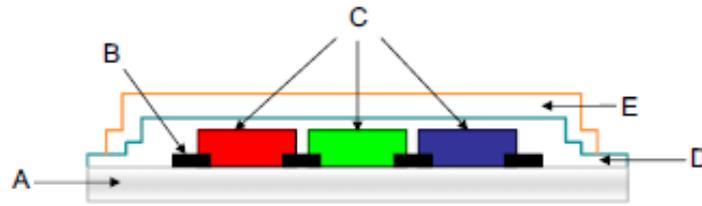
LCD memiliki cahaya latar; cahaya putih pertama melewati diffuser, yang menghasilkan iluminasi seragam karena hamburan, dan kemudian memasuki lapisan kristal cair melalui polarizer belakang. Saat masuk, polarisasinya berputar dengan molekul kristal cair. Jika tidak ada medan listrik yang diterapkan, saat cahaya mencapai polarisator kedua (depan) dengan sumbu polarisasi ortogonal ke sumbu polarisasi pertama, arah polarisasinya telah diputar  $90^\circ$  kali sebagai akibat dari putaran pengarah. Oleh karena itu, dapat keluar melewati polarizer kedua, yang berada di luar pelat kaca kedua. Ini dikenal sebagai mode biasanya putih. Ketika medan listrik diterapkan ke kristal cair, orientasi pengarah berubah dan cenderung memiliki sudut orientasi lebih besar dari  $0^\circ$  sehubungan dengan arah polarisasi dari polarisator kedua. Dalam hal ini jumlah cahaya yang ditransmisikan berkurang. Transmisi cahaya karenanya dapat dimoderasi dengan menyesuaikan tegangan yang diberikan. Ketika tegangan cukup tinggi, rotasi kristal cair dapat dikurangi menjadi  $0^\circ$ . Dalam hal ini cahaya tidak dapat melewati polarizer kedua dan oleh karena itu terhalang (Gambar 15.8). Jika sumbu polarisasi dari dua polarizer sejajar, cahaya yang keluar dari polarizer pertama disalurkan melalui polarizer kedua saat medan listrik diterapkan dan diblokir saat tidak ada tegangan yang diterapkan. Ini dikenal sebagai mode biasanya hitam.

TNLCD pertama adalah tampilan tipe reflektif, di mana cahaya sekitar diperlukan untuk membaca teks atau angka. Tidak mungkin untuk menampilkan gambar besar karena

setiap piksel harus dihubungkan secara individual ke sirkuit pengalamatan. Ini berarti bahwa untuk larik gambar dari  $m$  baris dan  $n$  kolom, interkoneksinya adalah  $m \times n$ . Kekurangan lainnya adalah kesalahan paralaks dan kesulitan dalam menampilkan warna. Display image menjadi mungkin dengan pengembangan pengalamatan matriks setiap piksel, di mana jumlah interkoneksi dikurangi menjadi  $m + n$ . Ini adalah tampilan matriks pasif, yang meningkat selama bertahun-tahun. Namun, mereka memiliki keterbatasan terkait waktu respons, sudut pandang, dan rasio kontras. Solusi untuk ini melibatkan kontrol independen terhadap tegangan setiap piksel. Ini dilakukan dengan menambahkan sakelar di setiap piksel dalam tampilan matriks. Ini adalah LCD matriks aktif (AMLCD), yang merupakan teknologi LCD paling umum saat ini. Sakelar on/off pada AMLCD pertama adalah transistor film tipis CdSe (TFT). Bahan untuk TFT berubah selama bertahun-tahun menjadi bahan silikon polikristalin (poli-Si) dan di tahun 1990-an menjadi bahan silikon amorf (a-Si), yang digunakan dalam tampilan untuk komputer portabel dan desktop. LCD Poly-Si TFT mulai digunakan lagi pada akhir 1990-an untuk layar kecil. Juga harus dicatat bahwa, untuk kontrol yang lebih baik dari sel 'twist, kristal nematik' diolah 'dengan kristal kolesterik (lihat Gambar 15.7c).



Gambar 15.8 (a) Pengarah diputar 90, menghasilkan rotasi arah polarisasi dan cahaya melewati polarizer kedua (biasanya kotak putih). (b) Orientasi pengarah berubah ketika medan listrik diterapkan. Ketika itu menjadi per tegak lurus ke arah polarisasi polarisasi kedua, tidak ada cahaya yang dapat melewati polarizer kedua. A dengan aksis ringan; b, rearpolarizer; C, permukaan orientasi; D, molekul kristal cair; E, polarizer depan.



Gambar 15.9 Struktur filter warna LCD.a, substrat bening;b, matriks hitam; C, lapisan filter warna; D, lapisan mantel; E, ITO.

Pada teknologi LCD saat ini sumber cahayanya adalah lampu fluorescent katoda dingin (CCFLs) yang memiliki lapisan fosfor. Warna fosfor adalah red, green, dan blue (RGB), menghasilkan pancaran cahaya putih dengan puncak yang berbeda untuk tiga warna dan luminansi sekitar  $3000 \text{ cdm}^{-2}$ . Warna ditampilkan dengan menggunakan larik piksel yang terdiri dari tiga subpiksel dengan filter RGB (sistem warna aditif lihat Bab 5). Filter memiliki permukaan yang sesuai untuk meminimalkan penyebaran cahaya (Gambar 15.9). Pada LCD TFT, array filter kira-kira  $4\text{-}5\mu\text{m}$  jauhnya dari array TFT (ini adalah ketebalan lapisan kristal cair). Filter terdiri dari substrat plastik atau kaca, matriks hitam di antara filter warna, lapisan RGB di mana warnanya adalah pigmen atau pewarna, lapisan mantel pelindung yang juga meminimalkan variasi ketebalan filter, dan film indium tin oksida (ITO). Matriks hitam, biasanya dari kromium yang dikombinasikan dengan kromium oksida, mencegah kebocoran cahaya antara piksel dan melindungi TFT dari paparan cahaya ke cahaya sekitar. Transmisi spektral dari filter RGB sangat cocok dengan tiga puncak yang disebutkan di atas dari cahaya putih yang dipancarkan dari CCFLs dan merupakan salah satu parameter yang mempengaruhi titik putih tampilan. Parameter lainnya adalah kemurnian warna filter. Filter harus memiliki stabilitas, terutama selama pemanasan dan paparan cahaya. Juga, mereka harus memiliki kestabilan kimiawi karena mereka terpapar zat kimia selama pembuatan LCD.

## TEKNOLOGI DISPLAY LAINNYA

### 46. PDP (Plasma Display Panel)

Tampilan plasma didasarkan pada sel yang diisi dengan gas pada tekanan rendah. Gas tersebut adalah neon (Ne) atau helium (He) dengan tambahan 5-15% xenon (Xe). Sel-sel tersebut berada di antara dua pelat kaca. Setiap sel membentuk piksel, dengan tiga subpiksel dengan fosfor red, green, dan blue. Fosfor yang digunakan memiliki jenis yang sama dengan fosfor pada tampilan CRT dan menutupi semua permukaan bagian dalam subpiksel selain dari depan. Perbedaannya adalah bahwa dalam plasma, fosfor dieksitasi oleh ionisasi gas (plasma). Xenon menghasilkan sinar ultraviolet, dengan cara yang mirip dengan tabung neon, dengan panjang gelombang 147 atau 173 nm. Ionisasi dicapai dengan menerapkan tegangan melalui jaringan elektroda yang menangani setiap piksel. Subpiksel diisolasi dengan rusuk penghalang untuk menghindari efek crosstalk di antara keduanya. Fosfor juga diisolasi oleh elektroda data yang berada di pelat kaca belakang, tegak lurus dengan pemindaian, dan elektroda yang dipertahankan yang terletak di pelat kaca depan.

Karena piksel tampilan plasma tidak 'on ' atau 'off'. tingkat abu-abu dikontrol dengan menyesuaikan fraksi waktu di mana piksel akan 'aktif ' dan menggunakan delapan sub-bidang untuk menangani frame.

Colour gamut (kisaran warna yang direproduksi) pada tampilan plasma mirip dengan tampilan CRT. Karena teknologinya, mereka juga tipis dan ringan dan digunakan untuk perangkat TV besar. Mereka memiliki waktu hidup yang sangat lama, biasanya lebih dari 100.000 jam. Namun, seperti dalam tampilan CRT, fosfor menua; ini mempengaruhi luminansi yang ditampilkan, yang berkurang seiring waktu, dan keseimbangan warna tampilan. Konsumsi daya layar plasma tergantung pada luminansi setiap piksel gambar yang ditampilkan. Meskipun jika semua piksel digerakkan dengan pencahayaan tinggi, konsumsi daya akan sangat tinggi dibandingkan dengan LCD TFT, dalam praktiknya pencahayaan piksel rata-rata jauh lebih rendah, sekitar 20% atau kurang, sehingga layar plasma mengonsumsi lebih sedikit energi.

### 47. OLED (Organic light-emitting display)

OLED adalah layar elektro luminescent (EL) dan memiliki dua substrat kaca, lapisan organik tipis, dan elektroda yang dibuat dari logam dan film ITO. Warna dihasilkan oleh

emisi cahaya dari bahan OLED pada panjang gelombang yang berbeda. Emisi cahaya dari OLED hampir Lambertian (yaitu pancaran berbanding lurus dengan kosinus sudut, sehubungan dengan arah pancaran maksimum, dari mana tampilan dilihat) dan karena alasan ini sudut pandang sangat lebar, sekitar 170%. Dengan teknologi ini konsumsi daya rendah karena tergantung pada tingkat pencahayaan gambar yang ditampilkan (seperti pada layar plasma). Ada dua jenis OLED. Ini adalah OLED molekul kecil dan OLED polimer (atau PLED). Teknologi PLED paling diminati dan dikembangkan. Hal ini karena keterbatasan teknologi OLED molekul kecil untuk mengendapkan bahan organik pada permukaan yang besar.

Bergantung pada cara piksel ditangani, ada OLED matriks pasif dan OLED matriks aktif (AMOLED). OLED matriks pasif tidak cocok untuk layar berukuran besar karena lambat dan peningkatan resolusi menurunkan pencahayaan ke tingkat yang tidak mencukupi. Dalam AMOLED ada dua TFT per piksel dan piksel dikontrol dengan menyesuaikan arus (dan bukan voltase). Piksel AMOLED diilustrasikan pada Gambar 15.10. Salah satu batasan OLED adalah pencahayaan layar berkurang seiring waktu dan ini juga memengaruhi warna tampilan. Sejauh ini OLED telah digunakan sebagai layar kecil pada produk konsumen seperti kamera konsumen.

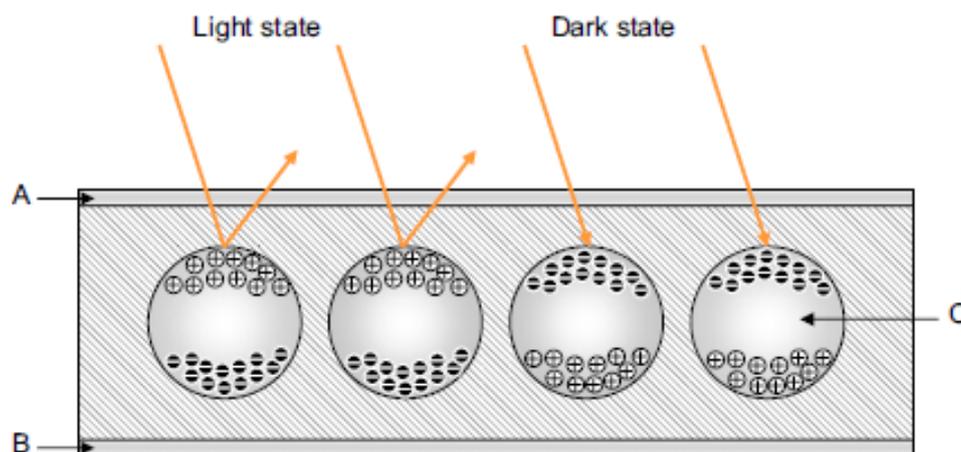


Gambar 15.10 Struktur piksel AMOLED.a, lapisan anti pantulan; B dengan katoda; C, lapisan organik; D dengan aksesoris anoda; E, substrat kaca.

#### 48. Display fleksibel

Teknologi tampilan fleksibel (atau kertas elektronik atau e-paper) telah dikembangkan untuk mendekati tampilan kertas. Layar fleksibel memiliki konsumsi daya yang rendah. Berdasarkan ketebalan layar, ada layar fleksibel yang melengkung atau sangat tipis yang dapat digulung. Fitur ini membuat layar yang dapat digulung cocok untuk beberapa aplikasi di mana penyimpanan mudah dan bobot yang ringan merupakan faktor penting. Teknologi layar fleksibel awalnya didasarkan pada kristal cair. Matriks pasif dan tampilan fleksibel matriks aktif telah dikembangkan, dengan substrat kaca diganti dengan bahan yang

fleksibel. Seperti disebutkan sebelumnya, bagaimanapun, polarizer secara signifikan mengurangi cahaya yang ditransmisikan sehingga jenis tampilan fleksibel ini tidak dapat mendekati tampilan kertas. Teknologi yang berbeda, tampilan elektroforesis, menggunakan mikrokapsul dengan partikel bermuatan positif putih dan partikel bermuatan negatif hitam dalam cairan. Kapsul disimpan, dengan metode pencetakan, pada film plastik yang memiliki kisi sirkuit, membentuk susunan piksel. Titik hitam dan putih pada tampilan muncul dengan mengontrol voltase. Dengan tegangan positif diterapkan, partikel hitam bergerak ke atas mikrokapsul dan pengamat melihat titik gelap. Dengan tegangan negatif yang diterapkan, pengamat melihat titik putih karena partikel putih bergerak ke atas kapsul (Gambar 15.11). Warna putih yang dihasilkan pada teknologi ini memiliki reflektansi sekitar 30-50%. Teknologi modulator interferometri (IMOD) oleh Qualcomm didasarkan pada prinsip interferensi konstruktif dan destruktif (lihat Bab 2). Dalam teknologi ini, tumpukan film tipis dan lapisan reflektif berada pada substrat transparan. Cahaya insiden dipantulkan dari film dan membran. Bergantung pada jarak di antara mereka, terdapat interferensi konstruktif atau destruktif dari gelombang cahaya. Warna red, green, dan blue dihasilkan dengan memvariasikan jarak sehingga interferensi konstruktif hanya akan terjadi pada panjang gelombang yang sesuai dengan warna-warna ini (lihat Gambar 15.12). Hitam diperoleh dengan menerapkan tegangan ke film. Ini menghasilkan gaya elektrostatis yang menyebabkan membran menyentuhnya. Dalam hal ini interferensi konstruktif berada pada panjang gelombang ultraviolet yang tidak terlihat. Skala abu-abu diperoleh dengan dithering spasial atau temporal atau kombinasi keduanya. OLED fleksibel adalah teknologi lain yang telah diusulkan.

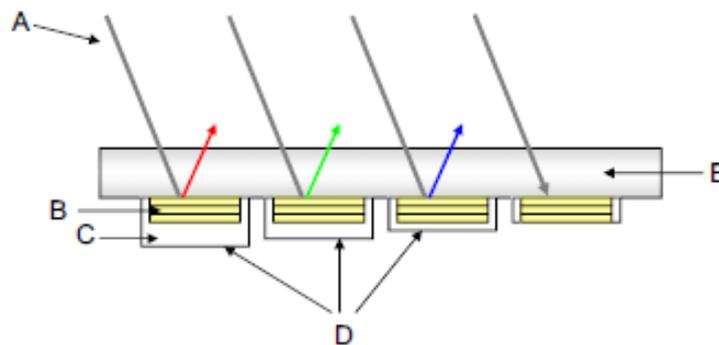


Gambar 15.11 Teknologi tampilan elektroforesis.a, elektroda atas;b, elektroda bawah; C, cairan bening

## KARAKTERISTIK DISPLAY

### 49. Refresh rate dan waktu respon

Kecepatan refresh mengacu pada CRT dan merupakan kecepatan (dalam Hz, yaitu kali per detik) di mana layar monitor CRT menampilkan data. Menyegarkan dengan kecepatan rendah dapat menyebabkan efek kedipan, yang tidak nyaman bagi pengguna dan dapat menyebabkan kelelahan mata. Alasan terjadinya kedipan pada CRT adalah peluruhan fosfor. Elektron yang dipancarkan oleh senjata elektron merangsang fosfor, yang memancarkan cahaya. Cahaya ini mulai membusuk sampai fosfor dibombardir lagi oleh elektron. Flicker dapat dihindari dengan mengatur kecepatan refresh di komputer lebih tinggi dari frekuensi fusi kritis (CFF). CFF adalah frekuensi yang lebih tinggi daripada yang tidak dirasakan kedipan. CFF bergantung pada pencahayaan sekitar dan pada penampil. Pengaturan di mana kebanyakan orang tidak melihat kedipan adalah 70 Hz.



Gambar 15.12 Teknologi modulator interferometri. a, cahaya ambient; b, tumpukan film tipis; C, celah udara; D, membran yang dapat dideformasi; E, gelas.

Karena teknologi berbeda yang digunakan, kecepatan refresh tidak berlaku untuk LCD. Karakteristik yang setara adalah waktu respons. Ini mengungkapkan waktu yang dibutuhkan kristal cair untuk melewati dari posisi sejajar ke memutar dan kembali ke posisi sejajar. Waktu respons didefinisikan sebagai waktu yang diperlukan untuk mengubah status dari putih (10% transmisi) menjadi hitam (90% transmisi) dan kembali ke putih (10% transmisi), dan biasanya sekitar 10-50 ms. Waktu respons yang lama menyebabkan keburaman saat gambar bergerak cepat ditampilkan. Namun, ada batasan saat waktu respons yang sangat singkat digunakan karena dapat menyebabkan kedipan.

## 50. Resolusi

Dalam resolusi perangkat tampilan menyatakan jumlah piksel per inci (ppi) atau jumlah piksel dalam dimensi horizontal dan vertikal (misalnya 1024×768 piksel) yang dapat ditampilkan. Dalam kasus terakhir, penting juga untuk mengetahui dimensi fisik layar tampilan. Addressability menyatakan jumlah titik yang dapat dialamatkan oleh adapter kartu grafis dan dalam tampilan CRT tidak tergantung pada resolusi. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi resolusi pada tampilan CRT. Salah satu faktor ini adalah ukuran titik, yang bergantung pada lapisan fosfor tetapi juga pada arus berkas elektron dan optik sistem tampilan. Rasio resolusi terhadap kemampuan alamat (RAR) dapat dihitung dengan memperhitungkan pitch piksel,  $p$  (tinggi tampilan dibagi dengan jumlah baris yang dialamatkan), dan ukuran spot,  $s$ :

Ekuasi 15.2

$$RAR = \frac{s}{p}$$

Sistem fokus dan defleksi yang digunakan juga mempengaruhi resolusi yang efektif (lihat Bab 19 dan 24). Topeng bayangan adalah faktor lain. Pencahayaan yang tinggi pada tampilan terkait dengan diameter titik yang lebih panjang, sehingga mengurangi resolusi efektif. Karena profil Gaussian dari cahaya yang dipancarkan oleh fosfor, monitor CRT dapat menampilkan beberapa resolusi dengan menyesuaikan berkas elektron. Perlu dicatat, bagaimanapun, bahwa perubahan resolusi berpengaruh pada kecepatan refresh layar. Beberapa resolusi tampilan tipikal ditunjukkan pada Tabel 15.1. Mengurangi atau meningkatkan pengaturan resolusi layar CRT mungkin berpengaruh pada kualitas gambar. Efeknya bergantung pada pemandangan dan mungkin memengaruhi area gambar dengan frekuensi tinggi di mana detail mungkin hilang pada pengaturan resolusi yang lebih rendah. Mengubah resolusi tampilan juga mengubah dimensi gambar yang ditampilkan (pada resolusi yang lebih tinggi, gambar tampak lebih kecil dan sebaliknya).

<b>Tabel 15.1 Resolusi tipikal display</b>	
<b>RESOLUSI</b>	<b>JUMLAH PIXEL</b>
QCIF	144 x 173
QCIF+	220 x 176
CGA	200 x 320

QVGA	240 x 320
CIF	288 x 352
VGA	480 x 640
NTSC	480 x 720
WVGA	480 x 800
PAL	576 x 768
SVGA	600 x 800
WSVGA	600 x 1024
XGA	768 x 1024
WXGA	768 x 1280
SXGA	1024 x 1280
SXGA+	1050 x 1400
W-HDTV	1080 x 1920
UXGA	1200 x 1600
WUXGA	1200 x 1920
QXGA	1536 x 2048
WQXGA	1600 x 2560
QSXGA	2048 x 2560
QUXGA	2400 x 3200
WQUXGA	2400 x 3840

LCD memiliki matriks piksel pada layar dan karena alasan ini resolusinya, yang disebut resolusi asli, sama dengan kemampuan pengalamatannya. Kualitas gambar yang optimal diperoleh hanya jika resolusi layar LCD diatur ke resolusi aslinya. Meskipun pengemudi mengizinkan perubahan pengaturan resolusi tampilan, pada LCD hal ini dapat menyebabkan gambar kabur karena interpolasi yang diterapkan (lihat Bab 23 dan 27).

Resolusi yang dirasakan berkurang dengan jarak pandang, yaitu frekuensi spasial yang ditampilkan di bidang visual menjadi lebih tinggi dan lebih tinggi dengan bertambahnya jarak pandang. Resolusi yang diperlukan untuk melihat gambar pada monitor komputer di mana jarak tipikal kira-kira 50 cm adalah hingga 180 ppi, dan oleh karena itu berbeda dengan resolusi untuk menonton televisi pada jarak tipikal 3m. Dalam hal ini, resolusi yang

dibutuhkan adalah hingga 30 ppi. Resolusi yang lebih tinggi tidak akan meningkatkan kualitas gambar, asalkan jarak dijaga agar tetap konstan.

## 51. Luminance

Tingkat set pencahayaan untuk tampilan tergantung pada kondisi pencahayaan sekitar, jadi mungkin berbeda antara tampilan yang dilihat di lokasi berbeda. Pencahayaan maksimum tipikal untuk layar CRT adalah sekitar  $100 \text{ cdm}^{-2}$ . Dalam LCD TFT, luminansi bergantung pada intensitas cahaya CCFL, dengan luminansi tipikal berkisar dari 150 hingga  $300 \text{ cdm}^{-2}$ . Ada pengurangan luminansi yang signifikan, sekitar 90-95%, dibandingkan dengan keluaran cahaya dari CCFL. Reduksi terjadi karena kehilangan ketika cahaya melewati polarizer belakang dan depan, matriks hitam dan filter warna. Meskipun luminansi keluaran LCD dapat ditingkatkan dengan meningkatkan keluaran sumber cahaya latar, dalam praktiknya hal ini dapat menghasilkan suhu tampilan yang lebih tinggi dan konsumsi daya yang lebih tinggi. Metode lain yang dapat diterapkan untuk meningkatkan luminansi keluaran telah disarankan. Ini termasuk perbaikan pada transmisi cahaya dari filter warna (mereka mengirimkan sekitar 25% cahaya insiden), desain ulang dan penataan ulang filter warna sehingga mereka menyertakan filter putih, mendesain matriks hitam dengan rasio apertur yang lebih tinggi, dan penggunaan film peningkatan kecerahan. Dalam tampilan plasma pencahayaannya sekitar  $1000 \text{ cdm}^{-2}$ .

## 52. Rasio kontras

Rasio kontras (CR) adalah rasio antara luminansi maksimum (puncak putih),  $L_{max}$ , dengan luminansi minimum (hitam),  $L_{min}$ , yang dapat dihasilkan oleh sistem tampilan (lihat juga Bab 21):

*Ekuasi 15.3*

$$CR = \frac{L_{max}}{L_{min}}$$

Ada dua metode untuk menilai rasio kontras: pengukuran area kecil (piksel) dan area besar (kelompok piksel). Rasio kontras, bagaimanapun, dipengaruhi oleh kondisi pencahayaan sekitar dan kondisi lingkungan. Itu juga tergantung pada reflektansi layar (kaca layar dan fosfor untuk CRT) atau difusi cahaya sekitar yang terjadi. Parameter lain, untuk LCD, adalah sudut pandang dan panjang gelombang (tergantung pada apakah LCD

biasanya dalam mode putih atau biasanya hitam). Pengukuran dapat dilakukan untuk berbagai sudut pandang dan hasilnya diplot dalam diagram rasio isokontras. Ketika diukur dalam ruangan yang benar-benar gelap, rasio kontras disebut rasio kontras intrinsik. Rasio kontras juga dapat diukur dengan adanya pencahayaan sekitar (rasio kontras ekstrinsik). Dalam hal ini, penting untuk mengutip penerangan cahaya sekitar yang diukur dan sudut cahaya datang di samping nilai luminansi layar. Untuk CRT rasio kontras ekstrinsik dapat diekspresikan dengan ekuasi berikut:

*Ekuasi 15.4*

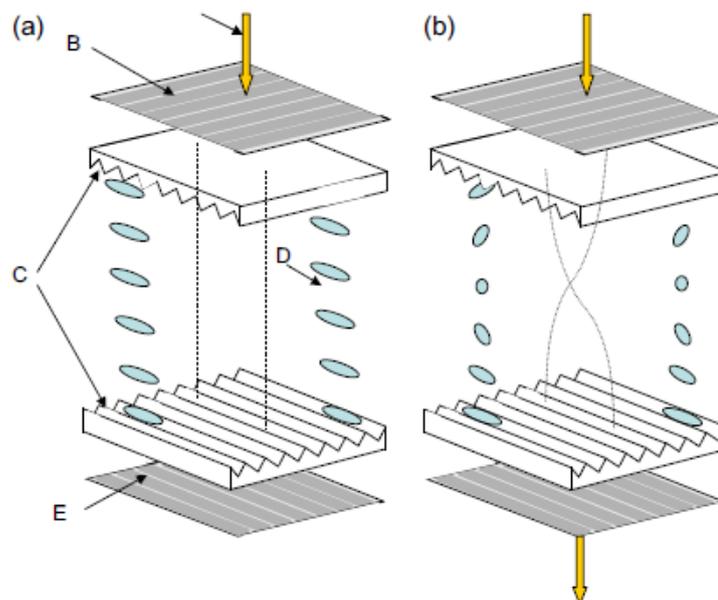
$$CR = \frac{L_{max} + L_r + r}{L_{max} + L_r + r}$$

dimana  $L_r$  adalah pantulan cahaya dari kaca dan  $r$  adalah reflektifitas fosfor, biasanya 70%. Nilai tipikal untuk rasio kontras intrinsik layar CRT adalah sekitar 100: 1, sedangkan untuk LCD bisa sekitar 500: 1. Layar plasma memiliki rasio kontras intrinsik yang lebih tinggi, 5000: 1. Dengan cahaya sekitar, rasio kontras layar CRT berkurang dan dengan kondisi pencahayaan tipikal sekitar 20: 1. Namun, ada beberapa metode berbeda yang digunakan untuk pengukuran rasio kontras oleh produsen, sehingga nilai rasio kontras yang dikutip mungkin tidak dapat dibandingkan.

### **53. Viewing angle**

Rentang tingkat abu-abu yang direproduksi, rasio kontras dan warna pada LCD bergantung pada sudut pandang. Efeknya lebih terasa pada sudut vertikal, sedangkan sudut pandang horizontal lebih simetris. Ini adalah hasil dari orientasi yang berbeda dari pengarah kristal cair untuk sudut vertikal positif dan negatif. Kristal cair dimiringkan saat tegangan diterapkan dan arahnya berbeda saat layar dilihat dari sudut atas atau bawah. Dalam mode biasanya putih, gambar terbalik dapat diamati saat sudut pandang vertikal berubah. Ini lebih jelas pada sudut pandang yang lebih rendah. Efek sudut pandang dapat menjadi signifikan saat melihat dan memanipulasi gambar menggunakan LCD, dan juga saat tampilan dilihat secara bersamaan oleh beberapa pemirsa, atau saat tampilan yang besar dilihat oleh satu pengguna. Sudut pandang juga harus diperhitungkan saat melakukan pengukuran kolorimetri atau luminansi. Kolorimeter yang dirancang khusus untuk LCD harus digunakan, mengukur pada sudut yang sangat sempit (lihat Bab 5 dan 23).

Dalam beberapa tahun terakhir, beberapa metode telah dikembangkan untuk meningkatkan tampilan LCD dari berbagai sudut. Salah satu metode ini adalah mode in-plane switching (IPS), yang diperkenalkan oleh Hitachi. Mode IPS didasarkan pada mode biasanya hitam. Dua polarizer ortogonal digunakan tetapi kristal cair disejajarkan ketika tidak ada medan listrik yang diterapkan dan dengan demikian cahaya tidak dapat melewati polarizer kedua (Gambar 15.13a). Ketika medan listrik diterapkan, orientasi direktur berubah dan cahaya ditransmisikan. Transmisi cahaya maksimum terjadi ketika sudut antara sutradara dan polarizer adalah 45 (Gambar 15.13b). Kristal cair sejajar dengan substrat kaca sehingga tidak ada variasi dalam orientasi pengarah. Waktu respons dari IPS LCD biasanya lambat pada model awal, tapi ini telah ditingkatkan. Rasio apertur sel juga lebih rendah, menghasilkan penggunaan sumber cahaya latar yang lebih kuat. Peningkatan terbaru dari teknologi ini termasuk True White IPS oleh LG Philips dan Super IPS (S-IPS) oleh Hitachi. Alternatifnya adalah vertical alignment (VA), di mana kristal cair berada pada sudut siku-siku ke substrat kaca bila tidak ada medan listrik (Gambar 15.14). Metode lain untuk perbaikan sudut pandang adalah penggunaan film kompensasi dengan kristal cair diskotik, yang dikembangkan oleh Fuji Corporation. Dengan film kompensasi, perlambatan cahaya yang melewati kristal cair tidak bergantung pada sudut pandang, sehingga meningkatkan rasio kontras. Layar CRT dan plasma memiliki sudut pandang yang sangat lebar dengan fakta bahwa fosfor memiliki emisi cahaya Lambertian. Layar yang fleksibel juga memiliki sudut pandang yang sangat lebar

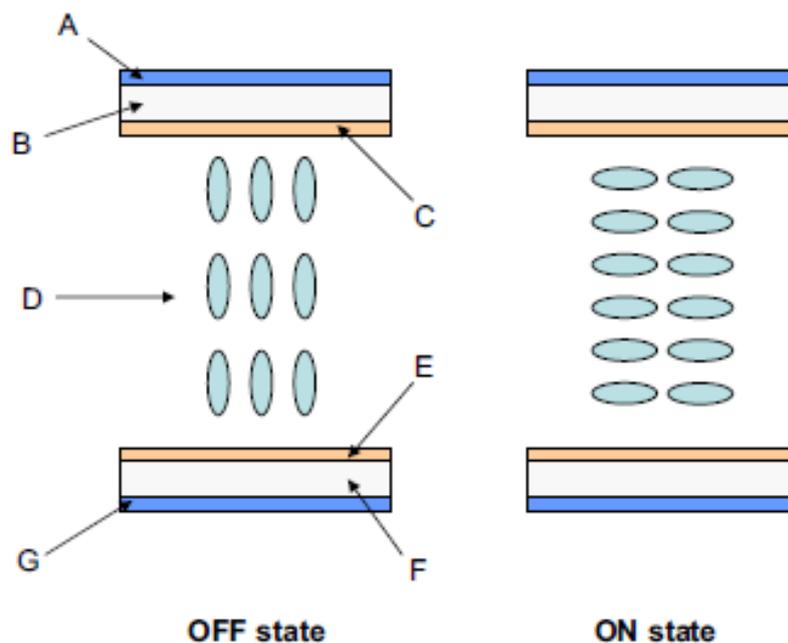


Gambar 15.13 Teknologi pengalihan dalam bidang. (a) Ketika tidak ada medan listrik diterapkan kristal cair sejajar dan tidak ada cahaya melewati polarizer kedua (biasanya kotak hitam). (b) Ketika medan listrik diterapkan cahaya ditransmisikan karena orientasi direktur berubah. A dengan aksen ringan; b, polarizer belakang; C, permukaan orientasi; D, molekul kristal cair; E, polarizer depan.

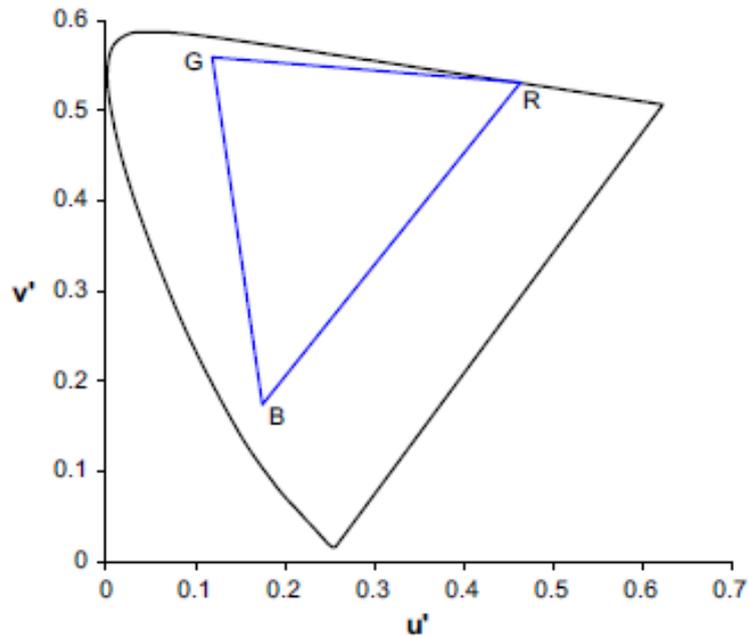
## 54. Warna

Colour gamut layar CRT bergantung pada karakteristik spektral dan luminansi fosfor RGB. Colour gamut yang dihasilkan oleh set fosfor P22 diilustrasikan pada Gambar 15.15.

Dalam LCD, colour gamut bergantung pada transmitansi spektral dari filter RGB dan pada karakteristik spektral dan luminansi sumber cahaya latar. Warna yang dirasakan juga tergantung pada pengaturan filter warna (Gambar 15.16). Setiap pengaturan memiliki kelebihan dan kekurangan. Susunan garis vertikal adalah yang paling populer untuk tampilan komputer dan tidak serumit dua lainnya. Integrasi warna, bagaimanapun, tidak sebagus dengan pengaturan diagonal RGB atau 'delta'.



Gambar 15.14 Metode penyelarasan vertikal untuk LCD. a, polarizer depan; b, pelat filter warna; C, ITO; D, molekul kristal cair; E, ITO; F, pelat TFT; G, polarizer belakang.



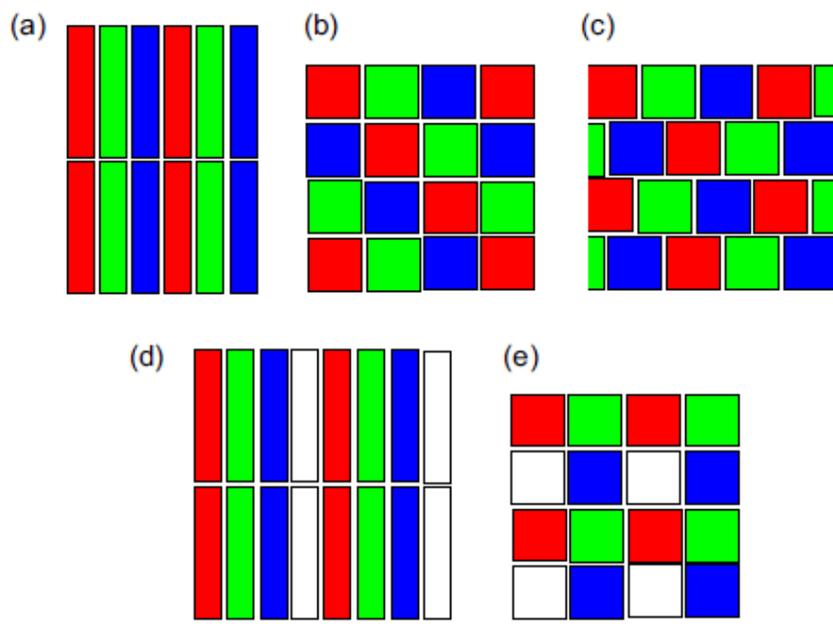
Gambar 15.15 Colour gamut fosfor P22.

Jumlah warna yang dialamatkan oleh kartu grafis terkait dengan jumlah bit (dan karenanya tingkat abu-abu) yang sesuai dengan setiap piksel. Untuk sistem 8-bit, tipikal untuk monitor komputer, level abu-abu sama dengan 28 per warna sementara LCD definisi tinggi menggunakan sistem 10-bit yang menghasilkan 210 level abu-abu per warna. Secara umum jumlah warna pada sebuah LCD adalah  $23n$ , dimana  $n$  adalah banyaknya bit. Dalam situasi optimal, jumlah warna yang dapat direproduksi oleh layar harus sesuai dengan jumlah warna yang dapat dialamatkan. Namun, jumlah warna yang ditampilkan bergantung pada rasio kontras tampilan dan kromatisitas tampilan primer. Jika rasio kontras cukup tinggi dan warna primer cukup jenuh, setiap nilai warna yang dapat dialamatkan dapat ditampilkan sebagai tingkat kromatisitas dan/atau pencahayaan yang berbeda. Ini jarang terjadi. Secara umum, untuk satu set tampilan primer tertentu, gamut yang lebih kecil direproduksi saat rasio kontras dikurangi.

## 55. Artefak Display

Artefak bergantung pada teknologi tampilan yang digunakan. Flickering telah disebutkan untuk CRT. Itu juga dapat muncul di LCD karena cahaya latar. Aliasing temporal (efek astroboskopik) dapat terjadi jika kecepatan frame layar lebih lambat daripada kecepatan perubahan data (gambar bergerak). Nyala juga dapat terjadi jika kecepatan tampilan CRT disetel ke kecepatan yang sama dengan kedipan lampu fluoresen.

Untuk menghindari efek ini, kecepatan refresh harus lebih tinggi. Alias spasial adalah artefak yang terkait dengan resolusi spasial tampilan dan karena itu kemampuannya untuk menampilkan frekuensi tinggi, menghasilkan efek moiré (lihat Bab 7). Fungsi penyebaran titik dari piksel dipengaruhi oleh optik elektron. Peningkatan diameter spot dapat menyebabkan gambar menjadi kabur. Retensi gambar (burn-in) dapat terjadi di CRT atau tampilan plasma karena degradasi fosfor saat gambar atau teks ditampilkan tanpa perubahan untuk waktu yang lama. Ini menghasilkan efek gambar berbayang. Retensi gambar dapat terjadi pada LCD karena alasan yang berbeda. Komponen DC yang digunakan untuk menerapkan tegangan ke kristal cair mungkin berpengaruh dan menyebabkan retensi gambar jangka pendek. Retensi gambar jangka panjang dapat disebabkan oleh perubahan pada lapisan penyaluran atau arus TFT.



Gambar 15.16 Pengaturan filter warna RGB untuk LCD. (a) Garis RGB. (b) diagonal RGB. (c) RGB 'delta' atau triad. (d) Garis RGBW. (e) RGBW quad.

Dalam LCD, artefak tambahan termasuk mura, cross-talk, cacat piksel, dan blur. Istilah mura mencakup beberapa artefak yang disebabkan oleh proses pembuatan LCD. Ini mencakup keberadaan sel yang lebih besar atau lebih kecil dari normal di beberapa area layar (masing-masing menyebabkan area yang lebih terang atau lebih gelap), dalam homogenitas di sirkuit yang mengontrol piksel, dan perbedaan dalam pemrosesan lapisan penyaluran kristal cair. Artefak crosstalk, terutama dalam LCD matriks pasif, terjadi ketika output dari satu atau lebih piksel dipengaruhi oleh data piksel tetangga (mereka

mungkin berada di kolom atau baris yang sama). Cacat piksel dibagi lagi oleh Organisasi Standar Internasional menjadi tiga kategori: piksel panas (selalu aktif, menghasilkan titik putih), piksel mati (selalu mati, menghasilkan titik gelap) dan piksel macet (salah satu subpiksel selalu aktif atau selalu mati). Karena respons piksel panas sistem visual manusia di latar belakang gelap lebih mudah dideteksi daripada piksel mati di latar belakang putih. Keburaman gerakan dapat terjadi jika objek yang bergerak cepat ditampilkan karena voltase yang diterapkan pada piksel tetap ada hingga penyegaran data berikutnya.

## **56. Efek pada viewing condition**

Kondisi tampilan memiliki peran penting dalam kualitas gambar yang dilihat. Tingkat iluminasi ambien dan suhu warna iluminan berpengaruh. Seperti yang disebutkan sebelumnya, rasio kontras menurun dengan bertambahnya penerangan cahaya sekitar karena suar. Hal ini membuat diskriminasi gambar-dasar oleh sistem visual manusia lebih sulit karena ketika cahaya sekitar ditingkatkan, itu membutuhkan kontras yang lebih tinggi daripada yang lebih rendah. Lapisan anti pantulan dapat mengurangi efek flare. Tudung juga dapat dipasang ke beberapa layar, mengisolasi layar dari pencahayaan sekitar. Ini juga berfungsi untuk mengisolasi layar dari surround dan latar belakang, yang mempengaruhi adaptasi sistem visual. Pengaturan gamma tampilan juga terkait dengan kontras gambar yang ditampilkan (lihat Bab 21).

Karakterisasi dan kalibrasi perangkat tampilan yang digunakan untuk melihat gambar sangat penting untuk reproduksi warna yang akurat dari gambar yang ditampilkan. Namun, dalam banyak kasus, dan terutama saat gambar dilihat di Internet, tampilan digunakan di lokasi yang berbeda, dengan pengaturan kecerahan, kontras dan titik putih yang berbeda, dan di bawah pencahayaan sekitar yang berbeda. Standar sRGB telah dikembangkan untuk memastikan reproduksi warna dan nada gambar yang akurat bila dilihat pada layar CRT di bawah tampilan referensi dan kondisi tampilan (lihat Bab 23). Ini termasuk parameter yang umum untuk sebagian besar CRT seperti titik putih (kromatisitas RGB fosfor), tingkat pencahayaan tampilan, dan pencahayaan cahaya sekitar. Adaptasi visual (lihat Bab 5) merupakan faktor penting dalam melihat gambar yang ditampilkan. Penelitian telah menunjukkan bahwa ketika gambar dilihat pada layar CRT, sistem visual manusia kira-kira 40% disesuaikan dengan cahaya sekitar dan sekitar 60% ke titik putih monitor.

## DIGITAL PRINTING DAN BAHAN

### 57. Teknologi Printing

#### 57.1. Printer Inkjet

Printer inkjet desktop ditunjukkan pada Gambar 16.1. Pencetakan inkjet didasarkan pada kepala cetak (kereta) dengan sejumlah besar nosel yang mengeluarkan tinta di atas kertas. Kepala cetak bergerak dengan kecepatan lebih dari  $1 \text{ ms}^{-1}$  ke belakang dan ke depan melintasi lebar kertas. Kertas bergerak maju setelah setiap lintasan (petak), dikontrol oleh encoder yang memastikan presisi tinggi. Diameter nosel sangat kecil, sekitar  $10 \text{ }\mu\text{m}$ , dan kecepatan tinta yang keluar sekitar  $5\text{-}10 \text{ ms}^{-1}$ . Metode pengeluaran tinta tergantung pada teknologi yang digunakan, yang akan dijelaskan nanti dalam bab ini. Jarak antara nosel disebut sebagai jarak nosel dan merupakan parameter yang mempengaruhi lokasi titik pada halaman. Pitch nosel dikutip dalammm tetapi beberapa pabrikan, seperti Canon, mengutip pitch nozzle dalam titik per inci (dpi). Ini sering kali merupakan nilai yang dikutip sebagai ‘resolusi cetak ‘ dan dapat menyebabkan kebingungan, jika printer menggunakan digital half-toning, di mana nada disimulasikan menggunakan kelompok titik untuk mewakili setiap piksel. Oleh karena itu, resolusi output dalam piksel per inci akan jauh lebih rendah dari nilai ini.

Printer inkjet adalah printer non-benturan. Ada beberapa teknologi kjet, dengan tarikan elektrostatis paling awal, yang berasal dari tahun 1960-an, di mana tetesan tinta ditarik melalui nosel menggunakan medan elektrostatis. Kerugian dari metode ini termasuk tegangan tinggi yang diperlukan untuk menarik tinta dan nosel jet yang besar. Dua teknologi yang lebih umum digunakan saat ini adalah inkjet kontinu dan inkjet drop-on-demand.

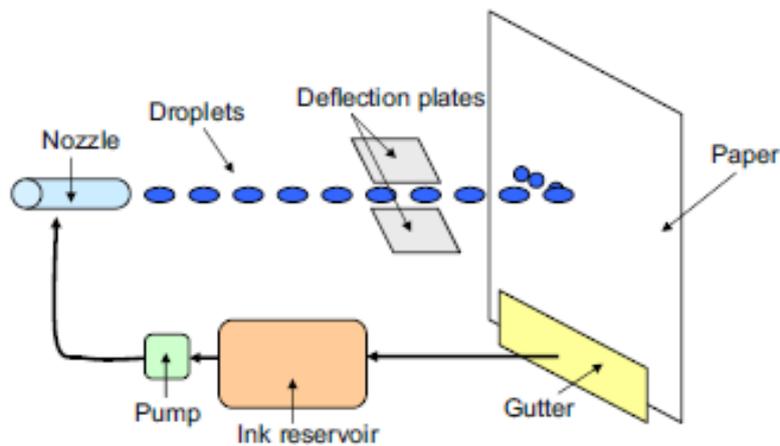


Gambar 16.1 Printer inkjet. iStockphoto.com/dennysb

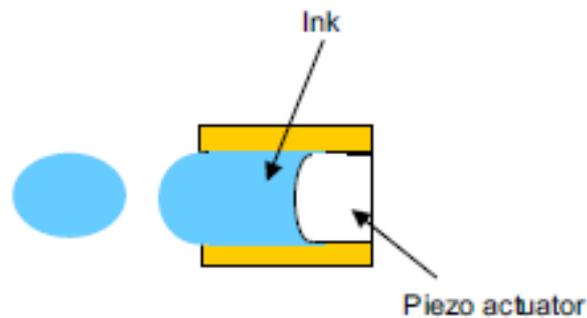
Printer inkjet kontinu digunakan terutama untuk aplikasi industri. Contohnya termasuk pengkodean produk seperti paket, kaleng, botol atau kabel, dan pencetakan logo. Operasi mereka didasarkan pada ketidakstabilan Rayleigh. Ketidakstabilan Rayleigh, dinamai menurut Lord Rayleigh, yang menganalisisnya pada akhir 1800-an, menyebabkan aliran cairan pecah menjadi tetesan. Salah satu metode yang digunakan oleh printer ink jet kontinu didasarkan pada metode Sweet, yang dikembangkan oleh Dr. Richard Sweet, dari Universitas Stanford pada tahun 1960-an, di mana arah tetesan tinta dikendalikan oleh defleksi. Metode Sweet memungkinkan dua jenis defleksi: biner dan bertingkat. Dalam definisi biner, array jet digunakan untuk mengeluarkan tetesan tinta. Ketika tegangan diterapkan setiap tetesan diisi. Medan elektrostatis kemudian digunakan untuk mengarahkan setiap tetesan ke substrat. Dalam defleksi multi-level, gerakan horizontal dari head atau substrat memberikan dimensi horizontal karakter. Dimensi vertikal disediakan dengan membelokkan tetesan tinta yang diisi secara vertikal, menggunakan medan elektrostatis. Dengan metode ini karakter lengkap dapat dicetak dengan sekali jalan di print head. Metode Hertz, yang dikembangkan oleh Profesor Hertzof dari Lund Institute of Technology, pada akhir 1960-an, adalah metode lain yang digunakan dalam printer inkjet kontinu, di mana kerapatan warna disesuaikan dengan mengontrol jumlah tetesan untuk setiap piksel (menggunakan digital halftoning - see halaman 310) menggunakan metode elektrostatis. Hingga sekitar 30 tetesan dapat dikeluarkan untuk setiap warna, menghasilkan peningkatan jumlah tingkat densitas per piksel. Kecepatan tetesan yang dikeluarkan pada

printer inkjet kontinu sangat tinggi, 50.000-100.000 per detik per nosel, dan tetesan berada dalam kisaran 15-400 mm, tergantung pada printer. Tinta, bagaimanapun, perlu disirkulasi ulang dan ini membutuhkan perangkat keras yang kompleks (Gambar 16.2).

Printer inkjet Drop-on-demand (DOD) terutama terdiri dari dua teknologi: piezo-elektrik dan termal (juga disebut sebagai bubblejet). Teknologi piezo-elektrik memanfaatkan kristal piezo di salah satu dinding ruang tinta. Kristal piezo adalah kristal yang menghasilkan tegangan saat diberi tekanan. Dengan penerapan arus listrik, bahan-bahan ini menjadi terdistorsi. Ini dikenal sebagai 'efek piezo-listrik terbalik'. Distorsi tersebut menyebabkan terbentuknya tekanan di dalam ruang tinta dan tinta keluar dari nosel (Gbr 16.3). Jenis distorsi, elongasi atau tekukan, bergantung pada kristal dan besarnya distorsi bergantung pada arus listrik. Karena itu dapat dikontrol, memungkinkan variasi ukuran tetesan tinta. Ada dua jenis ejektor: ejektor datar, digunakan di sebagian besar printer inkjet komersial; dan ejektor silinder, digunakan untuk printer format lebar inkjet (Gambar 16.4).



Gambar 16.2 Proses pencetakan dengan printer inkjet kontinyu.



Gambar 16.3 Pencetakan inkjet piezo-elektrik drop-on-demand

Tinta yang digunakan untuk printer piezo-elektrik berbentuk cair dan tetesan yang dihasilkan bisa sekecil kira-kira 1e1.5 picolitres (pl). Ini menghasilkan titik tercetak dengan diameter kira-kira 10 mm. Jenis lain dari printer piezo-elektrik menggunakan tinta perubahan fase (atau panas meleleh atau padat), yang padat pada suhu kamar. Perangkat pencetakan memanaskan masukan ke titik lelehnya, sekitar 120e140 C, kemudian tinta siap untuk dikeluarkan ke permukaan media. Saat tinta mengenai media, yang berada pada suhu ruangan, media menjadi padat, tanpa perlu waktu pengeringan. Waktu pemanasan yang memadai, sekitar 10-15 menit, diperlukan sebelum mencetak agar tinta dibiarkan mencapai titik lelehnya.

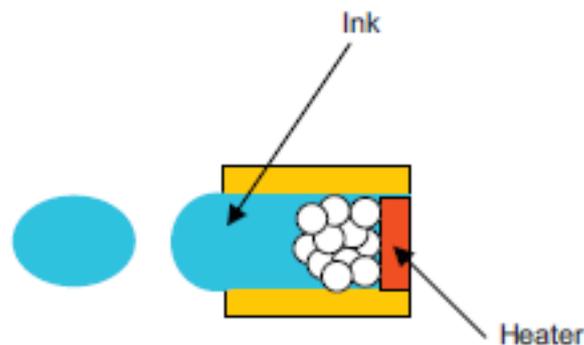


Gambar 16.4 Printer inkjet format lebar (juga dikenal sebagai plotter) dapat mencetak gambar berskala besar dalam berbagai media. Mereka menggunakan kertas gulung dan kartrid tinta terpisah.

[iStockphoto.com/jamirae](https://www.iStockphoto.com/jamirae)

Dalam printer inkjet berbasis teknologi termal, setiap nosel berhubungan dengan satu ruang tinta yang terhubung ke wadah tinta. Sebuah resistor pemanas ditempatkan pada dinding ruang tinta (biasanya di belakang nosel, tetapi ini tergantung pada pabrikan). Kamar itu penuh dengan tinta. Saat arus listrik dialirkan, sekitar 1 ms, suhu tinta yang paling dekat dengan resistor mencapai sekitar 300C, menyebabkan penguapan tinta. Gelembung yang tercipta memberikan tekanan pada tinta, yang kemudian dikeluarkan dari nosel (Gbr 16.5). Saat suhu turun, gelembung akan berkontraksi dan tinta kembali ke keadaan semula. Metode ini juga didasarkan pada studi yang dilakukan oleh Rayleigh tentang penciptaan dan keruntuhan gelembung. Oleh karena itu, tinta yang digunakan untuk

printer inkjet termal dibatasi pada formula yang tidak terpengaruh oleh pemanasan dan penguapan.



Gambar 16.5 Pencetakan inkjet termal drop-on-demand.

Pada printer inkjet, keakuratan penempatan titik tinta di atas kertas dikontrol dengan encoder optik. Ini untuk memastikan bahwa variasi kecepatan print head tidak akan berdampak buruk pada kualitas hasil cetak. Strip kode plastik transparan, terdiri dari garis-garis hitam, ditempatkan di antara dioda pemancar cahaya (LED) dan fotodetektor di kepala yang bergerak. Sinar yang dipancarkan dari LED melewati strip kode tetapi tidak melalui strip hitam. Sinar yang dihasilkan diterima oleh photodetector, yang mengirimkan sinyal yang mengontrol pengeluaran tinta.

Seperti disebutkan di atas, nozel tinta memiliki diameter yang sangat kecil, oleh karena itu ada kemungkinan tersumbat. Untuk menghindari penyumbatan akibat tinta kering pada nozel saat printer tidak beroperasi, nozel ditutup. Namun, selama pencetakan, beberapa nozel yang tidak tertutup mungkin tidak digunakan, yang berarti nozel tersebut tidak akan mengeluarkan tinta (nozel mengeluarkan tinta tergantung pada gambar atau teks yang dicetak). Masalah ini diatasi dengan mengeluarkan tinta dari setiap nozel pada interval yang telah ditentukan sebelumnya, saat kepala cetak tidak berada di atas kertas. Penyumbatan juga dapat disebabkan oleh zat di dalam tinta itu sendiri atau karena dispersi partikel tinta yang tidak stabil dalam pewarna berbasis pigmen. Memfilter tinta selama pembuatan dan di printer menghilangkan keberadaan zat ini. Menyeka nozel juga diterapkan di printer untuk menghilangkan penyumbatan. Kemajuan dalam teknologi tinta telah meningkatkan dispersi tinta berbasis pigmen.

Pencetakan inkjet didasarkan pada metode subtraktif (lihat Bab 5) dengan menggunakan tinta cyan, magenta, kuning dan hitam (CMYK). Dengan penggunaan tinta

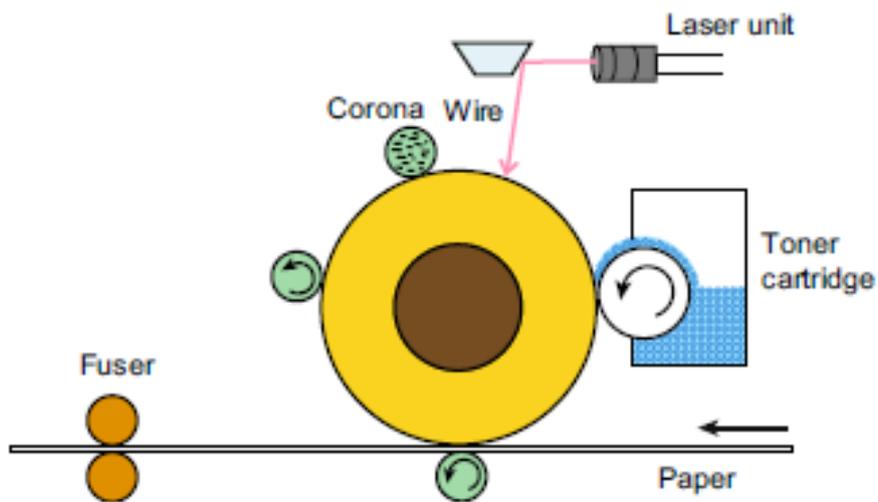
hitam, efek variasi warna tinta CMY pada gambar yang dicetak berkurang. Selain itu, gambar memiliki kontras yang lebih baik. Juga lebih murah untuk mencetak hitam menggunakan tinta hitam daripada menggunakan tinta CMY. Intensitas warna saat mencetak dengan printer inkjet dikontrol menggunakan pencetakan digital half-toning dan stochastic, yang akan dijelaskan lebih detail pada bagian ‘Warna, resolusi dan keluaran ‘ nanti di bab ini. Printer inkjet saat ini yang dirancang untuk mencetak gambar foto menggunakan lebih dari empat warna, cyan, magenta, kuning dan hitam, untuk menghasilkan corak warna halus dalam cetakan dan untuk memperluas colour gamut yang diperoleh hanya dengan menggunakan empat tinta. Pada saat penulisan, printer inkjet dapat menggunakan hingga 12 tinta, tergantung pabrikannya. Sebagai contoh, tinta mungkin menyertakan ‘cyan muda’. ‘magenta muda’. ‘hitam muda’. ‘hitam muda’. ‘foto cyan ‘ dan ‘foto magenta’. Lebih dari satu tinta hitam digunakan untuk pencetakan gambar skala abu-abu berkualitas tinggi, yang hanya menggunakan tinta hitam. Beberapa printer menggunakan tinta red, green, dan blue sebagai tambahan pada tinta subtraktif. Tinta juga dapat disesuaikan tergantung pada kertas cetak. Misalnya, delapan printer warna dari satu produsen (Epson) menyertakan tinta ‘foto hitam ‘ untuk pencetakan di atas kertas glossy dan tinta ‘hitam matt ‘ untuk pencetakan di atas kertas matt.

## **57.2. Printer Elektrografis**

Printer Electrophotographic (EPG) juga merupakan printer non-impact (lihat Gambar 16.6 dan 16.7). Amplifikasi cahaya dengan emisi radiasi terstimulasi (laser) adalah sumber cahaya yang paling umum untuk printer EPG, tetapi ada sumber cahaya lain yang telah digunakan oleh produsen, seperti yang akan dijelaskan nanti dalam bab ini. Pengenalan printer EPG yang menggunakan kertas biasa sebagai pengganti kertas tujuan khusus yang diperlukan untuk printer EPG sebelumnya sudah ada sejak tahun 1970-an.



Gambar 16.6 Printer laser elektrofotografi. iStockphoto.com/jaroon



Gambar 16.7 Proses pencetakan di printer laser EPG.

Printer elektrofotografi terdiri dari fotokonduktor (permukaan yang peka terhadap cahaya), yang biasanya organik atau silikon. Fotokonduktor awal terbuat dari kadmium, arsenik atau selenium, yang memiliki masa hidup sangat panjang (lebih dari 100.000 halaman) tetapi beracun. Fotokonduktor organik memiliki masa hidup yang lebih pendek (hingga 100.000 halaman) tetapi dianggap tidak beracun. Fotokonduktor silikon memiliki masa hidup yang jauh lebih tinggi, hingga 1.000.000 halaman. Substrat fotoreseptor adalah silinder logam aluminium atau jaringan fleksibel. Permukaan fotokonduktor secara seragam bermuatan negatif elektrostatis oleh pengisian korona. Itu kemudian diekspos ke gambar optik menggunakan sumber cahaya. Sumber cahaya dapat berupa array laser atau

light-emitting diode (LED). Metode lain termasuk penutup kristal cair (LC), yang belum banyak digunakan, dan tabung sinar katoda pelat muka serat optik (CRT) pada printer awal. Pencetak laser awal menggunakan laser gas, awalnya kadmium atau argon dan kemudian heliumneon. Dioda laser solid-state, yang dapat dikontrol langsung oleh arus drive, diperkenalkan pada 1980-an, dan ini mengurangi biaya printer komersial. Penting untuk disebutkan bahwa spektrum laser harus sesuai dengan sensitivitas spektral dari fotokonduktor. Data gambar, disimpan dalam memori penyangga, diubah sedikit demi sedikit menjadi sinyal on/off yang memodulasi sinar laser. Cahaya melewati lensa, yang memfokuskan sinar ke titik sekitar 42mm pada cermin poligon yang berputar. Rotasi per menit (rpm) cermin bergantung pada kecepatan cetak, resolusi printer, dan jumlah aspek cermin, dan berada dalam kisaran 30.000 rpm. Rotasi cermin juga dipengaruhi oleh panas, lingkungan atau yang dihasilkan oleh printer, hambatan dari udara saat cermin berputar, getaran, dan segala ketidaksesuaian dalam pembuatan cermin. Cermin memantulkan cahaya dan mengarahkannya melalui lensa, yang mengoreksi efek dari parameter yang disebutkan di atas, ke fotokonduktor. Perlu diperhatikan bahwa ada batasan pada lebar kertas maksimum yang dapat digunakan pada printer laser. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa sinar laser menjadi lebih miring ketika sudutnya dengan fotokonduktor dinaikkan.

Area permukaan fotokonduktor yang terkena cahaya dalam baris yang berurutan dilepaskan dan gambar laten dibuat. Pengembangan gambar laten dilakukan dengan penggunaan toner kering. Toner adalah polimer yang dicampur dengan karbon hitam sekitar 10%. Ukuran partikel toner kira-kira 12 mm. Partikel yang lebih kecil dapat diproduksi secara mekanis (sekitar 7 mm) atau secara kimiawi (sekitar 3-5 mm). Meskipun partikel toner yang sangat kecil dapat dihasilkan, ada masalah yang terkait dengannya (lihat nanti di bab ini). Karena alasan ini ada batasan pada ukuran terkecil partikel yang dapat digunakan dalam praktik.

Muatan positif diterapkan ke partikel toner. Partikel toner kemudian menempel, dengan bantuan bahan dengan partikel 3-50 kali lebih besar, yang dikenal sebagai pembawa, ke gambar laten pada konduktor foto. Ini dicapai itu herbymagnetic atau dengan kekuatan elektrostatik. Gambar yang dikembangkan kemudian ditransfer dari fotokonduktor ke kertas dan digabungkan, biasanya dengan gulungan yang dipanaskan dan tekanan tinggi. Metode lain, sekering tekanan dingin, digunakan di beberapa printer. Terakhir, toner yang berlebih dikeluarkan dari fotokonduktor sehingga siap untuk siklus berikutnya.

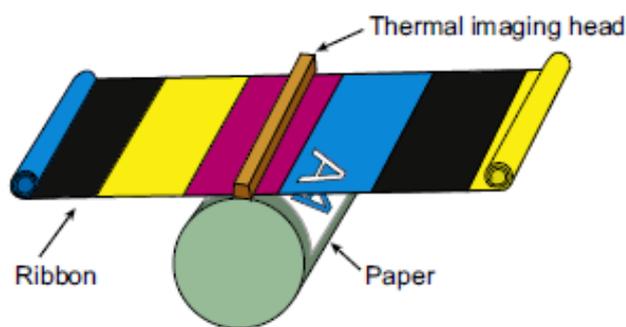
Printer EPG yang menggunakan susunan LED sebagai sumber cahaya bekerja dengan prinsip yang sama seperti printer laser yang dijelaskan di atas. Alih-alih sinar laser dan cermin yang berputar, mereka menggunakan serangkaian LED, di mana masing-masing LED menyediakan pot di seluruh lebar area yang dapat dicetak. Jumlah LED dalam larik terkait dengan resolusi horizontal printer dan lebar garis cetak. Sederetan 600 LED per inci, misalnya, diperlukan untuk printer 600 dpi. Untuk garis cetak dengan lebar 8 inci, jumlah total LED di printer itu adalah 4800. Larik LED berwarna memiliki empat baris LED untuk cyan, magenta, kuning dan hitam. Meskipun printer LED memiliki komponen mekanis yang lebih sedikit dan oleh karena itu tidak terlalu rumit, terdapat batasan pada berapa banyak LED yang dapat dibangun ke dalam rangkaian karena kesulitan teknis untuk membuat LED yang sangat kecil.

Printer EPG menggunakan toner CMY atau CMYK untuk pencetakan berwarna dan menggunakan digital half-toning untuk mereproduksi gambar rona berkelanjutan. Namun, karena penggunaan partikel toner, titik-titik tersebut saling tumpang tindih alih-alih membentuk layar halftone yang berbeda. Akibatnya warna-warna halus tidak terdefinisi dengan baik atau tidak dapat dibedakan satu sama lain.

## **58. Termografi**

Termografi, pencetakan menggunakan penerapan panas, dibagi menjadi dua kategori: termografi langsung dan termografi transfer. Termografi langsung digunakan terutama dalam aplikasi seperti pencetakan label. Media memiliki lapisan khusus yang, dengan penerapan panas, berubah warna. Untuk ruang lingkup buku ini kategori kedua, termografi transfer, disajikan secara rinci. Transfer termografi dibagi menjadi dua kategori: pencetakan transfer termal (Gambar 16.8) dan pencetakan transfer termal difusi pewarna (D2T2). Pencetakan transfer termal, juga dikenal sebagai transfer massa termal, didasarkan pada transfer tinta (lilin atau resin) dari donor ke substrat dengan penerapan panas. Donor tinta ditempatkan di antara kepala yang terdiri dari resistor pemanas dan substrat. Donor, biasanya lembaran atau pita dengan ketebalan kurang lebih 10 mm, memiliki lapisan pewarna cyan, magenta dan yellow dan lapisan pelindung untuk substrat. Penataan area pewarna tergantung pada donornya. Saat bahan web digunakan, pewarna diatur di belakang satu sama lain sehingga gambar dapat dicetak dengan satu lintasan media. Dengan donor menggunakan selembar kertas, beberapa gerakan printhead diperlukan untuk pencetakan warna yang penuh. Karena media dicetak untuk setiap warna secara terpisah, kesalahan

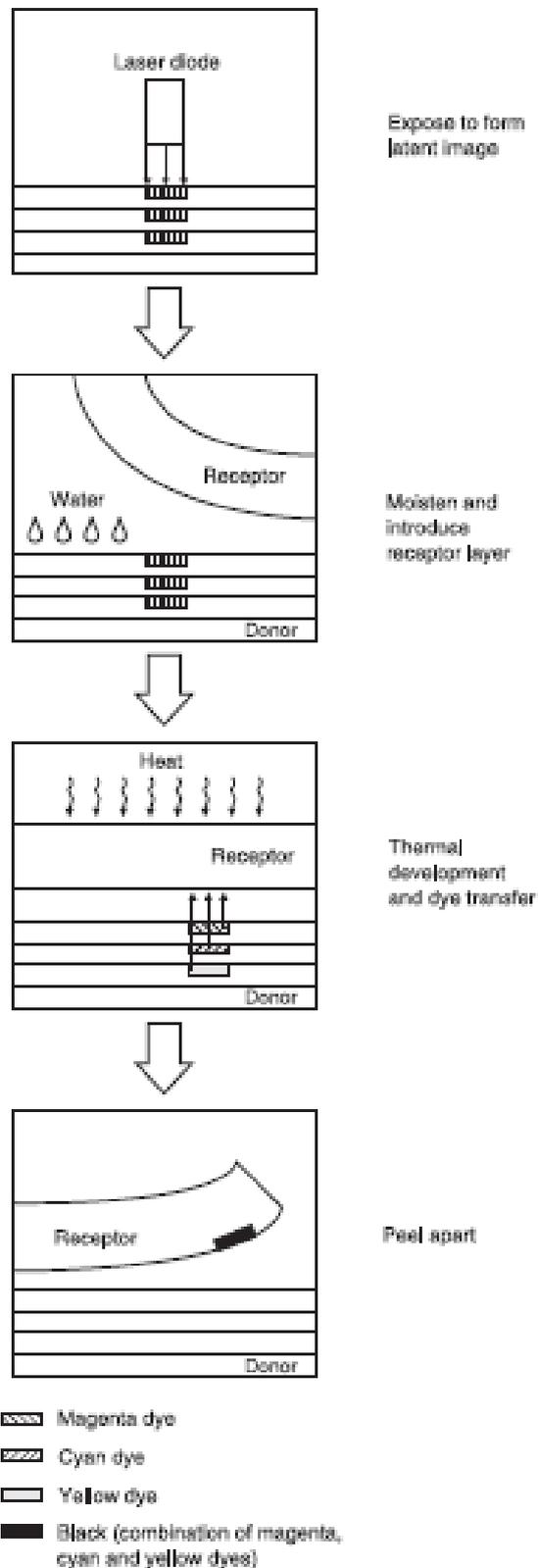
registrasi yang sedikit akan menyebabkan efek yang terlihat pada gambar. Resolusi printer ditentukan oleh jumlah resistor. Saat resistor dihidupkan, tinta dari donor ditransfer ke media yang bersentuhan langsung. Jumlah pewarna per piksel yang disimpan pada substrat dimodulasi dengan mengontrol pemanasan resistor. Oleh karena itu, ukuran titik dapat bervariasi. Mencetak dengan metode transfer termal adalah proses biner dan setengah toning digunakan untuk mereproduksi nada kontinu (ukuran titik yang bervariasi untuk mereproduksi nada berbeda kadang-kadang disebut true half-toning, sebagai kebalikan dari digital half-toning, yang menggunakan pengaturan cluster berbeda titik). Kualitas gambar yang dicetak dengan metode ini lebih rendah daripada kualitas dari metode transfer difusi pewarna.



Gambar 16.8 Metode pencetakan transfer termal.

Printer transfer termal difusi pewarna, juga dikenal sebagai printer sublimasi pewarna, didasarkan pada sublimasi tinta (tinta diubah dari padat menjadi uap tanpa melalui tahap cair) dan menggunakan pengaturan yang sama seperti printer transfer termal. Saat panas diterapkan ke donor, tinta menguap. Kemudian menembus substrat melalui difusi dan menjadi padat. Diperlukan lapisan khusus pada substrat. Sementara dalam pencetakan transfer termal ukuran titik dapat bervariasi, dengan pencetakan transfer termal difusi pewarna kerapatan tinta dapat berubah tetapi diameter titik tetap hampir sama. Dengan teknologi ini 256 level dapat diperoleh untuk setiap warna, menghasilkan cetakan berkualitas tinggi. Kecepatan pencetakan lebih lambat dengan printer transfer termal dibandingkan dengan printer elektrofotografi dan inkjet. Karena pewarna tersebar melalui lapisan, gambar memiliki corak kontinu yang sangat halus. Namun, penyebarannya, dalam kombinasi dengan resolusi rendah, mengakibatkan hilangnya sharpness pada gambar yang dicetak dibandingkan dengan cetakan fotografis. Ini lebih banyak ditampilkan di bagian

tepi daripada di area yang luas dengan warna seragam. Umur panjang cetakan sublimasi pewarna dipengaruhi oleh kelembaban dan suhu.



Gambar 16.9 Prinsip Piktografi Fuji

Karena printer transfer termal dan sublimasi pewarna bekerja dengan prinsip yang sama (pewarna ditransfer ke substrat oleh donor dengan penerapan panas), sistem dapat dirancang untuk beroperasi secara multifungsi, yaitu, untuk beroperasi baik untuk transfer termal maupun pencetakan sublimasi pewarna. Donor dan tinta yang sesuai diperlukan untuk tujuan ini.

Printer inkjet sublimasi pewarna menggabungkan teknologi inkjet dan sublimasi pewarna. Ini adalah printer big format yang digunakan untuk mencetak pada media yang fleksibel atau kaku seperti kain dan gadget. Gambar dicetak dengan teknologi inkjet tetapi printer ini menggunakan tinta sublimasi pewarna khusus. Pemanasan diterapkan pada substrat sehingga tinta gas menembusnya dan menjadi padat. Substrat, bagaimanapun, harus sepenuhnya atau poliester proporsi tinggi karena sifat-sifat bahan ini dengan penerapan pemanasan. Kain katun tidak dapat digunakan dengan teknologi ini.

## 59. Piktografi

Fuji Pictography adalah metode yang didasarkan pada pemaparan bahan donor ke cahaya menggunakan dioda laser solid-state dan bahan silver halida (pengembangan termal dan teknologi transfer pewarna). Gambar laten dibuat pada donor, yang bersentuhan dengan kertas foto penerima. Dengan penerapan panas dan sedikit air, gambar positif dibuat di atas kertas dan kemudian kertas donor dan penerima dikupas (Gambar 16.9). Perkembangan lebih lanjut dari sistem ini menghasilkan material yang menggabungkan donor dan penerima. Piktografi tidak membutuhkan tinta atau bahan kimia, hanya air. Printer kelas atas ini mereproduksi gambar dengan 256 tingkat tonal untuk cyan, magenta, dan kuning. Resolusi pencetakan standar, 400 dpi. Kertas disediakan oleh produsen dalam berbagai jenis (glossy, matt, OHP). Daftar teknologi pencetakan digital disajikan pada Tabel 16.1.

<b>Tabel 16.1 Teknologi digital printing dan prinsip yang digunakan</b>	
<b>TEKNOLOGI PRINTING</b>	<b>METODE</b>
Inkjet	Injeksi tinta
EPG (Electrophotographic)	Transfer toner elektrostatis
Termografi - transfer termal	Transfer termal tinta dari donor ke media
Termografi - Sublimasi pewarna	Transfer termal tinta dari donor ke media - sublimasi tinta
Inkjet sublimasi pewarna	Injeksi tinta sublimasi pewarna - aplikasi panas
Piktografi	Perkembangan termal dan transfer pewarna

## 60. Media Percetakan dan propertinya

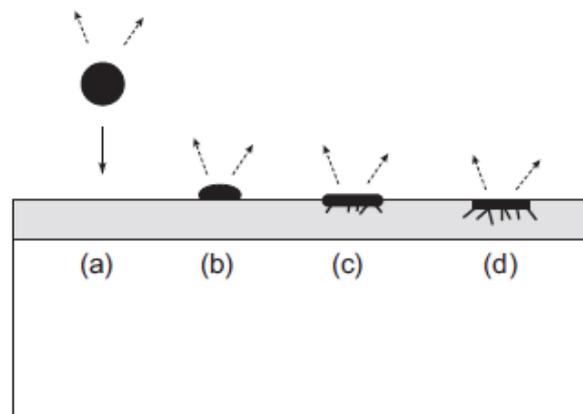
Fuji Pictrography adalah metode yang didasarkan pada pemaparan bahan donor ke cahaya menggunakan dioda laser solid-state dan bahan silver halida (pengembangan termal dan teknologi transfer pewarna). Gambar laten dibuat pada donor, yang bersentuhan dengan kertas foto penerima. Dengan penerapan panas dan sedikit air, gambar positif dibuat di atas kertas dan kemudian kertas donor dan penerima dikupas (Gambar 16.9). Perkembangan lebih lanjut dari sistem ini menghasilkan materi yang menggabungkan donor dan penerima. Piktrografi tidak membutuhkan tinta atau bahan kimia, hanya air. Printer kelas atas ini mereproduksi gambar dengan 256 tingkat tonal untuk cyan, magenta, dan kuning. Resolusi pencetakan standar, 400 dpi. Kertas disediakan oleh produsen dalam berbagai jenis (glossy, matt, OHP). Daftar teknologi pencetakan digital disajikan pada Tabel 16.1.

Produsen telah menemukan metode untuk meningkatkan perangkat keras dan metode pencetakan, tetapi juga properti dan fabrikasi toner, tinta dan substrat untuk mengoptimalkan kualitas gambar. Namun, penting untuk diperhatikan, batasan fisik apa pun pada peningkatan perangkat keras dan material, seperti yang ditunjukkan nanti di bagian ini.

Pada printer inkjet, misalnya, variasi diameter nozel yang mencetak warna yang sama dapat menyebabkan garis melintang pada gambar yang dicetak. Presisi tinggi dalam pembuatan nozel yang akan mengeluarkan tinta dengan warna yang sama sangat penting untuk mendapatkan kerapatan seragam setiap warna pada cetakan. Biasanya semua nozel satu warna dibuat dalam satu langkah. Pada beberapa printer inkjet kerapatan warna cetakan dapat diubah dengan memvariasikan ukuran tetesan tinta. Ukuran tetesan tergantung pada jumlah tinta yang dikeluarkan oleh nozel. Ini dapat dikontrol baik oleh pulsa di printer piezo-listrik atau dengan memanaskan di printer termal. Cara lain untuk membuat tetesan besar adalah dengan mengeluarkan beberapa tetesan kecil secara berurutan. Dengan metode ini printer dapat mencetak beberapa tingkat abu-abu per piksel dengan mengubah jumlah tetesan, meningkatkan kualitas cetakan foto rona kontinu. Perlu diperhatikan bahwa ukuran bercak bercak pada kertas juga bergantung pada sifat kertas, seperti daya serapnya, seperti yang akan dijelaskan nanti.

## 61. Kertas untuk Inkjet Printing

Pencetakan dokumen berkualitas tinggi dengan printer inkjet dapat dilakukan pada kertas biasa tanpa lapisan khusus. Untuk kualitas optimal saat mencetak foto, kertas berpelapis harus digunakan. Pelapisan kertas dikembangkan dengan mempertimbangkan beberapa faktor yang meliputi volume tetesan, ketebalan lapisan, kecepatan tinta menembus kertas, dan penyerapan kertas, untuk beberapa nama (Gambar 16.10).



Gambar 16.10 Difusi, adhesi dan penguapan dalam pencetakan inkjet menggunakan reseptor kertas berlapis. (a) Tetesan dalam penerbangan. (b) Difusi dan adhesi yang buruk. (c) Difusi dan adhesi yang baik. (d) Difusi berlebihan tetapi adhesi yang baik. Panah putus-putus melambangkan penguapan.

Printer inkjet sebagian besar menggunakan tinta air, perubahan fase, pelarut atau minyak dan beberapa menggunakan tinta berbasis ultraviolet (UV) atau berbasis reaktif. Dengan tinta air, lapisan kertas khusus diperlukan, jika tidak, tinta akan menyebar ke permukaan kertas dan menembusnya. Penyebaran tinta berdampak buruk pada kualitas gambar cetakan karena ukuran titik yang bertambah, yang menyebabkan hilangnya sharpness dan warna yang terdesaturasi. Serat kertas pendek dan ukuran (di mana kertas dilapisi selama pembuatan untuk mengurangi penyerapan cairan saat kering) juga digunakan untuk meminimalkan penyebaran tinta. Lapisan kertas juga menambahkan fluoresensi yang membuat permukaan putih tampak lebih cerah. Cetakan yang dibuat dengan tinta perubahan fase tidak terpengaruh oleh penyebaran tinta atau penyerapan kertas meskipun media adalah kertas biasa atau permukaan lain yang sesuai tanpa lapisan khusus. Alasannya adalah tinta yang dikeluarkan sebagai cairan oleh nosel menjadi padat saat bersentuhan dengan permukaan media, tanpa menyebar. Ini, bagaimanapun, berarti bahwa tetesan mempertahankan bentuk setengah bola, yang menghasilkan hamburan cahaya.

Untuk menghilangkan efek ini dan meningkatkan daya rekat, tinta perlu menyatu pada media. Tinta berbasis minyak digunakan untuk printer format lebar. Tinta yang dapat disembuhkan UV dan berbasis pelarut digunakan untuk mencetak pada permukaan yang kedap air seperti plastik, kaca, atau logam, dan karena alasan ini tinta tersebut terutama digunakan untuk aplikasi industri.

Kertas untuk pencetakan inkjet dibuat dengan hasil akhir yang berbeda (seperti glossy, semi-matt atau matt), warna (putih cerah, putih), berat atau permukaan. Pengisi digunakan untuk tujuan ini seperti titanium dioksida, misalnya, untuk menciptakan tampilan putih cerah. Saturasi warna mungkin dipengaruhi oleh parameter ini. Untuk alasan ini, driver printer mengubah jumlah tinta yang disimpan pada kertas sesuai dengan jenis kertas yang digunakan, untuk memastikan hasil yang optimal. Kombinasi tinta dan kertas mempengaruhi umur panjang cetakan. Perbedaan kualitas cetak juga dapat diamati saat menggunakan tinta dan kertas dari produsen yang berbeda. Dengan printer inkjet yang tidak menggunakan tinta pengganti fase, hasil cetak harus dibiarkan mengering sebelum menangani dan menyimpannya. Untuk pekerjaan kreatif, jenis kertas non-inkjet yang berbeda, yang tidak dilapisi, dapat digunakan. Dalam hal ini pemilihan kertas yang cermat yang sesuai untuk digunakan dan eksperimen pada efek dari berbagai media pada sharpness gambar, saturasi warna dan kontras dapat memberikan hasil yang menarik.

Masa pakai kertas inkjet dipengaruhi oleh kelembaban, suhu, paparan sinar UV dan keasaman kertas (lihat lebih lanjut tentang stabilitas media di Bab 18).

## **62. Tinta untuk Inkjet Printing**

Tinta yang digunakan untuk pencetakan inkjet berbasis pewarna atau pigmen. Dalam sistem sebelumnya, ada perbedaan antara nada warna tinta berbasis pewarna dan berbasis pigmen. Warna tinta berbasis pewarna lebih cerah dibandingkan warna tinta berbasis pigmen. Namun, peningkatan terbaru dalam teknologi telah mengurangi kesenjangan antara kedua jenis tinta tersebut. Akan tetapi, tinta berbasis pewarna memiliki tingkat pemudaran yang lebih cepat saat terkena kondisi cuaca dan cahaya. Sifat mereka yang berbeda telah menyebabkan beberapa produsen menggunakan keduanya dalam printer inkjet, untuk tujuan yang berbeda. Misalnya, tinta berbasis pewarna dapat digunakan untuk tinta cyan, magenta dan yellow, dan tinta berbasis pigmen untuk hitam. Penyerapan dan dispersi partikel tinta pada media merupakan faktor penting lainnya. Tinta berbasis pewarna diserap di kertas sementara tinta berbasis pigmen tetap berada di permukaan. Tinta

phasechange memiliki sifat yang berbeda. Mereka memiliki colour gamut yang besar dan warna yang hidup dan tidak terpengaruh oleh kelembaban sekitar atau suhu tinggi, sebuah properti penting untuk banyak aplikasi.

### **63. Bahan Toner**

Bahan toner yang digunakan dalam printer elektrofotografi memiliki sifat yang berbeda dengan tinta. Salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas gambar adalah ukuran partikel toner. Dengan penerapan tekanan selama fusi, partikel diratakan. Jika partikelnya besar, dan mungkin asimetris, definisi tepi pada gambar akan terpengaruh. Oleh karena itu, partikel kecil diharapkan dapat menghasilkan kualitas gambar terbaik. Partikel toner yang sangat kecil, bagaimanapun, juga dapat menyebabkan masalah pada tepi gambar, karena tersebar. Juga sangat sulit untuk mengontrol partikel yang sangat halus di dalam perangkat pencetakan. Selain itu, partikel yang sangat halus dapat membahayakan kesehatan jika terhirup.

Pada printer EPG, proses pembuatan, pengembangan, peleburan, dan pembersihan gambar laten dapat menyebabkan variabilitas dalam hasil jika diperlukan cetakan gambar yang sama dalam jumlah besar. Ini karena gambar laten dibuat dan dihapus untuk setiap cetakan. Ini adalah batasan umum saat mencetak dengan teknologi pencetakan non-impact dibandingkan dengan printer press, yang menggunakan pelat.

### **64. Warna, resolusi dan output**

Mencetak gambar foto dengan rona kontinu membutuhkan sekitar 90 level rona per warna untuk meminimalkan efek garis melintang yang terlihat. Printer digital menggunakan tinta warna dalam jumlah terbatas, tergantung pada sistem spesifiknya. Printer inkjet dapat menggunakan hingga 12 tinta tergantung pada modelnya, sedangkan pada printer EPG empat warna (CMYK) digunakan dan dalam termografi transfer tiga warna (CMY).

Colour gamut printer merupakan faktor penting yang mempengaruhi kualitas gambar. Saturasi dan definisi warna tergantung pada teknologi pencetakan. Misalnya, seperti yang disebutkan sebelumnya, warna jenuh dari gambar yang direproduksi oleh printer EPG terdefinisi dengan baik, sedangkan warna halus tidak. Jika dibandingkan dengan cetakan foto, saturasi warna yang dihasilkan oleh printer sublimasi pewarna lebih rendah dan oleh karena itu colour gamut lebih kecil. Printer inkjet memiliki colour gamut yang lebih luas

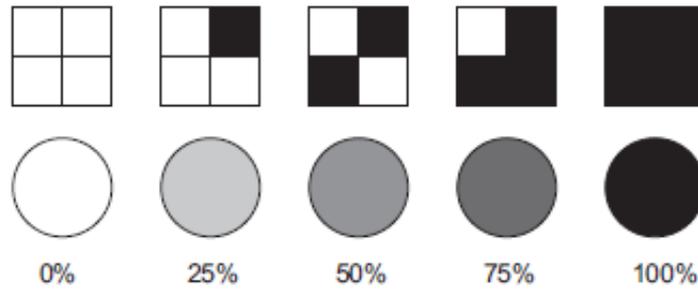
daripada teknologi lain seperti spictrography. Namun, colour gamut mereka dipengaruhi oleh media cetak. Ini lebih lebar, misalnya, bila kertas kualitas fotografi khusus digunakan dibandingkan dengan gamut yang direproduksi pada kertas biasa. Keseluruhannya juga dipengaruhi oleh jenis tinta yang digunakan. Tinta berbasis pewarna memberikan gamut yang lebih luas daripada tinta berbasis pigmen. Oleh karena itu, ada variasi yang luas dalam nada warna saat kombinasi kertas dan pewarna yang berbeda digunakan.

## **65. Half-toning dan dithering**

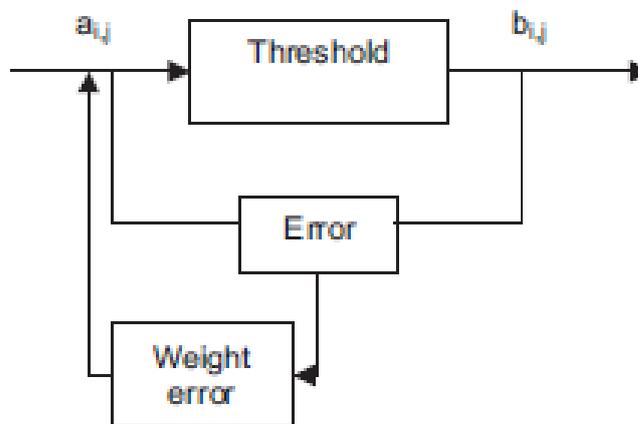
Metode pencetakan yang berbeda telah dirancang untuk merepresentasikan level nada kontinu per warna dengan menggunakan tinta dalam jumlah terbatas. Pada dasarnya, mencetak menggunakan titik-titik tinta atau toner adalah proses biner - dengan kata lain, titik-titik tersebut 'hidup' atau 'mati'. Printer menggunakan berbagai metode half-toning untuk memberikan kesan visual tone yang berkelanjutan. Pada prinsipnya, gambar skala abu-abu yang dicetak menggunakan setengah warna 'benar' di atas kertas putih terdiri dari titik-titik hitam yang dicetak dengan jarak yang sama. Diameter titik bervariasi, menciptakan kesan tingkat abu-abu yang berbeda. Hal ini disebabkan oleh efek visual asimilasi di mana, dari jarak pandang yang sesuai, titik hitam dan putih campuran, misalnya, dianggap abu-abu. Pada printer digital, di mana ukuran titik tinta individu tidak dapat bervariasi, setiap piksel dicetak menggunakan sekelompok titik; ini dikenal sebagai setengah toning digital. Piksel dibagi menjadi beberapa subpiksel dan setiap subpiksel menerima, atau tidak menerima, tinta atau toner. Ini dikenal sebagai layar titik. Jumlah titik tinta menentukan ukuran titik setengah warna dan oleh karena itu tingkat abu-abu serta warna piksel (Gambar 16.11). Rona gelap direproduksi dengan titik setengah rona besar yang membutuhkan lebih banyak titik tinta per piksel. Warna yang lebih terang dengan titik setengah warna yang lebih kecil membutuhkan lebih sedikit titik tinta per piksel. Metode halftoning ini, di mana ukuran titik setengah nada bervariasi tergantung pada tingkat abu-abu piksel, dikenal sebagai modulasi amplitudo (AM) atau clustered dot half-toning. AM half-toning memiliki batasan dalam mereproduksi gambar dengan transisi rona halus. Printer awal yang menggunakan metode setengah warna ini terbatas dalam mereproduksi grafik dasar dan tidak dapat mereproduksi gambar dengan kualitas fotografi.

Pada tahun 1970-an, frekuensi modulasi (FM) half-toning diperkenalkan dan sekitar satu dekade kemudian printer inkjet warna terjangkau yang menggunakan FM half-toning diproduksi. Metode ini juga digunakan dalam elektrofotografi. Dalam FM half-toning,

ukuran titik setengah warna ditetapkan sementara frekuensi titik bervariasi tergantung pada tingkat abu-abu piksel. Ini berarti bahwa pada tone yang lebih gelap, titik-titik tersebut berada lebih dekat daripada pada tone yang lebih terang. Sistem half-tone AM-FM Hybrid sedang dikembangkan hari ini untuk mengatasi keterbatasan FM half-tone karena resolusi tinggi (lebih dari 1200 dpi) dari printer inkjet saat ini. Dengan sistem setengah nada AMeFM, ukuran dan frekuensi titik bervariasi untuk mewakili nada abu-abu.



Gambar 16.11 Pola setengah nada. Dari jarak yang sesuai, gambar dilihat dengan gradasi rona abu-abu, bukan titik hitam dan putih.



Gambar 16.12 Algoritma difusi kesalahan Floyd Steinberg.

X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	P	7/16	0	0
0	0	3/16	5/16	1/16	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

Gambar 16.13 Bobot kesalahan dalam piksel tetangga (algoritma difusi kesalahan Floyd Steinberg).

Printer inkjet saat ini menggunakan pencetakan stokastik, bentuk FM half-toning, untuk menghasilkan transisi nada yang lebih halus. Dengan pencetakan stokastik, bentuk titik tidak beraturan dan penempatannya acak (jarak antar titik tidak sama). Sistem ini juga dapat menggabungkan metode halftoning dengan dithering. Dengan dithering, warna yang tidak ada di palet warna perangkat dapat disimulasikan secara visual dengan menggunakan informasi dari piksel tetangga untuk mencampur titik-titik dari warna yang ada yang mendekati itu. Produsen menggunakan beberapa algoritma berbeda untuk dithering. Salah satu contohnya adalah difusi kesalahan. Contoh algoritma error diffusion dithering adalah algoritma yang dibuat oleh Floyd dan Steinberg. Dalam metode ini, pemrosesan satu piksel bergantung pada piksel tetangganya; nilai keluaran piksel ditentukan oleh ambang batas. Gambar 16.12 mengilustrasikan langkah-langkah dari algoritma FloydSteinberg.

Piksel masukan disebut sebagai  $a$  dan piksel yang diubah  $b$ . Indeks  $i$  dan  $j$  masing-masing mengacu pada baris dan kolom dari matriks gambar digital. Ketika nilai piksel dari piksel masukan berada di bawah ambang batas, nilai 0 dikembalikan untuk piksel keluaran. Ketika melebihi ambang batas, nilai 1 dikembalikan untuk piksel keluaran. Kesalahan yang diperkenalkan adalah perbedaan antara nilai masukan dan piksel keluaran yang sesuai.

Untuk mendapatkan gambar keluaran dengan skala nada yang setara dengan gambar masukan, kesalahan yang diperkenalkan harus dibatalkan. Ini dicapai dengan menggunakan empat piksel tetangga dengan bobot sama dengan  $7/16$ ,  $1/16$ ,  $5/16$  dan  $3/16$  dari kesalahan (Gambar 16.13). Jumlah kesalahan piksel yang diproses dan bobot kesalahan dari empat piksel tetangga harus sama dengan nol. Saat gambar foto dicetak pada resolusi tinggi menggunakan dithering, gambar tersebut muncul sebagai gambar warna kontinu jika dilihat dari jarak yang sesuai (Gambar 16.14).

## 66. Resolusi

Resolusi pencetakan mempengaruhi tingkat detail dan gradasi warna yang dapat direkam pada gambar cetakan akhir. Resolusi asli printer mengacu pada jumlah maksimum piksel per inci yang mampu dicetaknya. Resolusi asli printer inkjet dapat bervariasi tergantung pada pabrikan dan modelnya, dan merupakan faktor yang mempengaruhi pilihan resolusi input yang optimal, seperti yang dijelaskan lebih rinci pada Bab 14. Oleh karena itu, disarankan untuk mengikuti rekomendasi pabrikan untuk persyaratan yang diperlukan. resolusi spasial gambar input untuk hasil pencetakan terbaik. Metode taktis untuk memperkirakan resolusi spasial optimal dari suatu gambar dijelaskan di akhir bagian ini. Resolusi yang dapat dialamatkan (atau resolusi printer) dari sebuah perangkat mengacu pada jumlah total titik per inci dan dapat lebih tinggi dari nilai piksel per inci. Itu tergantung dari teknologi yang digunakan. Pada printer inkjet ukuran nosel, jarak nosel, ukuran tetesan dan jumlah tetesan adalah faktor yang mempengaruhi hasil cetak printer. Tetesan kecil meningkatkan resolusi printer tetapi ada batasan praktis untuk mengurangi ukurannya. Di bawah batas tersebut, penempatan tetesan yang akurat pada substrat sangat sulit karena efek gaya aerodinamis. Tetesan tinta kecil membutuhkan kecepatan yang lebih tinggi untuk mengeluarkan tetesan per detik dibandingkan dengan tetesan yang lebih besar untuk menutupi area yang sama. Pada saat penulisan, resolusi printer yang dapat dialamatkan berada dalam kisaran 1440-2880 dpi atau lebih tinggi. Seperti yang disebutkan sebelumnya, bagaimanapun, EPG dan printer inkjet dapat mencetak lebih dari satu titik per piksel dan titik-titik ini saling tumpang tindih.

Memilih resolusi spasial gambar masukan yang optimal untuk keluaran merupakan tugas penting. Resolusi yang lebih rendah dapat mengakibatkan gambar yang dicetak tampak ‘berpiksel’ sedangkan resolusi yang lebih tinggi akan menyertakan informasi yang tidak perlu yang hanya akan meningkatkan ukuran file dan waktu pencetakan tetapi tidak

akan digunakan oleh perangkat pencetakan. Ini berlaku untuk gambar bitmap dan bukan grafik vektor, yang dapat diperbesar dalam dimensi apa pun tanpa resolusi yang memengaruhi kualitas gambar. Resolusi input yang optimal dijelaskan lebih detail di Bab 14 dan 24.

Pada tahun-tahun awal printer inkjet, resolusi yang dapat dialamatkan mereka sekitar tiga kali lebih tinggi daripada resolusi spasial gambar input. Oleh karena itu, resolusi spasial optimal dari gambar masukan dihitung dengan membagi resolusi yang dapat dialamatkan printer dengan 3. Dengan kemajuan teknologi beberapa tahun terakhir, resolusi yang dapat dialamatkan dari printer inkjet semakin meningkat, jadi membaginya dengan 3 menghasilkan gambar dengan resolusi spasial yang sangat tinggi yang melebihi resolusi optimal.

Aturan umum untuk memperkirakan resolusi spasial optimal dari gambar yang ditujukan untuk pencetakan didasarkan pada properti sistem visual manusia dan khususnya pada fungsi sensitivitas kontras mata manusia (lihat Bab 4). Itu juga tergantung pada jarak pandang. Jarak tampilan yang benar untuk cetakan dapat diperkirakan dengan mengalikan diagonal cetakan dengan 1,5. Telah ditemukan bahwa untuk jarak pandang 250 mm, yang merupakan jarak baca tipikal, batas resolusi yang representatif untuk gambar nada kontinu adalah 5 siklus per mm. Ini sesuai dengan sekitar 250 ppi pada dimensi gambar yang dicetak. Karena kenyataan bahwa sebuah piksel dapat dipengaruhi oleh piksel tetangganya, resolusi spasial yang lebih tinggi disarankan untuk pencetakan, biasanya 300 ppi. Namun demikian, resolusi printer yang direkomendasikan pabrikan untuk mencetak gambar berkualitas foto pada printer tertentu, yang didasarkan pada resolusi asli printer (jika ada), mungkin tidak 300 ppi, tetapi kemungkinan mendekati resolusi tersebut.

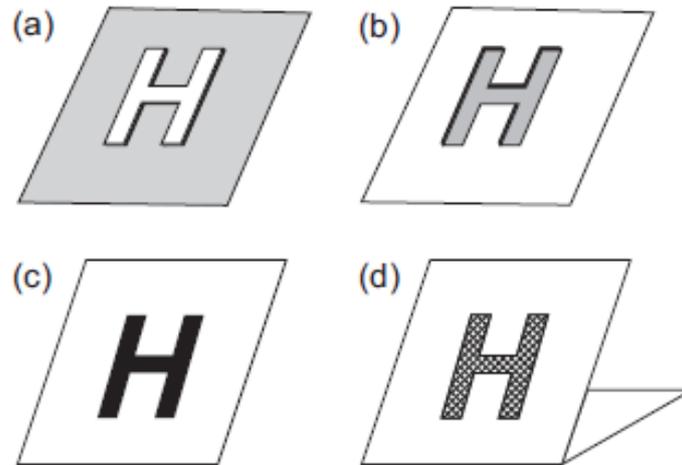


Gambar 16.14 (a) Gambar asli. (b) Gambar dengan jumlah warna yang dikurangi menggunakan difusi kesalahan Floyd Steinberg. iStockphoto.com/ooyoo

Perhatikan bahwa dalam printer transfer termal difusi pewarna, resolusi spasial gambar digital input harus sesuai dengan resolusi printer. Pasalnya, jenis printer ini menggunakan metode pencetakan yang berbeda tanpa menggunakan digital half-toning dan dithering. Untuk alasan ini, resolusi printer sublimasi pewarna tidak sebanding dengan printer inkjet. Resolusi umum yang dapat dialamatkan untuk jenis printer ini adalah 300 dpi, tetapi ini tergantung pada pabrikan dan modelnya.

## 67. Mesin Cetak

Reproduksi foto dalam media seperti buku, brosur, koran, dll dilakukan dengan menggunakan mesin cetak. Kategori utama dari proses pencetakan yang dilakukan oleh mesin cetak adalah pencetakan relief, pencetakan planografi, pencetakan reses dan pencetakan melalui (Gambar 16.15).



Gambar 16.15 Kategori proses pencetakan. (a) Pencetakan bantuan. (b) Pencetakan reses. (c) Pencetakan planografi. (d) Melalui pencetakan.

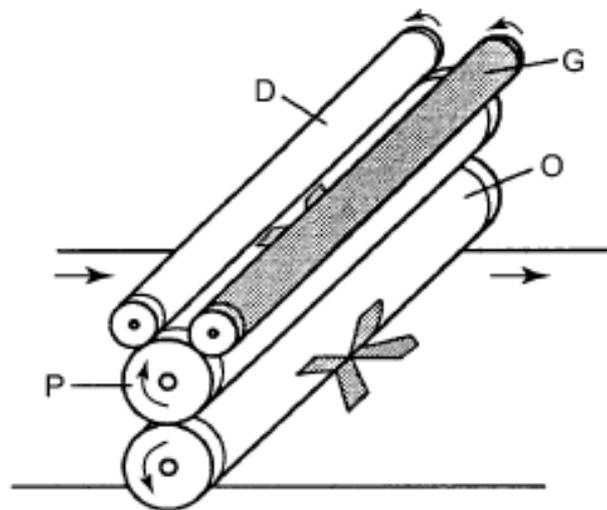
## 68. Relief Printing

Prinsip-prinsip pencetakan relief didasarkan pada mesin cetak, sejenis cetakan relief, yang ditemukan oleh Johann Gutenberg pada tahun 1440, di mana karakter dipindahkan, dibalik, oleh permukaan yang bertinta ke kertas atau kain dengan penerapan tekanan (bentuk pencetakan benturan). Permukaan bertinta adalah area karakter yang ditinggikan. Penerapan tinta di permukaan itu dilakukan dengan menggunakan rol. Ciri khas dari metode ini adalah efek pada tepi area cetakan yang tampak terangkat dengan lebih banyak tinta. Ini karena tekanan permukaan yang bertinta pada kertas. Rentang nada warna gambar direproduksi dengan menerapkan tekanan yang berbeda ke area dengan sorotan dibandingkan dengan bayangan. Ada tiga jenis mesin cetak dalam cetakan relief: silinder pelat dan alas datar, di mana pelat ditempatkan pada permukaan yang rata; dan rotari, dimana permukaannya adalah silinder. Penggunaan mesin press web-rotari dengan pelat karet atau plastik disebut flexography. Ini mencetak dengan kecepatan tinggi dan bahkan pada permukaan kertas yang keras karena sifat pelatnya.

## 69. Planografi Printing (atau litografi)

Dalam litografi, permukaan pelat litograf adalah datar. Ini diperlakukan agar area dengan gambar menerima tinta berminyak sementara permukaan pelat lainnya menerima air. Saat gulungan mengoleskan tinta berminyak pada permukaan, hanya area gambar yang akan menahan tinta. Karena tinta berminyak dan air tidak bercampur, area gambar dan non-gambar terdefinisi dengan baik. Litografi dibagi lagi menjadi litografi langsung dan

litografi offset. Litografi offset menggunakan tahap perantara; gambar dari pelat dipindahkan ke selimut karet dan kemudian ke kertas cetak. Dalam hal ini pencetakan tidak langsung, tanpa kontak langsung antara pelat lit dan permukaan yang dicetak (Gambar 16.16). Litografi offset cocok untuk cetakan dengan volume yang sangat besar karena tingkat keausan pelat yang rendah. Untuk alasan ini, metode utama yang digunakan hari ini untuk mencetak buku, majalah, brosur, koran, dll. Selain itu, gambar dan karakter tidak dibalik.



Gambar 16.16 Prinsip pers fotolitografi offset. D, roller peredam; G, roller membawa tinta berminyak; O, rol pengimbang karet besar mentransfer tinta gambar ke kertas bergerak; P, pelat cetak dengan gambar.

## 70. Recess Printing

Dalam teknologi ini gambar atau karakter diukir pada pelat atau silinder. Saat pelat atau silinder diberi tinta, tinta tetap berada di area tersembunyi. Dengan penerapan tekanan itu ditransfer ke kertas. Salah satu metode yang paling terkenal adalah fotografi berputar (atau gravure). Metode ini memberikan rentang warna yang kaya dan digunakan dalam fotografi seni pada abad kesembilan belas dan awal abad kedua puluh. Dalam gravure, tinta yang digunakan berbasis pelarut. Aplikasi pencetakan gravure termasuk buku dan majalah seni. Intaglio adalah metode pencetakan reses lainnya, terdiri dari ukiran garis, yang menggunakan pelat tembaga dan ukiran baja, dan ukiran artistik menggunakan ukiran titik kering dan mezzotint

## **71. Through printing**

Melalui percetakan atau sablon sutra bahan seperti sutra dipasang pada frame. Sebuah stensil yang dibuat pada layar sutra menutupi area yang tidak boleh dicetak. Tinta diaplikasikan ke area yang tidak tertutup dan dengan tekanan, tinta tersebut ditransfer ke media. Empat layar untuk cyan, magenta, kuning dan hitam dapat digunakan untuk mencetak gambar foto berwarna sedangkan satu layar dapat digunakan untuk gambar hitam-putih.

## BIBLIOGRAFI

- Collings, P.J., Hird, M., 1997. Introduction to Liquid Crystals - Chemistry and Physics. Taylor & Francis, London, UK.
- Damjanovski, V., 2005. CCTV: Networking and Digital Technology, second ed. Elsevier ButterworthHeinemann, Oxford, UK.
- Den Boer, W., 2005. Active Matrix Liquid Crystal Displays - Fundamentals and Applications. Elsevier Newnes, Oxford, UK.
- Dorf, R.C., 1997. The Electrical Engineering Handbook. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Driggers, R. (Ed.), 2003, Encyclopedia of Optical Engineering, Vol. 2. Marcel Dekker, New York, USA.
- Holst, G.C. 1996. CCD Arrays, Cameras and Displays. JCD Publishing, Winter Park, and SPIE Optical Engineering Press, Washington, DC, USA.
- Hunt, R.W.G., 2004. The Reproduction of Colour, sixth ed. John Wiley, Chichester, UK.
- Karim, M. (Ed.), 1992. Electro-Optical Displays. Marcel Dekker, New York, USA.
- Kawamoto, H., 2002. The history of liquid-crystal displays. Proceedings of the IEEE Vol. 90 (No. 4) April.
- Kelly, S.M., 2000. Flat Panel Displays – Advanced Organic Materials. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK.
- Li, Z., Meng, H., 2007. Organic Light Emitting Materials and Devices. Taylor & Francis Group CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Brown, D.S., 2008. Image Capture Beyond 24-Bit RGB. Available from the URL. [http://www.pencitraan.org/resources/web\\_tutorials/Image\\_Capture/image\\_capture.cfm](http://www.pencitraan.org/resources/web_tutorials/Image_Capture/image_capture.cfm) (accessed 15 August 2008).
- Dougherty, E.R., 1999. Electronic Imaging Technology. SPIE Press, Bellingham, WA USA.
- Gonzales, R.C., Woods, R.E., 2002. Digital Image Processing. Prentice Hall, New Jersey.

Gunturk, B.K., Glotzbach, J., Altunbasak, Y., Schafer, R.W., Mersereau, R.M., 2005. Demosaicking: color filter array interpolation. *IEEE Signal Processing Magazine*, 44e54. January.

Hunt, R.W.G., 2004. *The Reproduction of Colour*, sixth ed. John Wiley, Chichester UK.

International Standards Organization (ISO) 21550:2004 2004. *Photography - Electronic Scanners for Photographic Images - Dynamic Range Measurements*.

Jacobson, R.E.J., Ray, S.F.R., Attridge, G.G., Axford, N.R., 2000. *The Manual of Photography*, ninth ed. Focal Press, Oxford UK.

Keys, R.G., 1981. Cubic convolution interpolation for digital image processing. *IEEE Transactions in Acoustics, Speech, Signal Processing* 29, 1153e1160.

Langford, M.L., Bilissi, E., 2007. *Langford 's Advanced Photography*, seventh ed. Focal Press, Oxford UK.

Lee, J., Jung, Y., Kim, B., Ko, S., 2001. An advanced video camera system with robust AF, AE, and AWB control. *IEEE Transactions on Consumer Electronics* 47 (3), 694e699.

Lukac, R., 2008. *Single-Sensor Imaging, Methods and Applications for Digital Cameras*. CRC Press, Boca Raton, FL USA.

Nakamura, J., 2006. *Image Sensors and Signal Processing for Digital Still Cameras*. CRC Press, Boca Raton, FL USA.

Parulski, K., Rabbani, M., 2000. Continuing evolution of digital cameras and digital photography systems. *IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, 28e31. May, Geneva, Switzerland.

Ramanath, R., Snyder, W.E., Yoo, Y., Drew, M.S., 2005. Color image processing pipeline: a general survey of digital still camera processing. *IEEE Signal Processing Magazine*, January, 40-44.

Sharma, G., 2003. *Digital Color Imaging Handbook*. CRC Press, Boca Raton, FL USA.

Stroebel, L.D., Current, I., Compton, J., Zakia, R.D., 2000. *Basic Photographic*

*Materials and Processes*, second ed. Focal Press, Oxford UK.

Sturge, J.M., Walworth, V., Shepp, A. (Eds.), 1989. Imaging Processes and Materials - Neblette 's, eighth ed. John Wiley, New York, USA.

Triantaphillidou, S., 2001. Aspects of Image Quality in the Digitisation of Photographic Collections. Ph.D. thesis, University of Westminster, Harrow, UK.

Vrhel, M., Saber, E., Trussell, H.J., 2005. Color image generation and display technologies, an overview of methods, devices, and research. IEEE Signal Processing Magazine, 23e33. January.

Wueller, D., 2002. Measuring scanner dynamic range. Society for Imaging. Science and Technology (IS&T) PICS Conference, Portland, OR, pp. 163e166.

Diamond, A.S., Weiss, D.S., 2002. Handbook of Imaging Materials, second ed. Marcel Dekker, New York, USA.

Floyd, R., Steinberg, L., 1975. An adaptive algorithm for spatial grey scale. SID Digest, pp. 36e37.

Hunt, R.W.G., 2004. The Reproduction of Colour, sixth ed. John Wiley, Chichester, UK.

Jacobson, R., Ray, S., Attridge, G.G., Axford, N.R., 2000. The Manual of Photography. Focal Press, Oxford, UK.

Johnson, H., 2004. Mastering Digital Printing, second ed. Thomson Course Technology, Boston, MA, USA.

Kipphan, H., 2001. Handbook of Print Media: Technologies and Manufacturing Processes. Springer, Berlin.

Lau, D.L., Arce, G.R., 2001. Modern Digital Halftoning. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

Lukac, R., Plataniotis, K.N., 2007. Color Image Processing: Methods and Applications. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

Norberg, O., Andersson, M., 2002. Characterization of printing situations. IS&T 's NIP18: 2002 International Conference on Digital Printing Technologies, pp. 774-776.

Ohta, N., Rosen, M., 2006. Color Desktop Printer Technology. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

Ray, S.F., 1999. *Scientific Photography and Applied Imaging*. Focal Press, Oxford, UK.

Russ, J.C., 2007. *The Image Processing Handbook*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

Webster, E., 2000. *Print Unchained - A Saga to Invention and Enterprise*. DRA, West Dover, VT, USA.

Zakia, R.D., 2007. *Perception and Imaging*, third ed. Focal Press/Elsevier, Burlington, MA, USA.

# METODE PRODUKSI GRAFIKA

Sulartopo. S.Pd., M.Kom.



YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK

**PENERBIT :**

YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK  
Jl. Majapahit No. 605 Semarang  
Telp. (024) 6723456. Fax. 024-6710144  
Email : penerbit\_ypat@stekom.ac.id

ISBN 978-623-95042-9-8 (PDF)

