

15. PENYIMPANAN SEKUNDER

Memori semikonduktor yang dibahas dalam bagian sebelumnya tidak dapat digunakan untuk menyediakan semua kemampuan penyimpanan yang diperlukan dalam komputer. Batasan utamanya adalah biaya per bit informasi yang tersimpan. Persyaratan penyimpanan besar kebanyakan sistem komputer secara ekonomis direalisasikan dalam bentuk disk magnetik, disk optik, dan tape magnetik, yang biasanya disebut sebagai perangkat penyimpanan sekunder.

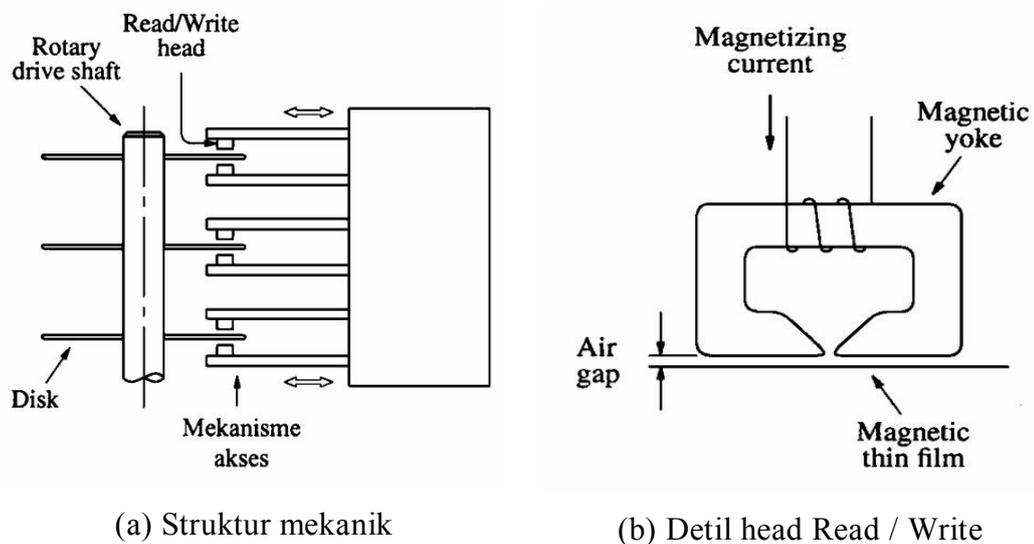
15.1. HARDDISK MAGNETIK

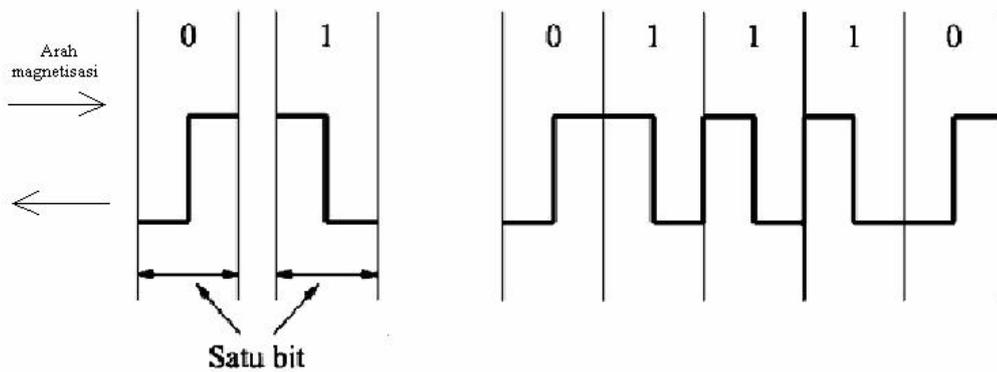
Sebagaimana yang diimplikasikan nama tersebut, media penyimpanan dalam sistem disk-magnetik terdiri dari satu atau lebih disk yang dipasangkan pada kumparan bersama. Film magnetik tipis disimpan pada tiap disk, biasanya pada kedua sisi. Disk tersebut diletakkan dalam drive berputar sehingga permukaan termagnetisasi bergerak sangat dekat dengan head baca/tulis. Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 15.1a. Disk tersebut berputar dengan kecepatan seragam. Tiap head terdiri dari magnetic yoke dan koil yang termagnetisasi, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 15.1b.

Informasi digital dapat disimpan dalam film magnetik dengan menerapkan pulsa arus pada polaritas yang sesuai ke koil termagnetisasi. Hal ini menyebabkan magnetisasi film pada area yang terletak di bawah head beralih ke arah yang paralel terhadap field yang dipakai. Head yang sama dapat digunakan untuk membaca informasi yang tersimpan. Dalam hal ini, perubahan dalam field magnetik di sekitar head yang disebabkan oleh pergerakan film relatif terhadap yoke menginduksi suatu tegangan ke dalam koil, yang berfungsi sebagai koil pengindera. Polaritas tegangan ini diawasi oleh sirkuit kontrol untuk menentukan keadaan magnetisasi film. Hanya perubahan dalam field magnetik di bawah head dapat diketahui selama operasi Read. Oleh karena itu jika keadaan biner 0 dan 1 dinyatakan dengan dua keadaan magnetik yang berlawanan, maka tegangan diinduksi ke head hanya pada transisi 0-ke-1 dan 1-ke-0 dalam arus bit. String panjang 0 atau 1 menyebabkan tegangan terinduksi hanya pada awal dan akhir string. Untuk

menentukan jumlah 0 atau 1 berurutan yang disimpan, suatu clock harus menyediakan informasi untuk sinkronisasi. Pada beberapa desain awal, suatu clock disimpan pada track terpisah, dimana perubahan magnetisasi dipaksakan untuk tiap periode bit. Menggunakan sinyal clock terpisah sebagai referensi, maka data yang disimpan pada track lain dapat dibaca dengan tepat.

Pendekatan modern adalah menggabungkan informasi clocking dengan data. Beberapa teknik berbeda telah dikembangkan untuk encoding tersebut. Satu skema sederhana, yang digambarkan pada Gambar 15.1c, dikenal sebagai phase encoding atau Manchester encoding. Dalam skema ini perubahan magnetisasi terjadi untuk tiap bit data, sebagaimana ditunjukkan pada gambar. Perhatikanlah bahwa perubahan magnetisasi dijamin pada tiap titik tengah periode bit, sehingga menyediakan informasi clocking. Kekurangan Manchester encoding adalah kerapatan penyimpanan bit-nya yang sangat rendah. Ruang yang diperlukan untuk menyatakan tiap bit harus cukup besar untuk mengakomodasi dua perubahan dalam magnetisasi. Kita menggunakan contoh Manchester encoding untuk mengilustrasikan bagaimana skema self-clocking dapat diterapkan, karena mudah dimengerti. Kode yang lebih rumit telah dikembangkan. Kode tersebut lebih efisien dan menyediakan kerapatan penyimpanan yang lebih baik. Kode tersebut juga memerlukan sirkuit kontrol yang lebih kompleks. Pembahasan kode tersebut diluar lingkup buku ini.





(c) Representasi bit dengan phase encoding

Gambar 15.1. Prinsip disk magnetik

Head baca/tulis harus dijaga pada jarak yang sangat kecil dari permukaan disk yang bergerak untuk mencapai kerapatan bit tinggi dan operasi baca/tulis yang andal. Pada saat disk bergerak pada kecepatan tetap, tekanan udara berkembang antara permukaan disk dan head dan memaksa head menjauh dari permukaan. Tekanan ini dapat diatasi dengan pengaturan pemasangan spring-loaded untuk head yang memungkinkannya ditekan ke permukaan. Koneksi pegas yang fleksibel antara head dan pemasangan arm-nya memungkinkan head melayang pada jarak yang diinginkan dari permukaan sekalipun terdapat sedikit variasi pada tingkat kedataran permukaan.

Pada kebanyakan unit disk modern, disk dan head baca/tulis ditempatkan dalam wadah air-filtered dan bersegel. Pendekatan ini dikenal sebagai teknologi Winchester. Dalam unit semacam itu, head baca tulis dapat beroperasi lebih dekat dengan permukaan track termagnetisasi karena tidak ada partikel debu, yang merupakan masalah dalam assembly tidak bersegel. Semakin dekat head dengan permukaan track, semakin rapat data dapat disimpan di sepanjang track, dan semakin dekat jarak antar-track. Sehingga, disk Winchester memiliki kapasitas yang lebih besar untuk ukuran disk tertentu dibandingkan unit yang tidak bersegel. Manfaat lain Teknologi Winchester adalah integritas data cenderung lebih besar dalam unit tersegel karena media penyimpanan tidak terpapar dengan elemen pencemar.

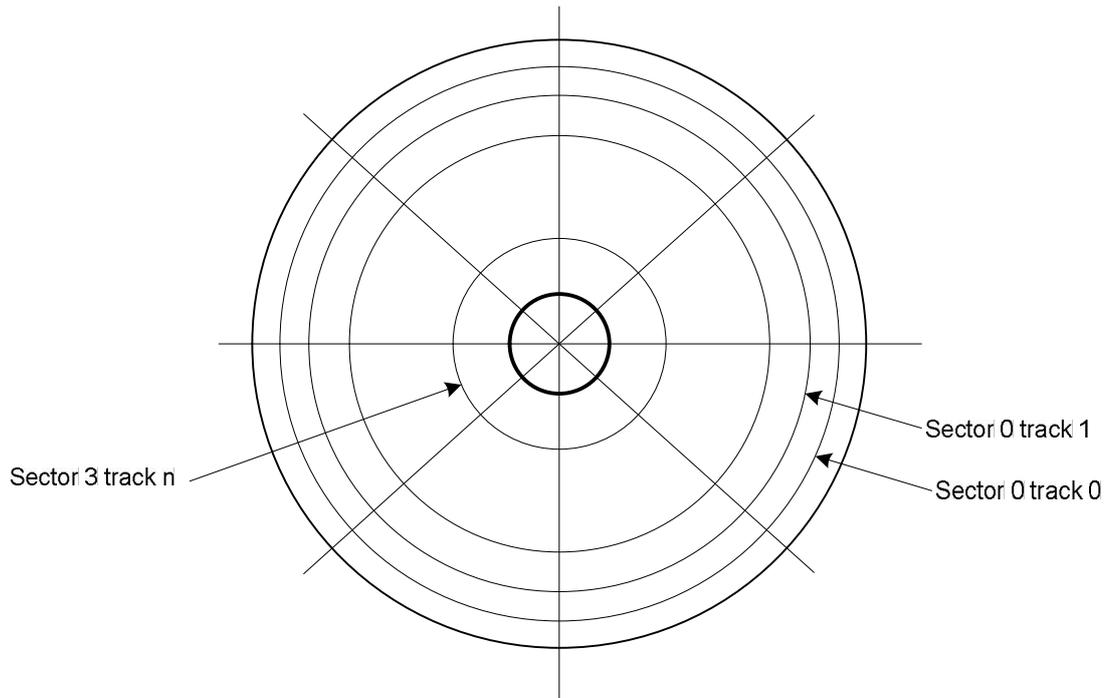
Head baca/tulis sistem disk adalah movable. Terdapat satu head per permukaan. Semua head dipasang pada comb-like arm yang dapat bergerak

secara radial melewati stack atau disk tmtuk menyediakan akses ke track secara individu sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 15.1a. Untuk membaca atau menulis data pada track tertentu, arm yang memegang head baca tulis harus terlebih dahulu ditempatkan ke track tersebut.

Sistem disk terdiri dari tiga bagian utama. Satu bagian adalah assembly piringan disk, yang biasanya disebut disk. Bagian kedua terdiri dari mekanisrne elektromekanik yang memutar disk dan menggerakkan head baca/tulis; disebut disk drive. Bagian ketiga adalah sirkuit elektronik yang mengontrol operasi sistem, yang disebut kontroler disk. Kontroler disk dapat diterapkan sebagai modul terpisah, atau dapat digabungkan dalam wadah yang berisi seluruh sistem disk. Kita perlu memperhatikan bahwa istilah disk sering digunakan untuk menyebut paket disk drive gabungan dan disk didalamnya. Kita juga akan menyebut demikian pada bagian selanjutnya pada saat tidak ada ambiguitas dalam pengartian istilah.

15.1.1. ORGANISASI DAN PENGAKSESAN DATA PADA DISK

Organisasi data dalam disk diilustrasikan pada Gambar 15.2. Tiap permukaan dibagi menjadi track konsentris, dan tiap track dibagi dalam sector. Set track yang bersesuaian pada semua permukaan stack disk membentuk cylinder logika. Data pada semua track cylinder dapat diakses tanpa menggerakkan head baca/tulis. Data diakses dengan menetapkan nomor permukaan, nomor track, dan nomor sector. Operasi Read dan Write mulai pada batasan sector.



Gambar 15.2. Organisasi satu permukaan disk

Bit data disimpan secara serial pada tiap track. Tiap sector biasanya berisi 512 byte data, tetapi ukuran lain dapat digunakan. Data tersebut diawali dengan sector header yang berisi informasi identifikasi (pengalamatan) yang digunakan untuk menemukan sector yang diinginkan pada track tertentu. Setelah data, terdapat bit tambahan yang merupakan error correcting code (ECC). Bit ECC digunakan untuk mendeteksi dan mengoreksi error yang mungkin telah terjadi dalam penulisan atau pembacaan 512 byte data. Untuk mempermudah membedakan antara dua sector yang berurutan, terdapat celah intersector kecil.

Disk yang belum diformat tidak menyimpan informasi apapun dalam track-nya. Proses formatting membagi disk secara fisik menjadi track dan sector. Proses ini dapat menemukan beberapa sector yang rusak atau bahkan seluruh sector. Kontroler disk mencatat kerusakan tersebut dan mencegah area tersebut agar tidak digunakan. Kapasitas disk terformat adalah indikator yang tepat untuk kapasitas penyimpanan suatu disk. Informasi formatting menggunakan 15 persen dari informasi total yang dapat disimpan dalam disk. Informasi tersebut terdiri dari sector header, bit ECC, dan celah intersector. Pada komputer biasa,

disk selanjutnya dibagi menjadi partisi logika. Setidaknya terdapat satu partisi semacam itu, disebut partisi primer.

Gambar 15.2 mengindikasikan bahwa tiap track memiliki jumlah sector yang sama. Jadi semua track memiliki kapasitas penyimpanan yang sama. Sehingga, informasi yang tersimpan dipak lebih rapat pada inner track dibanding pada outer track. Pengaturan ini digunakan pada banyak disk karena menyederhanakan sirkuit elektronik yang diperlukan untuk mengakses data. Tetapi, dimungkinkan untuk meningkatkan kerapatan penyimpanan dengan meletakkan lebih banyak sector pada outer track, yang memiliki keliling lebih panjang, dengan menggunakan sirkuit yang lebih kompleks. Skema ini digunakan pada disk besar.

15.1.2. WAKTU AKSES

Terdapat dua komponen yang terlibat dalam jeda waktu antara menerima alamat dan awal transfer data yang sebenarnya. Yang pertama, disebut waktu pencarian (seek time), adalah waktu yang diperlukan untuk memindahkan head baca/tulis ke track yang sesuai. Hal ini tergantung pada posisi awal head relatif terhadap track yang ditetapkan di dalam alamat tersebut. Nilai rata-ratanya berada dalam rentang 5- hingga 8-ms. Komponen kedua adalah jeda rotasi (rotational delay), yang juga disebut waktu latensi (latency time). Ini adalah jumlah waktu yang diperlukan dari saat head ditempatkan pada track yang tepat hingga posisi awal sector yang dituju lewat di bawah head baca/tulis. Rata-rata waktu ini merupakan waktu untuk setengah rotasi disk. Jumlah dua jeda ini disebut waktu akses (access time). Jika hanya beberapa sector data dipindahkan dalam operasi tunggal, maka waktu akses setidaknya satu tingkat besaran lebih panjang dari periode transfer data aktual.

15.1.3. DISK BIASA

Disk high-capacity, high-data-rate, 3,5-inch (diameter) yang tersedia saat ini telah mengikuti parameter representatif berikut. Terdapat 20 permukaan data-recording dengan 15.000 track per permukaan. Terdapat sekitar 400 sector per

track, dan tiap sector berisi 512 byte data. Karenanya, kapasitas total disk yang diformat adalah $20 \times 15.000 \times 400 \times 512 \approx 60 \times 10^9 = 60$ gigabyte. Waktu pencarian rata-rata adalah 6 ms. Piringan berotasi pada 10.000 revolusi per menit, sehingga latensi rata-rata adalah 3 ms, yaitu waktu untuk setengah-rotasi. Kecepatan transfer internal rata-rata, dari track ke buffer data dalam kontroler disk, adalah 34 Mbyte/det. Pada saat dihubungkan ke bus SCSI, drive tipe ini memiliki kecepatan transfer eksternal 160 Mbyte/det. Sehingga, skema buffering diperlukan untuk menangani perbedaan dalam kecepatan transfer, sebagaimana dijelaskan pada bagian berikutnya.

Terdapat pula beberapa disk yang sangat kecil. Misalnya, disk satu-inch dapat menyimpan satu gigabyte data. Ukuran fisiknya dapat dibandingkan dengan matchbook dan beratnya kurang dari satu ons. Disk semacam itu menarik untuk digunakan dalam peralatan portabel dan perangkat hand-held. Pada kamera digital, disk tersebut dapat menyimpan 1000 foto. Sangat menarik untuk diamati bahwa disk drive pertama yang memiliki kapasitas 1-gigabyte diproduksi oleh IBM pada tahun 1980. Disk drive tersebut seukuran peralatan rumah tangga. Beratnya 250 kilogram dan harganya US\$40.000.

15.1.4. BUFFER / CACHE DATA

Disk drive dihubungkan ke bagian lain sistem komputer menggunakan beberapa skema inter koneksi standar. Biasanya, digunakan bus standar, seperti bus SCSI. Disk drive yang menggabungkan sirkuit antar muka SCSI biasanya disebut sebagai drive SCSI. Bus SCSI mampu mentransfer data pada kecepatan yang lebih tinggi daripada kecepatan data dibaca dari track disk. Cara yang efisien untuk menangani perbedaan kecepatan transfer antara disk dan bus SCSI adalah dengan menyertakan buffer data dalam unit disk. Buffer ini adalah memori semikonduktor, yang mampu menyimpan beberapa megabyte data. Data yang direquest ditransfer antara track disk dan buffer pada kecepatan yang tergantung pada kecepatan rotasi disk. Transfer antara buffer data dan perangkat lain dihubungkan ke bus, biasanya memori utama, kemudian dapat berlangsung pada kecepatan maksimum yang dimungkinkan oleh bus tersebut.

Buffer data dapat juga menyediakan mekanisme caching untuk disk. Pada saat request baca tiba pada disk, kontroler dapat terlebih dahulu melihat apakah data yang diminta telah tersedia dalam cache (buffer). Jika telah tersedia, maka data dapat diakses dan diletakkan pada bus SCSI dalam mikrodetik bukan milidetik. Sebaliknya, data dibaca dari track disk dengan cara yang biasa dan disimpan di dalam cache. Karena tampaknya akan ada request baca selanjutnya untuk data yang berurutan setelah data yang sedang diakses, maka kontroler disk dapat memerintahkan lebih banyak data yang diperlukan dibaca dan ditempatkan dalam cache, sehingga secara potensial memperpendek waktu respon untuk request berikutnya. Cache biasanya cukup besar untuk menyimpan seluruh track data, sehingga strategi yang mungkin adalah dengan mulai mentransfer isi track ke dalam buffer data segera setelah head baca/tulis ditempatkan pada track yang dimaksud.

15.1.5. KONTROLER DISK

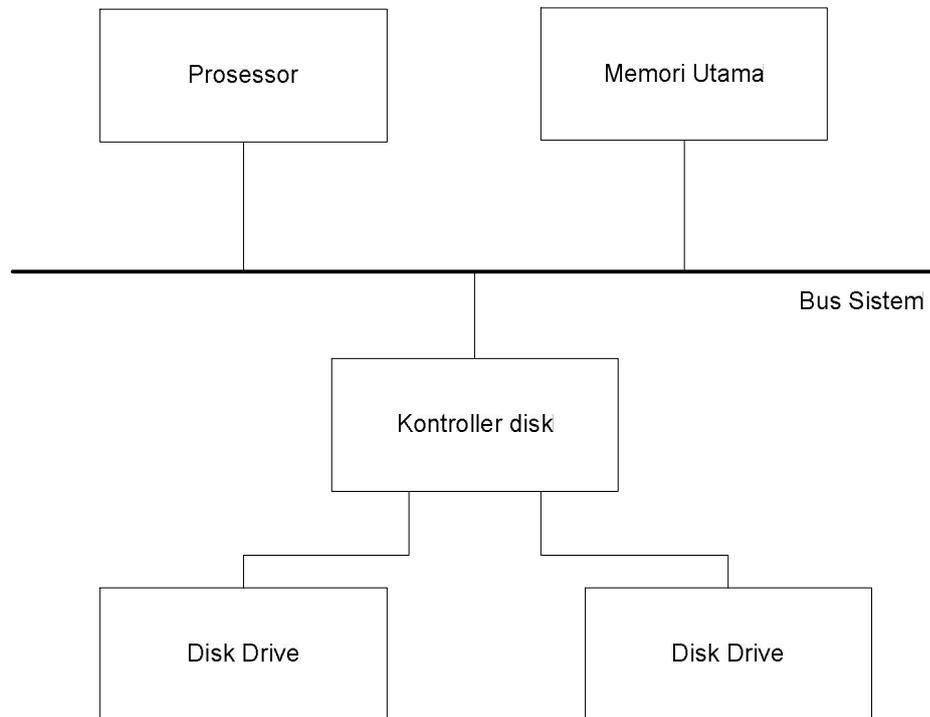
Operasi disk drive dikontrol oleh sirkuit kontroler disk, yang juga menyediakan antar muka antara disk drive dan bus yang menghubungkannya dengan bagian lain sistem komputer. Kontroler disk dapat digunakan untuk mengontrol lebih dari satu drive. Gambar 5.31 menunjukkan kontroler disk yang mengontrol dua disk drive.

Kontroler disk yang dihubungkan langsung ke bus sistem prosesor, atau ke bus ekspansi seperti PCI, berisi sejumlah register yang dapat dibaca atau ditulis oleh sistem operasi. Sehingga, komunikasi antar OS dan kontroler disk dicapai dengan cara yang sama dengan antar muka I/O. Kontroler disk menggunakan skema DMA untuk mentransfer data antara disk dan memori utama. Sebenarnya, transfer tersebut adalah dari/ke buffer data, yang diterapkan sebagai bagian modul kontroler disk. OS menginisiasi transfer tersebut dengan mengeluarkan request Read dan Write, yang memerlukan loading register kontroler dengan informasi pengalamatan dan kontrol yang sesuai, biasanya:

A/amat memori utama - Alamat lokasi pertama memori utama blok word yang terlibat dalam transfer.

Alamat disk - Lokasi sector yang berisi awal hick word yang diinginkan.

Word count- Jumlah word dalam blok yang akan ditransfer.



Gambar 15.3. Disk yang terhubung ke sistem bus

Alamat disk dinyatakan oleh OS sebagai alamat logika. Alamat fisik yang sesuai pada disk mungkin berbeda. Misalnya, bad sector dapat dideteksi pada saat disk diformat. Kontroler disk mencatat sector tersebut dan mengantikannya dengan sector lain. Biasanya, beberapa sector cadangan terdapat dalam tiap track, atau pada track lain dalam cylinder yang sama untuk digunakan sebagai pengganti bad sector.

Pada sisi disk drive, fungsi utama kontroler adalah:

Seek- menyebabkan disk drive menggerakkan head baca/tulis dari posisi terakhir ke track yang dimaksud.

Read- menginisiasi operasi Read, mulai pada alamat yang ditetapkan pada register alamat disk. Data yang dibaca secara serial dari disk dirakit menjadi word dan diletakkan

ke dalam buffer data untuk transfer ke memori utama. Jumlah word ditentukan dengan register word count.

Write - mentransfer data ke disk, menggunakan metode kontrol yang mirip dengan yang digunakan pada operasi Read.

Error checking - menghitung nilai error correcting code (ECC) untuk data yang dibaca dari sector tertentu dan membandingkannya dengan nilai ECC yang sesuai yang dibaca dari disk. Jika terjadi ketidakcocokan, fungsi ini mengoreksinya jika mungkin; sebaliknya, fungsi ini akan memunculkan interrupt untuk memberitahu OS bahwa suatu error telah terjadi. Selama operasi write, kontroler menghitung nilai ECC untuk data yang akan ditulis dan menyimpan nilai ini pada disk.

Jika disk drive dihubungkan ke bus yang menggunakan transfer terpaket, maka kontroler harus mampu menangani transfer tersebut. Misalnya, kontroler untuk drive SCSI menyesuaikan diri dengan protokol bus SCSI.

15.1.6. IMPLIKASI SOFTWARE DAN SISTEM OPERASI

Semua kegiatan transfer data yang melibatkan disk diinisiasi oleh sistem operasi. Disk tersebut adalah media penyimpanan nonvolatile, sehingga OS itu sendiri disimpan dalam disk. Selama operasi normal komputer, sebagian dari OS di-load ke dalam memori utama dan dieksekusi seperlunya.

Pada saat daya di-off, isi memori utama hilang. Pada saat daya di-on lagi, OS harus diload ke dalam memori utama, yang merupakan bagian dari proses yang disebut booting. Untuk menginisiasi booting, sebagian kecil memori utama diimplementasikan sebagai nonvolatile ROM. ROM ini menyimpan program monitor kecil yang dapat membaca dan menulisi memori utama dan juga membaca satu blok data yang disimpan dalam disk pada alamat 0. Blok ini, disebut sebagai boot block, berisi program loader. Setelah boot block di-load ke dalam memori oleh program monitor ROM, blok tersebut me-load bagian utama OS ke dalam memori utama.

Akses disk sangat lambat dibandingkan dengan akses memori utama, terutama karena waktu pencarian yang lama. Setelah OS menginisiasi operasi transfer disk, biasanya OS berusaha mengalihkan eksekusi ke tugas lain, untuk menggunakan waktu yang biasanya digunakan untuk menunggu selesainya transfer. Kontroler disk memberitahu OS kapan transfer selesai dengan memunculkan interrupt.

Dalam sistem komputer yang memiliki banyak disk, OS memerlukan transfer dari beberapa disk. Operasi yang efisien dicapai jika transfer DMA dari/ke satu disk terjadi pada saat disk lain melakukan pencarian. OS dapat mengatur aktifitas I/O yang di-overlap.

15.2. FLOPPY DISK

Perangkat yang dibahas sebelumnya dikenal sebagai unit disk hard atau rigid. Floppy disk adalah unit disk yang lebih kecil, sederhana, dan murah yang terdiri dari disket (diskette) plastik, yang fleksibel dan removable yang dilapisi dengan bahan magnetik. Disket diwadahi dalam selubung plastik, yang memiliki bukaan dimana head baca/tulis kontak dengan disket. Lubang di tengah disket memungkinkan mekanisme kumparan dalam disk drive menempatkan dan merotasi disket.

Salah satu skema paling sederhana yang digunakan dalam floppy disk pertama untuk merekam data adalah encoding fase atau Manchester yang telah disebutkan sebelumnya. Disk yang di-encode dengan cara ini disebut memiliki kerapatan tunggal (single density). Variasi skema yang lebih rumit ini, disebut kerapatan ganda (double density), sering digunakan dalam floppy disk standar saat ini. Skema tersebut meningkatkan kerapatan penyimpanan dengan faktor sebesar dua tetapi juga memerlukan sirkuit yang lebih kompleks dalam kontroler disk.

Fitur utama floppy disk adalah biaya rendah dan kemudahan pengangkutan. Akan tetapi, floppy tersebut memiliki kapasitas penyimpanan lebih kecil, waktu akses lebih lama, dan tingkat kegagalan lebih tinggi daripada harddisk. Floppy disk standar saat ini memiliki diameter 3,25 inci dan menyimpan 1,44 atau 2 Mbyte data. Juga tersedia super-floppy disk yang lebih besar. Satu tipe

disk tersebut dikenal sebagai zip disk, dapat menyimpan lebih dari 100 Mbyte, Pada tahun-tahun terakhir, daya tarik teknologi floppy-disk telah dikurangi dengan munculnya rewritable compact disk, yang kita bahas berikut ini.

15.2.1. ARRAY DISK RAID

Kecepatan prosesor telah meningkat secara dramatis selama dekade sebelumnya. Performa prosesor telah dilipat-duakan setiap 18 bulan. Kecepatan memori semikonduktor telah meningkat pada tingkat menengah. Peningkatan yang relatif paling kecil dalam hal kecepatan adalah pada perangkat penyimpanan disk, yang waktu aksesnya masih berada pada orde milidetik. Tentu saja, terdapat peningkatan yang spektakuler dalam kapasitas penyimpanan perangkat tersebut.

Perangkat perfonna-tinggi cenderung mahal. Terkadang dimungkinkan untuk mencapai performa sangat tinggi pada harga yang masuk akal dengan menggunakan sejumlah perangkat biaya-rendah yang beroperasi secara paralel. Banyak disk drive magnetik dapat digunakan untuk menyediakan unit penyimpanan performa-tinggi.

Pada tahun 1988, peneliti di Universitas California-Berkeley mengusulkan sistem penyimpanan yang berbasis banyak disk. Mereka menyebutnya RAID, yaitu Redundant Array of Inexpensive Disks. Menggunakan banyak disk juga memungkinkan untuk meningkatkan keandalan sistem keseluruhan. Diusulkan enam konfigurasi yang berbeda. Konfigurasi tersebut dikenal sebagai tingkat RAID sekalipun tidak terdapat hierarki.

RAID 0 adalah konfigurasi dasar yang dimaksudkan untuk meningkatkan performa. Suatu file besar tunggal disimpan dalam beberapa unit disk terpisah dengan memecah file menjadi sejumlah bagian yang lebih kecil dan menyimpan pecahan tersebut pada disk yang berbeda. Tindakan ini disebut data striping. Pada saat file diakses untuk pembacaan, semua disk dapat mengirimkan datanya secara paralel. Waktu transfer total file setara dengan waktu transfer yang diperlukan dalam sistem disk-tunggal dibagi jumlah disk yang digunakan dalam array. Akan tetapi waktu akses, yaitu jeda pencarian dan rotasi yang diperlukan untuk mencari awal data pada tiap disk, tidak direduksi. Sebenarnya, karena tiap disk beroperasi secara mandiri satu sama lain, waktu

akses bervariasi, dan diperlukan buffering pecahan data yang diakses, maka file lengkap dapat dirakit ulang dan dikirim ke prosesor yang me-request sebagai entitas tunggal. Ini adalah operasi array disk paling sederhana yang hanya meningkatkan performa data-flow-time.

RAID 1 ditujukan untuk menyediakan keandalan yang lebih baik dengan menyimpan copy data identik pada dua disk bukan hanya satu. Dua disk tersebut disebut mirror satu sama lain. Kemudian jika satu disk gagal, semua operasi baca dan tulis ditujukan ke mirror drive-nya. Ini merupakan cara yang mahal untuk meningkatkan keandalan karena semua disk diduplikasi.

Tingkat RAID 2, RAID 3, dan RAID 4 mencapai keandalan yang meningkat melalui berbagai skema pemeriksaan paritas tanpa memerlukan duplikasi lengkap disk. Semua informasi paritas dimasukkan dalam satu disk.

RAID 5 juga menggunakan skema parity-based error-recovery. Akan tetapi, informasi paritas didistribusikan pada semua disk, bukannya disimpan pada satu disk.

Beberapa pengaturan hibrida telah dikembangkan setelahnya. Misalnya, RAID 10 adalah array yang menggabungkan fitur RAID 0 dan RAID 1.

Konsep RAID telah mendapatkan penerimaan komersial. Misalnya, Dell Computer Corporation menawarkan produk berbasis **RAID 0, RAID 1, dan RAID 10**. Akhirnya, kita sebaiknya memperhatikan bahwa dengan sangat menurunnya harga disk drive magnetik selama beberapa tahun terakhir, maka mungkin tidak begitu tepat menyebut "inexpensive" disk dalam RAID. Tentu saja, istilah RAID telah didefinisikan ulang oleh industri menjadi "independent" disk.

15.3 PERTIMBANGAN DISK KOMODITAS

Kebanyakan unit disk didesain untuk berhubungan ke bus standar. Performa unit disk tergantung pada struktur internal dan antar muka yang digunakan untuk menghubungkannya ke bagian lain sistem. Biayanya sebagian besar tergantung tergantung pada kapasitas penyimpanan, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh volume penjualan produk tertentu.

15.3.1. DISK ATA/EIDE

Komputer yang paling banyak digunakan adalah personal computer (PC) yang diperkenalkan oleh IBM pada tahun 1980, yang lazimnya dikenal sebagai IBM PC. Dikembangkan suatu antar muka disk yang sesuai untuk koneksi ke bus IBM PC. Versi terbarunya (versi telah ditingkatkan) telah menjadi standar yang dikenal sebagai EIDE (Enhanced Integrated Drive Electronic) atau sebagai ATA (Advanced Technology Attachment). Banyak produsen disk memiliki rentang disk dengan antar muka EIDE/ ATA. Disk semacam itu dapat dihubungkan langsung ke bus PCI, yang digunakan pada banyak PC. Sebenarnya, set chip Intel Pentium menyertakan suatu kontroler yang memungkinkan disk EIDE/ ATA dihubungkan langsung ke motherboard. Keuntungan drive EIDE/ ATA yang signifikan adalah harganya yang murah, karena penggunaannya di pasaran PC. Salah satu kekurangan utamanya adalah diperlukan kontroler terpisah untuk tiap drive jika dua drive digunakan bersamaan untuk meningkatkan performa.

15.3.2. DISK SCSI

Sebagaimana yang telah kita bahas pada contoh sebelumnya, banyak disk memiliki antar muka yang didesain untuk koneksi ke bus SCSI standar. Disk tersebut cenderung lebih mahal, tetapi menunjukkan performa lebih baik, yang dimungkinkan karena kelebihan bus SCSI daripada bus PCI. Akses yang bersamaan dapat dilakukan ke banyak disk drive karena antar muka drive secara aktif dihubungkan ke bus SCSI hanya pada saat drive tersebut siap untuk transfer data. Hal ini terutama berguna dalam aplikasi dimana terdapat sejumlah besar request untuk file kecil, yang sering terjadi dalam komputer yang digunakan sebagai server file.

15.3.3. DISK RAID

Disk RAID menawarkan performa yang luar biasa dan menyediakan penyimpanan yang besar dan andal. Disk tersebut digunakan baik dalam komputer performa tinggi, atau dalam sistem yang memerlukan keandalan yang lebih tinggi dari tingkat normal. Akan tetapi, dengan semakin menurunnya harga ke tingkat

yang lebih terjangkau, disk tersebut menjadi lebih menarik bahkan untuk sistem komputer ukuran-rata-rata.

15.4. DISK OPTIK

Perangkat penyimpanan besar dapat pula diterapkan menggunakan alat optik. Compact disk (CD) lazim, yang digunakan dalam sistem audio, merupakan aplikasi praktis pertama dari teknologi ini. Segera sesudahnya, teknologi optik diadaptasi ke lingkungan komputer untuk menyediakan penyimpanan read-only kapasitas-tinggi yang disebut CD-ROM.

Generasi CD pertama dikembangkan pada pertengahan 1980-an oleh perusahaan Sony dan Phillips, yang juga mempublikasikan spesifikasi lengkap perangkat tersebut. Teknologi tersebut mengeksplorasi kemungkinan penggunaan representasi analog untuk sinyal suara analog. Untuk menyediakan perekaman suara dan reproduksi kualitas-tinggi, diambil sample 16-bit sinyal analog pada kecepatan 44.100 sample per detik. Sampling rate ini dua kali frekuensi tertinggi dalam sinyal suara asli, sehingga memungkinkan rekonstruksi yang akurat. CD diperlukan untuk menyimpan setidaknya satu jam musik. Versi pertama didesain untuk menyimpan hingga 75 menit, yang memerlukan total sekitar 3×10^9 bit (3 gigabit) penyimpanan. Sejak itu, perangkat dengan kapasitas yang lebih tinggi telah dikembangkan. Video CD mampu menyimpan full-length movie. Video CD ini memerlukan kapasitas penyimpanan bit yang setingkat lebih besar daripada audio CD. Multimedia CD juga cocok untuk menyimpan sejumlah besar data komputer.

15.4.1. TEKNOLOGI CD

Teknologi optik yang digunakan untuk sistem CD didasarkan pada sumber sinar laser. Berkas laser diarahkan ke permukaan disk yang berputar. Lekukan fisik pada permukaan diatur sepanjang track disk. Lekukan tersebut merefleksikan berkas terfokus ke fotodetektor, yang mendeteksi pola biner yang tersimpan.

Laser tersebut memancarkan berkas sinar koheren yang difokuskan dengan tajam pada permukaan disk. Sinar koheren terdiri dari gelombang

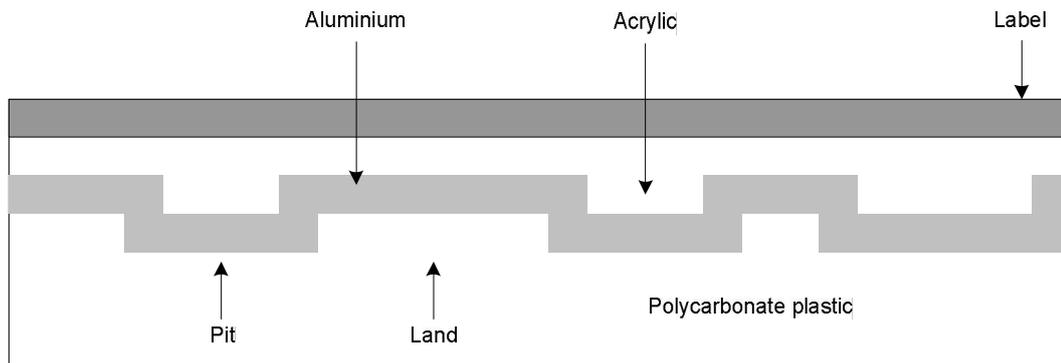
tersinkronisasi yang memiliki panjang gelombang yang sama. Jika berkas sinar koheren digabungkan dengan berkas lain dari jenis yang sama, dan dua berkas tersebut berada dalam satu fase, maka hasilnya akan berupa berkas yang lebih terang. Tetapi jika gelombang dua berkas tersebut berbeda fase 180 derajat, maka keduanya akan saling meniadakan. Sehingga, jika fotodetektor digunakan untuk mendeteksi berkas tersebut, maka akan mendeteksi titik terang pada kasus pertama dan titik gelap pada kasus kedua.

Tampang lintang sebagian kecil CD ditampilkkan pada Gambar 15.4a. Lapisan dasarnya adalah plastik polikarbonat, yang berfungsi sebagai basis gelas transparan. Permukaan plastik ini diprogram untuk menyimpan data dengan melekkukan lapisan tersebut dengan pit. Bagian yang tidak dilekkukan disebut land. Lapisan tipis bahan alumunium perefleksi ditempatkan pada bagian atas disk yang terprogram. Alumunium tersebut kemudian dilapisi dengan acrylic pelindung. Akhirnya, lapisan paling atas disimpan dan dan dicap dengan label. Ketebalan total disk adalah 1,2 mm. Hampir seluruhnya didominasi oleh tebal plastik polikarbonat. Lapisan yang lain sangat tipis.

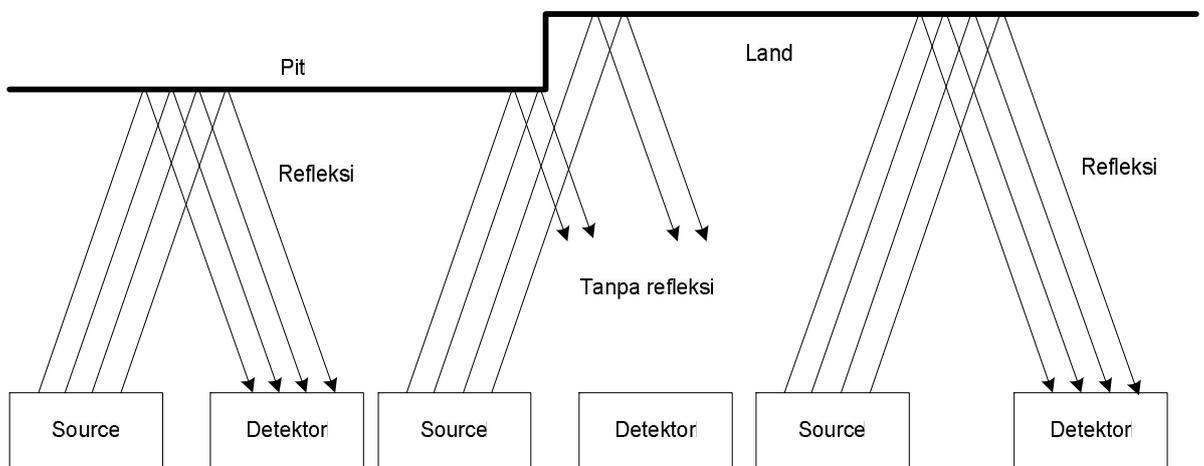
Sumber laser dan fotodetektor ditempatkan di bawah plastik polikarbonat. Berkas yang dipancarkan melintasi plastik ini, direfleksikan oleh lapisan alumunium, dan melintas balik menuju fotodetektor. Perhatikanlah bahwa dari sisi laser, pit tersebut sebenarnya tampak sebagai benjolan terhadap land.

Gambar 15.4b menunjukkan apa yang terjadi pada saat berkas laser melintasi disk dan menghadapi transisi dari pit ke land. Di ditampilkan tiga posisi yang berbeda dari sumber laser dan detektor yang mungkin terjadi pada saat disk berotasi. Pada saat sinar direfleksikan hanya dari pit, atau hanya dari land, maka detektor akan melihat berkas yang direfleksikan sebagai titik terang. Tetapi, situasi yang berbeda muncul pada saat berkas bergerak melalui tepian dimana pit berubah menjadi land, dan sebaliknya. Pit dihentikan satu seperempat panjang gelombang sinar tersebut. Sehingga, gelombang yang direfleksikan dari pit akan berbeda fase 180 derajat dengan gelombang yang direfleksikan dari land, sehingga saling meniadakan. Karenanya, pada transisi pit-land dan land-pit

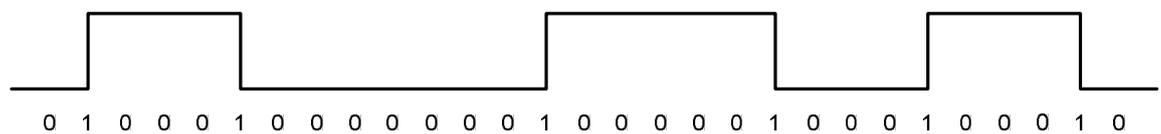
detektor tidak akan mengetahui berkas yang direfleksikan dan akan mendeteksi titik gelap.



(a) Tampang Melintang



(b) Transisi dari pit ke land



(c) Pola biner yang tersimpan

Gambar 15.4. Disk Optik

Gambar 15.4c menggambarkan beberapa transisi antara land dan pit. Jika tiap transisi yang terdeteksi sebagai titik gelap, digunakan unhtk menyatakan nilai biner 1, dan bagian datar sebagai 0, maka pola bitter yang terdeteksi akan seperti yang ditampilkan pada gambar. Pola ini bukan

representasi langsung data yang tersimpan. CD menggunakan skema encoding kompleks untuk menyatakan data. Tiap byte data dinyatakan dengan kode 14-bit, menyediakan kemampuan deteksi error. Kita tidak akan mempelajari kode ini secara mendetil.

Pit tersebut diatur sepanjang track pada permukaan disk. Sebenarnya, hanya terdapat satu track fisik, berputar dari tengah disk ke tepi luar. Tetapi biasa untuk menyebut tiap jalur sirkular sepanjang 360 derajat sebagai track terpisah, yang analog dengan istilah yang digunakan untuk disk magnetik. CD memiliki diameter 120 mm. Terdapat lubang 15-mm di tengah. Data disimpan pada track yang menutupi area tersebut dari radius 25-mm hingga radius 58-mm. Jarak antara track tersebut adalah 1,6 mikron. Pit memiliki lebar 0,5 mikron dan panjang 0,8 hingga 3 mikron. Terdapat lebih dari 15.000 track pada disk. Jika seluruh track spiral dipisah-pisahkan, maka akan mencapai panjang 5 km!

Jumlah ini mengindikasikan kerapatan track sekitar 6000 track/cm, yang lebih tinggi daripada kerapatan yang dapat dicapai dalam disk magnetik. Dalam harddisk kerapatan berada dalam rentang dari 800 hingga 2000 track/cm, dan dalam floppy disk kurang dari 40 track/cm.

15.4.2. CD-ROM

Karena informasi disimpan dalam bentuk biner dalam CD, maka CD cocok untuk digunakan sebagai medium dalam sistem komputer. Persoalan terbesar adalah untuk memastikan integritas data yang tersimpan. Karena pit sangat kecil, maka sulit untuk menerapkan semua pit secara sempurna. Dalam aplikasi audio dan video, beberapa error dalam data dapat ditoleransi karena tampaknya tidak mempengaruhi suara atau image yang direproduksi dalam cara yang dapat dimengerti. Akan tetapi, error tersebut tidak dapat diterima dalam aplikasi komputer. Karena ketidaksempurnaan fisik tidak dapat dihindarkan, maka perlu menggunakan bit tambahan untuk menyediakan kemampuan pemeriksaan error dan koreksi. CD yang digunakan dalam aplikasi komputer memiliki kemampuan tersebut. CD tersebut disebut CD-ROM, karena setelah pabrikan isinya hanya dapat dibaca, seperti halnya chip ROM semikonduktor.

Data tersimpan diatur pada track CD-ROM dalam bentuk blok yang disebut sector. Terdapat beberapa format berbeda untuk sector. Satu format, disebut Mode 1 menggunakan 2352-byte sector. Terdapat 16-byte header yang berisi field sinkronisasi yang digunakan untuk mendeteksi awal sector dan informasi pengalamatan yang digunakan untuk mengidentifikasi sector tersebut. Field ini diikuti oleh 2048 byte data tersimpan. Pada akhir sector, terdapat 288 byte yang digunakan untuk mengimplementasikan skema koreksi-error. Jumlah sector per track adalah variabel; terdapat lebih banyak sector pada track luar yang lebih panjang.

Deteksi dan koreksi error dilakukan pada lebih dari satu tingkat. Sebagaimana telah disebutkan pada pengenalan CD, tiap byte informasi yang tersimpan di-encode menggunakan kode 14-bit yang memiliki beberapa kemampuan koreksi-error. Kode ini dapat mengoreksi error bit-tunggal. Error yang terjadi pada short burst, mempengaruhi beberapa bit, dideteksi dan dikoreksi menggunakan bit pemeriksaan-error pada akhir sector.

Drive CD-ROM beroperasi pada sejumlah kecepatan rotasi yang berbeda. Kecepatan dasar, yang disebut 1X, adalah 75 sector per detik. Kecepatan ini menyediakan tingkat data 153.600 byte/det (150Kbyte/det), menggunakan format Mode 1. Dengan kecepatan dan format ini, CDROM yang berbasis pada CD standar yang didesain untuk musik 75 menit memiliki kapasitas penyimpanan data sekitar 650 Mbyte. Perhatikanlah bahwa kecepatan drive tersebut hanya mempengaruhi kecepatan transfer data tetapi tidak kapasitas penyimpanan disk. Kecepatan drive CD-ROM yang lebih tinggi diidentifikasi sehubungan dengan kecepatan dasar tersebut. Sehingga, CD-ROM 40X memiliki kecepatan transfer data yaitu 40 kali lebih tinggi daripada CD-ROM 1X. Perhatikanlah bahwa kecepatan transfer ini (<6Mbyte/detik) dianggap lebih rendah daripada kecepatan transfer dalam harddisk magnetik, yang berada pada rentang puluhan megabyte per detik. Perbedaan besar lain dalam performa adalah waktu pencarian, yang dalam CD-ROM mungkin beberapa ratus milidetik. Sehingga, dalam hubungannya dengan performa CD-ROM sangat inferior terhadap disk magnetik. Daya tariknya terletak pada ukuran fisik yang

kecil, biaya rendah, dan kemudahan penanganan sebagai medium penyimpanan-massal (massstorage) yang removable dan transportable.

Tingkat kepentingan CD-ROM bagi sistem komputer muncul karena kapasitas penyimpanan yang besar dan waktu akses yang cepat dibandingkan dengan media portable murah lainnya, seperti floppy disk dan tape magnetik. CD-ROM digunakan secara luas untuk distribusi software, basis data, teks besar (buku), program aplikasi, dan video game.

15.4.3. CD-RECORDABLE

CD yang dideskripsikan sebelumnya adalah perangkat read-only dimana informasi disimpan menggunakan prosedur khusus. Pertama, disk master dihasilkan menggunakan laser daya tinggi untuk membakar hole yang berhubungan dengan pit yang diperlukan. Kemudian cetakan dibuat dari disk master, yang memiliki bump pada bagian hole. Kemudian dilanjutkan dengan menginjeksikan cairan plastik polikarbonat ke dalam cetakan untuk membuat CD yang memiliki pola hole (pit) yang sama dengan disk master. Proses ini sangat cocok hanya untuk produksi banyak CD.

Tipe CD baru dikembangkan pada akhir 1990-an sehingga data dapat dengan mudah direkam oleh user komputer. Tipe ini dikenal sebagai CD-Recordable (CD-R). Suatu track spiral diimplementasikan pada disk untuk membakar pit menjadi dye organik pada track. Pada saat titik yang dibakar dipanaskan di atas temperatur kritis, maka titik tersebut menjadi buram. Titik bakar tersebut merefleksikan lebih sedikit sinar pada saat dibaca sesudahnya. Data yang dituliskan disimpan secara permanen. Bagian yang tidak digunakan pada disk dapat digunakan untuk menyimpan data tambahan pada saat berikutnya.

15.4.4. CD-REWRITABLE

CD yang paling fleksibel adalah CD yang dapat ditulisi berulang kali oleh user. CD tersebut dikenal sebagai CD-RW (CD-ReWritable).

Struktur dasar CD-RW mirip dengan struktur CD-R. Sebagai pengganti dye organik dalam lapisan perekam, digunakan campuran (alloy)

perak, indium, antimony dan tellurium. Campuran ini memiliki kelakuan yang menarik dan berguna pada saat dipanaskan dan didinginkan. Jika dipanaskan di atas titik leleh (500 derajat Celsius) dan kemudian didinginkan, maka campuran tersebut berada pada keadaan tak berbentuk (*amorphous state*) yang menyerap cahaya. Tetapi jika dipanaskan hanya sekitar 200 derajat C dan temperatur ini dijaga selama periode yang cukup lama, maka terjadi proses yang dikenal dengan nama *annealing*, yang membuat campuran tersebut berada dalam keadaan *crystalline* yang memungkinkan lewatnya sinar. Jika keadaan *crystalline* menyatakan *area land*, maka pit dapat dihasilkan dengan pemanasan titik tertentu melebihi titik leleh. Data yang tersimpan dapat dihapus menggunakan proses *annealing*, yang mengembalikan campuran tersebut ke keadaan *crystalline* yang seragam. Bahan reflektif diletakkan di atas lapisan perekam untuk merefleksikan sinar pada saat disk dibaca.

Drive CD-RW menggunakan tiga daya laser yang berbeda. Daya tertinggi digunakan untuk merekam pit. Daya menengah digunakan untuk membawa campuran ke keadaan *crystalline*; disebut "*erase power*." Daya terendah digunakan untuk membaca informasi yang tersimpan. Terdapat batasan berapa kali disk CD-RW dapat ditulisi ulang. Saat ini, batasan tersebut mencapai 1000 kali.

Drive CD-RW biasanya dapat menangani media compact disk yang lain. Drive tersebut dapat membaca CD-ROM, dan membaca dan menulisi CD-R. Drive tersebut didesain untuk memenuhi persyaratan standar antar muka interkoneksi, seperti EIDE, SCSI, dan USB.

CD-RW menyediakan media penyimpanan biaya-rendah. CD-RW cocok untuk penyimpanan arsip informasi yang berada mulai dari rentang basis data hingga image fotografi. CDRW dapat digunakan untuk distribusi informasi dengan volume kecil, seperti halnya CD-R. Drive CD-RW saat ini cukup cepat untuk digunakan sebagai backup harddisk harian. Teknologi CD-RW telah menjadikan CD-R kurang relevan karena CD-RW menawarkan kemampuan lebih unggul dengan harga yang hanya sedikit lebih tinggi.

15.4.5. TEKNOLOGI DVD

Kesuksesan teknologi CD dan pencarian yang terus menerus untuk mendapatkan kemampuan penyimpanan yang lebih besar telah menuju pada pengembangan teknologi DVD (Digital Versatile Disk). Standar DVD pertama didefinisikan pada tahun 1996 oleh suatu konsorsium perusahaan. Tujuannya adalah agar dapat menyimpan suatu full-length movie pada satu sisi disk DVD.

Ukuran fisik disk DVD sama dengan CD. Disk tersebut memiliki ketebalan 1,2mm, dan diameter 120mm. Kapasitas penyimpanannya dibuat lebih besar daripada CD dengan beberapa perubahan desain:

- Laser sinar merah dengan panjang gelombang 635nm digunakan sebagai pengganti laser sinar inframerah dalam CD, yang memiliki panjang gelombang 780nm. Panjang gelombang yang lebih pendek memungkinkannya untuk memfokuskan sinar ke titik yang lebih kecil.
- Pit lebih kecil, dengan panjang minimum 0,4mikron.
- Track diletakkan lebih berdekatan; jarak antar track 0,74mikron.

Dengan menggunakan peningkatan ini menghasilkan kapasitas DVD 4,7Gbyte.

Peningkatan selanjutnya telah dicapai dengan menggunakan disk two-layered dan two-sided. Disk single-layered single-sided, yang didefinisikan pada standar sebagai DVD-5 memiliki struktur yang hampir sama dengan CD pada Gambar 5.32a. Disk double-layered menggunakan dua lapisan dengan track diimplementasikan pada bagian atas masing-masing. Lapisan pertama adalah basis bening, sebagaimana halnya dalam disk CD. Tetapi sebagai pengganti aluminium perrefleksi, land dan pit lapisan ini ditutupi dengan bahan tembus pandang yang bertindak sebagai semireflektor. Permukaan bahan ini diletakkan di atas lapisan kedua pit dan land. Disk dibaca dengan memfokuskan berkas laser pada lapisan yang dimaksud. Pada saat berkas difokuskan pada lapisan pertama, sejumlah sinar direfleksikan oleh bahan tembus pandang untuk mendeteksi pola biner yang tersimpan. Pada saat berkas difokuskan pada lapisan kedua, sinar yang direfleksikan oleh bahan tembus pandang berkaitan dengan informasi yang tersimpan pada lapisan ini. Pada kedua kasus tersebut, lapisan yang tidak menerima fokus merefleksikan lebih sedikit sinar, yang dieliminasi oleh sirkuit

detektor sebagai noise. Kapasitas penyimpanan total kedua lapisan tersebut adalah 8,5 Gbyte. Dalam standar disk ini disebut DVD-9.

Dua disk single-sided dapat digabungkan untuk membentuk struktur sandwich-like dengan bagian atas disk dibalik. Hal ini dapat dilakukan dengan disk single-layered, sebagaimana ditentukan dalam DVD-10, menghasilkan disk komposit dengan kapasitas 9,4 Gbyte. Hal ini juga dapat dilakukan dengan disk double-layered, sebagaimana ditentukan dalam DVD-18, menghasilkan kapasitas 17 Gbyte.

Waktu akses untuk drive DVD serupa dengan drive CD. Akan tetapi pada saat disk DVD berotasi pada kecepatan yang sama, kecepatan transfer data lebih tinggi karena kerapatan pit yang lebih tinggi.

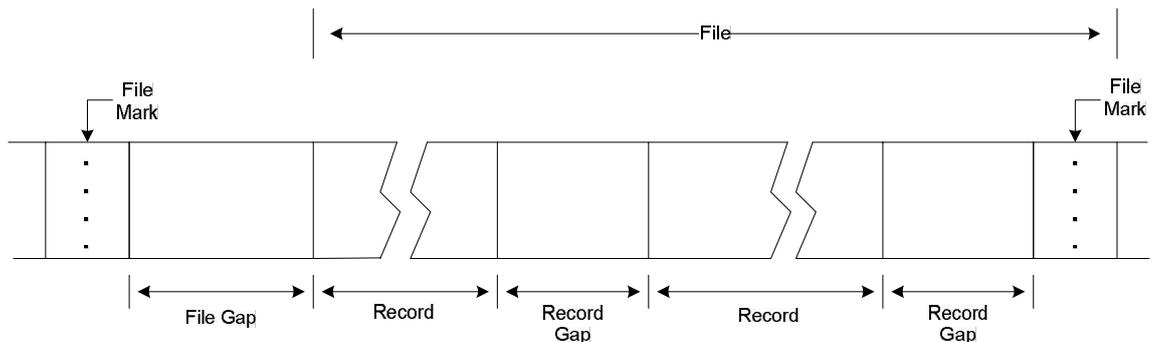
15.4.6. DVD-RAM

Versi rewritable perangkat DVD, yang dikenal sebagai DVD-RAM, juga telah dikembangkan. Versi tersebut menyediakan kapasitas penyimpanan yang lebih besar. Kerugiannya hanyalah harga yang lebih mahal dan kecepatan penulisan yang relatif lambat. Untuk memastikan data telah direkam dengan tepat pada disk, maka dilakukan suatu proses yang disebut write verification. Proses ini dilakukan oleh drive DVD-RAM, yang membaca isi tersimpan dan membandingkannya dengan data asli.

15.5. SISTEM TAPE MAGNETIK

Tape magnetik cocok untuk penyimpanan off-line sejumlah besar data. Tape magnetik biasanya digunakan untuk tujuan backup harddisk dan media penyimpanan arsip. Perekaman magnetic-tape menggunakan prinsip yang sama dengan yang digunakan dalam perekaman magnetic-disk. Perbedaan utamanya adalah film magnetiknya didepositkan pada tape plastik tipis selebar 0,5- atau 0,25-inci. Tujuh atau 9 bit (yang berhubungan dengan satu karakter) direkam secara paralel sepanjang lebar tape, tegak lurus terhadap arah gerakan. Head baca/tulis terpisah disediakan untuk tiap posisi pada tape, sehingga semua bit karakter dapat dibaca atau ditulis secara paralel. Salah satu bit karakter digunakan sebagai bit paritas.

Data pada tape diatur dalam bentuk record yang dipisahkan oleh celah, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 15.5. Gerakan tape dihentikan hanya pada saat celah record berada tepat di bawah head baca/tulis. Celah record cukup panjang untuk memungkinkan tape mencapai kecepatan normalnya sebelum mencapai awal record berikutnya. Jika skema pengkodean seperti yang terdapat dalam Gambar 15.1c digunakan untuk perekaman data pada tape, maka celah record diidentifikasi sebagai area yang tidak mengalami perubahan magnetisasi. Hal ini memungkinkan celah record dideteksi secara mandiri terhadap data terekam. Untuk menolong user mengatur sejumlah besar data, suatu grup record yang berhubungan disebut file. Awal file diidentifikasi oleh file mark, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 15.5. File mark tersebut adalah record karakter-tunggal atau banyak-karakter khusus, yang biasanya diawali dengan celah yang lebih panjang daripada celah interrecord. Record pertama setelah file mark dapat digunakan sebagai header atau identifier untuk file ini. Hal ini memungkinkan user mencari tape yang berisi sejumlah besar file untuk file tertentu.



Gambar 15.5. Organisasi data pada tape magnetik

Kontroler drive tape magnetik memungkinkan eksekusi sejumlah perintah kontrol selain untuk perintah baca dan tulis. Perintah kontrol disertakan dalam operasi berikut:

- Me-rewind tape
- Me-rewind dan unload tape
- Menghapus tape
- Menuliskan tape mark
- Forward space satu record

- Backspace satu record
- Forward space satu file
- Backspace satu file

Tape mark yang disebutkan dalam operasi "Write tape mark" mirip dengan file mark kecuali operasi tersebut digunakan untuk mengidentifikasi awal tape. Akhir tape terkadang diidentifikasi dengan karakter EOT (end of tape).

Tersedia dua metode formatting dan penggunaan tape. Pada metode pertama, record tersebut merupakan variabel panjang. Hal ini memungkinkan penggunaan tape yang efisien, tetapi tidak memungkinkan updating dan overwriting record in place. Metode kedua menggunakan record dengan panjang tetap. Dalam hal ini, dimungkinkan untuk meng-update record in place. Sekalipun hal ini tampaknya merupakan keuntungan yang signifikan, pada prakteknya hal ini menjadi tidak begitu penting. Penggunaan tape yang paling umum adalah untuk mem-backup informasi pada disk magnetik dan penyimpanan arsip data. Pada aplikasi ini, suatu tape ditulis dari awal hingga akhir sehingga ukuran record tidak relevan.

15.5.1. SISTEM CARTRIDGE TAPE

Sistem tape telah dikembangkan untuk backup penyimpanan disk on-line. Sistem tersebut menggunakan suatu tape format video 8 mm dikemas dalam bentuk sebuah kaset. Unit ini dikenal sebagai cartridge tape. Unit tersebut memiliki kapasitas dalam rentang 2 hingga 5 gigabyte dan menangani transfer data pada kecepatan beberapa ratus kilobyte per detik. Pembacaan dan penulisan dilakukan dengan sistem helical scan yang beroperasi di sepanjang tape, mirip dengan yang digunakan dalam drive tape kaset video. Kerapatan bit puluhan juta bit per inci kuadrat dapat dicapai. Tersedia sistem banyak-cartridge yang mengotomatisasi loading dan unloading kaset sehingga puluhan gigabyte penyimpanan on-line dapat di-backup tanpa pengawasan.