

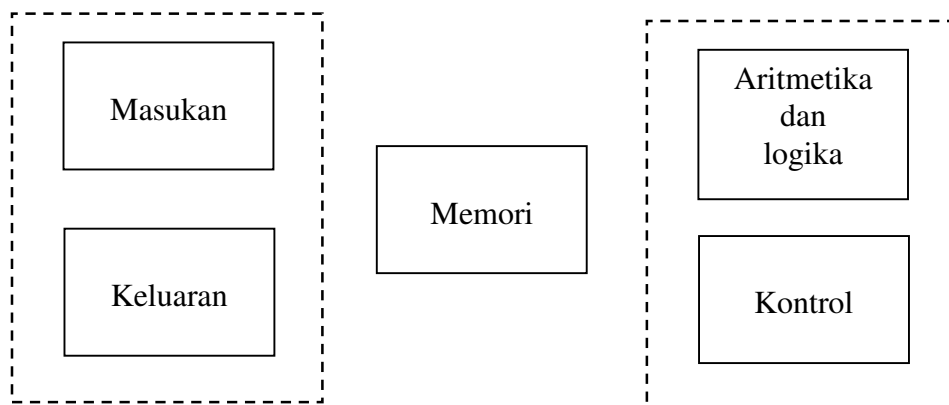
Pengantar Organisasi Komputer

Buku ini membahas tentang struktur dan fungsi komputer. Setelah mempelajari buku ini diharapkan dapat memahami sifat dan karakteristik sistem-sistem komputer yang berkembang saat ini. Tantangan yang dihadapi adalah adanya bermacam-macam komputer dan perkembangan yang pesat dibidang komputer, namun demikian konsep dasar organisasi komputer telah digunakan secara konsisten secara menyeluruh. Buku ini bermaksud untuk memberikan bahasan lengkap dan mudah tentang dasar-dasar organisasi komputer.

1.1. Komputer

Komputer adalah sebuah mesin hitung elektronik yang secara cepat menerima informasi masukan digital dan mengolah informasi tersebut menurut seperangkat instruksi yang tersimpan dalam komputer tersebut dan menghasilkan keluaran informasi yang dihasilkan setelah diolah. Daftar perintah tersebut dinamakan program komputer dan unit penyimpanannya adalah memori komputer.

Dalam bentuk yang paling sederhana komputer terdiri dari lima bagian utama yang mempunyai fungsi sendiri-sendiri. Unit-unit tersebut adalah: masukan, memori, aritmetika dan logika, keluaran dan kontrol seperti pada gambar 1.1.



Gambar 1.1. Unit fungsional dasar pada komputer

Unit masukan menerima informasi yang dikodekan dari operator manusia lewat alat-alat elektromekanik seperti papan ketik pada suatu terminal video, atau dari komputer-komputer lain lewat jalur komunikasi digital. Informasi yang diterima dan disimpan dalam memori untuk dipergunakan kelak, atau langsung diolah oleh rangkaian aritmetika dan logika untuk melaksanakan operasi yang diinginkan. Langkah-langkah pengolahan ditentukan oleh program yang disimpan dalam memori. Akhirnya hasil-hasil yang diperoleh dikirimkan kembali keluar melalui unit keluaran. Seluruh kegiatan ini dikoordinasi oleh unit kontrol.

1.2. Organisasi Komputer

Organisasi Komputer adalah bagian yang terkait erat dengan unit-unit operasional dan interkoneksi antar komponen penyusun sistem komputer dalam merealisasikan aspek arsitekturalnya. Contoh aspek organisasional adalah teknologi hardware, perangkat antarmuka, teknologi memori, sistem memori, dan sinyal-sinyal kontrol.

Arsitektur Komputer lebih cenderung pada kajian atribut-atribut sistem komputer yang terkait dengan seorang programmer. Contohnya, set instruksi, aritmetika yang digunakan, teknik pengalamatan, mekanisme I/O.

Sebagai contoh apakah suatu komputer perlu memiliki instruksi pengalamatan pada memori merupakan masalah rancangan arsitektural. Apakah instruksi pengalamatan tersebut akan diimplementasikan secara langsung ataukah melalui mekanisme cache adalah kajian organisasional.

Perbedaan Utama

Organisasi Komputer

- ❑ Bagian yang terkait erat dengan unit-unit operasional
- ❑ Contoh: teknologi hardware, perangkat antarmuka, teknologi memori, sistem memori, dan sinyal-sinyal kontrol

Arsitektur Komputer

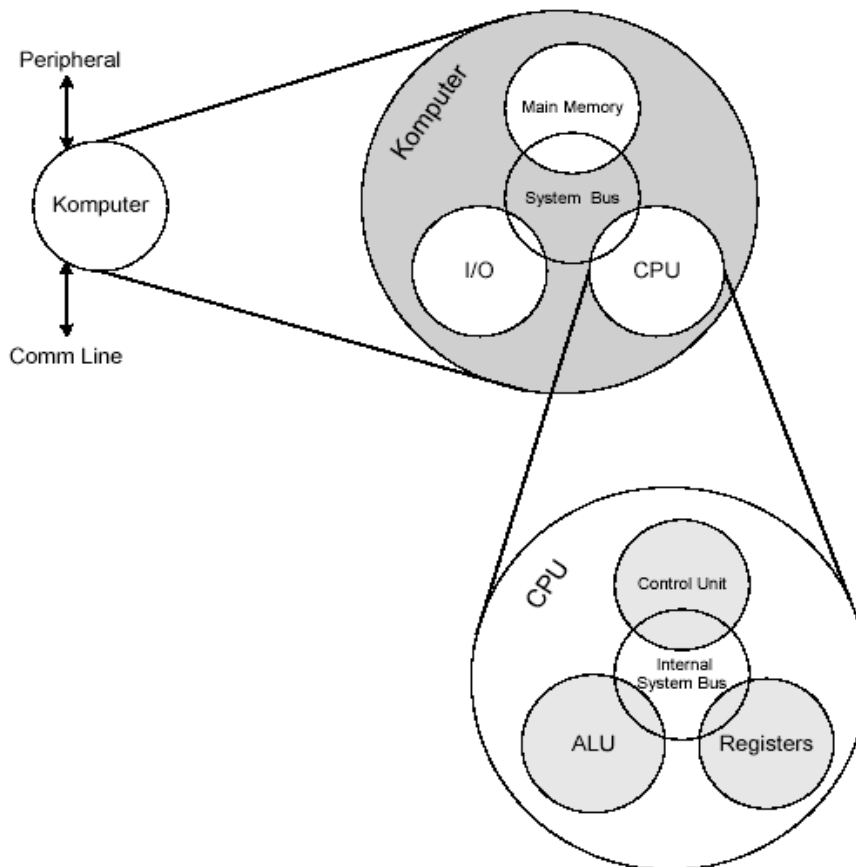
- ❑ atribut-atribut sistem komputer yang terkait dengan seorang programmer
- ❑ Contoh: set instruksi, aritmetika yang digunakan, teknik pengalamatan, mekanisme I/O

1.3. Struktur dan Fungsi Utama Komputer

1.3.1. Struktur Komputer

Komputer adalah sebuah sistem yang berinteraksi dengan cara tertentu dengan dunia luar. Interaksi dengan dunia luar dilakukan melalui perangkat peripheral dan saluran komunikasi. Dalam buku ini akan banyak dikaji seputar struktur internal komputer. Perhatikan gambar 1.2, terdapat empat struktur utama:

- ❑ *Central Processing Unit (CPU)*, berfungsi sebagai pengontrol operasi komputer dan pusat pengolahan fungsi – fungsi komputer. Kesepakatan, CPU cukup disebut sebagai *processor* (prosesor) saja.
- ❑ *Memori Utama*, berfungsi sebagai penyimpan data.
- ❑ *I/O*, berfungsi memindahkan data ke lingkungan luar atau perangkat lainnya.
- ❑ *System Interconnection*, merupakan sistem yang menghubungkan CPU, memori utama dan I/O.



Gambar 1.2 Struktur Dasar Komputer

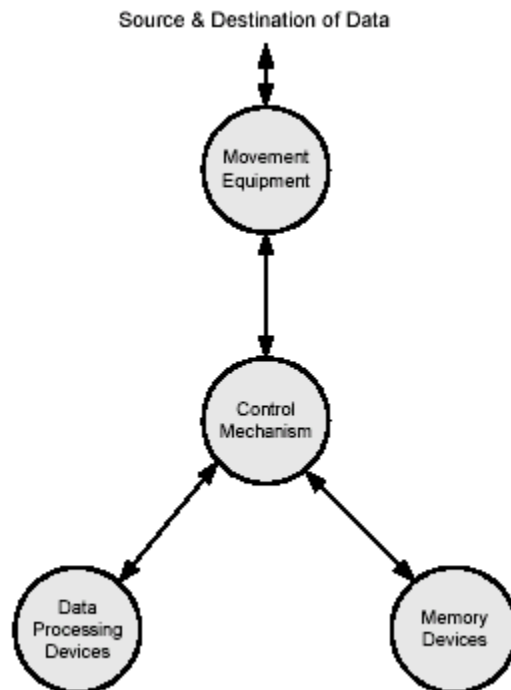
Komponen yang paling menarik namun paling kompleks adalah CPU. Struktur CPU terlihat pada gambar 1.2, dengan struktur utamanya adalah :

- ❑ *Control Unit*, berfungsi untuk mengontrol operasi CPU dan mengontrol komputer secara keseluruhan.
- ❑ *Arithmetic And Logic Unit (ALU)*, berfungsi untuk membentuk fungsi – fungsi pengolahan data komputer.
- ❑ *Register*, berfungsi sebagai penyimpan internal bagi CPU.
- ❑ *CPU Interconnection*, berfungsi menghubungkan seluruh bagian dari CPU.

1.3.2. Fungsi Komputer

Fungsi dasar sistem komputer adalah sederhana seperti terlihat pada gambar 1.3. Pada prinsipnya terdapat empat buah fungsi operasi, yaitu :

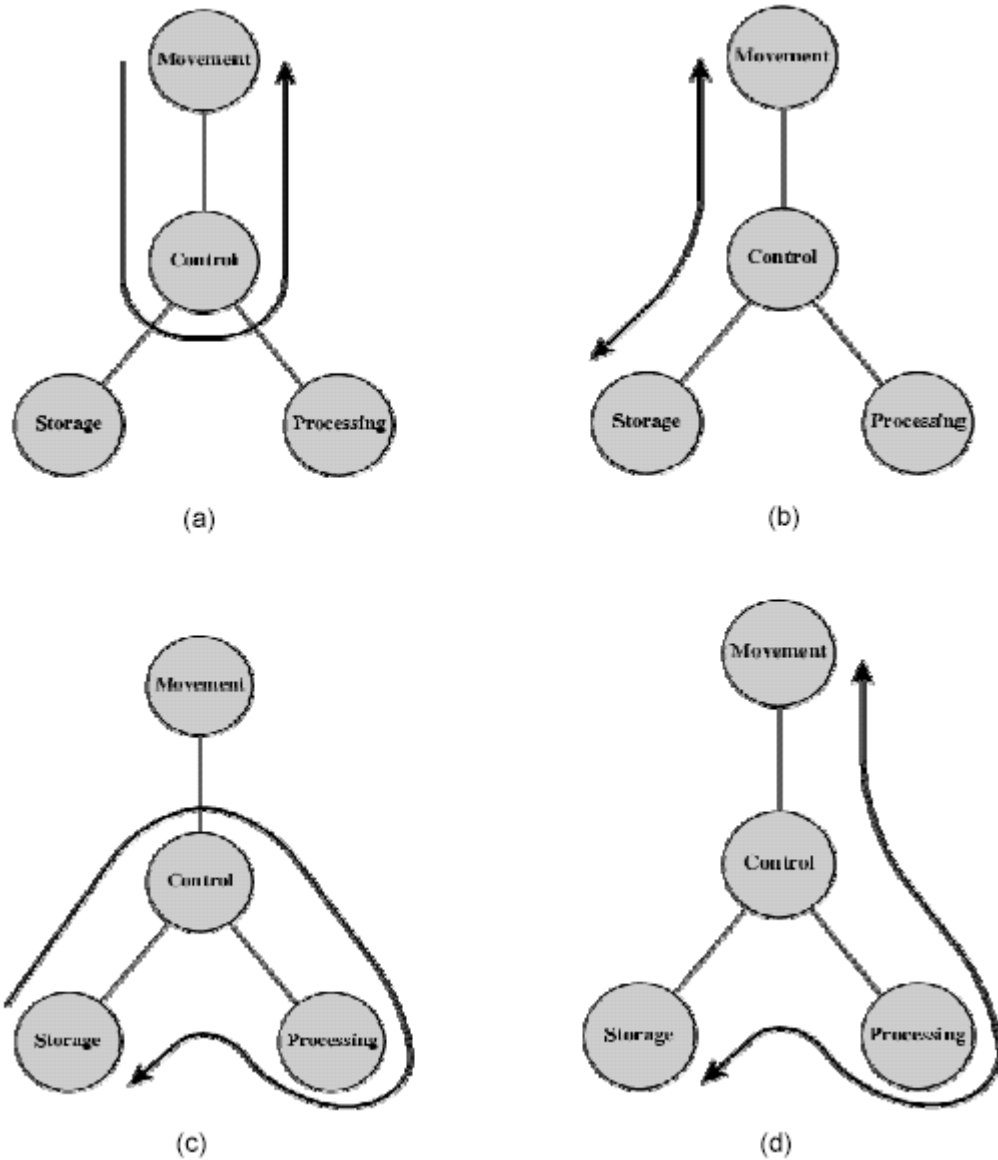
- ❑ Fungsi Operasi Pengolahan Data
- ❑ Fungsi Operasi Penyimpanan Data
- ❑ Fungsi Operasi Pemindahan Data
- ❑ Fungsi Operasi Kontrol



Gambar 1.3. Fungsi Komputer

Komputer harus dapat *memproses data*. Representasi data di sini bermacam-macam, akan tetapi nantinya data harus disesuaikan dengan mesin pemrosesnya. Dalam pengolahan data,

komputer memerlukan unit penyimpanan sehingga diperlukan suatu mekanisme *penyimpanan data*. Walaupun hasil komputer digunakan saat itu, setidaknya komputer memerlukan media penyimpanan untuk data prosesnya. Dalam interaksi dengan dunia luar sebagai fungsi *pemindahan data* diperlukan antarmuka (*interface*), proses ini dilakukan oleh unit *Input/Output (I/O)* dan perangkatnya disebut *peripheral*. Saat interaksi dengan perpindahan data yang jauh atau dari remote device, komputer melakukan proses *komunikasi data*. Gambar 1.4 mengilustrasikan operasi-operasi komputer. Gambar 1.4a adalah operasi pemindahan data, gambar 1.24 adalah operasi penyimpanan data, gambar 1.4c dan gambar 1.4d adalah operasi pengolahan data.



Gambar 1.4. Operasi-operasi Komputer

1.4. Garis Besar Buku

Bab 1 Pengantar Organisasi Komputer.

Berisi penjelasan tentang organisasi komputer, perbedaan utama organisasi komputer dengan arsitektur komputer, struktur dan fungsi utama komputer, konsep dasar operasi komputer, dan garis besar dari buku yang dipelajari.

Bab 2 Evolusi dan Kinerja Komputer

Berisi penjelasan tentang sejarah teknologi komputer, trend teknologi yang telah membuat unjuk kerja yang menjadi fokus rancangan sistem komputer, dan meninjau bermacam-macam teknik dan strategi yang digunakan untuk mencapai unjuk kerja yang seimbang dan efisien, perkembangan pentium dan powerPC.

Bab 3 Struktur CPU

Berisi penjelasan tentang komponen utama CPU dan Fungsi CPU, pembahasan struktur dan fungsi internal prosesor, organisasi ALU, control unit dan register, dan fungsi prosesor dalam menjalankan instruksi-instruksi mesin.

Bab 4 Memori

Berisi penjelasan tentang memori utama komputer, tipe dari memori, waktu dan pengontrolan, pembetulan kesalahan dan cache memori termasuk didalamnya adalah fungsi pemetaan.

Bab 5 Peralatan Penyimpanan

Berisi penjelasan tentang peralatan penyimpanan data diluar memori utama dan CPU, diantaranya seperti magnet disk, RAID, Magnet Tape dan Optical Disk.

Bab 6 Unit Masukan dan Keluaran

Berisi penjelasan tentang system komputer unit input/output, prinsip dan teknik untit input/output dan penjelasan singkat mengenai peralatan luar (External device).

Bab 7 Bus

Berisi penjelasan tentang struktur antar hubungan, bus antar hubungan, elemen dari desain bus, PCI, SCSI, Fire wire dan USB.

Evolusi dan Kinerja Komputer

Dalam bab ini mula-mula akan dibahas tentang sejarah singkat komputer karena beberapa diantaranya merupakan dasar dari perkembangan komputer saat ini. Kemudian dibahas mengenai bermacam-macam teknik dan strategi yang digunakan untuk mencapai unjuk kerja yang seimbang dan efisien. Terakhir akan dibahas evolusi dua system yang sangat penting pada komputer saat ini yaitu Pentium dan PowerPC.

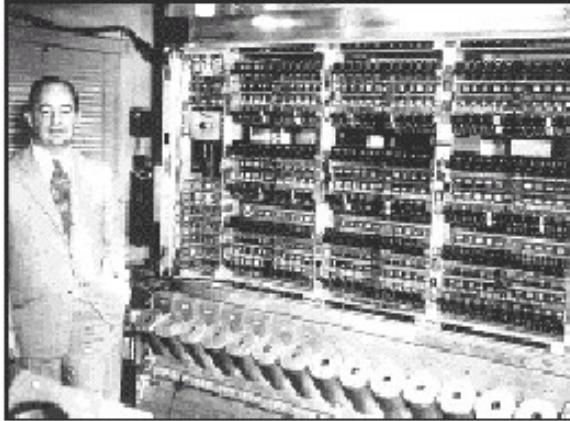
2.1. Sejarah Singkat Komputer

2.1.1 Generasi Pertama : Tabung Vakum (1945 – 1955)

ENIAC

ENIAC (*Electronic Numerical Integrator And Computer*), pada tahun 1946 dirancang dan dibuat oleh John Mauchly dan John Presper Eckert di Universitas Pennsylvania merupakan komputer digital elektronik untuk kebutuhan umum pertama di dunia. ENIAC dibuat di bawah lembaga *Army's Ballistics Research Laboratory* (BRL). Sebuah badan yang bertanggung jawab dalam pembuatan jarak dan tabel lintasan peluru kendali senjata baru. Sebelumnya tugas ini dilakukan oleh kurang lebih 200 personil dengan menggunakan kalkulator untuk menyelesaikan persamaan matematis peluru kendali yang memakan waktu lama.

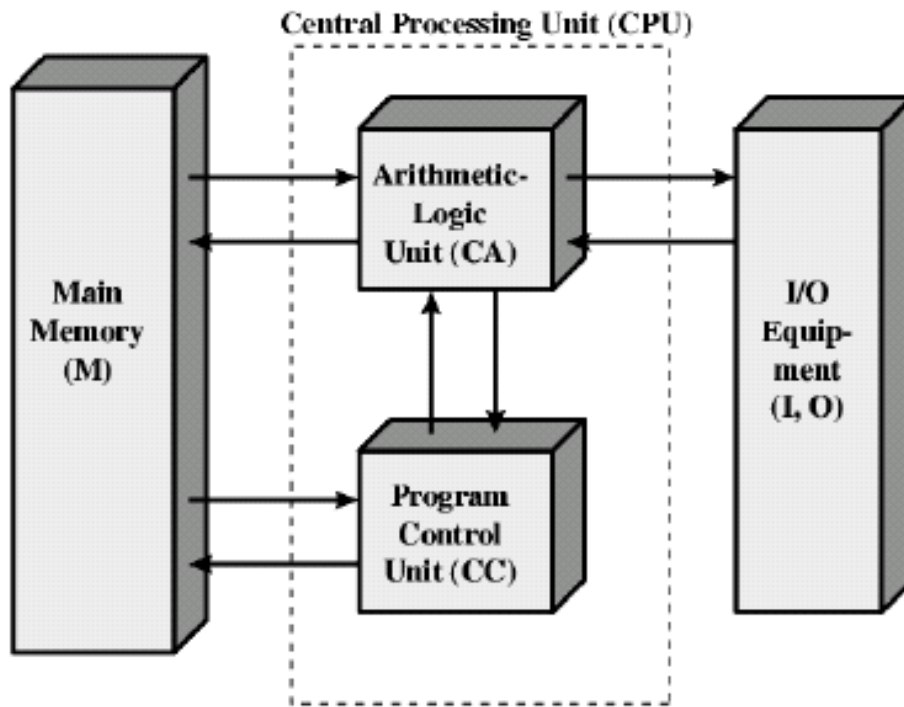
ENIAC mempunyai berat 30 ton, bervolume 15.000 kaki persegi, dan berisi lebih dari 18.000 tabung vakum. Daya listrik yang dibutuhkan sebesar 140 KW. Kecepatan operasi mencapai 5.000 operasi penambahan per detik. ENIAC masih merupakan mesin desimal, representasi data bilangan dalam bentuk desimal dan aritmetiknya dibuat dalam bentuk desimal. Memoriya terdiri atas 20 akumulator, yang masing – masing akumulatornya mampu menampung 10 digit desimal. Setiap digit direpresentasikan oleh cincin yang terdiri atas 10 buah tabung vakum. Kekurangan utama mesin ini adalah masih manual pemrogramannya, yaitu dengan menyetel switch – switch, memasang dan menanggalkan kabel – kabelnya. ENIAC selesai pada tahun 1946 sejak proposal diajukan tahun 1943, sehingga tahun 1946 merupakan gerbang bagi zaman baru komputer elektronik.



John Van Neumann seorang ahli matematika yang merupakan konsultan pembuatan ENIAC pada tahun 1945 mencoba memperbaiki kelemahan ENIAC dengan rancangan komputer barunya, bernama **EDVAC** (*Electronic Discrete Variable Computer*) dengan konsep program tersimpan (*stored-program concept*)

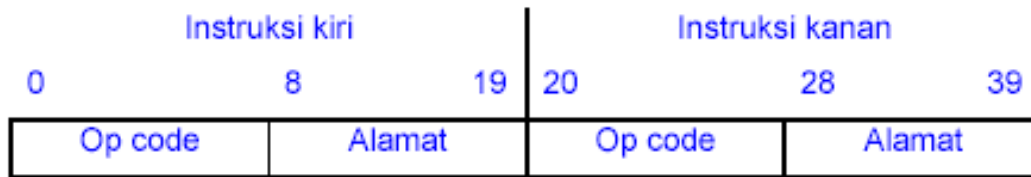
Tahun 1946 komputer dengan *stored-program concept* dipublikasikan, yang kemudian di kenal dengan **Komputer IAS** (*Computer of Institute for Advanced Studies*). Struktur komputer IAS terlihat pada gambar 2.1. Komputer ini terdiri :

- *Memori Utama*, untuk menyimpan data maupun instruksi.
- *Arithmetic Logic Unit (ALU)*, untuk mengolah data biner.
- *Control Unit*, untuk melakukan interpretasi instruksi – instruksi di dalam memori sehingga adanya eksekusi instruksi tersebut.
- *I/O*, untuk berinteraksi dengan lingkungan luar.



Gambar 2.1 Struktur Komputer IAS

Memori IAS terdiri atas 1.000 lokasi penyimpanan yang disebut *word*. Word terdiri atas 40 *binary digit* (bit). Data maupun instruksi disimpan dalam memori ini, sehingga data maupun instruksi harus dikodekan dalam bentuk biner. Format memori terlihat pada gambar 2.2. Setiap bilangan terdiri atas sebuah bit tanda dan 39 bit nilai. Sebuah word terdiri atas 20 bit instruksi dengan masing – masing 8 bit kode operasi (*op code*) dan 12 bit alamat.



Gambar 2.2 Format memori IAS

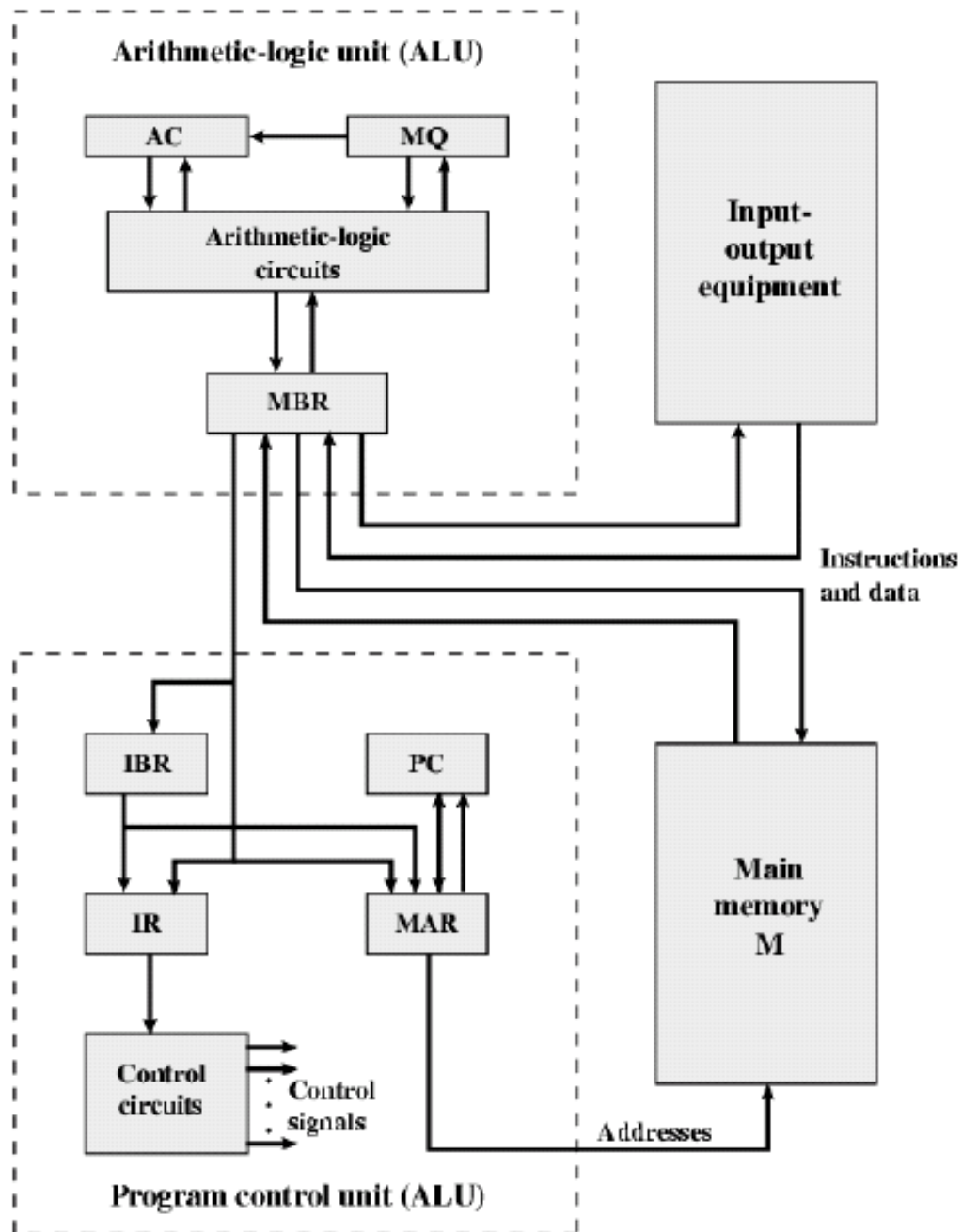
Struktur detail komputer IAS disajikan dalam gambar 2.3. Gambar ini menjelaskan bahwa baik unit kontrol maupun ALU berisi lokasi – lokasi penyimpanan, yang disebut *register*, yaitu :

- *Memory Buffer Register (MBR)*, berisi sebuah word yang akan disimpan di dalam memori atau digunakan untuk menerima word dari memori.
- *Memory Address Register (MAR)*, untuk menentukan alamat word di memori untuk dituliskan dari MBR atau dibaca oleh MBR.
- *Instruction Register (IR)*, berisi instruksi 8 bit kode operasi yang akan dieksekusi.
- *Instruction Buffer Register (IBR)*, digunakan untuk penyimpanan sementara instruksi sebelah kanan word di dalam memori.
- *Program Counter (PC)*, berisi alamat pasangan instruksi berikutnya yang akan diambil dari memori.
- *Accumulator (AC)* dan *Multiplier Quotient (MQ)*, digunakan untuk penyimpanan sementara operand dan hasil ALU. Misalnya, hasil perkalian 2 buah bilangan 40 bit adalah sebuah bilangan 80 bit; 40 bit yang paling berarti (*most significant bit*) disimpan dalam AC dan 40 bit lainnya (*least significant bit*) disimpan dalam MQ.

IAS beroperasi secara berulang membentuk *siklus instruksi*. Komputer IAS memiliki 21 instruksi, yang dapat dikelompokkan seperti berikut ini :

- *Data transfer*, memindahkan data di antara memori dengan register – register ALU atau antara dua register ALU sendiri.
- *Unconditional branch*, perintah – perintah eksekusi percabangan tanpa syarat tertentu.
- *Conditional branch*, perintah – perintah eksekusi percabangan yang memerlukan syarat tertentu agar dihasilkan suatu nilai dari percabangan tersebut.

- *Arithmetic*, kumpulan operasi – operasi yang dibentuk oleh ALU.
- *Address Modify*, instruksi – instruksi yang memungkinkan perubahan alamat saat di komputasi sehingga memungkinkan fleksibilitas alamat yang tinggi pada program.



Gambar 2.3 Struktur detail komputer IAS

Komputer Komersial

Tahun 1950 dianggap sebagai tahun kelahiran industri komputer dengan munculnya 2 buah perusahaan yang saat itu mendominasi pasar, yaitu Sperry dan IBM.

Tahun 1947, Eckert dan Mauchly mendirikan Eckert-Mauchly Computer Corporation untuk memproduksi komputer secara komersial. Komputer pertama yang mereka hasilkan adalah UNIVAC I (*Universal Automatic Computer*). UNIVAC I menjadi tulang punggung penghitungan sensus tahun 1950 di USA.

UNIVAC II yang memiliki kapasitas memori lebih besar dan kinerja yang lebih baik diluncurkan tahun 1950. Mulai saat itu perusahaan telah mengembangkan produk – produk baru yang kompatibel dengan produk sebelumnya sehingga pangsa pasar konsumen mereka tetap terjaga menggunakan produknya.

IBM pun tidak mau kalah dengan mengeluarkan produk mereka yang akhirnya mendominasi pangsa pasar bisnis saat ini. Seri IBM pertama adalah seri 701 tahun 1953 dan terus berkembang menjadi lebih baik hingga sekarang.

2.1.2 Generasi Kedua : Transistor (1955 – 1965)

Sejak pesatnya teknologi semikonduktor hingga menghasilkan komponen transistor membawa perubahan besar pada dunia komputer. Komputer era ini tidak lagi menggunakan tabung vakum yang memerlukan daya operasional besar, tabung – tabung itu digantikan komponen kecil bernama transistor. Konsumsi daya listrik amat kecil dan bentuknyapun relatif kecil.

Transistor ditemukan di Bell Labs pada tahun 1947 dan tahun 1950 telah meluncurkan revolusi elektronika modern. IBM sebagai perusahaan pertama yang meluncurkan produk komputer dengan transistor sehingga tetap mendominasi pangsa pasar komputer. NCR dan RCA adalah perusahaan yang mengembangkan komputer berukuran kecil saat itu, kemudian diikuti IBM dengan mengeluarkan seri 7000-nya.

Dengan adanya transistor membuat hardware komputer saat itu makin cepat prosesnya, lihat Tabel 2.1. Memori makin besar kapasitasnya namun makin kecil bentuknya. Generasi dua ini juga terdapat perubahan perkembangan pada ALU yang makin kompleks, lahirnya bahasa pemrograman tingkat tinggi maupun tersedianya software sistem operasi.

Generasi kedua juga ditandai munculnya Digital Equipment Corporation (DEC) tahun 1957 dan meluncurkan komputer pertamanya, yaitu PDP 1. Komputer ini sangat penting bagi perkembangan komputer generasi ketiga.

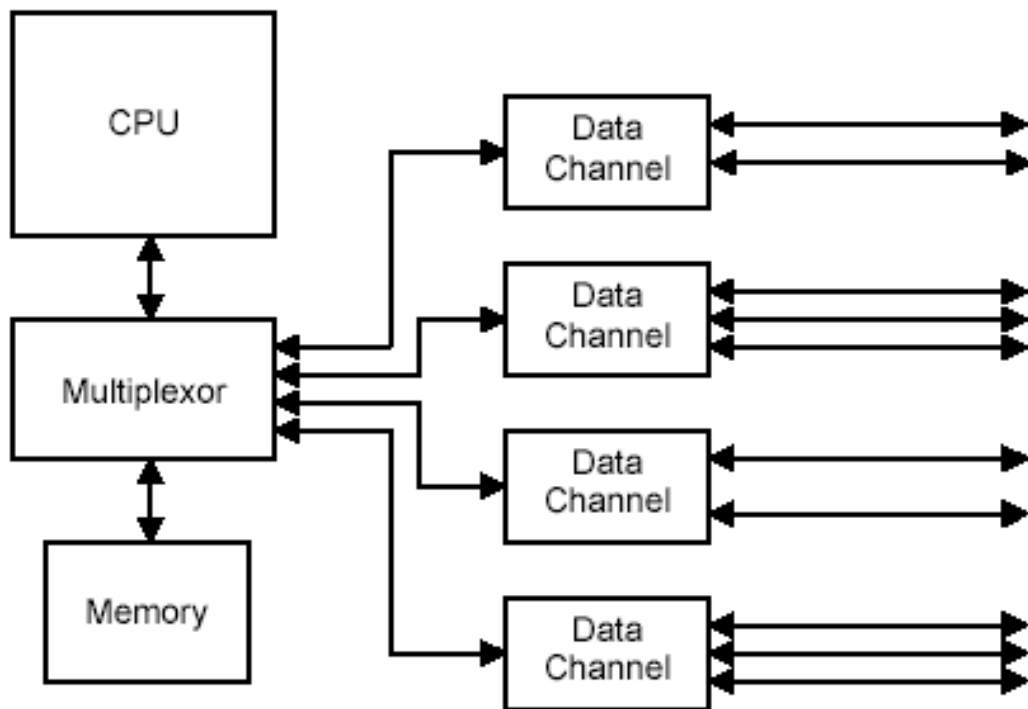
Tabel 2.1 Kecepatan Generasi – Generasi Komputer

Gen	Tahun	Teknologi	Kec (operasi/detik)
1	1946 – 1957	Tabung Vakum	40.000
2	1958 – 1964	Transistor	200.000
3	1965 – 1971	Small and medium scale integration	1.000.000
4	1972 – 1977	Large scale integration	10.000.000
5	1978 -	Very large scale integration	100.000.000

IBM 7094

Komputer ini diluncurkan tahun 1962. Kemajuan IBM 7094 adalah adanya *Instruction Backup Register (IBR)* yang berfungsi membeffer instruksi berikutnya, efeknya komputer akan lebih cepat prosesnya. Unit kontrol mengambil dua word yang berdampingan dari memori untuk sebuah pengambilan instruksi, kecuali bila terjadi percabangan.

Kemajuan IBM 7094 lainnya adalah adanya *multiplexor* untuk memultiplex *data channel* (saluran data). Multiplexor berfungsi sebagai sentral switch data yang akan diproses dalam CPU. Gambar 2.5 merupakan konfigurasi IMB 7094.



Gambar 2.5 Konfigurasi IBM 7094

1.1.3 Generasi Ketiga : Integrated Circuits (1965 – 1980)

Pada tahun 1958 terjadi revolusi elektronika kembali, yaitu ditemukannya *integrated circuit* (IC) yang merupakan penggabungan komponen – komponen elektronika dalam suatu paket. Dengan ditemukan IC ini semakin mempercepat proses komputer, kapasitas memori makin besar dan bentuknya semakin kecil.

IBM System/360

Tahun 1964 dikeluarkan IBM System/360 yang telah menggunakan teknologi IC. Dalam satu dekade IBM menguasai 70% pasaran komputer.

Sistem 360 merupakan kelompok komputer pertama yang terencana. Banyak model dalam arsitektur 360 ini dan saling kompatibel. Hal ini sangat menguntungkan konsumen, karena konsumen dapat menyesuaikan dengan kebutuhan maupun harganya. Pengembangan (*upgrading*) dimungkinkan dalam komputer ini. Karakteristik komputer kelompok ini adalah :

- *Set Instruksi Mirip atau Identik*, dalam kelompok komputer ini berbagai model yang dikeluarkan menggunakan set instruksi yang sama sehingga mendukung kompatibilitas sistem maupun perangkat kerasnya.
- *Sistem Operasi Mirip atau Identik*, ini merupakan feature yang menguntungkan konsumen sehingga apabila kebutuhan menuntut penggantian komputer tidak kesulitan dalam sistem operasinya karena sama.
- *Kecepatan yang meningkat*, model – model yang ditawarkan mulai dari kecepatan rendah sampai kecepatan tinggi untuk penggunaan yang dapat disesuaikan konsumen sendiri.
- *Ukuran Memori yang lebih besar*, semakin tinggi modelnya akan diperoleh semakin besar memori yang digunakan.
- *Harga yang meningkat*, semakin tinggi modelnya maka harganya semakin mahal.

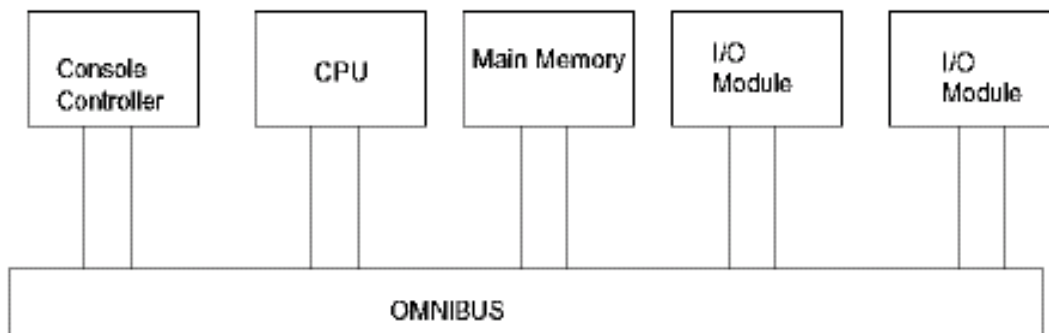
Tabel 2.2 Karakteristik Penting Kelompok System/360

Karakteristik	Model 30	Model 40	Model 50	Model 65	Model 75
Ukuran memori (Kb)	64	256	256	512	512
Laju data dari memori (Mbytes/det)	0.5	0.8	2.0	8.0	16.0
Prosesor cycle time (μ detik)	1.0	0.625	0.5	0.25	0.2
Jumlah maksimum data channel	3	3	4	6	6
Data maks per channel (Kbps)	250	400	800	1250	1250

DEC PDP-8

Pada tahun yang sama saat IBM mengeluarkan System/360, DEC meluncurkan DEC PDP-8. Komputer ini memiliki keunggulan bentuknya yang kecil sehingga sangat fleksibel digunakan. PDP-8 juga memiliki varian – varian yang modelnya sama dengan IBM System/360 untuk menyesuaikan kebutuhan pelanggannya. Dengan hadirnya PDP-8 ini membawa DEC sebagai perusahaan menyuplai komputer mini terbesar membawa DEC sebagai pabrik komputer terbesar kedua setelah IBM.

Arsitektur PDP-8 sangat berbeda dengan IBM terutama bagian sistem *bus*. Pada komputer ini menggunakan *omnibus system*. Sistem ini terdiri atas 96 buah lintasan sinyal yang terpisah, yang digunakan untuk membawa sinyal – sinyal kontrol, alamat maupun data. Karena semua komponen menggunakan jalur bus ini maka penggunaannya dikontrol oleh CPU. Arsitektur bus seperti PDP-8 ini nantinya digunakan oleh komputer – komputer modern selanjutnya. Struktur bus PDP-8 terlihat pada gambar 2.6.



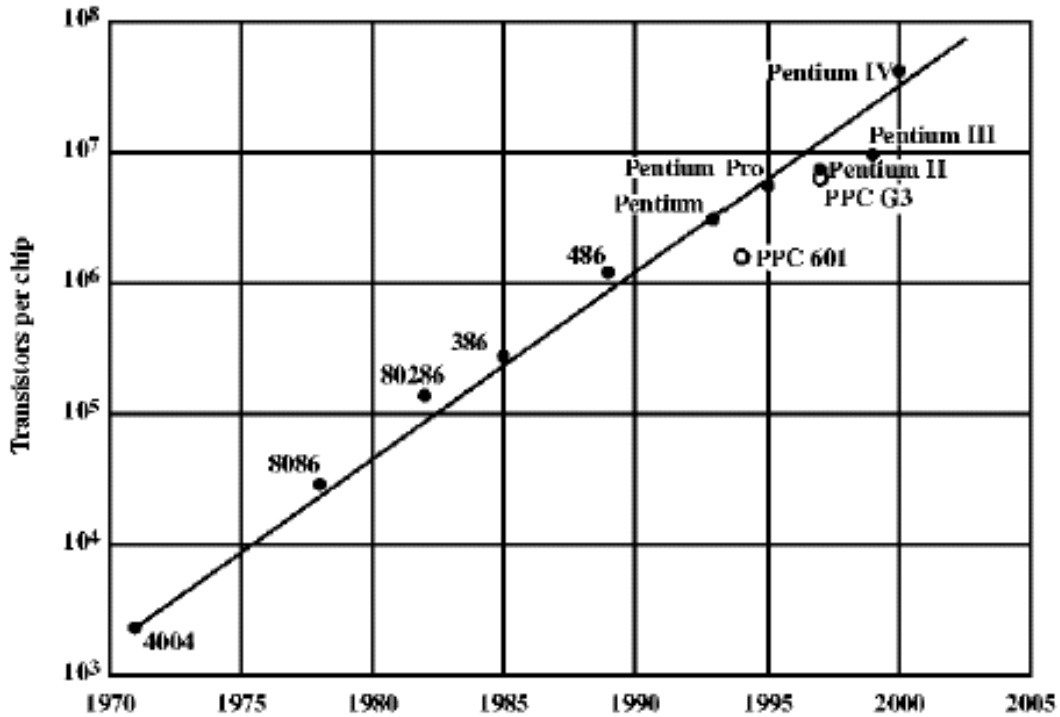
Gambar 2.6 Struktur bus PDP-8

1.1.4 Generasi Keempat : Very Large Scale Integration (1980 - ????)

Era keempat perkembangan generasi komputer ditandai adanya VLSI. Paket VLSI dapat menampung 10.000 komponen lebih per kepingnya dengan kecepatan operasi mencapai 100juta operasi per detik. Gambar 2.7 mengilustrasikan perkembangan mikroprosesor Pentium terhadap jumlah transistor per kepingnya.

Masa – masa ini diawali peluncuran mikroprosesor Intel seri 4004. Mikroprosesor 4004 dapat menambahkan dua bilangan 4 bit dan hanya dapat mengalikan dengan cara pengulangan penambahan. Memang masih primitif, namun mikroprosesor ini tonggak perkembangan mikroprosesor – mikroprosesor canggih saat ini. Tidak ada ukuran pasti dalam melihat mikroprosesor, namun ukuran terbaik adalah *lebar bus data* : jumlah bit data yang dapat dikirim – diterima mikroprosesor. Ukuran lain adalah *jumlah bit dalam register*.

Tahun 1972 diperkenalkan dengan mikroprosesor 8008 yang merupakan mikroprosesor 8 bit. Mikroprosesor ini lebih kompleks instruksinya tetapi lebih cepat prosesnya dari pendahulunya. Kemudian Bells dan HP menciptakan mikroprosesor 32 bit pada 1981, sedangkan Intel baru mengeluarkan tahun 1985 dengan mikroprosesor 80386.



Gambar 2.7 Grafik jumlah transistor dalam chips Pentium

Tabel 2.3 Evolusi mikroprosesor Intel

Feature	8008	8080	8086	80386	80486
Tahun diperkenalkan	1972	1974	1978	1985	1989
Jumlah instruksi	66	111	133	154	235
Lebar bus alamat	8	16	20	32	32
Lebar bus data	8	8	16	32	32
Jumlah flag	4	5	9	14	14
Jumlah register	8	8	16	8	8
Memori	15KB	64KB	1MB	4GB	4GB
I/O port	24	256	64KB	64KB	4GB
Waktu add register to register	-	1.3µ det	0.3µ det	0.125µ det	0.06µ det

1.2 Perancangan Kinerja

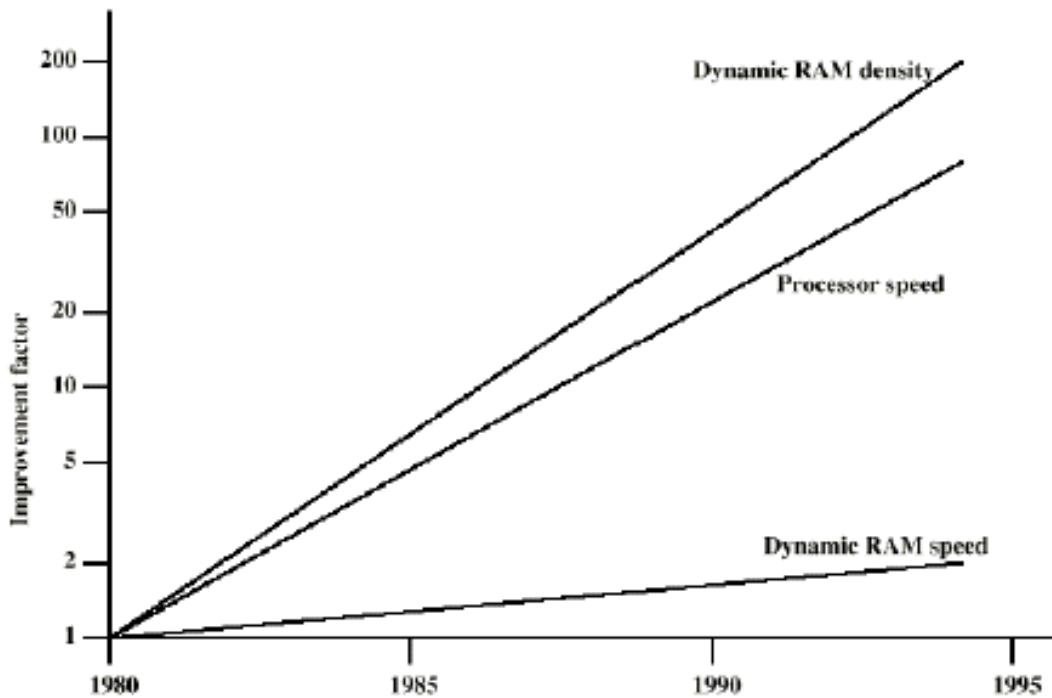
Kinerja sebuah sistem komputer merupakan hasil proses dari seluruh komponen komputer, yang melibatkan CPU, memori utama, memori sekunder, bus, peripheral. Dari segi perkembangan program aplikasinya sangat menakjubkan. Aplikasi dekstop yang hampir dimiliki semua sistem komputer saat ini meliputi :

- Pengolahan citra
- Pengenalan voice atau pembicaraan
- Video conference
- Multimedia
- Transfer data

Yang menakjubkan lagi adalah dari sudut pandang organisasi dan arsitektur komputer saat ini adalah mirip dengan komputer IAS yang dibuat sekitar 50 tahun lalu, namun perkembangan dan kecanggihannya dapat kita rasakan sekarang ini. Peningkatan kinerja mikroprosesor ini terus berlanjut tidak kenal henti dengan berbagai teknik yang telah dikembangkan, diantaranya :

- *Branch Prediction*, teknik dimana prosesor memungkinkan mengamati terlebih dahulu di dalam software dan melakukan prediksi percabangan atau kelompok instruksi yang akan dieksekusi berikutnya.
- *Data Flow Analysis*, prosesor akan menganalisa instruksi – instruksi yang tidak tergantung pada hasil atau data lainnya untuk membuat penjadwalan yang optimum dalam eksekusi.
- *Speculative Execution*, dengan modal prediksi cabang dan analisis data, maka prosesor dapat melakukan eksekusi spekulatif terlebih dahulu sebelum waktunya.

Perkembangan mikroprosesor, dilihat dari kapasitas operasi dan kecepatannya sangatlah pesat. Perkembangan mikroprosesor ini sulit diimbangi oleh komponen lainnya semisal memori. Hal ini menimbulkan masalah kesenjangan dan kurang sinkronnya operasi antar komponen. Perhatikan laju perkembangan prosesor dibandingkan memori utama seperti terlihat pada gambar 2.8. Organisasi dan arsitektur komputer yang handal sangat diperlukan untuk mengatasi persoalan seperti ini.



Gambar 2.8 Grafik perbandingan kecepatan mikroprosesor dan memori

Terdapat beberapa metode untuk mengatasi masalah perbedaan kecepatan operasi antara mikroprosesor dengan komponen lainnya, diantaranya :

- Meningkatkan jumlah bit yang dicari pada suatu saat tertentu dengan melebarkan DRAM dan melebarkan lintasa sistem busnya.
- Mengubah antarmuka DRAM sehingga lebih efisien dengan menggunakan teknik *cache* atau pola *buffer* lainnya pada keping DRAM.
- Meningkatkan bandwidth interkoneksi prosesor dan memori dengan penggunaan hierarki bus – bus yang lebih cepat untuk *buffering* dan membuat struktur aliran data.

Bidang lain yang menjadi fokus kajian peningkatan kinerja sistem komputer adalah penanganan perangkat – perangkat I/O. Masalah yang terjadi hampir sama dengan memori. Teknik penyelesaian yang digunakan umumnya adalah teknik *buffering* dan *caching*.

Target yang ingin dicapai dalam peningkatan kinerja adalah tercapainya keseimbangan proses operasi antar komponen – komponen penyusun komputer sehingga menghasilkan kinerja komputer yang tinggi.

1.3 Contoh Evolusi Komputer

Evolusi komputer yang akan dijelaskan adalah kelompok komputer Pentium Intel dan PowerPC. Alasannya adalah komputer Pentium Intel mampu mendominasi pasaran dan secara

teknologi menggunakan rancangan CISC (*complex instruction set computers*) dalam arsitekturnya. Sedangkan PowerPC merupakan kelompok komputer yang menerapkan teknologi RISC (*reduced instruction set computers*). Detail tentang CISC dan RISC akan dijelaskan dalam matakuliah Arsitektur CPU.

Pentium

Pentium merupakan produk Intel yang mampu mendominasi pasaran prosesor hingga saat ini. Generasi demi generasi diluncurkan ke pasaran dengan kenaikan unjuk kerja yang menakjubkan dalam memenuhi kebutuhan konsumennya.

Berikut evolusi prosesor keluaran Intel dari prosesor sederhana sampai prosesor keluaran saat ini:

- 8080, keluar tahun 1972 merupakan mikroprosesor pertama keluaran Intel dengan mesin 8 bit dan bus data ke memori juga 8 bit. Jumlah instruksinya 66 instruksi dengan kemampuan pengalamatan 16KB.
- 8086, dikenalkan tahun 1974 adalah mikroprosesor 16 bit dengan teknologi cache instruksi. Jumlah instruksi mencapai 111 dan kemampuan pengalamatan ke memori 64KB.
- 80286, keluar tahun 1982 merupakan pengembangan dari 8086, kemampuan pengalamatan mencapai 1MB dengan 133 instruksi.
- 80386, keluar tahun 1985 dengan mesin 32 bit. Sudah mendukung sistem multitasking. Dengan mesin 32 bitnya, produk ini mampu menjadi terunggul pada masa itu.
- 80486, dikenalkan tahun 1989. Kemajuannya pada teknologi *cache* memori dan *pipelining* instruksi. Sudah dilengkapi dengan *math co-processor*.
- Pentium, dikeluarkan tahun 1993, menggunakan teknologi *superscalar* sehingga memungkinkan eksekusi instruksi secara paralel.
- Pentium Pro, keluar tahun 1995. Kemajuannya pada peningkatan organisasi *superscalar* untuk proses paralel, ditemukan sistem prediksi cabang, analisa aliran data dan sistem cache memori yang makin canggih.
- Pentium II, keluar sekitar tahun 1997 dengan teknologi MMX sehingga mampu menangani kebutuhan multimedia. Mulai Pentium II telah menggunakan teknologi RISC.
- Pentium III, terdapat kemampuan instruksi *floating point* untuk menangani grafis 3D.
- Pentium IV, kemampuan *floating point* dan multimedia semakin canggih.
- Itanium, memiliki kemampuan 2 unit *floating point*, 4 unit integer, 3 unit pencabangan, internet streaming, 128 interger register.

PowerPC

Proyek sistem RISC diawali tahun 1975 oleh IBM pada komputer muni seri 801. Seri pertama ini hanyalah prototipe, seri komersialnya adalah PC RT yang dikenalkan tahun 1986. Tahun 1990 IBM mengeluarkan generasi berikutnya yaitu IBM RISC System/6000 yang merupakan mesin RISC superskalar workstation. Setelah ini arsitektur IBM lebih dikenal sebagai arsitektur POWER.

IBM menjalin kerja sama dengan Motorola menghasilkan mikroprosesor seri 6800, kemudian Apple menggunakan keping Motorola dalam Macintoshnya. Saat ini terdapat 4 kelompok PowerPC, yaitu :

- 601, adalah mesin 32 bit merupakan produksi awal arsitektur PowerPC untuk lebih dikenal masyarakat.
- 603, merupakan komputer desktop dan komputer portabel. Kelompok ini sama dengan seri 601 namun lebih murah untuk keperluan efisien.
- 604, seri komputer PowerPC untuk kegunaan komputer *low-end server* dan komputer desktop.
- 620, ditujukan untuk penggunaan *high-end server*. Mesin dengan arsitektur 64 bit.
- 740/750, seri dengan cache L2.
- G4, seperti seri 750 tetapi lebih cepat dan menggunakan 8 instruksi paralel.

Struktur CPU

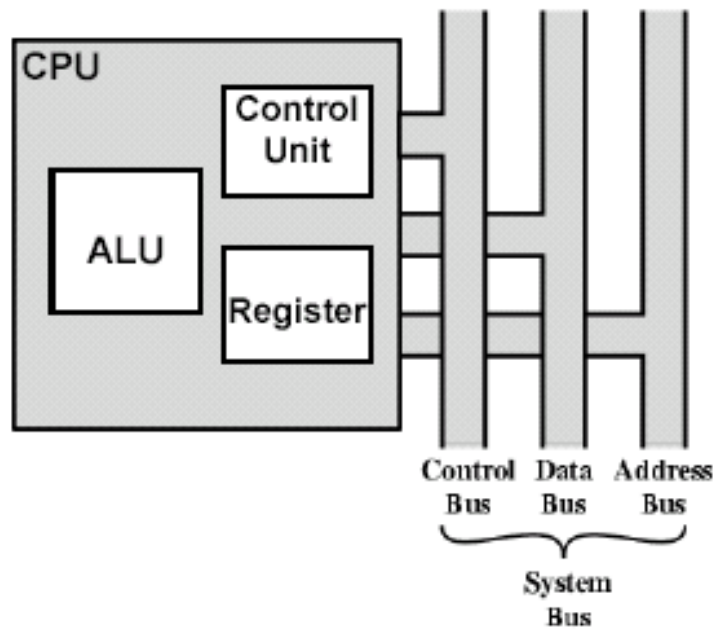
Seperti telah dijelaskan pada bagian pengantar, bahwa komputer digital terdiri dari sistem prosesor atau sering disebut CPU, memori – memori, dan piranti masukan/keluaran yang saling berhubungan dan saling dukung mewujudkan fungsi operasi komputer secara keseluruhan.

3.1 Komponen Utama CPU

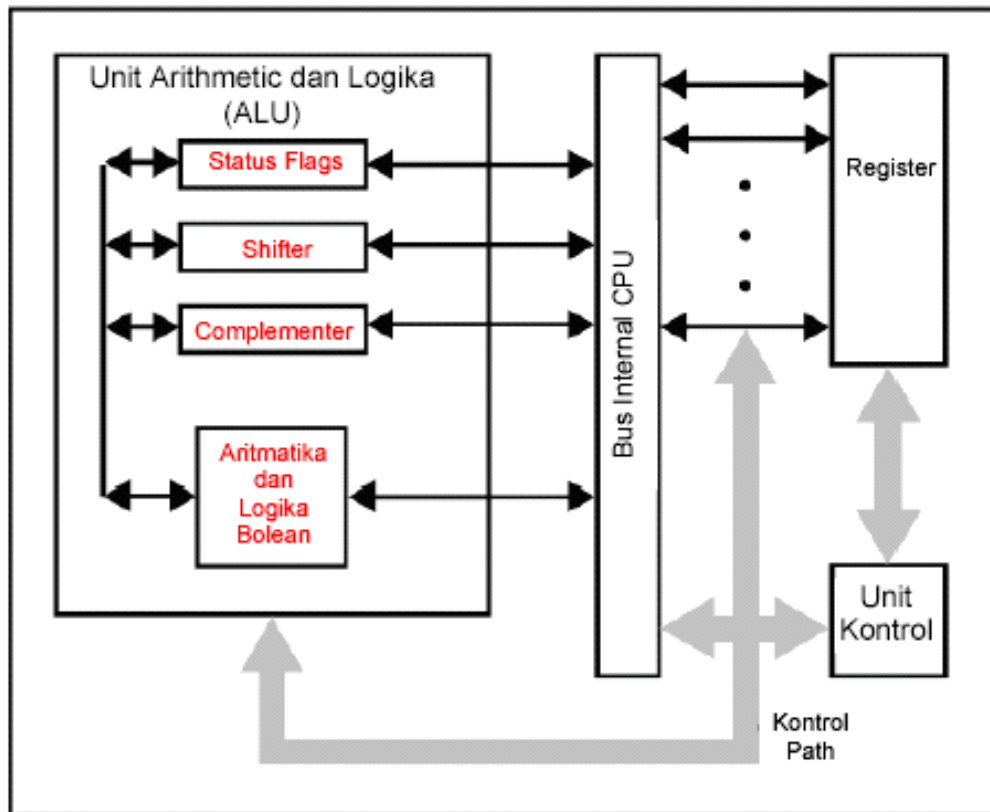
CPU merupakan komponen terpenting dari sistem komputer. CPU adalah komponen pengolah data berdasarkan instruksi – instruksi yang diberikan kepadanya.

Dalam mewujudkan fungsi dan tugasnya, CPU tersusun atas beberapa komponen sebagai bagian dari struktur CPU, seperti terlihat pada gambar 3.1 dan struktur detail internal CPU terlihat pada gambar 3.2. CPU tersusun atas beberapa komponen, yaitu :

- *Arithmetic and Logic Unit (ALU)*, bertugas membentuk fungsi – fungsi pengolahan data komputer. ALU sering disebut *mesin bahasa (machine language)* karena bagian ini mengerjakan instruksi – instruksi bahasa mesin yang diberikan padanya. Seperti istilahnya, ALU terdiri dari dua bagian, yaitu unit aritmetika dan unit logika boolean, yang masing – masing memiliki spesifikasi tugas tersendiri.
- *Control Unit*, bertugas mengontrol operasi CPU dan secara keseluruhan mengontrol komputer sehingga terjadi sinkronisasi kerja antar komponen dalam menjalankan fungsi – fungsi operasinya. Termasuk dalam tanggung jawab unit kontrol adalah mengambil instruksi – instruksi dari memori utama dan menentukan jenis instruksi tersebut.
- *Registers*, adalah media penyimpanan internal CPU yang digunakan saat proses pengolahan data. Memori ini bersifat sementara, biasanya digunakan untuk menyimpan data saat diolah ataupun data untuk pengolahan selanjutnya.
- *CPU Interconnections*, adalah sistem koneksi dan bus yang menghubungkan komponen internal CPU, yaitu ALU, unit kontrol dan register – register dan juga dengan bus – bus eksternal CPU yang menghubungkan dengan sistem lainnya, seperti memori utama, piranti masukan/keluaran.



Gambar 3.1 Komponen internal CPU

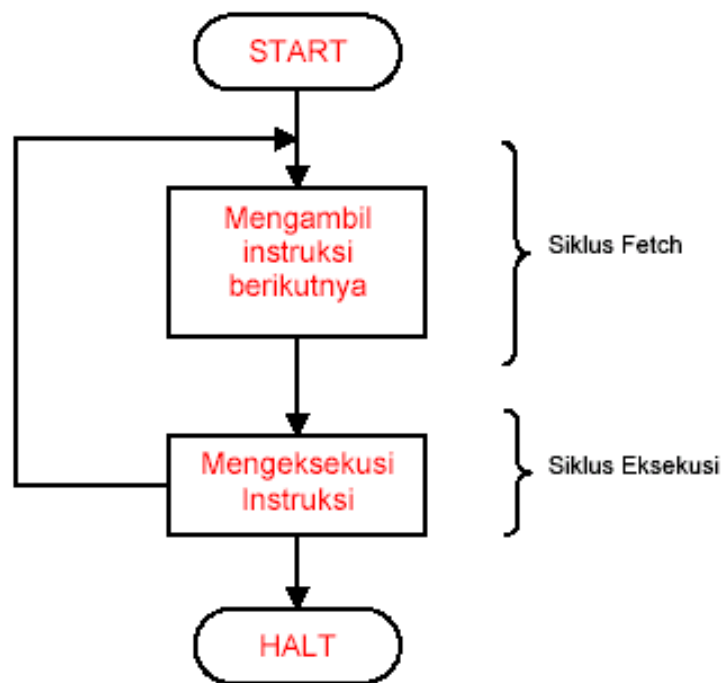


Gambar 3.2 Struktur detail internal CPU

3.2 Fungsi CPU

Fungsi CPU adalah menjalankan program – program yang disimpan dalam memori utama dengan cara mengambil instruksi – instruksi, menguji instruksi tersebut dan mengeksekusinya satu persatu sesuai alur perintah.

Untuk memahami fungsi CPU dan caranya berinteraksi dengan komponen lain, perlu kita tinjau lebih jauh proses eksekusi program. Pandangan paling sederhana proses eksekusi program adalah dengan mengambil pengolahan instruksi yang terdiri dari dua langkah, yaitu : operasi pembacaan instruksi (*fetch*) dan operasi pelaksanaan instruksi (*execute*). *Siklus instruksi* yang terdiri dari siklus fetch dan siklus eksekusi diperlihatkan pada gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 Siklus instruksi dasar

3.2.1 Siklus Fetch - Eksekusi

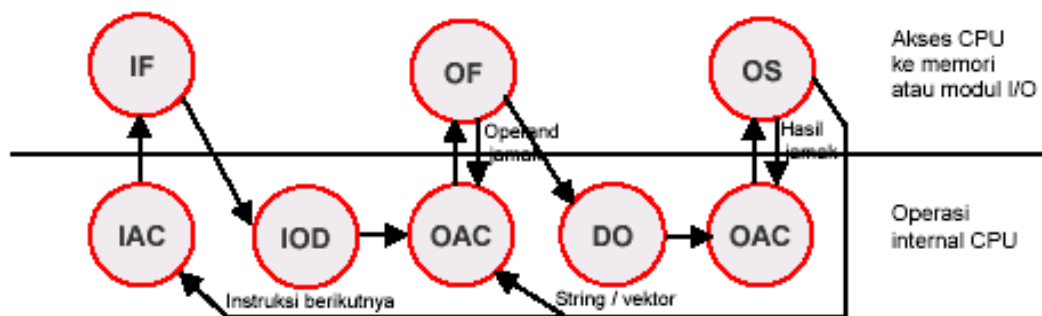
Pada setiap siklus instruksi, CPU awalnya akan membaca instruksi dari memori. Terdapat register dalam CPU yang berfungsi mengawasi dan menghitung instruksi selanjutnya, yang disebut *Program Counter* (PC). PC akan menambah satu hitungannya setiap kali CPU membaca instruksi.

Instruksi – instruksi yang dibaca akan dibuat dalam register instruksi (IR). Instruksi – instruksi ini dalam bentuk kode – kode biner yang dapat diinterpretasikan oleh CPU kemudian dilakukan aksi yang diperlukan. Aksi – aksi ini dikelompokkan menjadi empat katagori, yaitu :

- *CPU – Memori*, perpindahan data dari CPU ke memori dan sebaliknya.
- *CPU –I/O*, perpindahan data dari CPU ke modul I/O dan sebaliknya.
- *Pengolahan Data*, CPU membentuk sejumlah operasi aritmatika dan logika terhadap data.
- *Kontrol*, merupakan instruksi untuk pengontrolan fungsi atau kerja. Misalnya instruksi perubahan urusan eksekusi.

Perlu diketahui bahwa siklus eksekusi untuk suatu instruksi dapat melibatkan lebih dari sebuah referensi ke memori. Disamping itu juga, suatu instruksi dapat menentukan suatu operasi I/O. Perhatikan gambar 3.4 yang merupakan detail siklus operasi pada gambar 3.3, yaitu :

- *Instruction Address Calculation (IAC)*, yaitu mengkalkulasi atau menentukan alamat instruksi berikutnya yang akan dieksekusi. Biasanya melibatkan penambahan bilangan tetap ke alamat instruksi sebelumnya. Misalnya, bila panjang setiap instruksi 16 bit padahal memori memiliki panjang 8 bit, maka tambahkan 2 ke alamat sebelumnya.
- *Instruction Fetch (IF)*, yaitu membaca atau mengambil instruksi dari lokasi memorinya ke CPU.
- *Instruction Operation Decoding (IOD)*, yaitu menganalisa instruksi untuk menentukan jenis operasi yang akan dibentuk dan operand yang akan digunakan.
- *Operand Address Calculation (OAC)*, yaitu menentukan alamat operand, hal ini dilakukan apabila melibatkan referensi operand pada memori.
- *Operand Fetch (OF)*, adalah mengambil operand dari memori atau dari modul I/O.
- *Data Operation (DO)*, yaitu membentuk operasi yang diperintahkan dalam instruksi.
- *Operand store (OS)*, yaitu menyimpan hasil eksekusi ke dalam memori.



Gambar 3.4 Diagram siklus instruksi

3.2.2 Fungsi Interrupt

Fungsi interupsi adalah mekanisme penghentian atau pengalihan pengolahan instruksi dalam CPU kepada routine interupsi. Hampir semua modul (memori dan I/O) memiliki mekanisme yang dapat menginterupsi kerja CPU.

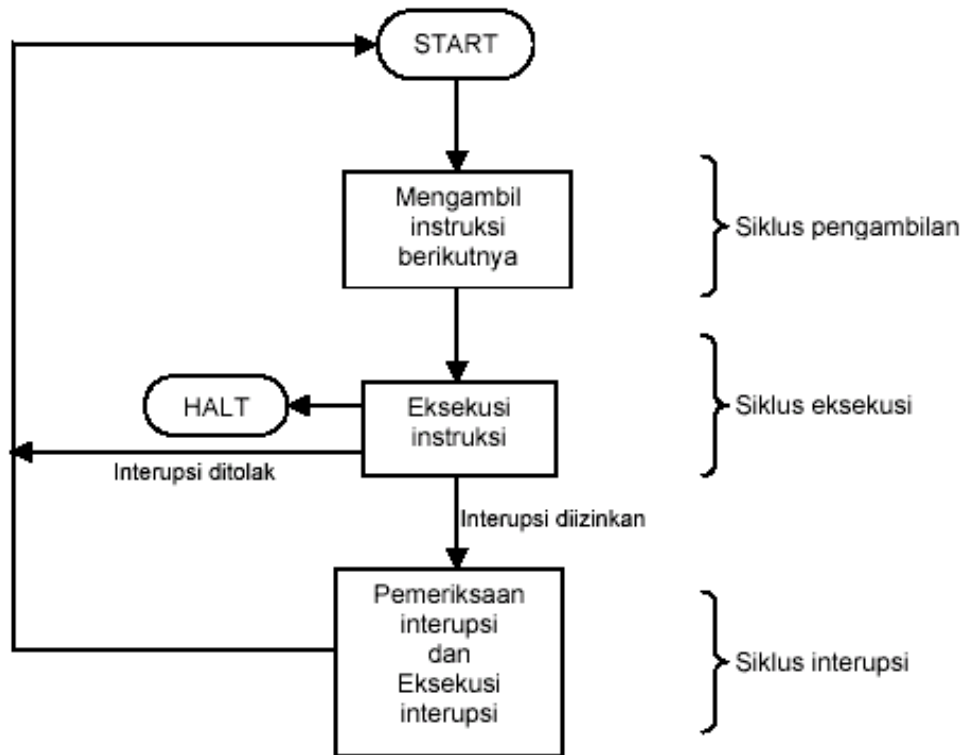
Tujuan interupsi secara umum untuk manajemen pekekseskuan routine instruksi agar efektif dan efisien antar CPU dan modul – modul I/O maupun memori. Setiap komponen komputer dapat menjalankan tugasnya secara bersamaan, tetapi kendali terletak pada CPU disamping itu kecepatan eksekusi masing – masing modul berbeda sehingga dengan adanya fungsi interupsi ini dapat sebagai sinkronisasi kerja antar modul. Macam – macam kelas sinyal interupsi :

- *Program*, yaitu interupsi yang dibangkitkan dengan beberapa kondisi yang terjadi pada hasil eksekusi program. Contohnya: arimatika overflow, pembagian nol, operasi ilegal.
- *Timer*, adalah interupsi yang dibangkitkan pewaktuan dalam prosesor. Sinyal ini memungkinkan sistem operasi menjalankan fungsi tertentu secara reguler.
- *I/O*, sinyal interupsi yang dibangkitkan oleh modul I/O sehubungan pemberitahuan kondisi error dan penyelesaian suatu operasi.
- *Hardware failure*, adalah interupsi yang dibangkitkan oleh kegagalan daya atau kesalahan paritas memori.

Dengan adanya mekanisme interupsi, prosesor dapat digunakan untuk mengeksekusi instruksi – instruksi lain. Saat suatu modul telah selesai menjalankan tugasnya dan siap menerima tugas berikutnya maka modul ini akan mengirimkan permintaan interupsi ke prosesor. Kemudian prosesor akan menghentikan eksekusi yang dijalankannya untuk menhandel routine interupsi. Setelah program interupsi selesai maka prosesor akan melanjutkan eksekusi programnya kembali. Saat sinyal interupsi diterima prosesor ada dua kemungkinan tindakan, yaitu interupsi diterima/ditanggihkan dan interupsi ditolak. Apabila interupsi ditanggihkan, prosesor akan melakukan hal – hal dibawah ini :

1. Prosesor menanggihkan eksekusi program yang dijalankan dan menyimpan konteksnya. Tindakan ini adalah menyimpan alamat instruksi berikutnya yang akan dieksekusi dan data lain yang relevan.
2. Prosesor menyetel program counter (PC) ke alamat awal routine *interrupt handler*.

Gambar 3.5 berikut menjelaskan siklus eksekusi oleh prosesor dengan adanya fungsi interupsi.

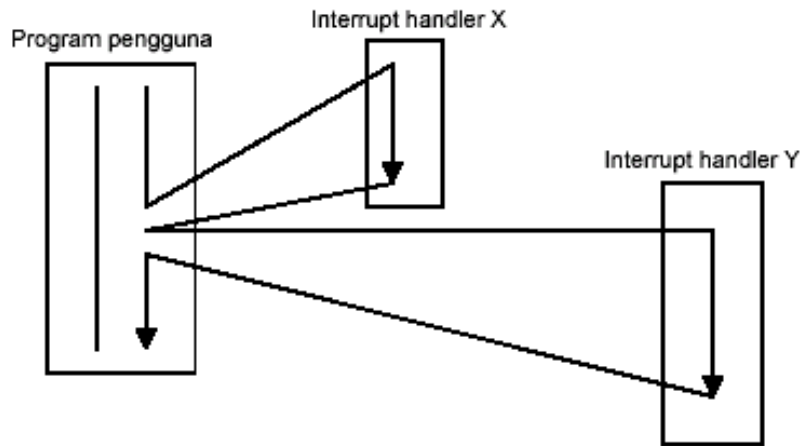


Gambar 3.5 Siklus eksekusi instruksi dengan interrupt

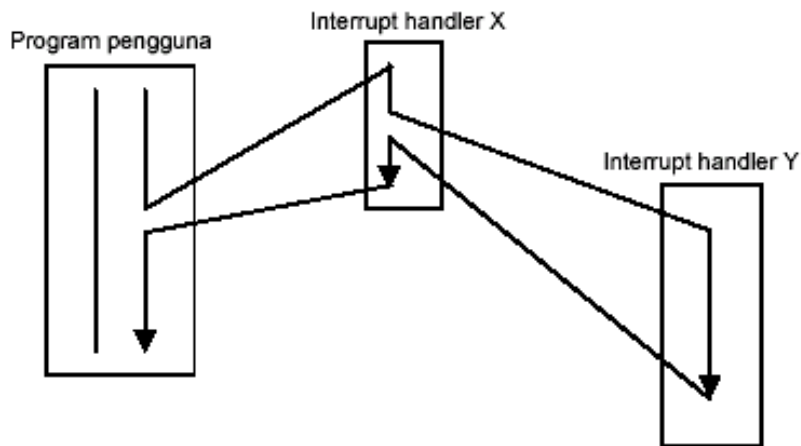
Untuk sistem operasi yang kompleks sangat dimungkinkan adanya interupsi ganda (*multiple interrupt*). Misalnya suatu komputer akan menerima permintaan interupsi saat proses pencetakan dengan printer selesai, disamping itu dimungkinkan dari saluran komunikasi akan mengirimkan permintaan interupsi setiap kali data tiba. Dalam hal ini prosesor harus menangani interupsi ganda.

Dapat diambil dua buah pendekatan untuk menangani interupsi ganda ini. Pertama adalah menolak atau tidak mengizinkan interupsi lain saat suatu interupsi ditangani prosesor. Kemudian setelah prosesor selesai menangani suatu interupsi maka interupsi lain baru di tangani. Pendekatan ini disebut *pengolahan interupsi berurutan / sekuensial*. Pendekatan ini cukup baik dan sederhana karena interupsi ditangani dalam urutan yang cukup ketat. Kelemahan pendekatan ini adalah metode ini tidak memperhitungkan prioritas interupsi. Pendekatan ini diperlihatkan pada gambar 3.6a.

Pendekatan kedua adalah dengan mendefinisikan prioritas bagi interupsi dan *interrupt handler* mengizinkan interupsi berprioritas lebih tinggi ditangani terlebih dahulu. Pendekatan ini disebut *pengolahan interupsi bersarang*. Metode ini digambarkan pada gambar 3.6b.



(a) Pengolahan interupsi sekuensial



(b) Pengolahan interupsi bersarang

Gambar 3.6 Transfer pengendalian pada interupsi ganda

Sebagai contoh untuk mendekati bersarang, misalnya suatu sistem memiliki tiga perangkat I/O: printer, disk, dan saluran komunikasi, masing – masing prioritasnya 2, 4 dan 5. Pada awal sistem melakukan pencetakan dengan printer, saat itu terdapat pengiriman data pada saluran komunikasi sehingga modul komunikasi meminta interupsi. Proses selanjutnya adalah pengalihan eksekusi interupsi modul komunikasi, sedangkan interupsi printer ditangguhkan. Saat pengekseskuan modul komunikasi terjadi interupsi disk, namun karena prioritasnya lebih rendah maka interupsi disk ditangguhkan. Setelah interupsi modul komunikasi selesai akan dilanjutkan interupsi yang memiliki prioritas lebih tinggi, yaitu disk. Bila interupsi disk selesai dilanjutkan eksekusi interupsi printer. Selanjutnya dilanjutkan eksekusi program utama.

Memori

Memori adalah bagian dari komputer tempat program – program dan data – data disimpan. Beberapa pakar komputer (terutama dari Inggris) menggunakan istilah *store* atau *storage* untuk memori, meskipun kata *storage* sering digunakan untuk menunjuk ke penyimpanan disket. Tanpa sebuah memori sebagai tempat untuk mendapatkan informasi guna dibaca dan ditulis oleh prosesor maka tidak akan ada komputer – komputer digital dengan sistem penyimpanan program.

Walaupun konsepnya sederhana, memori komputer memiliki aneka ragam jenis, teknologi, organisasi, unjuk kerja dan harganya. Dalam bab ini akan dibahas mengenai memori internal dan bab selanjutnya membahas memori eksternal. Perlu dijelaskan sebelumnya perbedaan keduanya yang sebenarnya fungsinya sama untuk penyimpanan program maupun data. *Memori internal* adalah memori yang dapat diakses langsung oleh prosesor. Sebenarnya terdapat beberapa macam memori internal, yaitu register yang terdapat di dalam prosesor, cache memori dan memori utama berada di luar prosesor. Sedangkan *memori eksternal* adalah memori yang diakses prosesor melalui piranti I/O, seperti disket dan hardisk.

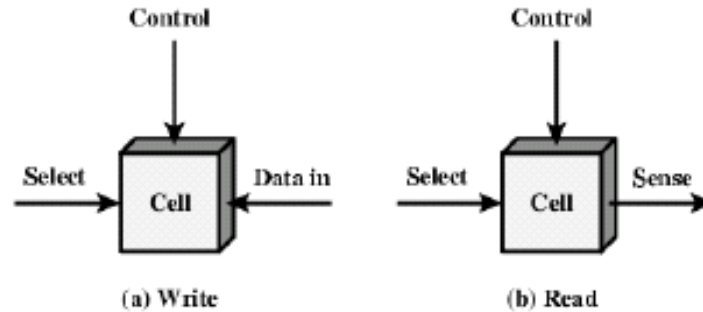
4.1 Operasi Sel Memori

Elemen dasar memori adalah sel memori. Walaupun digunakan digunakan sejumlah teknologi elektronik, seluruh sel memori memiliki sifat – sifat tertentu :

- Sel memori memiliki dua keadaan stabil (atau semi-stabil), yang dapat digunakan untuk merepresentasikan bilangan biner 1 atau 0.
- Sel memori mempunyai kemampuan untuk ditulisi (sedikitnya satu kali).
- Sel memori mempunyai kemampuan untuk dibaca.

Gambar 4.1 menjelaskan operasi sel memori. Umumnya sel memori mempunyai tiga terminal fungsi yang mampu membawa sinyal listrik. Terminal *select* berfungsi memilih operasi tulis atau baca. Untuk penulisan, terminal lainnya menyediakan sinyal listrik yang men-set

keadaan sel bernilai 1 atau 0, sedangkan untuk operasi pembacaan, terminal ini digunakan sebagai keluaran.



Gambar 4.1 Operasi sel memori

4.2 Karakteristik Sistem Memori

Untuk mempelajari sistem memori secara keseluruhan, harus mengetahui karakteristik – karakteristik kuncinya. Karakteristik penting sistem memori disajikan dalam tabel 4.1 berikut :

Tabel 4.1 Karakteristik penting sistem memori komputer

Karakteristik	Macam/ Keterangan
Lokasi	1. CPU 2. Internal (main) 3. External (secondary)
Kapasitas	1. Ukuran word 2. Jumlah word
Satuan transfer	1. Word 2. Block
Metode akses	1. Sequential access 2. Direct access 3. Random access 4. Associative access
Kinerja	1. Access time 2. Cycle time 3. Transfer rate
Tipe fisik	1. Semikonduktor 2. Magnetik
Karakteristik fisik	1. Volatile/nonvolatile 2. Erasable/nonerasable

Dilihat dari *lokasi*, memori dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu register, memori internal dan memori eksternal. Register berada di dalam chip prosesor, memori ini diakses

langsung oleh prosesor dalam menjalankan operasinya. Register digunakan sebagai memori sementara dalam perhitungan maupun pengolahan data dalam prosesor. Memori internal adalah memori yang berada diluar chip prosesor namun mengaksesnya langsung oleh prosesor. Memori internal dibedakan menjadi memori utama dan cache memori. Memori eksternal dapat diakses oleh prosesor melalui piranti I/O, memori ini dapat berupa disk maupun pita.

Karakteristik lainnya adalah *kapasitas*. Kapasitas memori internal maupun eksternal biasanya dinyatakan dalam bentuk *byte* (1 byte = 8 bit) atau *word*. Panjang word umumnya 8, 16, 32 bit. Memori eksternal biasanya lebih besar kapasitasnya daripada memori internal, hal ini disebabkan karena teknologi dan sifat penggunaannya yang berbeda.

Karakteristik berikutnya adalah *satuan transfer*. Bagi memori internal, satuan transfer sama dengan jumlah saluran data yang masuk ke dan keluar dari modul memori. Jumlah saluran ini sering kali sama dengan panjang word, tapi dimungkinkan juga tidak sama. Tiga konsep yang berhubungan dengan satuan transfer :

- *Word*, merupakan satuan “alami” organisasi memori. Ukuran word biasanya sama dengan jumlah bit yang digunakan untuk representasi bilangan dan panjang instruksi.
- *Addressable units*, pada sejumlah sistem, addressable units adalah word. Namun terdapat sistem dengan pengalamatan pada tingkatan byte. Pada semua kasus hubungan antara panjang A suatu alamat dan jumlah N addressable unit adalah $2A = N$.
- *Unit of transfer*, adalah jumlah bit yang dibaca atau dituliskan ke dalam memori pada suatu saat. Pada memori eksternal, transfer data biasanya lebih besar dari suatu word, yang disebut dengan *block*.

Perbedaan tajam yang terdapat pada sejumlah jenis memori adalah *metode akses*-nya. Terdapat empat macam metode :

- *Sequential access*, memori diorganisasi menjadi unit – unit data yang disebut *record*. Akses harus dibuat dalam bentuk urutan linier yang spesifik. Informasi pengalamatan yang disimpan dipakai untuk memisahkan record – record dan untuk membantu proses pencarian. Terdapat *shared read/write mechanism* untuk penulisan/pembacaan memorinya. Pita magnetik merupakan memori yang menggunakan metode sequential access.
- *Direct access*, sama sequential access terdapat *shared read/write mechanism*. Setiap blok dan record memiliki alamat unik berdasarkan lokasi fisiknya. Akses dilakukan langsung pada alamat memori. Disk adalah memori direct access.
- *Random access*, setiap lokasi memori dipilih secara random dan diakses serta dialamati secara langsung. Contohnya adalah memori utama.

- *Associative access*, merupakan jenis random akses yang memungkinkan perbandingan lokasi bit yang diinginkan untuk pencocokan. Jadi data dicari berdasarkan isinya bukan alamatnya dalam memori. Contoh memori ini adalah cache memori yang akan dibahas di akhir bab ini.

Berdasarkan karakteristik unjuk kerja, memiliki tiga parameter utama pengukuran unjuk kerja, yaitu :

- *Access time*, bagi random access memory, waktu akses adalah waktu yang dibutuhkan untuk melakukan operasi baca atau tulis. Sedangkan untuk memori non-random akses merupakan waktu yang dibutuhkan dalam melakukan mekanisme baca atau tulis pada lokasi tertentu.
- *Memory cycle time*, konsep ini digunakan pada random access memory dan terdiri dari access time ditambah dengan waktu yang diperlukan transient agar hilang pada saluran sinyal.
- *Transfer rate*, adalah kecepatan data transfer ke unit memori atau dari unit memori. Pada random access memory sama dengan $1/(\text{cycle time})$. Sedangkan untuk non-random access memory dengan perumusan :

$$T_N = T_A + \frac{N}{R}$$

T_N = waktu rata – rata untuk membaca atau menulis N bit

T_A = waktu akses rata – rata

N = jumlah bit

R = kecepatan transfer dalam bit per detik (bps)

Jenis *tipe fisik* memori yang digunakan saat ini adalah memori semikonduktor dengan teknologi VLSI dan memori permukaan magnetik seperti yang digunakan pada disk dan pita magnetik.

Berdasarkan *karakteristik fisik*, media penyimpanan dibedakan menjadi *volatile* dan *non-volatile*, serta *erasable* dan *nonerasable*. Pada *volatile memory*, informasi akan hilang apabila daya listriknya dimatikan, sedangkan *non-volatile memory* tidak hilang walau daya listriknya hilang. Memori permukaan magnetik adalah contoh *no-nvolatile memory*, sedangkan semikonduktor ada yang *volatile* dan *non-volatile*. Ada jenis memori semikonduktor yang tidak bisa dihapus kecuali dengan menghancurkan unit *storage*-nya, memori ini dikenal dengan ROM (*Read Only Memory*).

4.3 Keandalan Memori

Untuk memperoleh keandalan sistem ada tiga pertanyaan yang diajukan: Berapa banyak ? Berapa cepat? Berapa mahal?

Pertanyaan berapa banyak adalah sesuatu yang sulit dijawab, karena berapapun kapasitas memori tentu aplikasi akan menggunakannya. Jawaban pertanyaan berapa cepat adalah memori harus mampu mengikuti kecepatan CPU sehingga terjadi sinkronisasi kerja antar CPU dan memori tanpa adanya waktu tunggu karena komponen lain belum selesai prosesnya. Mengenai harga, sangatlah relatif. Bagi produsen selalu mencari harga produksi paling murah tanpa mengorbankan kualitasnya untuk memiliki daya saing di pasaran.

Hubungan harga, kapasitas dan waktu akses adalah :

- Semakin kecil waktu akses, semakin besar harga per bitnya.
- Semakin besar kapasitas, semakin kecil harga per bitnya.
- Semakin besar kapasitas, semakin besar waktu aksesnya.

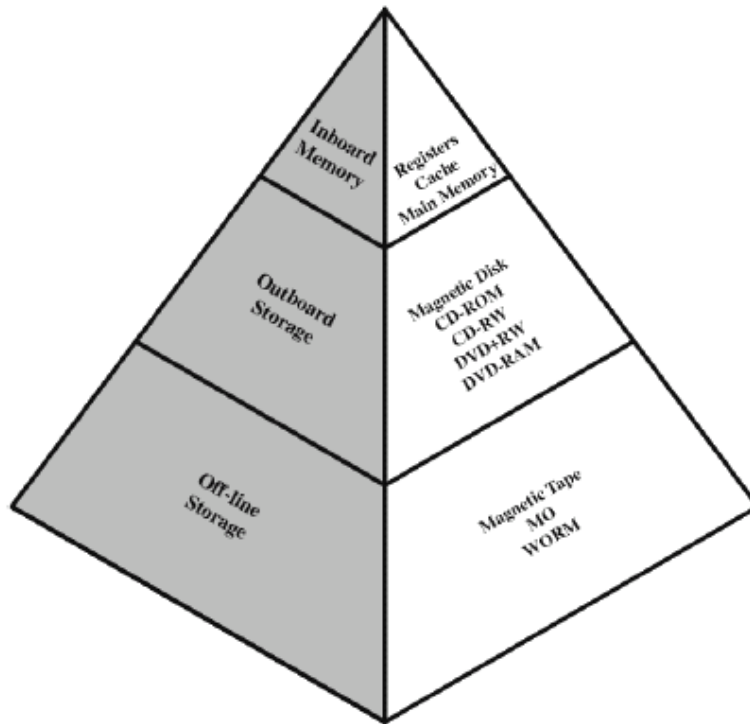
Dilema yang dihadapi para perancang adalah keinginan menerapkan teknologi untuk kapasitas memori yang besar karena harga per bit yang murah namun hal itu dibatasi oleh teknologi dalam memperoleh waktu akses yang cepat. Salah satu pengorganisasian masalah ini adalah menggunakan *hirarki memori*. Seperti terlihat pada gambar 4.2, bahwa semakin menurunnya hirarki maka hal berikut akan terjadi :

- Penurunan harga/bit
- Peningkatan kapasitas
- Peningkatan waktu akses
- Penurunan frekuensi akses memori oleh CPU.

Kunci keberhasilan hirarki ini pada penurunan frekuensi aksesnya. Semakin lambat memori maka keperluan CPU untuk mengaksesnya semakin sedikit. Secara keseluruhan sistem komputer akan tetap cepat namun kebutuhan kapasitas memori besar terpenuhi.

Tabel 4.2 Tabel spesifikasi memori

Tipe memori	Teknologi	Ukuran	Waktu akses
Cache Memory	semikonduktor RAM	128 – 512 KB	10 ns
Memori Utama	semikonduktor RAM	4 – 128 MB	50 ns
Disk magnetik	Hard Disk	Gigabyte	10 ms, 10MB/det
Disk Optik	CD-ROM	Gigabyte	300ms, 600KB/det
Pita magnetik	Tape	100 MB	Det -mnt, 10MB/mnt



Gambar 4.2 Hirarki memori

4.4 Satuan Memori

Satuan pokok memori adalah digit biner, yang disebut *bit*. Suatu bit dapat berisi sebuah angka 0 atau 1. Ini adalah satuan yang paling sederhana. Memori juga dinyatakan dalam byte (1 byte = 8 bit). Kumpulan byte dinyatakan dalam *word*. Panjang word yang umum adalah 8, 16, dan 32 bit.

Tabel 4.3 Tingkatan satuan memori

Symbol		Number of bytes	
Kilobytes	Kb	2e10	1024
Megabyte	Mb	2e20	1,048,576
Gigabyte	Gb	2e30	1,073,741,824
Terabyte	Tb	2e40	1,099,511,627,776

4.5 Memori Utama Semikonduktor

Pada komputer lama, bentuk umum random access memory untuk memori utama adalah sebuah piringan ferromagnetik berlubang yang dikenal sebagai *core*, istilah yang tetap dipertahankan hingga saat ini.

4.5.1 Jenis Memori Random Akses

Semua jenis memori yang dibahas pada bagian ini adalah berjenis random akses, yaitu data secara langsung diakses melalui logik pengalamatan *wired-in*. Tabel 4.4 adalah daftar jenis memori semikonduktor utama.

Hal yang membedakan karakteristik RAM (*Random Access Memory*) adalah dimungkinkannya pembacaan dan penulisan data ke memori secara cepat dan mudah. Aspek lain adalah RAM bersifat *volatile*, sehingga RAM hanya menyimpan data sementara. Teknologi yang berkembang saat ini adalah statik dan dinamik. *RAM dinamik* disusun oleh sel – sel yang menyimpan data sebagai muatan listrik pada kapasitor. Karena kapasitor memiliki kecenderungan alami untuk mengosongkan muatan, maka RAM dinamik memerlukan pengisian muatan listrik secara periodik untuk memelihara penyimpanan data. Pada *RAM statik*, nilai biner disimpan dengan menggunakan konfigurasi gate logika flipflop tradisional. RAM statik akan menyimpan data selama ada daya listriknya.

RAM statik maupun dinamik adalah *volatile*, tetapi RAM dinamik lebih sederhana dan rapat sehingga lebih murah. RAM dinamik lebih cocok untuk kapasitas memori besar, namun RAM statik umumnya lebih cepat.

Read only memory (ROM) sangat berbeda dengan RAM, seperti namanya, ROM berisi pola data permanen yang tidak dapat diubah. Data yang tidak bisa diubah menimbulkan keuntungan dan juga kerugian. Keuntungannya untuk data yang permanen dan sering digunakan pada sistem operasi maupun sistem perangkat keras akan aman diletakkan dalam ROM. Kerugiannya apabila ada kesalahan data atau adanya perubahan data sehingga perlu penyisipan – penyisipan.

Kerugian tersebut bisa diantisipasi dengan jenis *programmable ROM*, disingkat PROM. ROM dan PROM bersifat *non-volatile*. Proses penulisan PROM secara elektris dengan peralatan khusus.

Variasi ROM lainnya adalah *read mostly memory*, yang sangat berguna untuk aplikasi operasi pembacaan jauh lebih sering daripada operasi penulisan. Terdapat tiga macam jenis, yaitu: EPROM, EEPROM dan *flash memory*.

EEPROM (*electrically erasable programmable read only memory*) merupakan memori yang dapat ditulisi kapan saja tanpa menghapus isi sebelumnya. EEPROM menggabungkan kelebihan *non-volatile* dengan fleksibilitas dapat di-update.

Bentuk memori semikonduktor terbaru adalah *flash memory*. Memori ini dikenalkan tahun 1980-an dengan keunggulan pada kecepatan penulisan programnya. *Flash memory* menggunakan teknologi penghapusan dan penulisan elektrik. Seperti halnya EPROM, *flash*

memory hanya membutuhkan sebuah transistor per byte sehingga dapat diperoleh kepadatan tinggi.

Tabel 4.4 Tipe – tipe memori semikonduktor

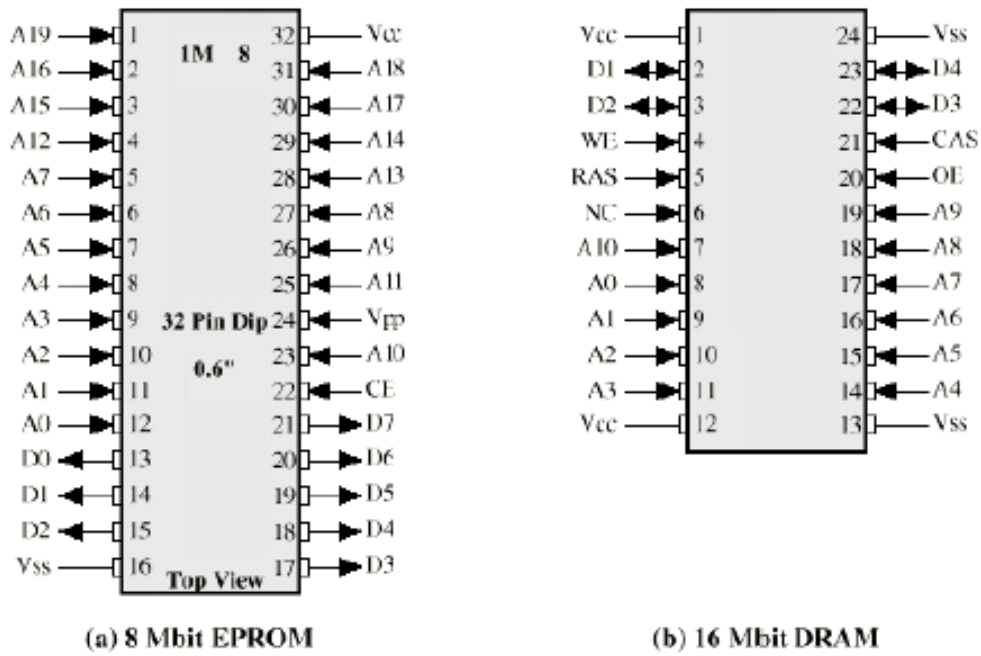
Tipe memori	Katagori	Penghapusan	Penulisan	Volatilitas
RAM	Read – write Read only	Electrically byte level	Electrically	Volatile
ROM	Read only	Tidak bisa dihapus	Mask	Non-volatile
PROM		UV light chip level	Electrically	
EPROM				
Flash Memory	Electrically block level			
EEPROM	Electrically Byte level			

4.5.2 Pengemasan (Packging)

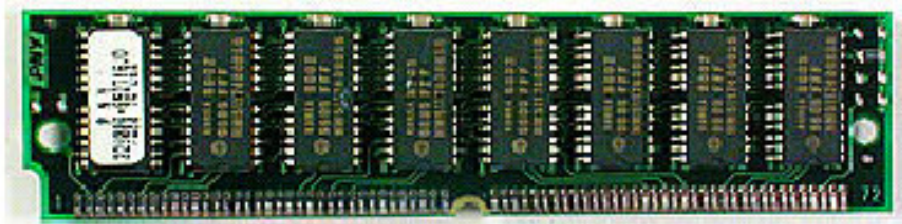
Gambar 4.3a menunjukkan sebuah contoh kemasan EPROM, yang merupakan keping 8 Mbit yang diorganisasi sebagai 1Mx8. Dalam kasus ini, organisasi dianggap sebagai kemasan satu word per keping. Kemasan terdiri dari 32 pin, yang merupakan salah satu ukuran kemasan keping standar. Pin – pin tersebut mendukung saluran – saluran sinyal berikut ini :

- Alamat word yang sedang diakses. Untuk 1M word, diperlukan sejumlah 20 buah ($2^{20} = 1M$).
- Data yang akan dibaca, terdiri dari 8 saluran (D0 –D7)
- Catu daya keping adalah Vcc
- Pin grounding Vss
- Pin chip enable (CE). Karena mungkin terdapat lebih dari satu keping memori yang terhubung pada bus yang sama maka pin CE digunakan untuk mengindikasikan valid atau tidaknya pin ini. Pin CE diaktifkan oleh logik yang terhubung dengan bit berorde tinggi bus alamat (diatas A19)
- Tegangan program (Vpp).

Konfigurasi pin DRAM yang umum ditunjukkan gambar 4.3b, untuk keping 16 Mbit yang diorganisasikan sebagai 4M x 4. Terdapat sejumlah perbedaan dengan keping ROM, karena ada operasi tulis maka pin – pin data merupakan input/output yang dikendalikan oleh WE (*write enable*) dan OE (*output enable*).



Gambar 4.3 Pin dan sinyal kemasan memori



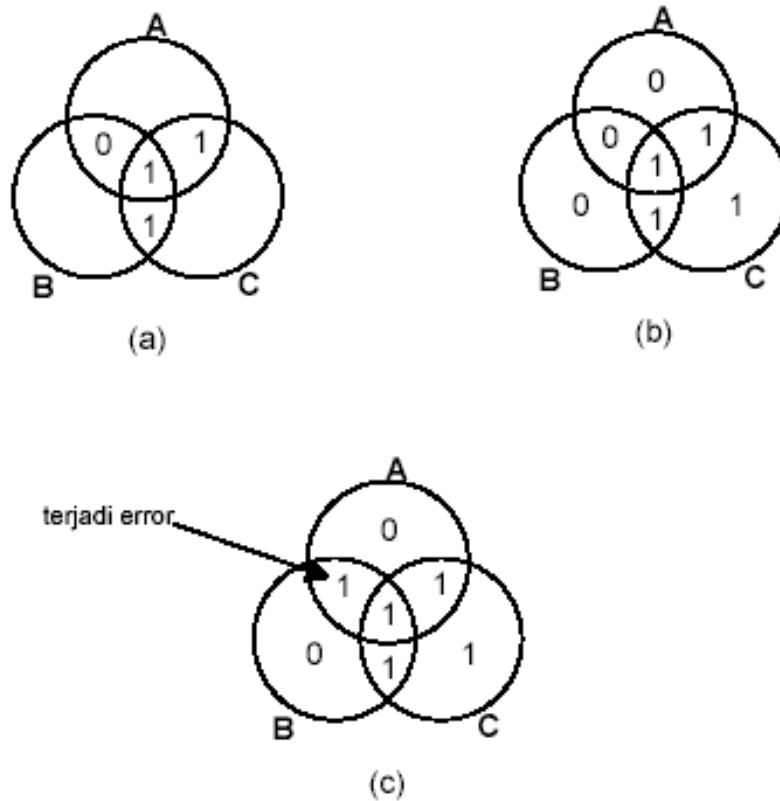
Gambar 4.4 Packging SIMM

4.5.3 Koreksi Error

Dalam melaksanakan fungsi penyimpanan, memori semikonduktor dimungkinkan mengalami kesalahan. Baik kesalahan berat yang biasanya merupakan kerusakan fisik memori maupun kesalahan ringan yang berhubungan data yang disimpan. Kesalahan ringan dapat dikoreksi kembali. Untuk mengadakan koreksi kesalahan data yang disimpan diperlukan dua mekanisme, yaitu *mekanisme pendeteksian kesalahan* dan *mekanisme perbaikan kesalahan*.

Mekanisme pendeteksian kesalahan dengan menambahkan data word (D) dengan suatu kode, biasanya bit cek paritas (C). Sehingga data yang disimpan memiliki panjang $D + C$. Kesalahan akan diketahui dengan menganalisa data dan bit paritas tersebut. Mekanisme perbaikan

kesalahan yang paling sederhana adalah *kode Hamming*. Metode ini diciptakan Richard Hamming di Bell Lab pada tahun 1950.



Gambar 4.5 Koreksi kesalahan dengan kode Hamming

Perhatikan gambar 4.5, disajikan tiga lingkaran Venn (A, B, C) saling berpotongan sehingga terdapat 7 ruang. Metode diatas adalah koreksi kesalahan untuk word data 4 bit ($D=4$). Gambar 4.5a adalah data aslinya. Kemudian setiap lingkaran harus diset bit logika 1 berjumlah genap sehingga harus ditambah bit – bit paritas pada ruang yang kosong seperti gambar 4.5b. Apabila ada kesalahan penulisan bit pada data seperti gambar 4.5c akan dapat diketahui karena lingkaran A dan B memiliki logika 1 berjumlah ganjil.

Lalu bagaimana dengan word lebih dari 4 bit ? Ada cara yang mudah yang akan diterangkan berikut. Sebelumnya perlu diketahui jumlah bit paritas yang harus ditambahkan untuk sejumlah bit word. Contoh sebelumnya adalah koreksi kesalahan untuk kesalahan tunggal yang sering disebut *single error correcting* (SEC). Jumlah bit paritas yang harus ditambahkan lain pada *double error correcting* (DEC). Tabel 4.5 menyajikan jumlah bit paritas yang harus ditambahkan dalam sistem kode Hamming.

Tabel 4.5 Penambahan bit cek paritas untuk koreksi kode Hamming

# Data Bits	# Bit Paritas SEC	# Bit Paritas DEC
8	4	5
16	5	6
32	6	7
64	7	8
128	8	9
512	9	10

Contoh koreksi kode Hamming 8 bit data :

Dari tabel 4.5 untuk 8 bit data diperlukan 4 bit tambahan sehingga panjang seluruhnya adalah 12 bit. Layout bit disajikan dibawah ini :

Posisi Bit	Posisi Angka				Cek Bit	Data Bit
12	1	1	0	0		D8
11	1	0	1	1		D7
10	1	0	1	0		D6
9	1	0	0	1		D5
8	1	0	0	0	C4	
7	0	1	1	1		D4
6	0	1	1	0		D3
5	0	1	0	1		D2
4	0	1	0	0	C3	
3	0	0	1	1		D1
2	0	0	1	0	C2	
1	0	0	0	1	C1	

Bit cek paritas ditempatkan dengan perumusan 2^N dimana $N = 0,1,2, \dots$, sedangkan bit data adalah sisanya. Kemudian dengan exclusive-OR dijumlahkan ebagai berikut :

$$C1 = D1 \oplus D2 \oplus D4 \oplus D5 \oplus D7$$

$$C2 = D1 \oplus D3 \oplus D4 \oplus D6 \oplus D7$$

$$C4 = D2 \oplus D3 \oplus D4 \oplus D8$$

$$C8 = D5 \oplus D6 \oplus D7 \oplus D8$$

Setiap cek bit (C) beroperasi pada setiap posisi bit data yang nomor posisinya berisi bilangan 1 pada kolomnya.

Sekarang ambil contoh suatu data, misalnya masukkan data : 00111001 kemudian ganti bit data ke 3 dari 0 menjadi 1 sebagai error-nya. Bagaimanakah cara mendapatkan bit data ke 3 sebagai bit yang terdapat error?

Jawab :

Masukkan data pada perumusan cek bit paritas :

$$\begin{aligned}
 C1 &= 1 \oplus 0 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 0 &= 1 \\
 C2 &= 1 \oplus 0 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 0 &= 1 \\
 C4 &= 0 \oplus 0 \oplus 1 \oplus 0 &= 1 \\
 C8 &= 1 \oplus 1 \oplus 0 \oplus 0 &= 0
 \end{aligned}$$

Sekarang bit 3 mengalami kesalahan sehingga data menjadi: 00111**1**01

$$\begin{aligned}
 C1 &= 1 \oplus 0 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 0 &= 1 \\
 C2 &= 1 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 0 &= 0 \\
 C4 &= 0 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 0 &= 0 \\
 C8 &= 1 \oplus 1 \oplus 0 \oplus 0 &= 0
 \end{aligned}$$

Apabila bit – bit cek dibandingkan antara yang lama dan baru maka terbentuk *syndrom word* :

	C8	C4	C2	C1	
	0	1	1	1	
\oplus	0	0	0	1	
	0	1	1	0	= 6

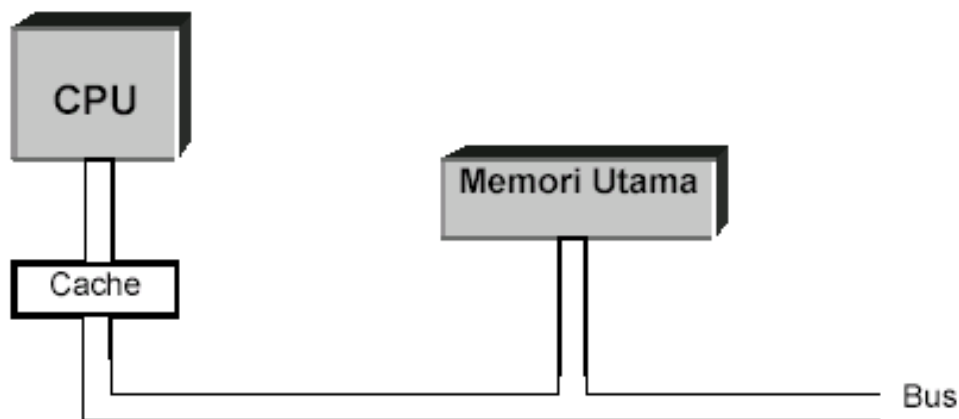
Sekarang kita lihat posisi bit ke-6 adalah data ke-3.

Mekanisme koreksi kesalahan akan meningkatkan realibilitas bagi memori tetapi resikonya adalah menambah kompleksitas pengolahan data. Disamping itu mekanisme koreksi kesalahan akan menambah kapasitas memori karena adanya penambahan bit – bit cek paritas. Jadi ukuran memori akan lebih besar beberapa persen atau dengan kata lain kapasitas penyimpanan akan berkurang karena beberapa lokasi digunakan untuk mekanisme koreksi kesalahan.

4.6 Cache Memori

Cache memori difungsikan mempercepat kerja memori sehingga mendekati kecepatan prosesor. Konsepnya dijelaskan pada gambar 4.6 dan gambar 4.7. Dalam organisasi komputer, memori utama lebih besar kapasitasnya namun lambat operasinya, sedangkan cache memori berukuran kecil namun lebih cepat. Cache memori berisi salinan memori utama.

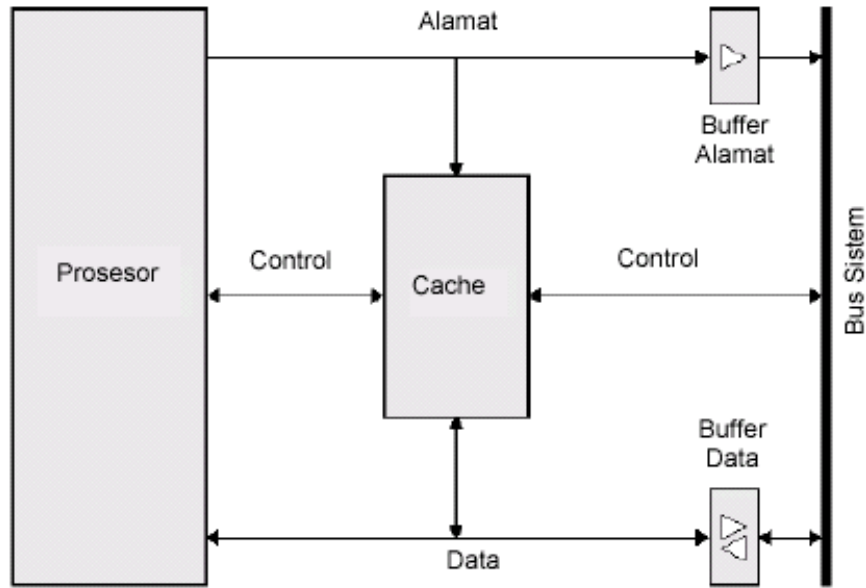
Pada saat CPU membaca sebuah word memori, maka dilakukan pemeriksaan untuk mengetahui apakah word tersebut berada dalam cache memori. Bila ada dalam cache memori maka dilakukan pengiriman ke CPU, bila tidak dijumpai maka dicari dalam memori utama, selanjutnya blok yang berisi sejumlah word tersebut dikirim ke cache memori dan word yang diminta CPU dikirimkan ke CPU dari cache memori. Karena fenomena lokalitas referensi, ketika blok data diberikan ke dalam cache memori, terdapat kemungkinan bahwa word-word berikutnya yang berada dalam satu blok akan diakses oleh CPU. Konsep ini yang menjadikan kinerja memori lebih baik.



Gambar 4.6 Hubungan cache memori

Sehingga dapat disimpulkan bahwa kerja cache adalah antisipasi terhadap permintaan data memori yang akan digunakan CPU. Apabila data diambil langsung dari memori utama bahkan memori eksternal akan memakan waktu lama yang menyebabkan status tunggu pada prosesor.

Ukuran cache memori adalah kecil, semakin besar kapasitasnya maka akan memperlambat proses operasi cache memori itu sendiri, disamping harga cache memori yang sangat mahal.



Gambar 4.7 Organisasi cache memori

4.7 Elemen Rancangan

Walaupun terdapat banyak implementasi cache, namun dari sisi organisasi maupun arsitekturnya tidak banyak macamnya.

Tabel 4.6 Unsur – unsur rancangan cache memori

Unsur	Macam
Kapasitas	-
Ukuran blok	-
Mapping	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Direct Mapping</i> 2. <i>Assosiative Mapping</i> 3. <i>Set Assosiative Mapping</i>
Algoritma pengganti	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Least recently used (LRU)</i> 2. <i>First in first out (FIFO)</i> 3. <i>Least frequently used (LFU)</i> 4. <i>Random</i>
Write Policy	<ol style="list-style-type: none"> 1. Write Through 2. Write Back 3. Write Once
Jumlah Cache	<ol style="list-style-type: none"> 1. Singe atau dua level 2. Unified atau split

4.7.1 Kapasitas Cache

Menentukan ukuran memori cache sangatlah penting untuk mendongkrak kinerja komputer. Dari segi harga cache sangatlah mahal tidak seperti memori utama. Semakin besar kapasitas cache tidak berarti semakin cepat prosesnya, dengan ukuran besar akan terlalu banyak gate pengalamatannya sehingga akan memperlambat proses.

Kita bisa melihat beberapa merek prosesor di pasaran beberapa waktu lalu. AMD mengeluarkan prosesor K5 dan K6 dengan cache yang besar (1MB) tetapi kinerjanya tidak bagus. Kemudian Intel pernah mengeluarkan prosesor tanpa cache untuk alasan harga yang murah, yaitu seri Intel Celeron pada tahun 1998-an hasil kinerjanya sangat buruk terutama untuk operasi data besar, floating point, 3D. Intel Celeron versi berikutnya sudah ditambah cache sekitar 128KB.

Lalu berapa idealnya kapasitas cache? Sejumlah penelitian telah menganjurkan bahwa ukuran cache antara 1KB dan 512KB akan lebih optimum [STA96].

4.7.2 Ukuran Blok

Elemen rancangan yang harus diperhatikan lagi adalah ukuran blok. Telah dijelaskan adanya sifat lokalitas referensi maka nilai ukuran blok sangatlah penting. Apabila blok berukuran besar ditransfer ke cache akan menyebabkan hit ratio mengalami penurunan karena banyaknya data yang dikirim disekitar referensi. Tetapi apabila terlalu kecil, dimungkinkan memori yang akan dibutuhkan CPU tidak tercakup. Apabila blok berukuran besar ditransfer ke cache, maka akan terjadi :

1. Blok – blok yang berukuran lebih besar mengurangi jumlah blok yang menempati cache. Karena isi cache sebelumnya akan ditindih.
2. Dengan meningkatnya ukuran blok maka jarak setiap word tambahan menjadi lebih jauh dari word yang diminta, sehingga menjadi lebih kecil kemungkinannya digunakan cepat.

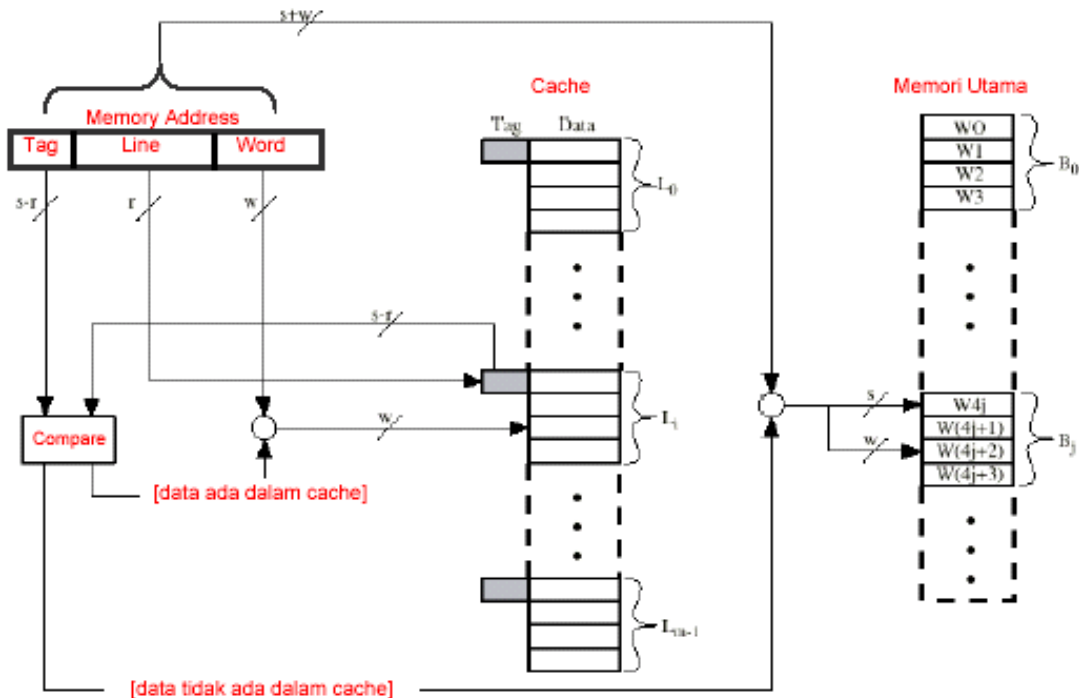
Hubungan antara ukuran blok dan hit ratio sangat rumit untuk dirumuskan, tergantung pada karakteristik lokalitas programnya dan tidak terdapat nilai optimum yang pasti telah ditemukan. Ukuran antara 4 hingga 8 satuan yang dapat dialamati (word atau byte) cukup beralasan untuk mendekati nilai optimum [STA96].

4.7.3 Fungsi Pemetaan (Mapping)

Telah kita ketahui bahwa cache mempunyai kapasitas yang kecil dibandingkan memori utama. Sehingga diperlukan aturan blok – blok mana yang diletakkan dalam cache. Terdapat tiga metode, yaitu pemetaan langsung, pemetaan asosiatif, dan pemetaan asosiatif set.

Pemetaan Langsung

Pemetaan langsung adalah teknik yang paling sederhana, yaitu teknik ini memetakan blok memori utama hanya ke sebuah saluran cache saja. Gambar 4.8 menjelaskan mekanisme pemetaan langsung.



Gambar 4.8 Organisasi cache pemetaan langsung

$$i = j \text{ modulus } m \text{ dan } m = 2r$$

dimana :

i = nomer saluran cache

j = nomer blok memori utama

m = jumlah saluran yang terdapat dalam cache

Fungsi pemetaan diimplementasikan dengan menggunakan alamat, yang terdiri dari tiga field (tag, line, word), lihat gambar 4.8.

w = word, adalah bit paling kurang berarti yang mengidentifikasi word atau byte unik dalam blok memori utama.

s = byte sisa word yang menspesifikasi salah satu dari 2^s blok memori utama. Cache logik menginterpretasikan bit – bit s sebagai suatu tag $s - r$ bit (bagian paling berarti dalam alamat) dan field saluran r bit.

Efek pemetaan tersebut adalah blok – blok memori utama diberikan ke saluran cache seperti berikut ini:

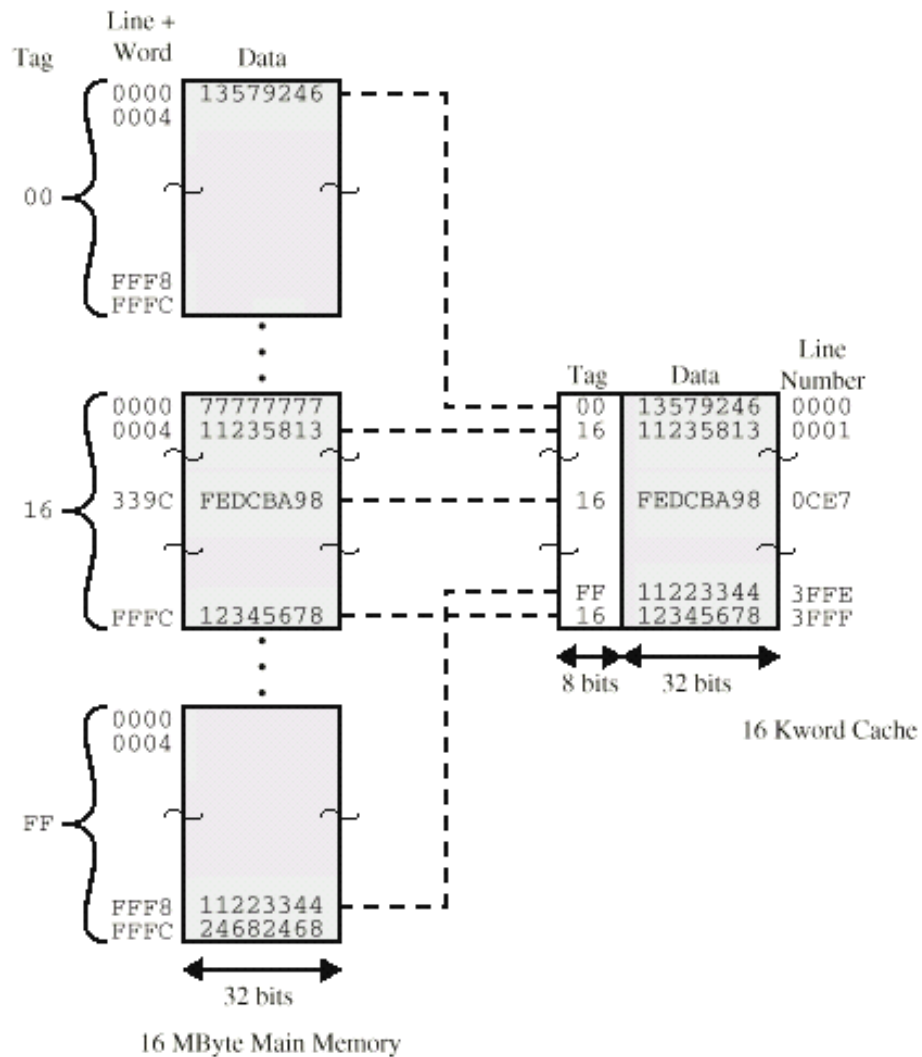
Saluran cache	Blok – blok memori utama
0	0, m,, $2^s - m$
1	1, (m+1),, $2^s - (m+1)$
.	.
.	.
.	.
m - 1	(m-1), (2m-1),, $2^s - 1$

Jadi dalam metode ini pemetaan adalah bagian alamat blok memori utama sebagai nomer saluran cache. Ketika suatu blok data sedang diakses atau dibaca terhadap saluran yang diberikan, maka perlu memberikan tag bagi data untuk membedakannya dengan blok – blok lain yang dapat sesuai dengan saluran tersebut.

Pada gambar 4.9 disajikan contoh pemetaan langsung dengan $m = 16K$, maka pemetaannya :

Saluran cache	Blok – blok memori utama
0	000000, 010000, FF0000
1	000001, 010001, FF0001
.	.
.	.
.	.
3FFF	00FFFC, 01FFFC, FFFFFC

Perlu diketahui bahwa tidak ada dua buah blok yang dipetakan ke nomer saluran yang sama memiliki tag sama. Sehingga 000000, 010000,, FF0000 masing – masing memiliki tag 00, 01,, FF.



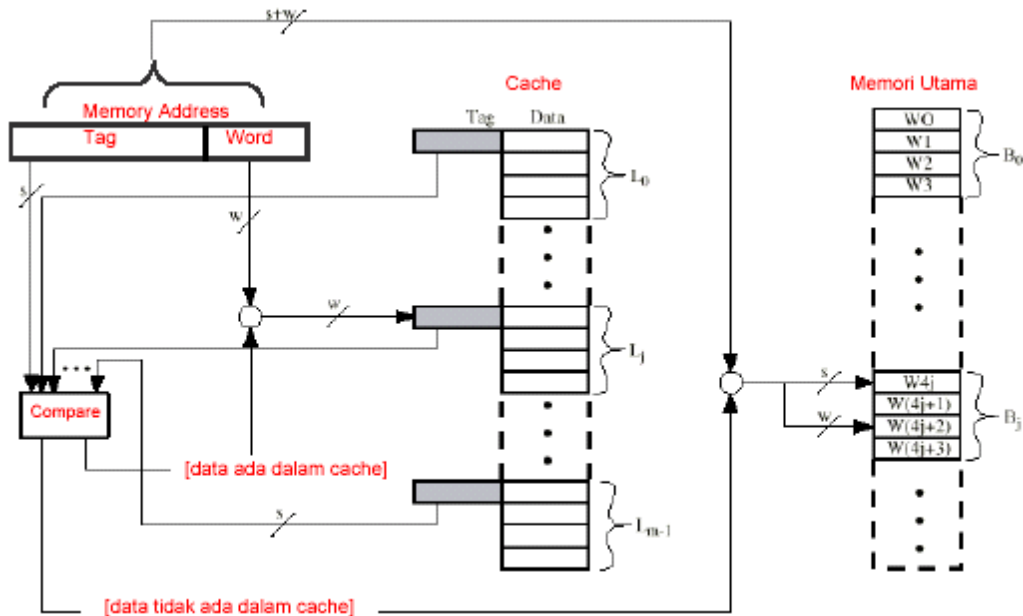
Gambar 4.9 Contoh pemetaan langsung

Teknik pemetaan ini sederhana dan mudah diimplementasikan, namun kelemahannya adalah terdapat lokasi cache yang tetap bagi sembarang blok – blok yang diketahui. Dengan demikian, apabila suatu program berulang – ulang melakukan word referensi dari dua blok yang berbeda memetakan saluran yang sama maka blok – blok itu secara terus – menerus akan di-swap ke dalam cache sehingga hit rasionya akan rendah.

Pemetaan Asosiatif

Pemetaan asosiatif mengatasi kekurangan pemetaan langsung dengan cara setiap blok memori utama dapat dimuat ke sembarang saluran cache. Alamat memori utama diinterpretasikan dalam field tag dan field word oleh kontrol logika cache. Tag secara unik mengidentifikasi sebuah blok memori utama.

Mekanisme untuk mengetahui suatu blok dalam cache dengan memeriksa setiap tag saluran cache oleh kontrol logika cache. Dengan pemetaan ini didapat fleksibilitas dalam penggantian blok baru yang ditempatkan dalam cache. Algoritma penggantian dirancang untuk memaksimalkan hit ratio, yang pada pemetaan langsung terdapat kelemahan dalam bagian ini. Kekurangan pemetaan asosiatif adalah kompleksitas rangkaian sehingga mahal secara ekonomi.



Gambar 4.10 Organisasi cache dengan pemetaan asosiatif

Pemetaan Asosiatif Set

Pemetaan asosiatif set menggabungkan kelebihan yang ada pada pemetaan langsung dan pemetaan asosiatif. Memori cache dibagi dalam bentuk set – set.

Pemetaan asosiatif set prinsipnya adalah penggabungan kedua pemetaan sebelumnya. Alamat memori utama diinterpretasikan dalam tiga field, yaitu: field tag, field set, dan field word. Hal ini mirip dalam pemetaan langsung. Setiap blok memori utama dapat dimuat dalam sembarang saluran cache. Gambar 4.11 menjelaskan organisasi pemetaan asosiatif set.

Dalam pemetaan asosiatif set, cache dibagi dalam v buah set, yang masing – masing terdiri dari k saluran. Hubungan yang terjadi adalah :

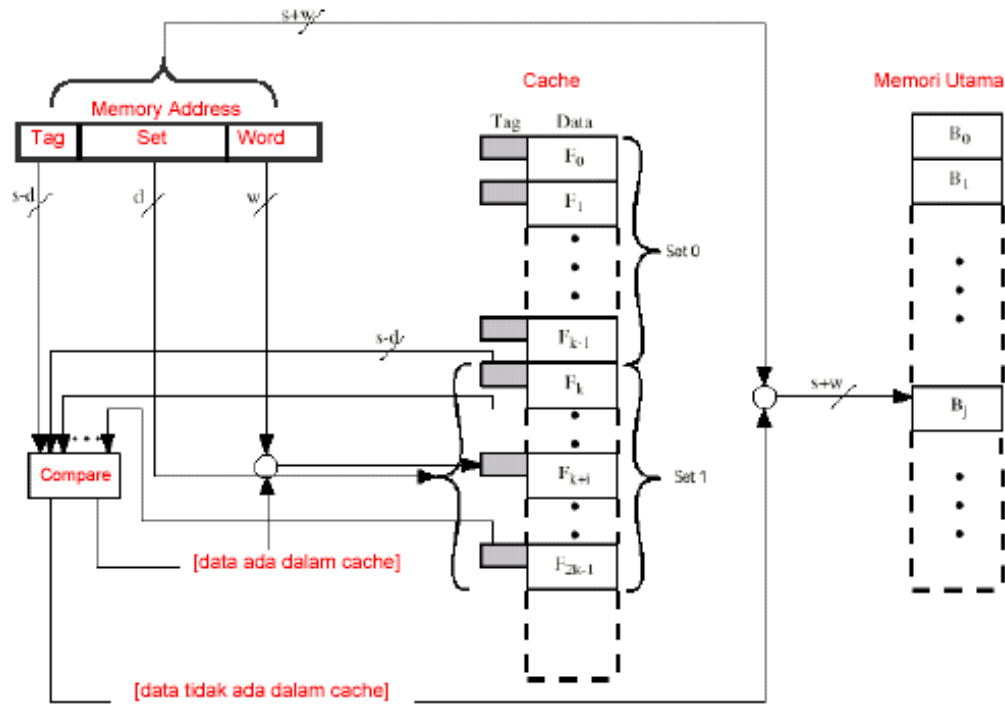
$$m = v \times k$$

$i = j$ modulus v dan $v = 2^d$ dimana :

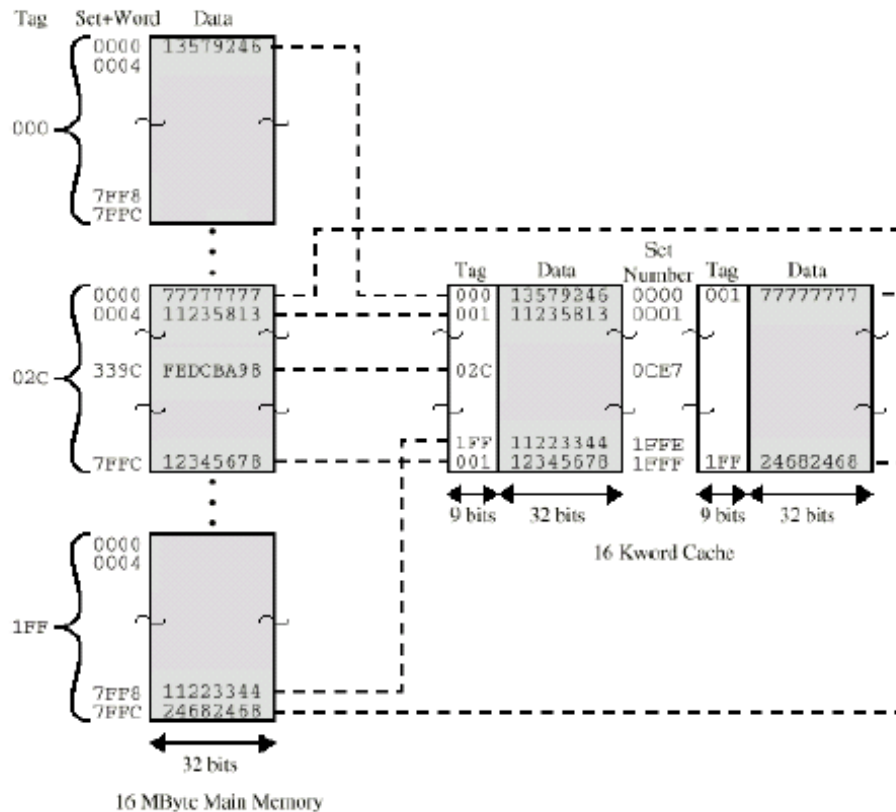
i = nomer set cache

j = nomer blok memori utama

m = jumlah saluran pada cache



Gambar 4.11 Organisasi cache dengan pemetaan asiatif set



Gambar 4.12 Contoh pemetaan asiatif set

Gambar 4.12 menjelaskan contoh yang menggunakan pemetaan asosiatif set dengan dua saluran pada masing-masing set, yang dikenal sebagai asosiatif set dua arah. Nomor set mengidentifikasi set unik dua saluran di dalam cache. Nomor set ini juga memberikan jumlah blok di dalam memori utama, modulus 2. Jumlah blok menentukan pemetaan blok terhadap saluran. Sehingga blok-blok 000000, 00A000, ..., FF1000 pada memori utama dipetakan terhadap set 0 cache. Sembarang blok tersebut dapat dimuatkan ke salah satu dari kedua saluran di dalam set. Perlu dicatat bahwa tidak terdapat dua blok yang memetakannya terhadap set cache yang sama memiliki nomor tag yang sama. Untuk operasi *read*, nomor set dipakai untuk menentukan set dua saluran yang akan diuji. Kedua saluran di dalam set diuji untuk mendapatkan yang cocok dengan nomor tag alamat yang akan diakses.

Penggunaan dua saluran per set ($v = m/2, k = 2$), merupakan organisasi asosiatif set yang paling umum. Teknik ini sangat meningkatkan hit ratio dibandingkan dengan pemetaan langsung. Asosiatif set empat arah ($v = m/4, k = 4$) memberikan peningkatan tambahan yang layak dengan penambahan harga yang relatif rendah. Peningkatan lebih lanjut jumlah saluran per set hanya memiliki efek yang sedikit.

4.7.4 Algoritma Penggantian

Yang dimaksud Algoritma Penggantian adalah suatu mekanisme pergantian blok – blok dalam memori cache yang lama dengan data baru. Dalam pemetaan langsung tidak diperlukan algoritma ini, namun dalam pemetaan asosiatif dan asosiatif set, algoritma ini mempunyai peranan penting untuk meningkatkan kinerja cache memori.

Banyak algoritma penggantian yang telah dikembangkan, namun dalam buku ini akan dijelaskan algoritma yang umum digunakan saja. Algoritma yang paling efektif adalah *Least Recently Used* (LRU), yaitu mengganti blok data yang terlama berada dalam cache dan tidak memiliki referensi. Algoritma lainnya adalah *First In First Out* (FIFO), yaitu mengganti blok data yang awal masuk. Kemudian *Least Frequently Used* (LFU) adalah mengganti blok data yang mempunyai referensi paling sedikit. Teknik lain adalah algoritma *Random*, yaitu penggantian tidak berdasarkan pemakaian datanya, melainkan berdasar slot dari beberapa slot kandidat secara acak.

4.7.5 Write Policy

Apabila suatu data telah diletakkan pada cache maka sebelum ada penggantian harus dicek apakah data tersebut telah mengalami perubahan. Apabila telah berubah maka data pada memori utama harus di-update. Masalah penulisan ini sangat kompleks, apalagi memori utama

dapat diakses langsung oleh modul I/O, yang memungkinkan data pada memori utama berubah, lalu bagaimana dengan data yang telah dikirim pada cache? Tentunya perbedaan ini menjadikan data tidak valid.

Teknik yang dikenalkan diantaranya, *write through*, yaitu operasi penulisan melibatkan data pada memori utama dan sekaligus pada cache memori sehingga data selalu valid. Kekurangan teknik ini adalah menjadikan lalu lintas data ke memori utama dan cache sangat tinggi sehingga mengurangi kinerja sistem, bahkan bisa terjadi hang.

Teknik lainnya adalah *write back*, yaitu teknik meminimasi penulisan dengan cara penulisan pada cache saja. Pada saat akan terjadi penggantian blok data cache maka baru diadakan penulisan pada memori utama. Masalah yang timbul adalah manakala data di memori utama belum di-update telah diakses modul I/O sehingga data di memori utama tidak valid.

Penggunaan multi cache terutama untuk multi prosesor akan menjumpai masalah yang lebih kompleks. Masalah validasi data tidak hanya antara cache dan memori utama saja, namun antar cache juga harus diperhatikan. Pendekatan penyelesaian masalah yang dapat dilakukan adalah dengan :

- *Bus Watching with Write Through*, yaitu setiap cache controller akan memonitoring bus alamat untuk mendeteksi adanya operasi tulis. Apabila ada operasi tulis di alamat yang datanya digunakan bersama maka cache controller akan menginvalidasi data cache-nya.
- *Hardware Transparency*, yaitu adanya perangkat keras tambahan yang menjamin semua updating data memori utama melalui cache direfleksikan pada seluruh cache yang ada.
- *Non Cacheable Memory*, yaitu hanya bagian memori utama tertentu yang digunakan secara bersama. Apabila ada mengakses data yang tidak di share merupakan kegagalan cache.

5.2.6 Jumlah Cache

Terdapat dua macam letak cache. Berada dalam keping prosesor yang disebut *on chip cache* atau cache internal. Kemudian berada di luar chip prosesor yang disebut *off chip cache* atau cache eksternal.

Cache internal diletakkan dalam prosesor sehingga tidak memerlukan bus eksternal, akibatnya waktu aksesnya akan cepat sekali, apalagi panjang lintasan internal bus prosesor sangat pendek untuk mengakses cache internal. Cache internal selanjutnya disebut *cache tingkat 1 (L1)*.

Cache eksternal berada diluar keping chip prosesor yang diakses melalui bus eksternal. Pertanyaannya, apakah masih diperlukan cache eksternal apabila telah ada cache internal? Dari

pengalaman, masih diperlukan untuk mengantisipasi permintaan akses alamat yang belum tercakup dalam cache internal. Cache eksternal selanjutnya disebut *cache tingkat 2 (L2)*.

Selanjutnya terdapat perkembangan untuk memisah cache data dan cache instruksi yang disebut *unified cache*. Keuntungan *unified cache* adalah :

- Unified cache memiliki hit rate yang tinggi karena telah dibedakan antara informasi data dan informasi instruksi.
- Hanya sebuah cache saja yang perlu dirancang dan diimplementasikan.

Namun terdapat kecenderungan untuk menggunakan *split cache*, terutama pada mesin – mesin superscalar seperti Pentium dan PowerPC yang menekankan pada paralel proses dan perkiraan – perkiraan eksekusi yang akan terjadi. Kelebihan utama *split cache* adalah mengurangi persaingan antara prosesor instruksi dan unit eksekusi untuk mendapatkan cache, yang mana hal ini sangat utama bagi perancangan prosesor – prosesor pipelining.

Peralatan Penyimpanan Data

Kebutuhan akan memori utama saja tidak mencukupi maka diperlukan peralatan tambahan untuk menyimpan data yang lebih besar dan dapat dibawa kemana-mana. Tetapi dengan semakin besarnya peralatan penyimpanan maka dengan sendirinya akan mempengaruhi waktu pemrosesan data. Beberapa peralatan penyimpanan akan dijelaskan pada bab ini.

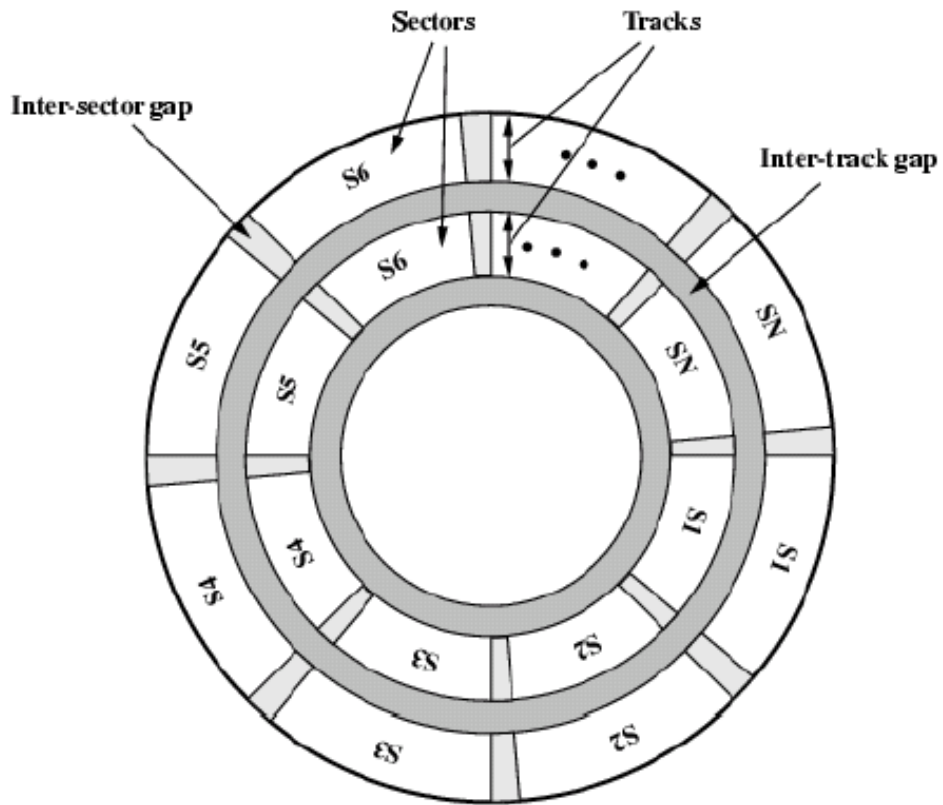
5.1 Magnetik Disk

Disk adalah piringan bundar yang terbuat dari bahan tertentu (logam atau plastik) dengan permukaan dilapisi bahan yang dapat di magnetisasi. Mekanisme baca/tulis menggunakan kepala baca atau tulis yang disebut *head*, merupakan komparan pengkonduksi (*conducting coil*). Desain fisiknya, head bersifat stasioner sedangkan piringan disk berputar sesuai kontrolnya.

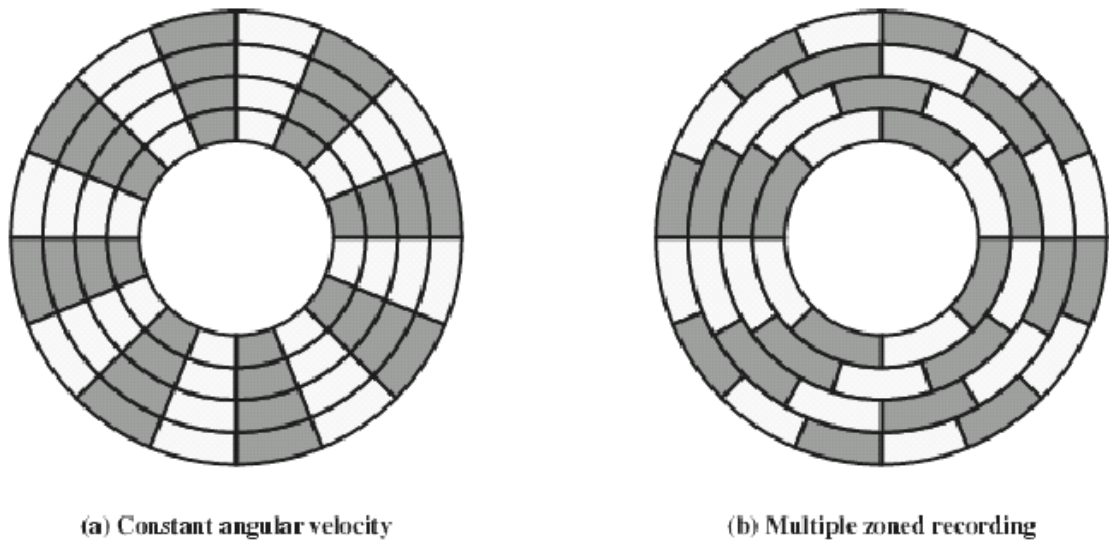
Layout data pada disk diperlihatkan pada gambar 5.1 dan gambar 5.2. Terdapat dua metode layout data pada disk, yaitu *constant angular velocity* dan *multiple zoned recording*. Disk diorganisasi dalam bentuk cincin – cincin konsentris yang disebut *track*. Tiap track pada disk dipisahkan oleh *gap*. Fungsi gap untuk mencegah atau mengurangi kesalahan pembacaan maupun penulisan yang disebabkan melesetnya head atau karena interferensi medan magnet.

Sejumlah bit yang sama akan menempati track – track yang tersedia. Semakin ke dalam disk maka kerapatan (*density*) disk akan bertambah besar. Data dikirim ke memori ini dalam bentuk blok, umumnya blok lebih kecil kapasitasnya daripada track. Blok – blok data disimpan dalam disk yang berukuran blok, yang disebut *sector*. Sehingga track biasanya terisi beberapa sector, umumnya 10 hingga 100 sector tiap tracknya.

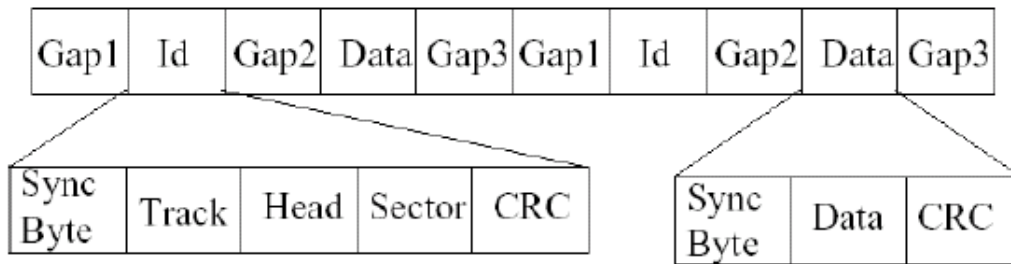
Bagaimana mekanisme pembacaan maupun penulisan pada disk ? Head harus bisa mengidentifikasi titik awal atau posisi – posisi sector maupun track. Caranya data yang disimpan akan diberi header data tambahan yang menginformasikan letak sector dan track suatu data. Tambahan header data ini hanya digunakan oleh sistem disk drive saja tanpa bisa diakses oleh pengguna.



Gambar 5.1 *Layuot* data disk



Gambar 5.2 Metode *layuot* data disk



Gambar 5.3 Format data pada track disk

Gambar 5.3 diatas menggambarkan pemformatan data pada disk. *Field ID* merupakan header data yang digunakan disk drive menemukan letak sector dan tracknya. Byte SYNCH adalah pola bit yang menandakan awal field data.

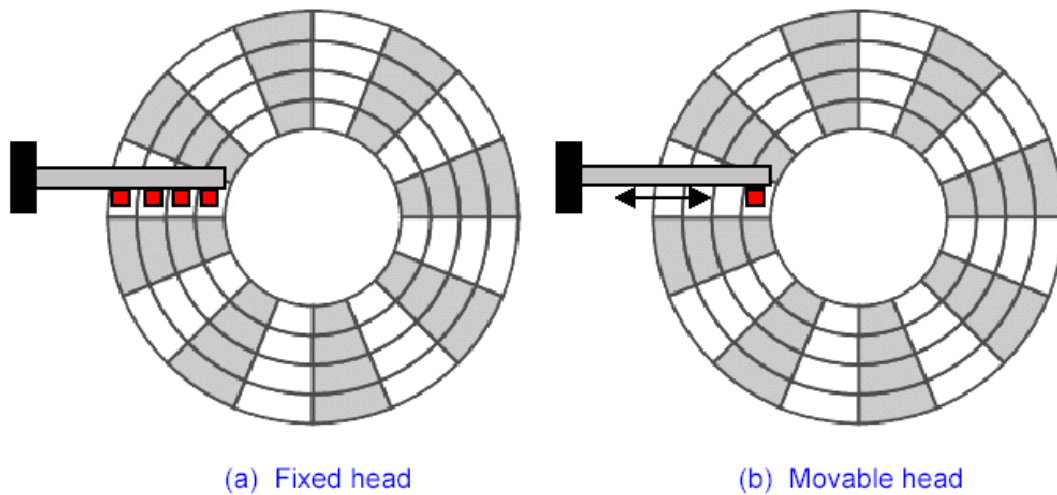
Karakteristik Magnetik Disk

Saat ini sesuai kekhususan penggunaan telah beredar berbagai macam magnetik disk. Tabel 5.1 menyajikan daftar katakarakteristik utama dari berbagai jenis disk.

Tabel 5.1 Karakteristik magnetik disk

Karakteristik	Macam
Gerakan head	1. Fixed head (satu per track) 2. Movable head (satu per surface)
Portabilitas disk	1. Nonremovable disk 2. Removable disk
Sides	1. Single-sided 2. Double-sided
Platters	1. Single-platter 2. Multiple-platter
Mekanisme head	1. Contact (floppy) 2. Fixed gap 3. Aerodynamic gap (Winchester)

Berdasarkan gerakan head, terdapat dua macam jenis yaitu head tetap (*fixed head*) dan head bergerak (*movable head*) seperti terlihat pada gambar 5.4. Pada head tetap setiap track memiliki kepala head sendiri, sedangkan pada head bergerak, satu kepala head digunakan untuk beberapa track dalam satu muka disk. Mekanisme dalam head bergerak adalah lengan head bergerak menuju track yang diinginkan berdasarkan perintah dari disk drive-nya.



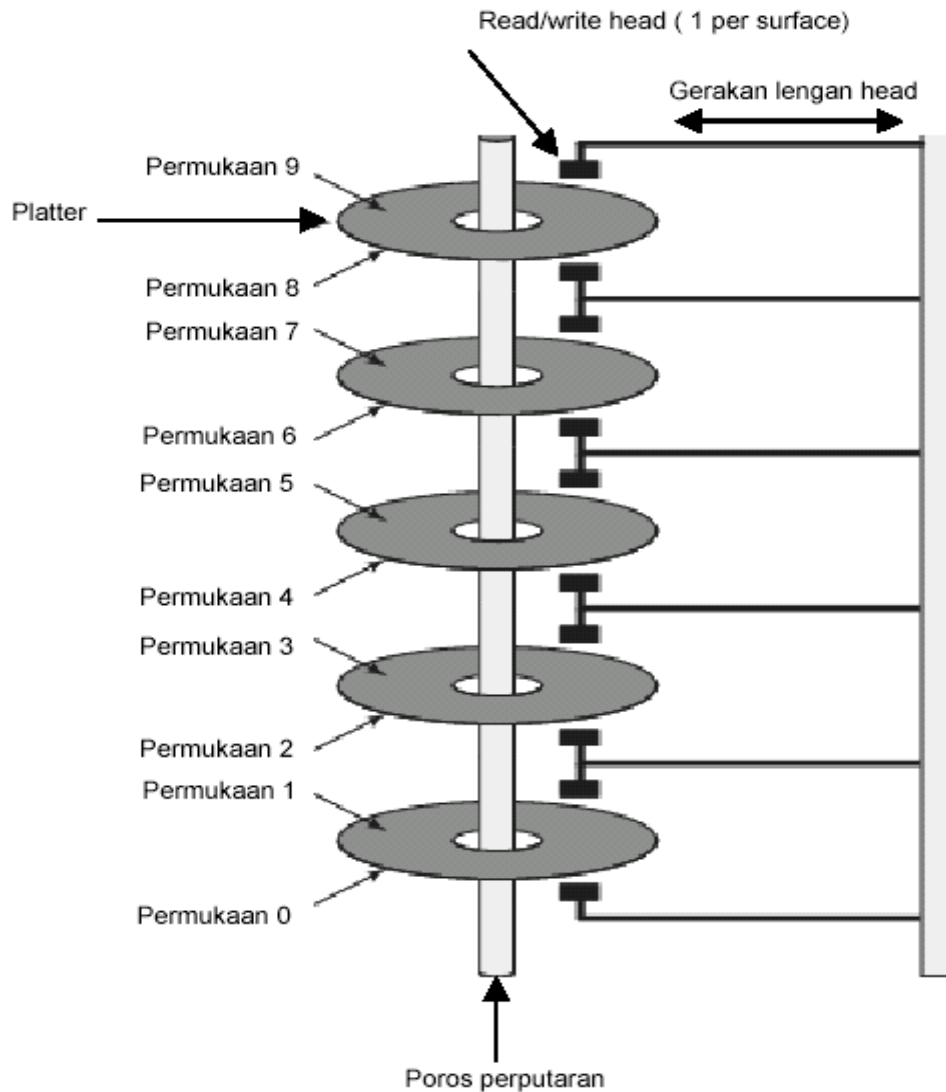
Gambar 5.4 Macam disk berdasar gerakan head

Karakteristik disk berdasar portabilitasnya dibagi menjadi disk yang tetap (*non-removable disk*) dan disk yang dapat dipindah (*removable disk*). Keuntungan disk yang dapat dipindah atau diganti – ganti adalah tidak terbatas dengan kapasitas disk dan lebih fleksibel.

Karakteristik lainnya berdasar *sides* atau muka sisinya adalah satu sisi disk (*single sides*) dan dua muka disk (*double sides*). Kemudian berdasarkan jumlah piringannya (*platters*), dibagi menjadi satu piringan (*single platter*) dan banyak piringan (*multiple platter*). Gambar disk dengan multiple platters tersaji dalam gambar 5.5.

Terakhir, mekanisme head membagi disk menjadi tiga macam, yaitu head yang menyentuh disk (*contact*) seperti pada floppy disk, head yang mempunyai celah utara tetap maupun yang tidak tetap tergantung medan magnetnya. Celah atau jarak head dengan disk tergantung kepadatan datanya, semakin padat datanya dibutuhkan jarak head yang semakin dekat, namun semakin dekat head maka faktor resikonya semakin besar, yaitu terjadinya kesalahan baca. Teknologi Winchester dari IBM mengantisipasi masalah celah head diatas dengan model head aerodinamik. Head berbentuk lembaran timah yang berada dipermukaan disk apabila tidak bergerak, seiring perputaran disk maka disk akan mengangkat headnya.

Istilah Winchester dikenalkan IBM pada model disk 3340-nya. Model ini merupakan removable disk pack dengan head yang dibungkus di dalam pack. Sekarang istilah Winchester digunakan oleh sembarang disk drive yang dibungkus pack dan memakai rancangan head aerodinamis.



Gambar 5.5 Disk piringan banyak (*multiple platters disk*)

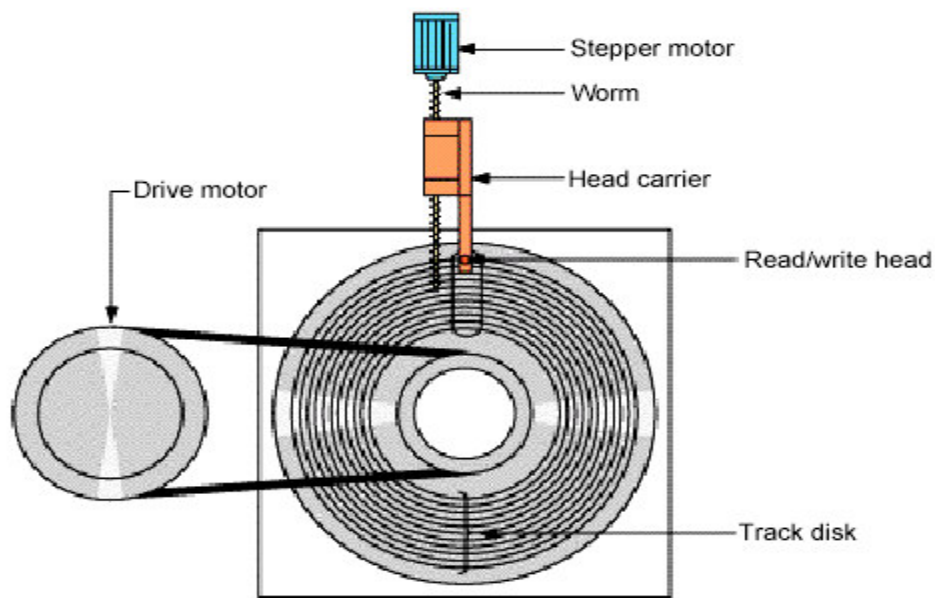
Disk drive beroperasi dengan kecepatan konstan. Untuk dapat membaca dan menulis, head harus berada pada track yang diinginkan dan pada awal sektornya. Diperlukan waktu untuk mencapai track yang diinginkan, waktu yang diperlukan disebut sebagai *seek time*. Apabila track sudah didapatkan maka diperlukan waktu sampai sector yang bersangkutan berputar sesuai dengan headnya, yang disebut *rotational latency*. Jumlah seek time dan rotational latency disebut dengan *access time*. Dengan kata lain, access time adalah waktu yang diperlukan disk untuk berada pada posisi siap membaca atau menulis.

Berikutnya akan dijelaskan memori eksternal yang termasuk magnetik disk, yaitu floppy disk (disket), harddisk model IDE dan harddisk model SCSI.

Floppy Disk (Disket)

Dengan berkembangnya komputer pribadi maka diperlukan media untuk mendistribusikan software maupun pertukaran data. Solusinya ditemukannya *disket* atau *floppy disk* oleh IBM.

Karakteristik disket adalah head menyentuh permukaan disk saat membaca ataupun menulis. Hal ini menyebabkan disket tidak tahan lama dan sering rusak. Untuk mengurangi kerusakan atau aus pada disket, dibuat mekanisme penarikan head dan menghentikan rotasi disk ketika head tidak melakukan operasi baca dan tulis. Namun akibatnya waktu akses disket cukup lama. Gambar 5.6. memperlihatkan bentuk floppy disk.



Gambar 5.6 Floppy disk

Tabel 5.2 Karakteristik berbagai macam disket

Parameter	LD 5,25"	HD 5,25"	LD 3,5"	HD 3,5"
Ukuran (inches)	5,25	5,25	3,5	3,5
Kapasitas (byte)	360K	1,2M	720K	1,44M
Tracks	40	80	80	80
Sectors/track	9	15	9	18
Heads	2	2	2	2
Rotasi/min	300	500	300	300
Data rate (kbps)	250	500	250	500
Tipe	flexible	flexible	rigid	rigid

Ada dua ukuran disket yang tersedia, yaitu 5,25 inci dan 3,5 inci dengan masing – masing memiliki versi *low density* (LD) dan *high density* (HD). Disket 5,25 inci sudah tidak populer karena bentuknya yang besar, kapasitas lebih kecil dan selubung pembungkusnya tidak kuat. Perhatikan karakteristik model disket yang beredar saat ini pada tabel 5.2.

IDE Disk (Harddisk)

Saat IBM mengembangkan PC XT, menggunakan sebuah harddisk Seagate 10 MB untuk menyimpan program maupun data. Harddisk ini memiliki 4 head, 306 silinder dan 17 sektor per track, dicontrol oleh pengontrol disk Xebec pada sebuah kartu *plug-in*.

Teknologi yang berkembang pesat menjadikan pengontrol disk yang sebelumnya terpisah menjadi satu paket terintegrasi, diawali dengan teknologi drive IDE (*Integrated Drive Electronics*) pada tengah tahun 1980. Teknologi saat itu IDE hanya mampu menangani disk berkapasitas maksimal 528 MB dan mengontrol 2 disk.

Seiring kebutuhan memori, berkembang teknologi yang mampu menangani disk berkapasitas besar. IDE berkembang menjadi EIDE (*Extended Integrated Drive Electronics*) yang mampu menangani harddisk lebih dari 528 MB dan mendukung pengalamatan LBA (*Logical Block Addressing*), yaitu metode pangalamatan yang hanya memberi nomer pada sektor – sektor mulai dari 0 hingga maksimal 224-1. Metode ini mengharuskan pengontrol mampu mengkonversi alamat – alamat LBA menjadi alamat head, sektor dan silinder. Peningkatan kinerja lainnya adalah kecepatan tranfer yang lebih tinggi, mampu mengontrol 4 disk, mampu mengontrol drive CD-ROM.

SCSI Disk (Harddisk)

Disk SCSI (*Small Computer System Interface*) mirip dengan IDE dalam hal organisasi pengalamatannya. Perbedaannya pada piranti antarmukanya yang mampu mentransfer data dalam kecepatan tinggi. Versi disk SCSI terlihat pada tabel 5.3.

Karena kecepatan transfernya tinggi, disk ini merupakan standar bagi komputer UNIX dari Sun Microsystem, HP, SGI, Machintos, Intel terutama komputer – komputer server jaringan, dan vendor – vendor lainnya.

SCSI sebenarnya lebih dari sekedar piranti antarmuka harddisk. SCSI adalah sebuah bus karena SCSI mampu sebagai pengontrol hingga 7 peralatan seperti: harddisk, CD ROM, rekorder CD, scanner dan peralatan lainnya. Masing – masing peralatan memiliki ID unik sebagai media pengenalan oleh SCSI.

Tabel 5.3 Versi disk SCSI

Nama	Data bits	Bus MHz	MB/det
SCSI-1	8	5	5
Fast SCSI	8	10	10
Wide Fast SCSI	16	10	20
Ultra SCSI	8	20	20
Wide Ultra SCSI	16	20	40
Ultra-2 SCSI	8	40	40
Wide Ultra-2 SCSI	16	40	80

5.2 RAID

Telah dijelaskan diawal bahwa masalah utama sistem memori adalah mengimbangi laju kecepatan CPU. Beberapa teknologi dicoba dan dikembangkan, diantaranya menggunakan konsep akses paralel pada disk.

RAID (*Redundancy Array of Independent Disk*) merupakan organisasi disk memori yang mampu menangani beberapa disk dengan sistem akses paralel dan redudansi ditambahkan untuk meningkatkan reliabilitas. Karena kerja paralel inilah dihasilkan resultan kecepatan disk yang lebih cepat. Teknologi database sangatlah penting dalam model disk ini karena pengontrol disk harus mendistribusikan data pada sejumlah disk dan juga membacaan kembali. Karakteristik umum disk RAID :

- RAID adalah sekumpulan disk drive yang dianggap sebagai sistem tunggal disk.
- Data didistribusikan ke drive fisik array.
- Kapasitas redudant disk digunakan untuk menyimpan informasi paritas, yang menjamin recoveribility data ketika terjadi masalah atau kegagalan disk.

Jadi RAID merupakan salah satu jawaban masalah kesenjangan kecepatan disk memori dengan CPU dengan cara menggantikan disk berkapasitas besar dengan sejumlah disk – disk berkapasitas kecil dan mendistribusikan data pada disk – disk tersebut sedemikian rupa sehingga nantinya dapat dibaca kembali.

RAID tingkat 0

Sebenarnya bukan RAID karena tidak menggunakan redundansi dalam meningkatkan kinerjanya. Data didistribusikan pada seluruh disk secara array merupakan keuntungan daripada menggunakan satu disk berkapasitas besar.

Sejalan perkembangan RAID – 0 menjadi model data strip pada disk dengan suatu management tertentu hingga data sistem data dianggap tersimpan pada suatu

disk logik. Mekanisme tranfer data dalam satu sektor sekaligus sehingga hanya baik untuk menangani tranfer data besar.

RAID tingkat 1

Pada RAID – 1, redundansi diperoleh dengan cara menduplikasi seluruh data pada disk *mirror*-nya. Seperti halnya RAID – 0, pada tingkat 1 juga menggunakan teknologi *stripping*, perbedaannya adalah dalam tingkat 1 setiap strip logik dipetakan ke dua disk yang secara logika terpisah sehingga setiap disk pada array akan memiliki *mirror disk* yang berisi data sama. Hal ini menjadikan RAID – 1 mahal. Keuntungan RAID – 1:

- Permintaan pembacaan dapat dilayani oleh salah satu disk karena terdapat dua disk berisi data sama, tergantung waktu akses yang tercepat.
- Permintaan penyimpanan atau penulisan dilakukan pada 2 disk secara paralel.
- Terdapat back-up data, yaitu dalam disk *mirror*-nya.

RAID – 1 mempunyai peningkatan kinerja sekitar dua kali lipat dibandingkan RAID – 0 pada operasi baca, namun untuk operasi tulis tidak secara signifikan terjadi peningkatan. Cocok digunakan untuk menangani data yang sering mengalami kegagalan dalam proses pembacaan. RAID – 1 masih bekerja berdasarkan sektor – sektornya.

RAID tingkat 2

RAID – 2 menggunakan teknik akses paralel untuk semua disk. Dalam proses operasinya, seluruh disk berpartisipasi dan mengeksekusi setiap permintaan sehingga terdapat mekanisme sinkronisasi perputaran disk dan headnya.

Teknologi *stripping* juga digunakan dalam tingkat ini, hanya stripnya berukuran kecil, sering kali dalam ukuran *word* atau *byte*. Koreksi kesalahan menggunakan sistem bit paritas dengan kode Hamming. Cocok digunakan untuk menangani sistem yang kerap mengalami kesalahan disk.

RAID tingkat 3

Diorganisasikan mirip dengan RAID – 2, perbedaannya pada RAID – 3 hanya membutuhkan disk redudant tunggal, tidak tergantung jumlah array disknya. Bit paritas dikomputasikan untuk setiap data word dan ditulis pada disk paritas khusus. Saat terjadi kegagalan drive, data disusun kembali dari sisa data yang masih baik dan dari informasi paritasnya.

RAID – 3 menggunakan akses paralel dengan data didistribusikan dalam bentuk strip – strip kecil. Kinerjanya menghasilkan transfer berkecepatan tinggi, namun hanya dapat

mengeksekusi sebuah permintaan I/O saja sehingga kalau digunakan pada lingkungan transaksi data tinggi terjadi penurunan kinerja.

RAID tingkat 4

RAID – 4 menggunakan teknik akses yang independen untuk setiap disknya sehingga permintaan baca atau tulis dilayani secara paralel. RAID ini cocok untuk menangani sistem dengan kelajuan tranfer data yang tinggi. Tidak memerlukan sinkronisasi disk karena setiap disknya beroperasi secara independen. Stripping data dalam ukuran yang besar.

Strip paritas bit per bit dihitung ke seluruh strip yang berkaitan pada setiap disk data. Paritas disimpan pada disk paritas khusus. Saat operasi penulisan, array management software tidak hanya meng-update data tetapi juga paritas yang terkait. Keuntungannya dengan disk paritas yang khusus menjadikan keamanan data lebih terjamin, namun dengan disk paritas yang terpisah akan memperlambat kinerjanya.

RAID tingkat 5

Mempunyai kemiripan dengan RAID – 4 dalam organisasinya, perbedaannya adalah strip – strip paritas didistribusikan pada seluruh disk. Untuk keamanan, strip paritas suatu disk disimpan pada disk lainnya. RAID – 4 merupakan perbaikan dari RAID – 4 dalam hal peningkatan kinerjanya. Disk ini biasanya digunakan dalam server jaringan.

RAID tingkat 6

Merupakan teknologi RAID terbaru. Menggunakan metode penghitungan dua paritas untuk alasan keakuratan dan antisipasi terhadap koreksi kesalahan. Seperti halnya RAID – 5, paritas tersimpan pada disk lainnya. Memiliki kecepatan transfer yang tinggi.

5.3 Optical Disk

Pada tahun 1980, Philips dan Sony mengembangkan CD (*Compact Disk*). Detail teknis produk ini dipublikasikan dalam *international standard* resmi pada tahun 1983 yang populer disebut *red book*. CD merupakan disk yang tidak dapat dihapus, mampu menyimpan memori kurang lebih 60 menit informasi audio pada salah satu sisinya. Keberhasilan secara komersial CD yang mampu menyimpan data dalam jumlah yang besar, menjadikannya media penyimpan yang fleksibel digunakan di berbagai peralatan seperti komputer, kamera video, MP3 player, dan lain-lain.

Sejak dipublikasikan sampai dengan saat ini, terdapat bermacam-macam variasi sesuai dengan penggunaan dan teknologinya. Berikut tabel diantara produk-produk optical disk :

Tabel 5.4 Produk – produk optical disk

CD	<i>Compact Disk</i> . Suatu disk yang tidak dapat dihapus yang menyimpan informasi audio yang telah didigitasi. Sistem standar menggunakan disk 12 cm yang dapat merekam lebih dari 60 menit waktu putar tanpa terhenti.
CD - ROM	<i>Compact Disk Read-Only Memory</i> . Disk yang tidak dapat dihapus untuk menyimpan data komputer. Sistem standar menggunakan disk 12 cm yang dapat menampung lebih dari 550 Mbyte.
CD – R	<i>Compact Disk Recordables</i> . Merupakan CD untuk penggunaan khusus, biasanya untuk master CD dan photo CD. Lapisan reflektif terbuat dari emas sehingga berwarna kuning. Kapasitas sama dengan CD lainnya.
CD – RW	<i>Digital Video Rewritables</i> . Merupakan generasi CD yang dapat ditulis berulang kali namun belum populer saat ini karena masih relatif mahal.
DVD	<i>Digital Versatile Disk</i> . Salah satu jenis CD yang memiliki pit data lebih kecil, spiral data yang lebih rapat sehingga kapasitasnya sangat besar, bisa mencapai 4,7GB untuk sisi tunggal dan berlapis tunggal. Laser optis yang digunakan adalah laser merah yang berukuran lebih kecil dari CD biasa. Kualitas yang dihasilkan juga lebih baik dari CD model lain.

CD ROM

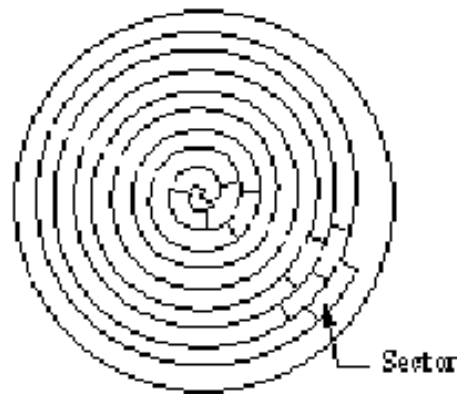
(*Compact Disk – Read Only Memory*). Merupakan generasi CD yang diaplikasikan sebagai media penyimpan data komputer. Dikenalkan pertama kali oleh Phillips dan Sony tahun 1984 dalam publikasinya, yang dikenal dengan *Yellow Book*.

Perbedaan utama dengan CD adalah CD ROM player lebih kasar dan memiliki perangkat pengoreksi kesalahan, untuk menjamin keakuratan tranfer data ke komputer. Secara fisik keduanya dibuat dengan cara yang sama, yaitu terbuat dari resin, contohnya *polycarbonate*, dan dilapisi dengan permukaan yang sangat reflektif seperti aluminium.

Penulisan dengan cara membuat lubang mikroskopik sebagai representasi data dengan laser berintensitas tinggi. Pembacaan menggunakan laser berintensitas rendah untuk menterjemahkan lubang mikroskopik ke dalam bentuk data yang dapat dikenali komputer. Saat mengenai lubang mikroskopik, intensitas sinar laser akan berubah – ubah. Perubahan intensitas ini dideteksi oleh fotosensor dan dikonversi dalam bentuk sinyal digital.

Karena disk berbentuk lingkaran, terdapat masalah dalam mekanisme baca dan tulis, yaitu masalah kecepatan. Saat disk membaca data dibagian dekat pusat disk diperlukan putaran rendah karena padatnya informasi data, sedangkan apabila data berada di bagian luar disk diperlukan kecepatan yang lebih tinggi. Ada beberapa metode mengatasi masalah kecepatan ini,

diantaranya dengan sistem *constant angular velocity (CAV)*, yaitu bit – bit informasi direkam dengan kerapatan yang bervariasi sehingga didapatkan putaran disk yang sama. Metode ini biasa diterapkan dalam disk magnetik, kelemahannya adalah kapasitas disk menjadi berkurang. Metode lain, yang biasa diterapkan pada disk optik adalah *constant linear velocity (CLV)*, yaitu dalam mengantisipasi kerapatan data pada disk dengan menyesuaikan kecepatan putaran disk yang dikontrol oleh *disk drive*-nya. Keuntungannya adalah kapasitas disk besar, namun waktu akses secara keseluruhan lebih lambat dibandingkan metode CAV. Layout disk CLV terlihat pada gambar 5.7.



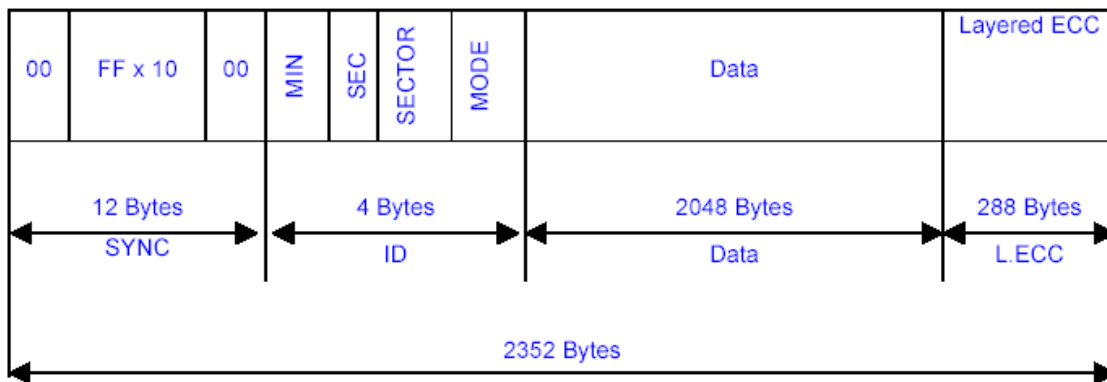
Gambar 5.7 Layout disk CLV

Data pada CD-ROM diorganisasikan sebagai sebuah rangkaian blok-blok. Formasi blok yang umum ditunjukkan pada gambar 5.8. Format ini terdiri dari field-field sebagai berikut :

- *Sync* : *Field sync* mengidentifikasi awal sebuah blok. *Field* ini terdiri dari sebuah byte yang seluruhnya nol, 10 byte yang seluruhnya satu, dan sebuah byte akhir yang seluruhnya nol.
- *Header* : Header terdiri dari alamat blok dan byte mode. Mode nol menandakan suatu field data blanko; mode satu menandakan penggunaan kode error-correcting dan 2048 byte data; mode dua menandakan 2336 byte data pengguna tanpa kode error-correcting.
- *Data* : Data pengguna
- *Auxiliary* : Data pengguna tambahan dalam mode dua. Pada mode satu, data ini merupakan kode error-correcting 288 byte.

Untuk dapat digunakan diberbagai sistem operasi, perlu adanya sistem file CD-ROM yang standar. Diadakan pertemuan antar produsen CD untuk membahas standar ini di High Sierras (perbatasan California – Nevada) sehingga standar sistem file CD-ROM dikenal dengan sebutan *High Sierra* (IS 9660). Standar ini meliputi 3 level. Level 1 diantaranya berisi :

- Nama – nama file maksimum 8 karakter, yang secara opsional diikuti dengan nama ekstensi maksimal 3 karakter. (Menyesuaikan sistem operasi MS-DOS. Untuk level 2 mencapai 32 karakter).
- Nama – nama file hanya dapat memuat huruf – huruf besar, digit, dan karakter tambahan tertentu saja.
- Direktori dapat dibuat hingga mencapai 8 tingkat tanpa memuat karakter ekstensi.



Gambar 5.8 Format blok CD-ROM

CD – R

(*Compact Disk Recordables*) Secara fisik CD-R merupakan CD polikarbonat kosong berdiameter 120 mm sama seperti CD ROM. Perbedaannya adanya alur – alur untuk mengarahkan laser saat penulisan. Awalnya CD-R dilapisi emas sebagai media refleksinya.

Permukaan reflektif pada lapisan emas tidak memiliki depresi atau lekukan – lekukan fisik seperti halnya pada lapisan aluminium sehingga harus dibuat tiruan lekukan antara pit dan land-nya. Caranya dengan menambahkan lapisan pewarna di antara pilikarbonat dan lapisan emas. Jenis pewarna yang sering digunakan adalah *cyanine* yang berwarna hijau dan *phthalocynine* yang berwarna oranye kekuning-kuningan. Pewarna ini sama seperti yang digunakan dalam film fotografi sehingga menjadikan Kodak dan Fuji produsen utama CD-R.

Sebelum digunakan pewarna bersifat transparan sehingga sinar laser berdaya tinggi dapat menembus sampai ke lapisan emas saat proses penulisan. Saat sinar laser mengenai titik pewarna, sinar ini memanaskannya sehingga pewarna terurai melepaskan ikatan kimianya membentuk suatu noda. Noda – noda inilah sebagai representasi data yang nantinya dapat dikenali oleh foto-detektor apabila disinari dengan laser berdaya rendah saat proses pembacaan.

Seperti halnya jenis CD lainnya, CD-R dipublikasikan dalam buku tersendiri yang memuat spesifikasi teknisnya yang dikenal dengan *Orange Book*. Buku ini dipublikasikan tahun 1989.

Terdapat format pengembangan, yaitu ditemukannya seri CD-ROM XA yang memungkinkan penulisan CD-R secara inkremental sehingga menambah fleksibilitas produk ini. Kenapa hal ini bisa dilakukan, karena sistem ini memiliki multitrack dan setiap track memiliki VOTC (*volume table of content*) tersendiri. Berbeda dengan model CD-ROM sebelumnya yang hanya memiliki VOTC tunggal pada permulaan saja.

CD – RW

(*Compact Disk Rewritables*) Jenis CD ini memungkinkan penulisan berulang kali sehingga jenis ini memiliki nilai kompetitif dibandingkan jenis lain. Namun CD-RW belum banyak dipasarkan karena masih relatif mahal.

Karena proses penulisan berulang kali maka secara fisik berbeda dengan CD-R. CD-RW tidak menggunakan lapisan pewarna, namun menggunakan logam paduan antara perak, indium, antimon dan tellurium.

CD-RW drive menggunakan laser dalam 3 daya berbeda. Laser berdaya tinggi bertugas melelehkan paduan logam untuk mengubah kondisi stabil kristalin reflektivitas tinggi menjadi kondisi stabil amorf reflektivitas rendah agar menyerupai sebiah pit. Laser berdaya sedang menjadikan logam paduan meleleh dan berubah menjadi kondisi kristalin alamiah sebagai representasi land. Sedangkan laser berdaya rendah digunakan dalam proses pembacaan saja. Saat ini CD-RW belum mampu menggeser penggunaan CD-R karena disamping harganya masih relatif mahal dibandingkan CD-R, juga karena CD-R yang tidak dapat dihapus merupakan backup data terbaik saat ini.

DVD

(*Digital Versatile Disk*, awalnya *Digital Video Disk*) Merupakan pengembangan CD untuk memenuhi kebutuhan pasar dalam penyimpanan memori besar.

Desain DVD sama dengan CD biasa, terbuat dari polikarbonat 1,2 mm yang berisi pit dan land, disinari dioda laser dan dibaca oleh foto-detektor. Hal yang baru adalah :

- Pit – pit lebih kecil (0,4 mikron, atau setengahnya CD biasa)
- Spiral lebih rapat (0,74 mikron, sedangkan pada CD biasa 1,6 mikron)
- Menggunakan teknologi laser merah dengan ukuran 0,65 mikron, sedangkan pada CD biasa 0,78 mikron.

Hal baru diatas menjadikan DVD lebih besar kapasitasnya, yaitu untuk sisi tunggal dan berlapis tunggal 4,7 GB, sedangkan untuk berlapis ganda ataupun bersisi ganda akan lebih besar lagi.

Transfer data pada DVD drive sekitar 1,4 MB/det, sedangkan CD biasa hanya 150 KB/det. Kecepatan, teknologi laser yang berbeda menimbulkan sedikit masalah untuk kompatibilitas dengan teknologi CD maupun CD-ROM. Akan tetapi, saat ini beberapa produsen telah mengantisipasi dengan diada laser ganda ataupun teknologi lain yang memungkinkan saling kompatibel. Saat ini berkembang 4 format DVD, yaitu :

- Bersisi tunggal dengan lapisan tunggal (kapasitas 4,7 GB)
- Bersisi tunggal dengan lapisan ganda (kapasitas 8,5 GB)
- Bersisi ganda dengan lapisan tunggal (kapasitas 9,4 GB)
- Bersisi ganda dengan lapisan ganda (kapasitas 17 GB)

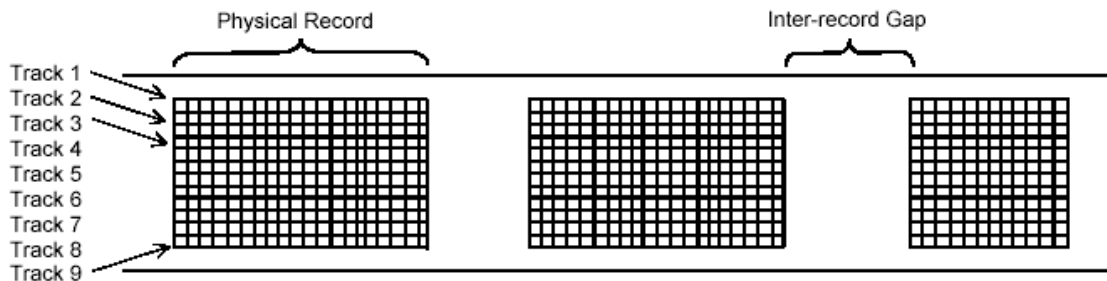
Piringan berlapis ganda memiliki satu lapisan reflektif pada bagian bawah, yang ditutup dengan lapisan semireflektif. Lapisan bawah memiliki pit dan land yang lebih lebar agar akurat dalam pembacaan sehingga lapisan bawah berkapasitas lebih kecil daripada lapisan atasnya. Pada piringan bersisi ganda dibuat dengan melekatkan dua sisi disk.

5.4 Pita Magnetik

Sistem pita magnetik menggunakan teknik pembacaan dan penulisan yang identik dengan sistem disk magnetik.

Medium pita magnetik berbentuk track – track paralel, sistem pita lama berjumlah 9 buah track sehingga memungkinkan penyimpanan satu byte sekali simpan dengan satu bit paritas pada track sisanya. Sistem pita baru menggunakan 18 atau 36 track sebagai penyesuaian terhadap lebar word dalam format digital.

Seperti pada disk, pita magnetik dibaca dan ditulisi dalam bentuk blok – blok yang bersambungan (kontinyu) yang disebut *physical record*. Blok – blok tersebut dipisahkan oleh gap yang disebut *inter-record gap*. Gambar 5.9 menyajikan format fisik pita magnetik.



Gambar 5.9 Format fisik pita magnetik

Head pita magnetik merupakan perangkat *sequential access*. Head harus menyesuaikan letak record yang akan dibaca ataupun akan ditulisi. Apabila head berada di tempat lebih atas dari record yang diinginkan maka pita perlu dimundurkan dahulu, baru dilakukan pembacaan dengan arah maju. Hal ini sangat berbeda pada teknologi disk yang menggunakan teknik *direct access*. Kecepatan putaran pita magnetik adalah rendah sehingga transfer data menjadi lambat, saat ini pita magnetik mulai ditinggalkan digantikan oleh jenis – jenis produk CD.

Unit Masukan dan Keluaran

Sistem komputer memiliki tiga komponen utama, yaitu : CPU, memori (primer dan sekunder), dan peralatan masukan/keluaran (*I/O devices*) seperti printer, monitor, keyboard, mouse, dan modem. Beberapa bab sebelumnya telah membahas CPU dan memori, sekarang akan kita jelaskan tentang peralatan atau modul I/O pada bab ini.

Modul I/O merupakan peralatan antarmuka (*interface*) bagi sistem bus atau switch sentral dan mengontrol satu atau lebih perangkat peripheral. Modul I/O tidak hanya sekedar modul penghubung, tetapi sebuah piranti yang berisi logika dalam melakukan fungsi komunikasi antara peripheral dan bus komputer.

Ada beberapa alasan kenapa piranti – piranti tidak langsung dihubungkan dengan bus sistem komputer, yaitu :

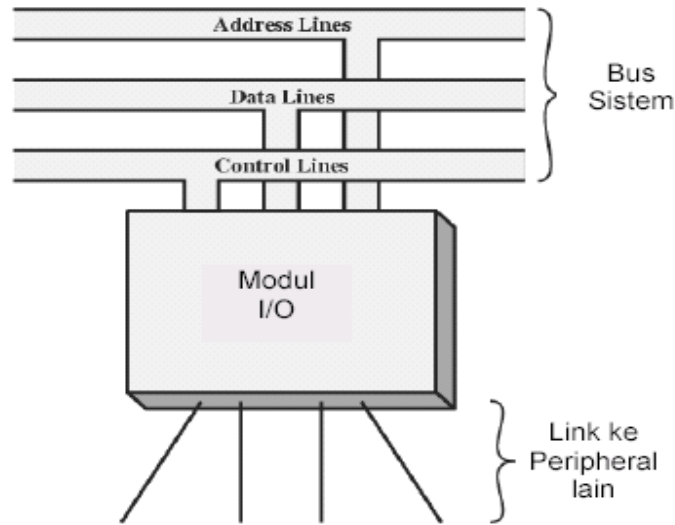
- Bervariasinya metode operasi piranti peripheral, sehingga tidak praktis apabila sistem komputer harus menangani berbagai macam sistem operasi piranti peripheral tersebut.
- Kecepatan transfer data piranti peripheral umumnya lebih lambat dari pada laju transfer data pada CPU maupun memori.
- Format data dan panjang data pada piranti peripheral seringkali berbeda dengan CPU, sehingga perlu modul untuk menselaraskannya.

Dari beberapa alasan diatas, modul I/O memiliki dua buah fungsi utama, yaitu :

1. Sebagai piranti antarmuka ke CPU dan memori melalui bus sistem.
2. Sebagai piranti antarmuka dengan peralatan peripheral lainnya dengan menggunakan link data tertentu.

6.1 Sistem Masukan & Keluaran Komputer

Bagaimana modul I/O dapat menjalankan tugasnya, yaitu menjembatani CPU dan memori dengan dunia luar merupakan hal yang terpenting untuk kita ketahui. Inti mempelajari sistem I/O suatu komputer adalah mengetahui fungsi dan struktur modul I/O. Perhatikan gambar 6.1 yang menyajikan model generik modul I/O.



Gambar 6.1 Model generik dari suatu modul I/O

6.1.1 Fungsi Modul I/O

Modul I/O adalah suatu komponen dalam sistem komputer yang bertanggung jawab atas pengontrolan sebuah perangkat luar atau lebih dan bertanggung jawab pula dalam pertukaran data antara perangkat luar tersebut dengan memori utama ataupun dengan register – register CPU. Dalam mewujudkan hal ini, diperlukan antarmuka internal dengan komputer (CPU dan memori utama) dan antarmuka dengan perangkat eksternalnya untuk menjalankan fungsi – fungsi pengontrolan.

Fungsi dalam menjalankan tugas bagi modul I/O dapat dibagi menjadi beberapa katagori, yaitu:

- Kontrol dan pewaktuan.
- Komunikasi CPU.
- Komunikasi perangkat eksternal.
- Pem-buffer-an data.
- Deteksi kesalahan.

Fungsi kontrol dan pewaktuan (*control & timing*) merupakan hal yang penting untuk mensinkronkan kerja masing – masing komponen penyusun komputer. Dalam sekali waktu CPU berkomunikasi dengan satu atau lebih perangkat dengan pola tidak menentu dan kecepatan transfer komunikasi data yang beragam, baik dengan perangkat internal seperti register – register, memori utama, memori sekunder, perangkat peripheral. Proses tersebut bisa berjalan apabila ada fungsi kontrol dan pewaktuan yang mengatur sistem secara keseluruhan. Contoh kontrol pemindahan data dari peripheral ke CPU melalui sebuah modul I/O dapat meliputi langkah – langkah berikut ini :

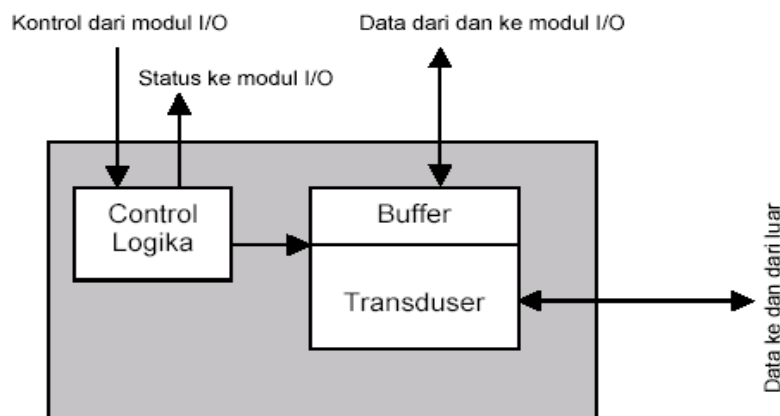
- 1 Permintaan dan pemeriksaan status perangkat dari CPU ke modul I/O.
- 2 Modul I/O memberi jawaban atas permintaan CPU.
- 3 Apabila perangkat eksternal telah siap untuk transfer data, maka CPU akan mengirimkan perintah ke modul I/O.
- 4 Modul I/O akan menerima paket data dengan panjang tertentu dari peripheral.
- 5 Selanjutnya data dikirim ke CPU setelah diadakan sinkronisasi panjang data dan kecepatan transfer oleh modul I/O sehingga paket – paket data dapat diterima CPU dengan baik.

Transfer data tidak akan lepas dari penggunaan sistem bus, maka interaksi CPU dan modul I/O akan melibatkan kontrol dan pewaktuan sebuah arbitrase bus atau lebih.

Adapun fungsi komunikasi antara CPU dan modul I/O meliputi proses – proses berikut :

- *Command Decoding*, yaitu modul I/O menerima perintah – perintah dari CPU yang dikirimkan sebagai sinyal bagi bus kontrol. Misalnya, sebuah modul I/O untuk disk dapat menerima perintah: Read sector, Scan record ID, Format disk.
- *Data*, pertukaran data antara CPU dan modul I/O melalui bus data.
- *Status Reporting*, yaitu pelaporan kondisi status modul I/O maupun perangkat peripheral, umumnya berupa status kondisi *Busy* atau *Ready*. Juga status bermacam – macam kondisi kesalahan (*error*).
- *Address Recognition*, bahwa peralatan atau komponen penyusun komputer dapat dihubungi atau dipanggil maka harus memiliki alamat yang unik, begitu pula pada perangkat peripheral, sehingga setiap modul I/O harus mengetahui alamat peripheral yang dikontrolnya.

Pada sisi modul I/O ke perangkat peripheral juga terdapat komunikasi yang meliputi komunikasi data, kontrol maupun status. Perhatikan gambar 6.2 berikut.



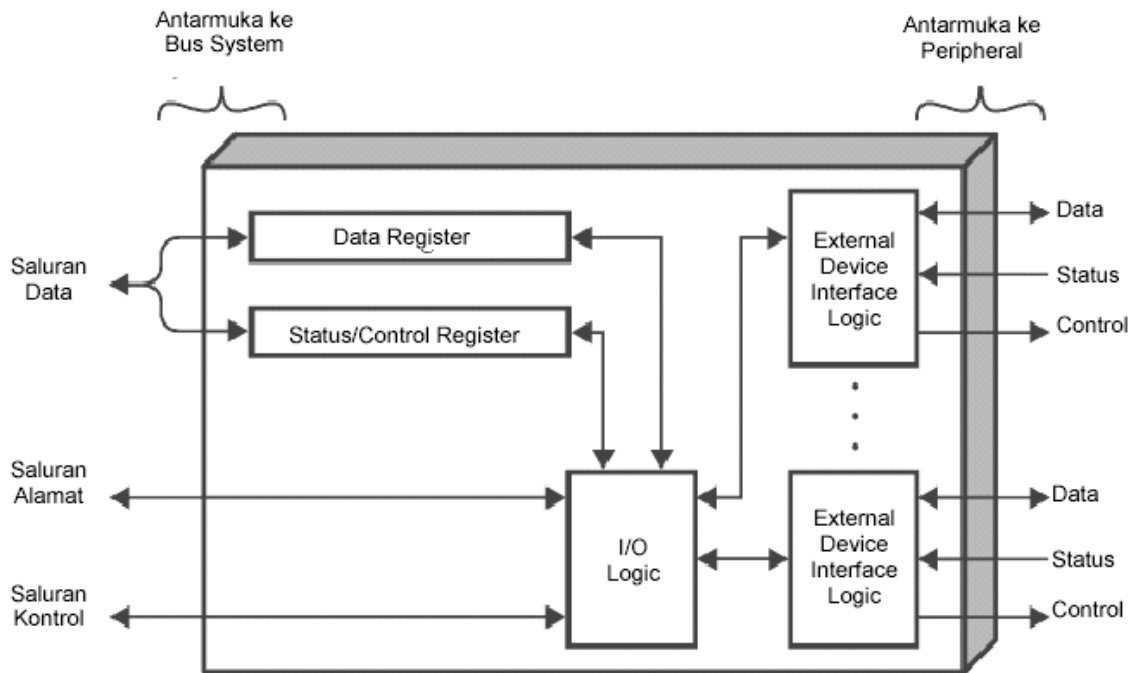
Gambar 6.2 Skema suatu perangkat peripheral

Fungsi selanjutnya adalah *buffering*. Tujuan utama *buffering* adalah mendapatkan penyesuaian data sehubungan perbedaan laju transfer data dari perangkat peripheral dengan kecepatan pengolahan pada CPU. Umumnya laju transfer data dari perangkat peripheral lebih lambat dari kecepatan CPU maupun media penyimpan.

Fungsi terakhir adalah deteksi kesalahan. Apabila pada perangkat peripheral terdapat masalah sehingga proses tidak dapat dijalankan, maka modul I/O akan melaporkan kesalahan tersebut. Misal informasi kesalahan pada peripheral printer seperti: kertas tergulung, tinta habis, kertas habis, dan lain – lain. Teknik yang umum untuk deteksi kesalahan adalah penggunaan bit paritas.

6.1.2 Struktur Modul I/O

Terdapat berbagai macam modul I/O seiring perkembangan komputer itu sendiri, contoh yang sederhana dan fleksibel adalah Intel 8255A yang sering disebut PPI (*Programmable Peripheral Interface*). Bagaimanapun kompleksitas suatu modul I/O, terdapat kemiripan struktur, seperti terlihat pada gambar 6.3.



Gambar 6.3 Blok diagram struktur modul I/O

Antarmuka modul I/O ke CPU melalui bus sistem komputer terdapat tiga saluran, yaitu saluran data, saluran alamat dan saluran kontrol. Bagian terpenting adalah blok logika I/O yang berhubungan dengan semua peralatan antarmuka peripheral, terdapat fungsi pengaturan dan switching pada blok ini.

6.2 Teknik Masukan/Keluaran

Terdapat tiga buah teknik dalam operasi I/O, yaitu: I/O terprogram, *interrupt – driven* I/O, dan DMA (*Direct Memory Access*). Ketiganya memiliki keunggulan maupun kelemahan, yang penggunaannya disesuaikan sesuai unjuk kerja masing – masing teknik.

6.2.1 I/O Terprogram

Pada I/O terprogram, data saling dipertukarkan antara CPU dan modul I/O. CPU mengeksekusi program yang memberikan operasi I/O kepada CPU secara langsung, seperti pemindahan data, pengiriman perintah baca maupun tulis, dan monitoring perangkat.

Kelemahan teknik ini adalah CPU akan menunggu sampai operasi I/O selesai dilakukan modul I/O sehingga akan membuang waktu, apalagi CPU lebih cepat proses operasinya. Dalam teknik ini, modul I/O tidak dapat melakukan interupsi kepada CPU terhadap proses – proses yang diinteruksikan padanya. Seluruh proses merupakan tanggung jawab CPU sampai operasi lengkap dilaksanakan.

Untuk melaksanakan perintah – perintah I/O, CPU akan mengeluarkan sebuah alamat bagi modul I/O dan perangkat peripheralnya sehingga terspesifikasi secara khusus dan sebuah perintah I/O yang akan dilakukan. Terdapat empat klasifikasi perintah I/O, yaitu:

1. Perintah *control*.

Perintah ini digunakan untuk mengaktivasi perangkat peripheral dan memberitahukan tugas yang diperintahkan padanya.

2. Perintah *test*.

Perintah ini digunakan CPU untuk menguji berbagai kondisi status modul I/O dan peripheralnya. CPU perlu mengetahui perangkat peripheralnya dalam keadaan aktif dan siap digunakan, juga untuk mengetahui operasi – operasi I/O yang dijalankan serta mendeteksi kesalahannya.

3. Perintah *read*.

Perintah pada modul I/O untuk mengambil suatu paket data kemudian menaruh dalam buffer internal. Proses selanjutnya paket data dikirim melalui bus data setelah terjadi sinkronisasi data maupun kecepatan transfernya.

4. Perintah *write*.

Perintah ini kebalikan dari *read*. CPU memerintahkan modul I/O untuk mengambil data dari bus data untuk diberikan pada perangkat peripheral tujuan data tersebut.

Dalam teknik I/O terprogram, terdapat dua macam implementasi perintah I/O yang tertuang dalam instruksi I/O, yaitu: *memory-mapped I/O* dan *isolated I/O*.

Dalam *memory-mapped I/O*, terdapat ruang tunggal untuk lokasi memori dan perangkat I/O. CPU memperlakukan register status dan register data modul I/O sebagai lokasi memori dan menggunakan instruksi mesin yang sama untuk mengakses baik memori maupun perangkat I/O. Konsekuensinya adalah diperlukan saluran tunggal untuk pembacaan dan saluran tunggal untuk penulisan. Keuntungan *memory-mapped I/O* adalah efisien dalam pemrograman, namun memakan banyak ruang memori alamat.

Dalam teknik *isolated I/O*, dilakukan pemisahan ruang pengalamatan bagi memori dan ruang pengalamatan bagi I/O. Dengan teknik ini diperlukan bus yang dilengkapi dengan saluran pembacaan dan penulisan memori ditambah saluran perintah output. Keuntungan *isolated I/O* adalah sedikitnya instruksi I/O.

6.2.2 Interrupt – Driven I/O

Teknik interrupt – driven I/O memungkinkan proses tidak membuang – buang waktu. Prosesnya adalah CPU mengeluarkan perintah I/O pada modul I/O, bersamaan perintah I/O dijalankan modul I/O maka CPU akan melakukan eksekusi perintah – perintah lainnya. Apabila modul I/O telah selesai menjalankan instruksi yang diberikan padanya akan melakukan interupsi pada CPU bahwa tugasnya telah selesai.

Dalam teknik ini kendali perintah masih menjadi tanggung jawab CPU, baik pengambilan perintah dari memori maupun pelaksanaan isi perintah tersebut. Terdapat selangkah kemajuan dari teknik sebelumnya, yaitu CPU melakukan *multitasking* beberapa perintah sekaligus sehingga tidak ada waktu tunggu bagi CPU.

Cara kerja teknik interupsi di sisi modul I/O adalah modul I/O menerima perintah, misal *read*. Kemudian modul I/O melaksanakan perintah pembacaan dari peripheral dan meletakkan paket data ke register data modul I/O, selanjutnya modul mengeluarkan sinyal interupsi ke CPU melalui saluran kontrol. Kemudian modul menunggu datanya diminta CPU. Saat permintaan terjadi, modul meletakkan data pada bus data dan modul siap menerima perintah selanjutnya.

Pengolahan interupsi saat perangkat I/O telah menyelesaikan sebuah operasi I/O adalah sebagai berikut :

1. Perangkat I/O akan mengirimkan sinyal interupsi ke CPU.
2. CPU menyelesaikan operasi yang sedang dijalankannya kemudian merespon interupsi.
3. CPU memeriksa interupsi tersebut, kalau valid maka CPU akan mengirimkan sinyal *acknowledgment* ke perangkat I/O untuk menghentikan interupsinya.

4. CPU mempersiapkan pengontrolan transfer ke routine interupsi. Hal yang dilakukan adalah menyimpan informasi yang diperlukan untuk melanjutkan operasi yang tadi dijalankan sebelum adanya interupsi. Informasi yang diperlukan berupa:
 - a. Status prosesor, berisi register yang dipanggil PSW (*program status word*).
 - b. Lokasi intruksi berikutnya yang akan dieksekusi.

Informasi tersebut kemudian disimpan dalam stack pengontrol sistem.

5. Kemudian CPU akan menyimpan PC (*program counter*) eksekusi sebelum interupsi ke stack pengontrol bersama informasi PSW. Selanjutnya mempersiapkan PC untuk penanganan interupsi.
6. Selanjutnya CPU memproses interupsi sampai selesai.
7. Apabila pengolahan interupsi selesai, CPU akan memanggil kembali informasi yang telah disimpan pada stack pengontrol untuk meneruskan operasi sebelum interupsi.

Terdapat bermacam teknik yang digunakan CPU dalam menangani program interupsi ini, diantaranya :

- *Multiple Interrupt Lines*.
- *Software poll*.
- *Daisy Chain*.
- *Arbitrasi bus*.

Teknik yang paling sederhana adalah menggunakan saluran interupsi berjumlah banyak (*Multiple Interrupt Lines*) antara CPU dan modul – modul I/O. Namun tidak praktis untuk menggunakan sejumlah saluran bus atau pin CPU ke seluruh saluran interupsi modul – modul I/O.

Alternatif lainnya adalah menggunakan *software poll*. Prosesnya, apabila CPU mengetahui adanya sebuah interupsi, maka CPU akan menuju ke routine layanan interupsi yang tugasnya melakukan poll seluruh modul I/O untuk menentukan modul yang melakukan interupsi. Kerugian *software poll* adalah memerlukan waktu yang lama karena harus mengidentifikasi seluruh modul untuk mengetahui modul I/O yang melakukan interupsi.

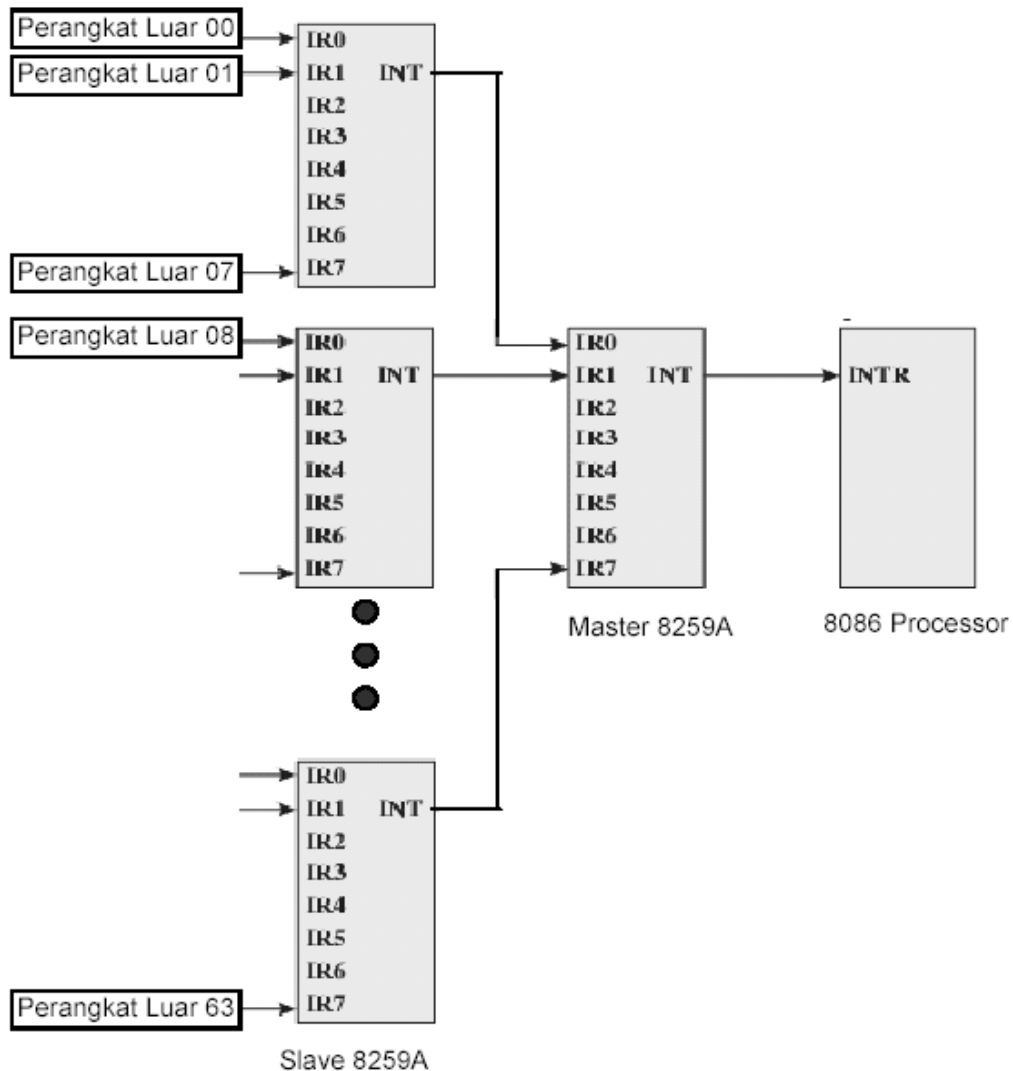
Teknik yang lebih efisien adalah *daisy chain*, yang menggunakan *hardware poll*. Seluruh modul I/O tersambung dalam saluran interupsi CPU secara melingkar (*chain*). Apabila ada permintaan interupsi, maka CPU akan menjalankan sinyal *acknowledge* yang berjalan pada saluran interupsi sampai menjumpai modul I/O yang mengirimkan interupsi.

Teknik berikutnya adalah *arbitrasi bus*. Dalam metode ini, pertama – tama modul I/O memperoleh kontrol bus sebelum modul ini menggunakan saluran permintaan interupsi. Dengan demikian hanya akan terdapat sebuah modul I/O yang dapat melakukan interupsi.

Pengontrol Interrupt Intel 8259A

Intel mengeluarkan chips 8259A yang dikonfigurasi sebagai *interrupt arbiter* pada mikroprosesor Intel 8086. Intel 8259A melakukan manajemen interupsi modul - modul I/O yang tersambung padanya. Chips ini dapat diprogram untuk menentukan prioritas modul I/O yang lebih dulu ditangani CPU apabila ada permintaan interupsi yang bersamaan. Gambar 6.4 menggambarkan pemakaian pengontrol interupsi 8259A. Berikut mode – mode interupsi yang mungkin terjadi :

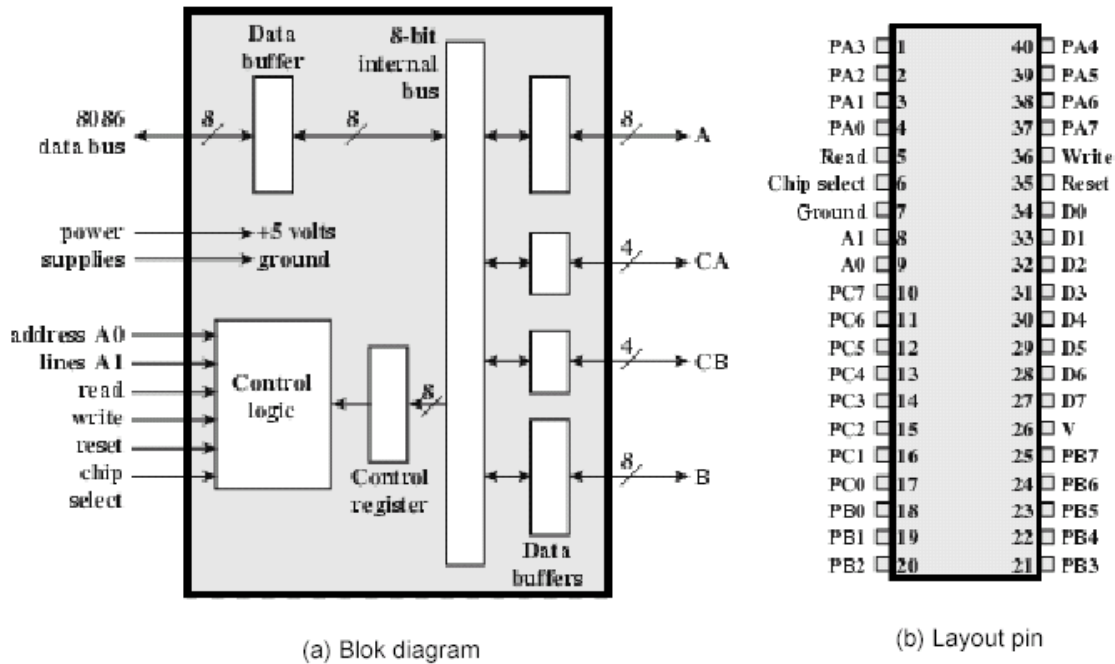
- *Fully Nested*: permintaan interupsi dengan prioritas mulai 0 (IR0) hingga 7 (IR7).
- *Rotating*: bila sebuah modul telah dilayani interupsinya akan menempati prioritas terendah.
- *Special Mask*: prioritas diprogram untuk modul I/O tertentu secara spesial.



Gambar 6.4 Pemakaian pengontrol interupsi 8259A pada 8086

Programmable Peripheral Interface Intel 8255A

Contoh modul I/O yang menggunakan I/O terprogram dan interrupt driven I/O adalah Intel 8255A Programmable Peripheral Interface (PPI). Intel 8255A dirancang untuk keperluan mikroprosesor 8086. Gambar 6.5 menunjukkan blok diagram Intel 8255A dan pin layout-nya.

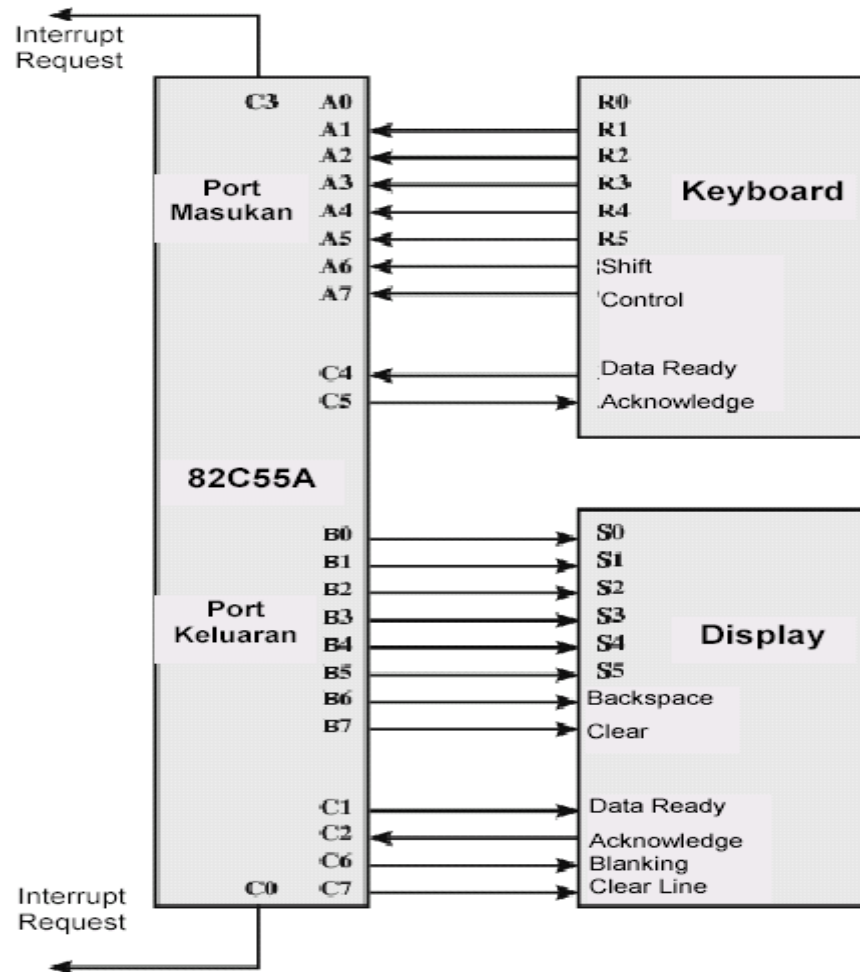


Gambar 6.5 Modul I/O 8255A

Bagian kanan dari blok diagram Intel 8255A adalah 24 saluran antarmuka luar, terdiri atas 8 bit port A, 8 bit port B, 4 bit port CA dan 4 bit port CB. Saluran tersebut dapat diprogram dari mikroprosesor 8086 dengan menggunakan register kontrol untuk menentukan bermacam – macam mode operasi dan konfigurasinya. Bagian kiri blok diagram merupakan interface internal dengan mikroprosesor 8086. Saluran ini terdiri atas 8 bus data dua arah (D0 – D7), bus alamat, dan bus kontrol yang terdiri atas saluran CHIP SELECT, READ, WRITE, dan RESET.

Pengaturan mode operasi pada register kontrol dilakukan oleh mikroprosesor., Pada Mode 0, ketiga port berfungsi sebagai tiga port I/O 8 bit. Pada mode lain dapat port A dan port B sebagai port I/O 8 bit, sedangkan port C sebagai pengontrol saluran port A dan B.

PPI Intel 8255A dapat diprogram untuk mengontrol berbagai peripheral sederhana. Gambar 6.6 memperlihatkan contoh penggunaan 8255A untuk modul I/O Keyboard dan display.



Gambar 6.6 Interface keyboard dan display dengan Intel 8255A

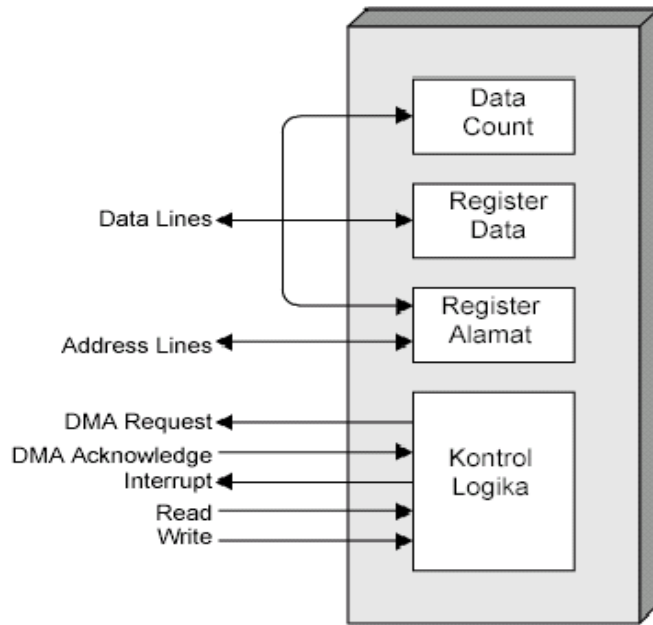
6.2.3 Direct Memory Access (DMA)

Teknik yang dijelaskan sebelumnya yaitu I/O terprogram dan Interrupt-Driven I/O memiliki kelemahan, yaitu proses yang terjadi pada modul I/O masih melibatkan CPU secara langsung. Hal ini berimplikasi pada :

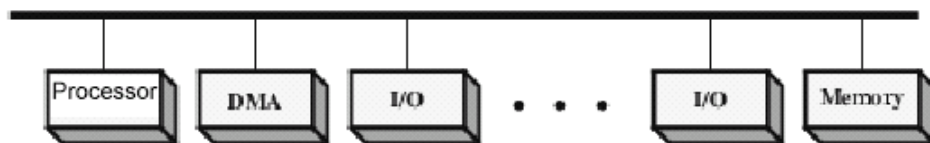
- Kelajuan transfer I/O yang tergantung pada kecepatan operasi CPU.
- Kerja CPU terganggu karena adanya interupsi secara langsung.

Bertolak dari kelemahan di atas, apalagi untuk menangani transfer data bervolume besar dikembangkan teknik yang lebih baik, dikenal dengan *Direct Memory Access* (DMA).

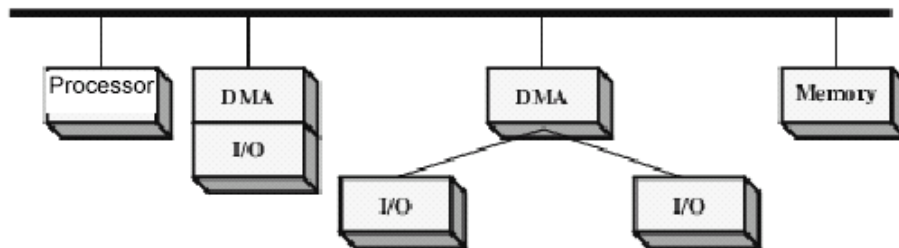
Prinsip kerja DMA adalah CPU akan mendelegasikan kerja I/O kepada DMA, CPU hanya akan terlibat pada awal proses untuk memberikan instruksi lengkap pada DMA dan akhir proses saja. Dengan demikian CPU dapat menjalankan proses lainnya tanpa banyak terganggu dengan interupsi. Blok diagram modul DMA terlihat pada gambar 6.7 berikut :



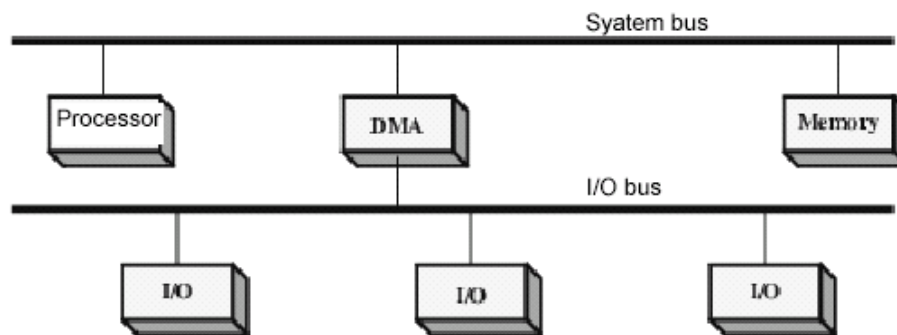
Gambar 6.7 Blok diagram DMA



(a) Single bus



(b) Single bus, Integrated DMA-I/O



(c) I/O bus

Gambar 6.8 Konfigurasi modul DMA

Dalam melaksanakan transfer data secara mandiri, DMA memerlukan pengambilalihan kontrol bus dari CPU. Untuk itu DMA akan menggunakan bus bila CPU tidak menggunakannya atau DMA memaksa CPU untuk menghentikan sementara penggunaan bus. Teknik terakhir lebih umum digunakan, sering disebut *cycle-stealing*, karena modul DMA mengambil alih siklus bus. Penghentian sementara penggunaan bus bukanlah bentuk interupsi, melainkan hanyalah penghentian proses sesaat yang berimplikasi hanya pada kelambatan eksekusi CPU saja. Terdapat tiga buah konfigurasi modul DMA seperti yang terlihat pada gambar 6.8.

6.3 Perangkat Eksternal

Mesin komputer akan memiliki nilai apabila bisa berinteraksi dengan dunia luar. Lebih dari itu, komputer tidak akan berfungsi apabila tidak dapat berinteraksi dengan dunia luar. Ambil contoh saja, bagaimana kita bisa menginstruksikan CPU untuk melakukan suatu operasi apabila tidak ada keyboard. Bagaimana kita melihat hasil kerja sistem komputer bila tidak ada monitor. Keyboard dan monitor tergolong dalam perangkat eksternal komputer.

Perangkat eksternal atau lebih umum disebut *peripheral* tersambung dalam sistem CPU melalui perangkat pengendalinya, yaitu modul I/O seperti telah dijelaskan sebelumnya. Lihat kembali gambar 6.2. Secara umum perangkat eksternal diklasifikasikan menjadi 3 katagori:

- *Human Readable*, yaitu perangkat yang berhubungan dengan manusia sebagai pengguna komputer. Contohnya: monitor, keyboard, mouse, printer, joystick, disk drive.
- *Machine readable*, yaitu perangkat yang berhubungan dengan peralatan. Biasanya berupa modul sensor dan transduser untuk monitoring dan kontrol suatu peralatan atau sistem.
- *Communication*, yaitu perangkat yang berhubungan dengan komunikasi jarak jauh. Misalnya: NIC dan modem.

Pengklasifikasian juga bisa berdasarkan arah datanya, yaitu perangkat output, perangkat input dan kombinasi output-input. Contoh perangkat output: monitor, proyektor dan printer. Perangkat input misalnya: keyboard, mouse, joystick, scanner, mark reader, bar code reader.

Sistem Bus

Komputer tersusun atas beberapa komponen penting seperti CPU, memori, perangkat I/O. Setiap komponen saling berhubungan membentuk kesatuan fungsi. Sistem bus adalah penghubung bagi keseluruhan komponen komputer dalam menjalankan tugasnya. Transfer data antar komponen komputer sangatlah mendominasi kerja suatu komputer. Data atau program yang tersimpan dalam memori dapat diakses dan dieksekusi CPU melalui perantara bus, begitu juga kita dapat melihat hasil eksekusi melalui monitor juga menggunakan sistem bus.

Era saat ini memerlukan saluran data atau bus yang handal. Kecepatan komponen penyusun komputer tidak akan berarti kalau tidak diimbangi kecepatan dan manajemen bus yang baik. Trend mikroprosesor saat ini adalah melakukan pekerjaan secara paralel dan program dijalankan secara multitasking menuntut sistem bus tidak hanya lebar tapi juga cepat.

Dalam bab ini akan kita pelajari bagaimana interkoneksi komponen sistem komputer dalam menjalankan fungsinya, interkoneksi bus dan juga pertimbangan – pertimbangan perancangan bus. Bagian akhir akan disajikan contoh – contoh bus yang berkembang saat ini.

7.1 Struktur Interkoneksi

Komputer tersusun atas komponen – komponen atau modul – modul (CPU, memori dan I/O) yang saling berkomunikasi. Kumpulan lintasan atau saluran berbagai modul disebut *struktur interkoneksi*. Rancangan struktur interkoneksi sangat bergantung pada jenis dan karakteristik pertukaran datanya.

Gambar 7.1 menyajikan jenis pertukaran data yang diperlukan oleh modul – modul penyusun komputer :

- Memori :

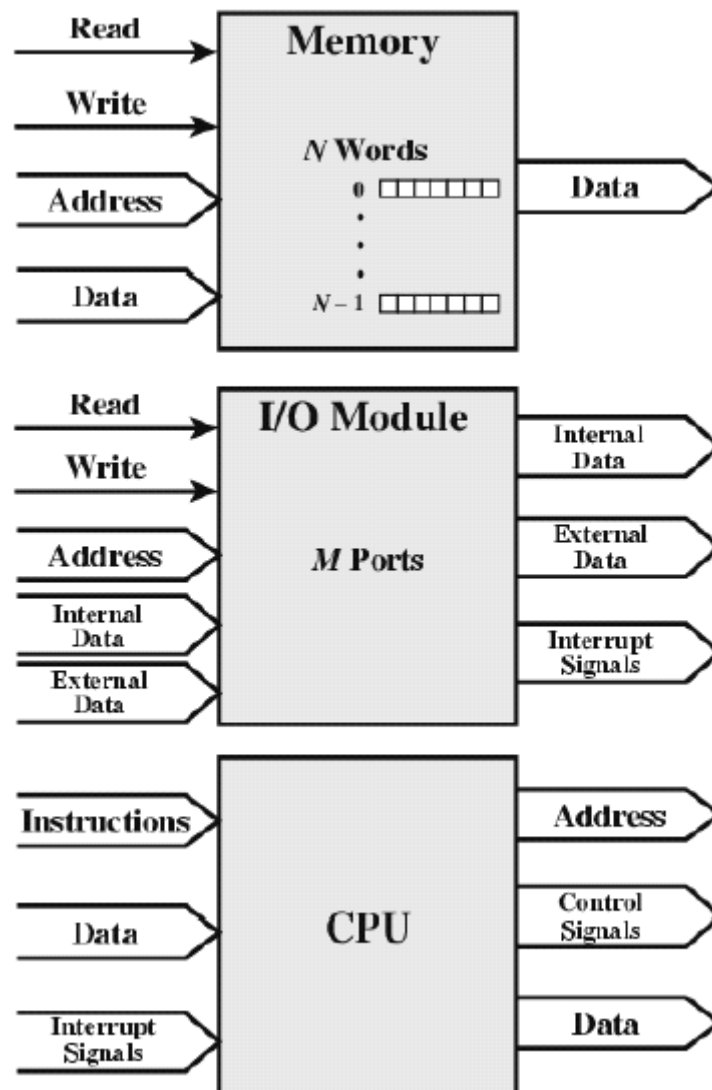
Memori umumnya terdiri atas N word memori dengan panjang yang sama. Masing – masing word diberi alamat numerik yang unik (0, 1, 2, ...N-1). Word dapat dibaca maupun ditulis pada memori dengan kontrol Read dan Write. Lokasi bagi operasi dispesifikasikan oleh sebuah alamat.

- Modul I/O :

Operasi modul I/O adalah pertukaran data dari dan ke dalam komputer. Berdasarkan pandangan internal, modul I/O dipandang sebagai sebuah memori dengan operasi pembacaan dan penulisan. Seperti telah dijelaskan pada bab 6 bahwa modul I/O dapat mengontrol lebih dari sebuah perangkat peripheral. Modul I/O juga dapat mengirimkan sinyal interrupt.

- CPU :

CPU berfungsi sebagai pusat pengolahan dan eksekusi data berdasarkan routine – routine program yang diberikan padanya. CPU mengendalikan seluruh sistem komputer sehingga sebagai konsekuensinya memiliki koneksi ke seluruh modul yang menjadi bagian sistem komputer.



Gambar 7.1 Modul – modul komputer

Dari jenis pertukaran data yang diperlukan modul – modul komputer, maka struktur interkoneksi harus mendukung perpindahan data berikut :

- *Memori ke CPU* : CPU melakukan pembacaan data maupun instruksi dari memori.
- *CPU ke Memori* : CPU melakukan penyimpanan atau penulisan data ke memori.
- *I/O ke CPU* : CPU membaca data dari peripheral melalui modul I/O.
- *CPU ke I/O* : CPU mengirimkan data ke perangkat peripheral melalui modul I/O.
- *I/O ke Memori atau dari Memori* : digunakan pada sistem DMA.

Sampai saat ini terjadi perkembangan struktur interkoneksi, namun yang banyak digunakan saat ini adalah sistem bus. Sistem bus ada yang digunakan secara tunggal dan ada secara jamak, tergantung karakteristik sistemnya.

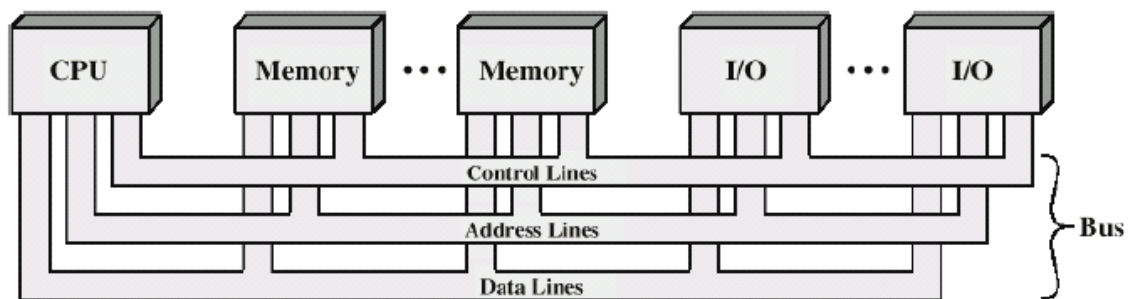
7.2 Interkoneksi Bus

Bus merupakan lintasan komunikasi yang menghubungkan dua atau lebih komponen komputer. Sifat penting dan merupakan syarat utama adalah bus adalah media transmisi yang dapat digunakan bersama oleh sejumlah perangkat yang terhubung padanya.

Karena digunakan bersama, diperlukan aturan main agar tidak terjadi tabrakan data atau kerusakan data yang ditransmisikan. Walaupun digunakan bersama namun dalam satu waktu hanya ada sebuah perangkat yang dapat menggunakan bus.

Struktur Bus

Sebuah bus biasanya terdiri atas beberapa saluran. Sebagai contoh bus data terdiri atas 8 saluran sehingga dalam satu waktu dapat mentransfer data 8 bit. Secara umum fungsi saluran bus dikategorikan dalam tiga bagian, yaitu saluran data, saluran alamat dan saluran kontrol, seperti terlihat pada gambar 7.2.



Gambar 7.2 Pola interkoneksi bus

Saluran data (data bus) adalah lintasan bagi perpindahan data antar modul. Secara kolektif lintasan ini disebut *bus data*. Umumnya jumlah saluran terkait dengan panjang word,

misalnya 8, 16, 32 saluran dengan tujuan agar mentransfer word dalam sekali waktu. Jumlah saluran dalam bus data dikatakan *lebar bus*, dengan satuan bit, misal lebar bus 16 bit.

Saluran alamat (address bus) digunakan untuk menspesifikasi sumber dan tujuan data pada bus data. Saluran ini digunakan untuk mengirim alamat word pada memori yang akan diakses CPU. Juga digunakan untuk saluran alamat perangkat modul komputer saat CPU mengakses suatu modul. Perlu diketahui, semua peralatan yang terhubung dengan sistem komputer, agar dapat diakses harus memiliki alamat. Semisal mengakses port I/O, maka port I/O harus memiliki alamat hardware-nya.

Saluran kontrol (control bus) digunakan untuk mengontrol bus data, bus alamat dan seluruh modul yang ada. Karena bus data dan bus alamat digunakan oleh semua komponen maka diperlukan suatu mekanisme kerja yang dikontrol melalui bus kontrol ini. Sinyal – sinyal kontrol terdiri atas sinyal pewaktuan dan sinyal – sinyal perintah. Sinyal pewaktuan menandakan validitas data dan alamat, sedangkan sinyal perintah berfungsi membentuk suatu operasi. Secara umum saluran kontrol meliputi :

- *Memory Write*, memerintahkan data pada bus akan dituliskan ke dalam lokasi alamat.
- *Momory Read* memerintahkan data dari lokasi alamat ditempatkan pada bus data.
- *I/O Write*, memerintahkan data pada bus dikirim ke lokasi port I/O.
- *I/O Read*, memerintahkan data dari port I/O ditempatkan pada bus data.
- *Transfer ACK*, menunjukkan data telah diterima dari bus atau data telah ditempatkan pada bus.
- *Bus Request*, menunjukkan bahwa modul memerlukan kontrol bus.
- *Bus Grant*, menunjukkan modul yang melakukan request telah diberi hak mengontrol bus.
- *Interrupt Request*, menandakan adanya penangguhan interupsi dari modul.
- *Interrupt ACK*, menunjukkan penangguhan interupsi telah diketahui CPU.
- *Clock*, kontrol untuk sinkronisasi operasi antar modul.
- *Reset*, digunakan untuk menginisialisasi seluruh modul.

Secara fisik bus adalah konduktor listrik paralel yang menghubungkan modul – modul. Konduktor ini biasanya adalah saluran utama pada PCB motherboard dengan layout tertentu sehingga didapat fleksibilitas penggunaan. Untuk modul I/O biasanya dibuat slot bus yang mudah dipasang dan dilepas, seperti slot PCI dan ISA. Sedangkan untuk chips akan terhubung melalui pinnya.

Prinsip operasi bus adalah sebagai berikut. Operasi pengiriman data ke modul lainnya :

1. Meminta penggunaan bus.
2. Apabila telah disetujui, modul akan memindahkan data yang diinginkan ke modul yang dituju.

Operasi meminta data dari modul lainnya :

1. Meminta penggunaan bus.
2. Mengirim *request* ke modul yang dituju melalui saluran kontrol dan alamat yang sesuai.
3. Menunggu modul yang dituju mengirimkan data yang diinginkan.

Hierarki Multiple Bus

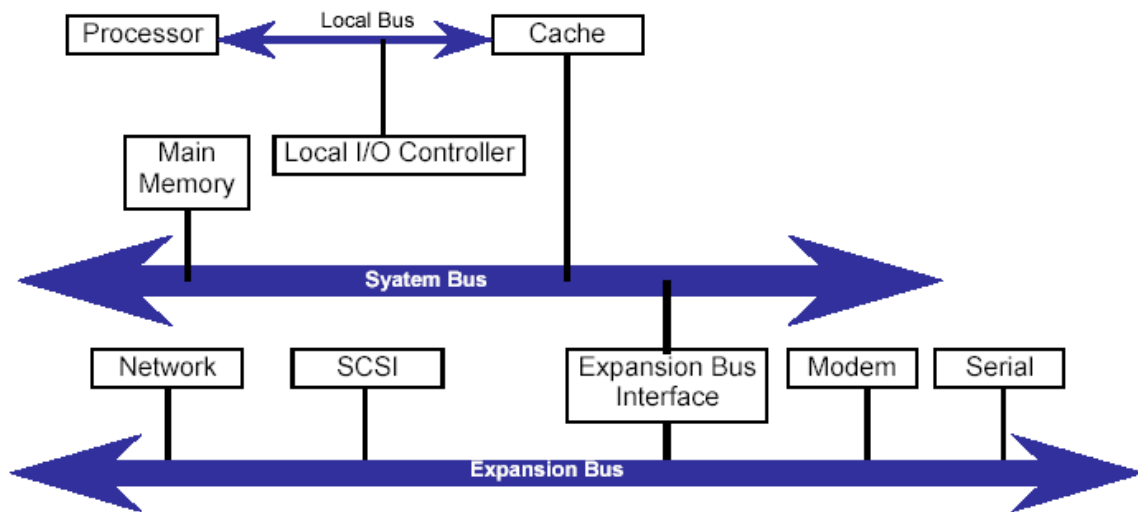
Bila terlalu banyak modul atau perangkat dihubungkan pada bus maka akan terjadi penurunan kinerja, yang disebabkan oleh :

- Semakin besar delay propagasi untuk mengkoordinasikan penggunaan bus.
- Antrian penggunaan bus semakin panjang.
- Dimungkinkan habisnya kapasitas transfer bus sehingga memperlambat data.

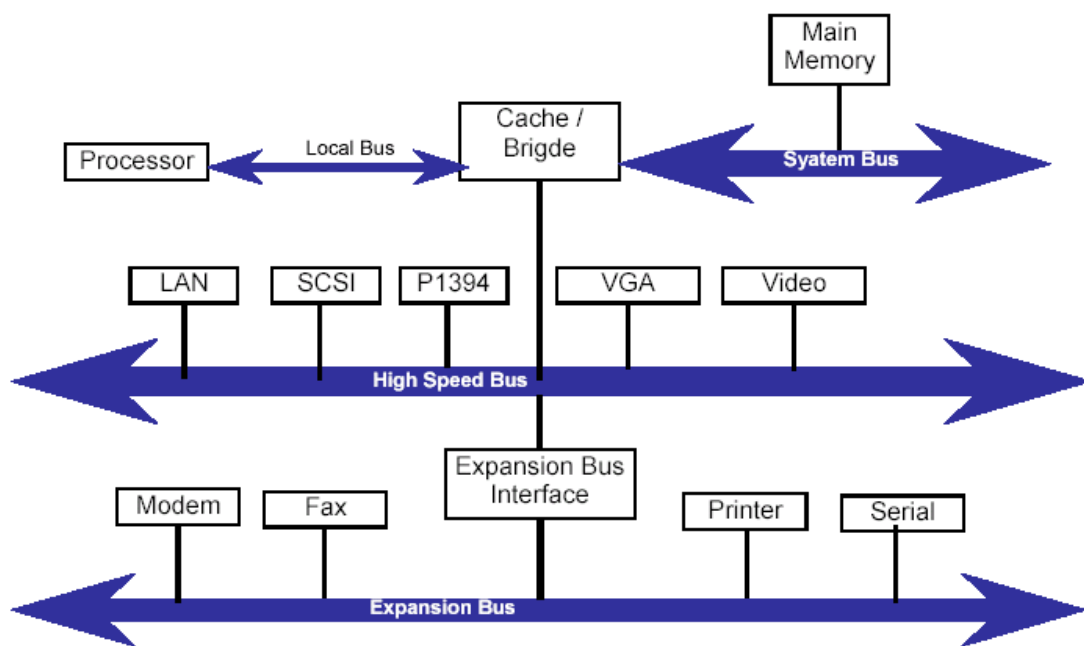
Antisipasi dan solusi persoalan di atas adalah penggunaan bus jamak yang hierarkis. Modul – modul diklasifikasikan berdasarkan kebutuhan terhadap lebar dan kecepatan bus. Bus biasanya terdiri atas bus lokal, bus sistem, dan bus ekspansi. Gambar 8.3 dan gambar 8.4 berikut menyajikan contoh hierarki penggunaan bus jamak.

Terlihat pada gambar 7.3 dan gambar 7.4, Prosesor, cache memori dan memori utama terletak pada bus tersendiri pada level tertinggi karena modul – modul tersebut memiliki karakteristik pertukaran data yang tinggi. Pada arsitektur berkinerja tinggi, modul – modul I/O diklasifikasikan menjadi dua, yaitu yang memerlukan transfer data berkecepatan tinggi dan berkecepatan rendah. Modul dengan transfer data berkecepatan tinggi disambungkan dengan bus berkecepatan tinggi pula, sedangkan modul yang tidak memerlukan transfer data cepat disambungkan pada bus ekspansi.

Keuntungan hierarki bus jamak kinerja tinggi pada gambar 7.4 adalah bus berkecepatan tinggi lebih terintegrasi dengan prosesor. Perubahan pada arsitektur prosesor tidak begitu mempengaruhi kinerja bus.



Gambar 7.3 Arsitektur bus jamak tradisional



Gambar 7.4 Arsitektur bus jamak kinerja tinggi

7.3 Elemen Perancangan Bus

Saat ini terdapat banyak implementasi sistem bus, tetapi parameter dasar perancangan bus dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis (*dedicated* dan *multiplexed*), metode arbitrase (tersentralisasi dan terdistribusi), timing (sinkron dan tak sinkron), lebar bus (lebar address dan lebar data) dan jenis transfer datanya (*read*, *write*, *read-modify-write*, *read-alter-write*, *block*).

Tujuan yang hendak dicapai dalam perancangan adalah bagaimana bus dapat cepat menghantarkan data dan efisiensinya tinggi. Intinya karakteristik pertukaran data dan modul yang terkait merupakan pertimbangan utama dalam perancangan bus.

Jenis Bus

Berdasar jenis busnya, bus dibedakan menjadi bus yang khusus menyalurkan data tertentu, misalnya paket data saja, atau alamat saja, jenis ini disebut *dedicated bus*. Namun apabila bus dilalukan informasi yang berbeda baik data, alamat maupun sinyal kontrol dengan metode multiplex data maka bus ini disebut *multiplexed bus*.

Keuntungan *multiplexed bus* adalah hanya memerlukan saluran sedikit sehingga dapat menghemat tempat, namun kerugiannya adalah kecepatan transfer data menurun dan diperlukan mekanisme yang kompleks untuk mengurai data yang telah dimultiplex.

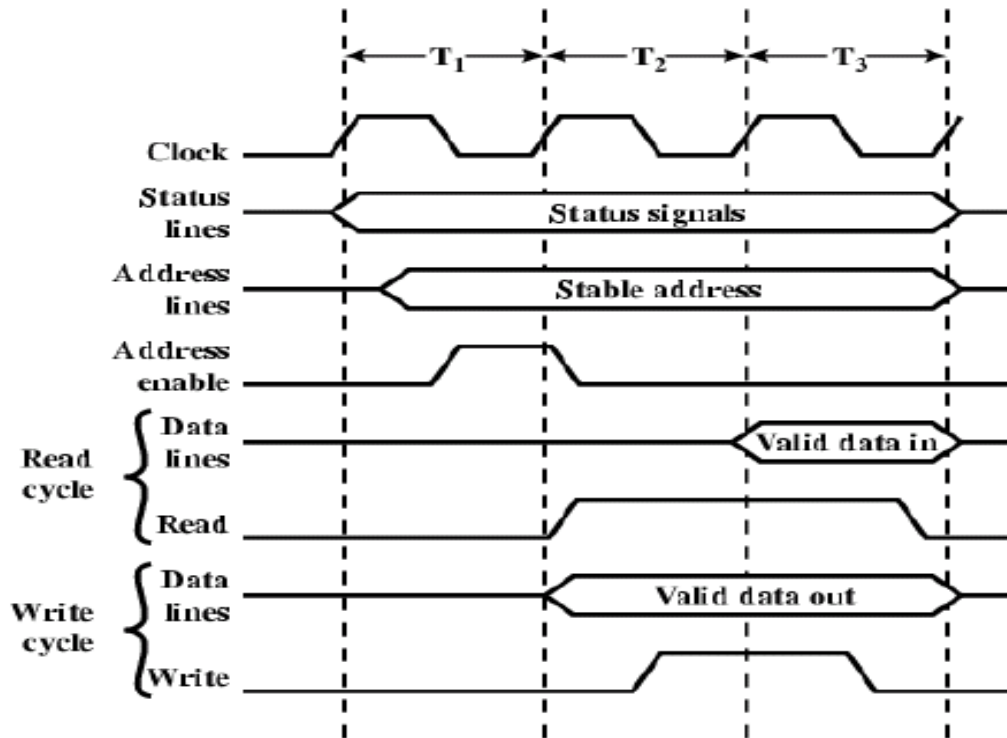
Saat ini yang umum, bus didedikasikan untuk tiga macam, yaitu bus data, bus alamat dan bus kontrol.

Metode Arbitrasi

Terdapat dua macam metode arbitrasi, yaitu *tersentral* dan *terdistribusi*. Pada metode tersentral diperlukan pengontrol bus sentral atau *arbiter* yang bertugas mengatur penggunaan bus oleh modul. Arbiter bisa suatu modul atau bagian fungsi CPU. Sedangkan dalam metode terdistribusi, setiap modul memiliki logika pengontrol akses (*access control logic*) yang berfungsi mengatur pertukaran data melalui bus. Kedua metode arbitrasi intinya menugaskan suatu perangkat bisa modul I/O ataupun CPU bertindak sebagai master kontrol pertukaran.

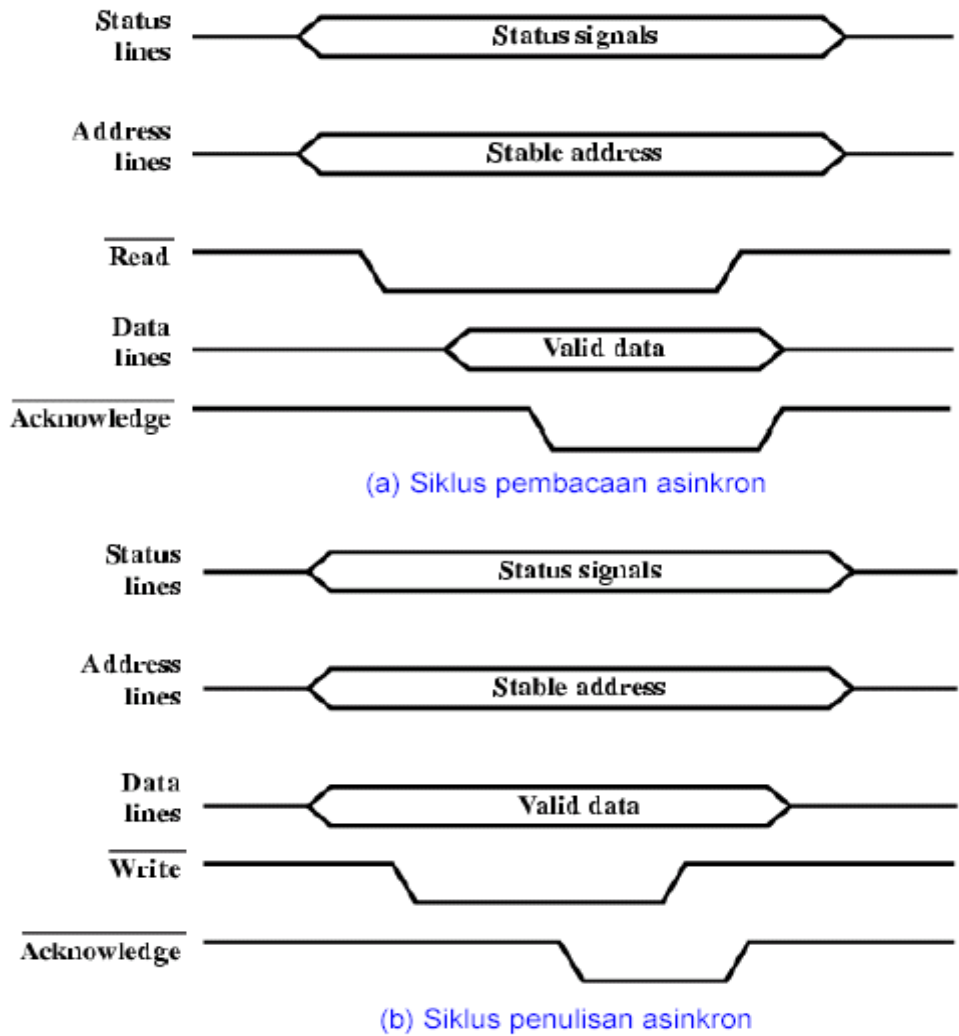
Timing

Metode pewaktuan *sinkron* terjadinya event pada bus ditentukan oleh sebuah pewaktu (*clock*). Sebuah transmisi 1 – 0 disebut siklus waktu atau siklus bus dan menentukan besarnya slot waktu. Semua perangkat modul pada bus dapat membaca atau mengetahui siklus clock. Biasanya satu siklus untuk satu event. Model ini mudah diimplementasikan dan cepat namun kurang fleksibel menangani peralatan yang beda kecepatan operasinya. Biasanya digunakan untuk modul – modul tertentu yang sudah jelas karakteristiknya. Contoh pewaktuan sinkron disajikan pada gambar 7.5.



Gambar 7.5 Contoh pewaktuan sinkron

Dalam pewaktuan *asinkron* memungkinkan kerja modul yang tidak serempak kecepataannya. Dalam pewaktuan asinkron, event yang terjadi pada bus tergantung event sebelumnya sehingga diperlukan sinyal – sinyal validasi untuk mengidentifikasi data yang ditransfer. Sistem ini mampu menggabungkan kerja modul – modul yang berbeda kecepatan maupun teknologinya, asalkan aturan transfernya sama. Gambar 7.6 memperlihatkan pewaktuan asinkron.



Gambar 7.6 Contoh pewaktuan asinkron

Lebar Bus

Lebar bus sangat mempengaruhi kinerja sistem komputer. Semakin lebar bus maka semakin besar data yang dapat ditransfer sekali waktu. Semakin besar bus alamat, akan semakin banyak range lokasi yang dapat direfensikan.

Jenis Transfer Data

Dalam sistem komputer, operasi transfer data adalah pertukaran data antar modul sebagai tindak lanjut atau pendukung operasi yang sedang dilakukan. Saat operasi baca (*read*), terjadi pengambilan data dari memori ke CPU, begitu juga sebaliknya pada operasi penulisan maupun operasi – operasi kombinasi. Bus harus mampu menyediakan layanan saluran bagi semua operasi komputer.

7.4 Contoh Bus

Banyak perusahaan yang mengembangkan bus – bus antarmuka terutama untuk perangkat peripheral. Diantara jenis bus yang beredar di pasaran saat ini adalah PCI, ISA, USB, SCSI, FuturaBus+, FireWire, dan lain – lain. Semua memiliki keunggulan, kelemahan, harga dan teknologi yang berbeda sehingga akan mempengaruhi jenis – jenis penggunaannya.

7.4.1 Bus ISA

Ketika IBM memperkenalkan PC/AT yang berbasis CPU 80286, perusahaan ini menghadapi masalah besar. Jika IBM telah memulai sejak awal dan merancang sebuah bus 16 bit yang seluruhnya baru, banyak konsumen potensial akan bergegas membeli mesin tersebut karena tidak ada satupun dari begitu banyak papan plug-in PC yang disediakan oleh para vendor pihak ketiga dapat bekerja dengan menggunakan mesin baru tersebut. Di sisi lain, dengan tetap berpegang pada bus PC dan 20 jalur alamatnya serta 8 jalur data tidak akan memperoleh manfaat dari keunggulan CPU 80286 untuk mengalamatkan 16 M memori dan mentransfer word 16 bit.

Solusi yang dipilih adalah mengembangkan PC. Kartu-kartu plug-in PC memiliki sebuah konektor sisi dengan 62 kontak, tetapi operasi konektor sisi ini tidak menjangkau seluruh papan ini. Solusi PC/AT adalah menempatkan sebuah konektor sisi kedua pada bagian dasar papan tersebut, dekat dengan konektor sisi utama, dan merancang sirkuit AT untuk beroperasi dengan kedua jenis papan ini.

Konektor kedua pada bus PC/AT memiliki 36 jalur. Dari ke-36 jalur ini, 31 disediakan untuk jalur-jalur alamat tambahan, jalur-jalur data tambahan, jalur-jalur interupsi tambahan, serta untuk daya dan ground. Sisanya digunakan untuk mengatasi perbedaan-perbedaan antara transfer 8 bit dan 16 bit.

Industri komputer personal lainnya merespon perkembangan ini dengan mengadopsi standarnya sendiri, bus ISA (*Industry Standar Architecture*), yang pada dasarnya adalah bus

PC/AT yang beroperasi pada 8,33 MHz. Keuntungannya adalah bahwa pendekatan ini tetap mempertahankan kompatibilitas dengan mesin-mesin dan kartu-kartu yang ada. Pendekatan ini juga didasarkan pada sebuah bus yang telah dilisensikan secara bebas oleh IBM kepada banyak perusahaan dalam rangka untuk menjamin bahwa sebanyak mungkin pihak ketiga dapat memproduksi kartu-kartu untuk PC pertama, sesuatu yang kembali menghantui IBM. Setiap PC yang berbasis Intel masih menggunakan bus jenis ini, meskipun biasanya juga disertai dengan satu atau lebih bus lain.

7.4.2 Bus PCI

Peripheral Component Interconnect (PCI) adalah bus yang tidak tergantung prosesor dan berfungsi sebagai bus mezzanine atau bus peripheral. PCI memiliki kinerja tinggi untuk sistem I/O berkecepatan tinggi seperti : video adaptor, NIC, disk controller, sound card, dan lain-lain. Standard PCI adalah 64 saluran data pada kecepatan 33 MHz, laju transfer data 264 MB per detik atau 2,112 Gbps. Keunggulan PCI tidak hanya pada kecepatannya saja tetapi murah dengan keping yang sedikit.

Intel mulai menerapkan PCI pada tahun 1990 untuk sistem pentiumnya. Untuk mempercepat penggunaan PCI, Intel mempatenkan PCI bagi domain publik sehingga vendor dapat mengeluarkan produk dengan PCI tanpa royalti.

7.4.3 Bus USB

Semua perangkat peripheral tidak efektif apabila dipasang pada bus berkecepatan tinggi PCI, sedangkan banyak peralatan yang memiliki kecepatan rendah seperti keyboard, mouse, dan printer. Sebagai solusinya tujuh vendor komputer (Compaq, DEC, IBM, Intel, Microsoft, NEC, dan Northern Telecom) bersama-sama merancang bus untuk peralatan I/O berkecepatan rendah. Standard yang dihasilkan dinamakan Universal Standard Bus (USB).

Keuntungan yang didapatkan dan tujuan dari penerapan USB adalah sebagai berikut :

1. Pemakai tidak harus memasang tombol atau jumper pada PCB atau peralatan.
2. Pemakai tidak harus membuka casing untuk memasang peralatan I/O baru.
3. Hanya satu jenis kabel yang diperlukan sebagai penghubung.

4. Dapat mensuplai daya pada peralatan-peralatan I/O.
5. Memudahkan pemasangan peralatan-peralatan yang hanya sementara dipasang pada komputer.
6. Tidak diperlukan reboot pada pemasangan peralatan baru dengan USB.
7. Murah

Bandwidth total USB adalah 1,5 MB per detik. Bandwidth itu sudah mencukupi peralatan I/O berkecepatan rendah seperti keyboard, mouse, scanner, telepon digital, printer, dan sebagainya. Kabel pada bus terdiri dari 4 kawat, 2 untuk data, 1 untuk power (+5 volt), dan 1 untuk ground. Sistem pensinyalan mentransmisikan sebuah bilangan nol sebagai transisi tegangan dan sebuah bilangan satu bila tidak ada transmisi tegangan.

7.4.4 Bus SCSI

Small Computer System Interface (SCSI) adalah perangkat peripheral eksternal yang dipopulerkan oleh macintosh pada tahun 1984. SCSI merupakan interface standard untuk drive CD-ROM, peralatan audio, hard disk, dan perangkat penyimpanan eksternal berukuran besar. SCSI menggunakan interface paralel dengan 8, 16, atau 32 saluran data.

Konfigurasi SCSI umumnya berkaitan dengan bus, walaupun pada kenyataannya perangkat-perangkat tersebut dihubungkan secara daisy-chain. Perangkat SCSI memiliki dua buah konektor, yaitu konektor input dan konektor output. Seluruh perangkat berfungsi secara independen dan dapat saling bertukar data misalnya hard disk dapat mem-back up diri ke tape drive tanpa melibatkan prosesor.

Terdapat beberapa macam versi SCSI. SCSI-1 dibuat tahun 1980 memiliki 8 saluran data, dan beroperasi pada kecepatan 5 MHz. Versi ini memungkinkan sampai 7 perangkat dihubungkan secara daisy-chain. SCSI-2 diperkenalkan tahun 1992 dengan spesifikasi 16 atau 32 saluran data pada kecepatan 10 MHz. SCSI-3 yang mendukung kecepatan yang lebih tinggi sampai saat ini masih dalam tahap penelitian.

7.4.5 Bus P1394 / Fire Wire

Semakin pesatnya kebutuhan bus I/O berkecepatan tinggi dan semakin cepatnya prosesor saat ini yang mencapai 1 GHz, maka perlu diimbangi dengan bus berkecepatan tinggi juga. Bus

SCSI dan PCI tidak dapat mencukupi kebutuhan saat ini. Sehingga dikembangkan bus performance tinggi yang dikenal dengan *Fire Wire* (P1394 standard IEEE).

P1394 memiliki kelebihan dibandingkan dengan interface I/O lainnya, yaitu sangat cepat, murah, dan mudah untuk diimplementasikan. Pada kenyataannya P1394 tidak hanya populer pada sistem komputer, namun juga pada peralatan elektronik seperti pada kamera digital, VCR, dan televisi. Kelebihan lain adalah penggunaan transmisi serial sehingga tidak memerlukan banyak kabel.