

MODUL PEMBELAJARAN

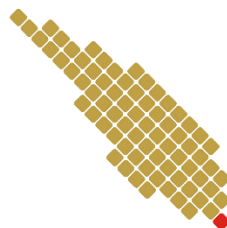
PENGANTAR KOMPUTER DAN SOFTWARE



Modul Pembelajaran

Pengantar Komputer dan Software 1

MODUL 1: Organisasi dan Arsitektur Komputer



ITERA

Program Studi Teknik Informatika

Institut Teknologi Sumatera

©2019

Kode MK	KU1106
Beban SKS	2 SKS
Revisi Terakhir	26 Juni 2019

Pendahuluan

Komputer merupakan penemuan penting dalam sejarah perkembangan peradaban manusia. Dalam kurun waktu 65 tahun terakhir sejak komputer elektronik ditemukan, komputer telah menjadi bagian yang sangat penting dalam kehidupan manusia. Peran dan pengaruh komputer dalam kehidupan sehari-hari sangat signifikan, mulai dari komputasi sederhana seperti pengolahan data gaji pegawai hingga komputasi kompleks seperti mengemudikan truk secara otomatis [1].

Kata komputer berasal dari bahasa Yunani *computare*, yang artinya untuk menghitung atau melakukan estimasi. Menurut Sanders, komputer didefinisikan sebagai sistem yang mampu melakukan manipulasi terhadap simbol elektronik (atau data) secara cepat dan akurat serta didesain untuk menerima dan menyimpan data masukan untuk kemudian diproses secara otomatis dan menghasilkan luaran berdasarkan instruksi dari program [2]. Definisi lain menurut Fuori, komputer adalah suatu pemroses data yang dapat melakukan perhitungan data dalam jumlah yang sangat besar secara cepat, akurat, dan efisien secara otomatis [3]. Lebih spesifik jika berbicara mengenai komputer digital,

Berdasarkan beberapa pernyataan yang telah disebutkan mengenai definisi komputer, kita dapat menyimpulkan bahwa sebuah sistem komputer erat kaitannya dengan program. Komputer tidak dapat melakukan pemrosesan data tanpa sebuah program. Program merupakan kumpulan instruksi yang memiliki tujuan tertentu. Program pada komputer dikembangkan dengan menggunakan bahasa pemrograman. Beberapa contoh bahasa pemrograman adalah C/C++, python, dan assembly.

Modul ini membahas mengenai pengantar organisasi dan arsitektur komputer secara ringkas. Mulai dari sejarah perkembangan komputer hingga struktur dan fungsi komputer. Dalam modul ini, perangkat komputer yang dibahas merupakan komputer digital elektronik.

Sejarah Perkembangan Komputer

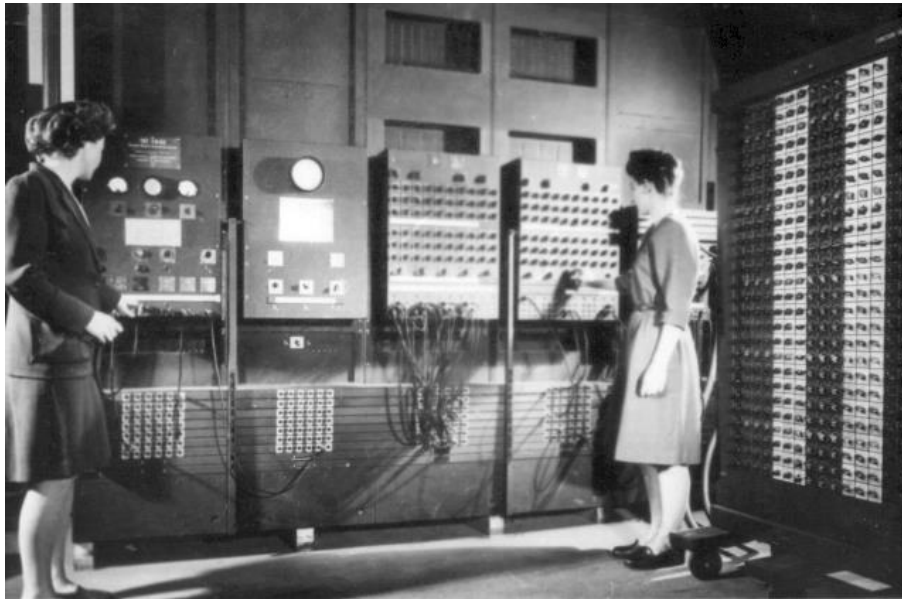
Seiring kemajuan teknologi yang pesat, komputer juga terus berkembang dengan pesat, baik dari segi kemampuan komputasi dan ukuran. Dimulai dari komputer ENIAC, yang merupakan komputer digital elektronik pertama di dunia, memiliki kemampuan komputasi 5000 operasi penambahan per-detik dan berukuran seluas rumah sederhana.

Perkembangan teknologi semakin yang pesat, sehingga memungkinkan komputer saat ini dapat digenggam dan dibawa ke mana saja dan dengan kemampuan komputasinya yang mampu melakukan jutaan operasi per-detik. Berikut akan dibahas mengenai sejarah perkembangan komputer yang dapat dibagi ke dalam empat generasi.

Generasi Pertama

Sejarah perkembangan komputer digital elektronik bermula pada masa perang dunia kedua di Amerika Serikat tepatnya di Universitas Pennsylvania dengan komputer rancangannya yang bernama *Electronic Numerical Integrator And Computer* (ENIAC). ENIAC dirancang pada tahun 1943 dan dapat diselesaikan pada tahun 1946. ENIAC yang merupakan komputer digital elektronik umum pertama di dunia, dibangun untuk memenuhi kebutuhan komputasi lintasan peluru kendali pada masa perang dunia. Pada masa ini, komponen utama penyusun komputer adalah tabung hampa udara (*vacuum tube*). Mesin komputer yang dihasilkan sangat besar, hingga memiliki berat 30 ton, memiliki luas sekitar 140 meter persegi, dan tersusun dari 18 ribu tabung hampa udara. Sistem komputasi pada komputer

ENIAC menggunakan bilangan desimal, lain halnya jika dibandingkan dengan komputer modern yang menggunakan sistem bilangan biner. Gambar 1 menunjukkan seberapa besar komputer ENIAC yang sering disebut sebagai komputer elektronik skala besar pertama di dunia.



Gambar 1. Dua orang wanita sedang mengoperasikan ENIAC (sumber: *wikimedia commons*)

Konfigurasi pengaturan dan pengubahan program pada ENIAC sangat membosankan [4], yaitu dengan cara menyetel tombol-tombol tertentu dan memasang serta mencabut kabel penghubung. Proses pemrograman dapat dipermudah jika program dapat direpresentasikan dalam format instruksi khusus yang dapat disimpan dalam memori. Kemudian, komputer dapat mengambil instruksi-instruksi ini dengan membaca dari memori. Konsep ini dikenal sebagai program tersimpan (*stored procedure*). Pada tahun 1945, John von Neumann membuat gagasan komputer jenis baru yaitu EDVAC (*Electronic Discrete Variable Computer*). Pada tahun 1946, von Neumann dan rekan-rekannya mulai mengembangkan komputer yang mampu menerapkan konsep program tersimpan, dikenal sebagai IAS, yang menjadi prototipe bagi semua komputer untuk kebutuhan umum (*general purpose computer*) hingga generasi saat ini. Berikut ini merupakan struktur umum dari komputer IAS:

1. **Memori utama**, yang merupakan tempat penyimpanan data maupun instruksi-instruksi.
2. **Unit aritmetika dan logika** (*Arithmetic and Logic Unit, ALU*), yang memiliki kemampuan dalam operasi data biner.
3. **Unit kontrol**, yang mampu melakukan interpretasi instruksi-instruksi dalam memori dan melakukan eksekusi instruksi-instruksi tersebut.
4. **Input dan output (I/O)** data yang dioperasikan oleh unit kontrol.

Pada tahun 1950, industri komputer mulai berkembang dengan lahirnya dua perusahaan komputer Sperry dan IBM yang mendominasi pasar. Awal mula kesuksesan industri komputer komersial ditandai dengan kesuksesan UNIVAC (*Universal Automatic Computer*), yang dibangun oleh perusahaan komputer Eckert-Mauchly yang kemudian menjadi bagian dari perusahaan Sperry-Rand. Tidak mau kalah, IBM meluncurkan komputer komersial pertamanya yaitu seri 701 pada tahun 1953 yang ditujukan untuk keperluan ilmiah.

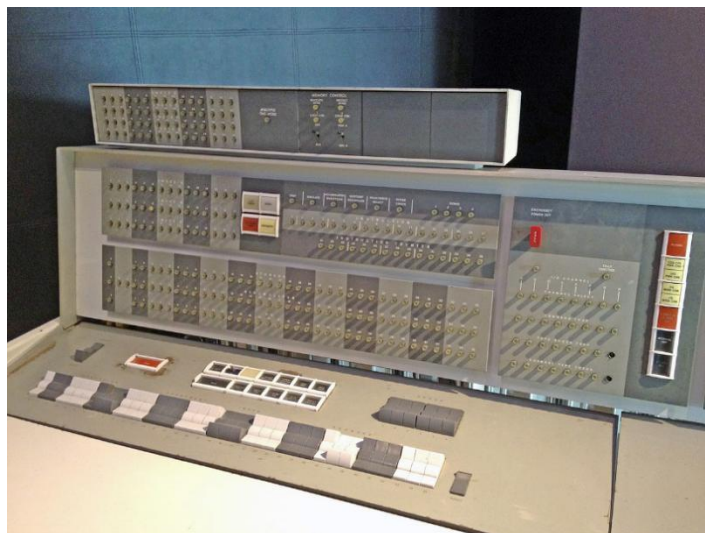
Generasi Kedua

Perkembangan teknologi elektronika memungkinkan komponen tabung hampa udara digantikan dengan transistor sebagai komponen utama penyusun komputer. Keuntungan penggunaan transistor jika dibandingkan dengan tabung hampa udara antara lain adalah:

1. Ukuran yang lebih kecil
2. Harga yang lebih murah
3. Memancarkan panas yang lebih sedikit

Teknologi transistor dikembangkan Bell Labs pada tahun 1947. Sekitar tahun 1950 teknologi transistor sudah mulai diadaptasi oleh perusahaan komputer untuk komputer elektronik yang diproduksinya.

Kehadiran komputer generasi kedua juga ditandai dengan munculnya unit kontrol dan ALU yang lebih kompleks, penggunaan bahasa pemrograman tingkat tinggi, dan perkembangan awal sistem operasi. IBM, melalui komputer seri 7094 menjadi representatif dari komputer generasi kedua. Gambar 2 menunjukkan piranti kendali komputer 7094 yang diproduksi pada tahun 1962¹.



Gambar 2. Kendali komputer IBM seri 7094 (sumber: *wikimedia commons*)

Generasi Ketiga

Generasi ketiga bermula saat IBM memperkenalkan sistem 360 dengan peralatan lengkap dan memenuhi pengoperasian saat itu. Sistem ini memiliki ROM sebagai penyimpanan sekunder. Konsep ini digunakan dalam komputer yang menghitung dan mengalkulasi ramalan cuaca.

Satu buah transistor biasanya disebut sebagai komponen diskrit. Dari sekitar tahun 50an hingga 60an, komputer tersusun atas ribuan komponen diskrit seperti transistor, resistor, dan kapasitor. Komponen diskrit diproduksi secara terpisah dan dikemas dalam paket tertentu.

¹ https://en.wikipedia.org/wiki/IBM_7090

Transistor jauh lebih baik daripada tabung hampa (*vacuum tube*) namun memiliki kelemahan berupa panas yang dapat merusak bagian-bagian lainnya. Dengan menggunakan *quartz rock* yang berwujud batu, masalah ini dapat diselesaikan. Jack Kilby, mengembangkan sirkuit terintegrasi dengan menggunakan tiga komponen elektronik dalam sebuah piringan silikon berbahan dasar *quartz rock*.

Beberapa ciri-ciri komputer generasi ketiga adalah sebagai berikut :

1. Kinerja lebih cepat akibat penggunaan sirkuit terintegrasi atau IC (*integrated circuit*)
2. Peningkatan dari sisi *software*
3. Kapasitas memori jauh lebih besar dan dapat menyimpan ratusan ribu karakter
4. Penggunaan daya yang lebih rendah
5. Menggunakan terminal dengan *visual display* dan dapat mengeluarkan suara
6. Harga yang semakin murah
7. Kemampuan melakukan komunikasi dengan komputer lain

Komputer pada generasi ketiga ditandai dengan integrasi sejumlah besar komponen diskrit elektronik. Bentuk komputer juga semakin kecil dibandingkan dengan generasi sebelumnya, berkat penggunaan sirkuit terintegrasi sebagai komponen penyusun sistem komputer. Gambar xx menunjukkan contoh sebuah sirkuit terintegrasi yang didalamnya terdapat ribuan komponen diskrit elektronik.



Gambar 3 – Sirkuit Terintegrasi [5]

Generasi Keempat

Setelah penemuan IC pada Generasi Ketiga, tujuan pengembangan komputer menjadi lebih jelas: mengecilkan ukuran sirkuit dan komponen-komponen elektrik lainnya. *Large Scale Integration* (LSI) dapat memuat ratusan komponen dalam sebuah *chip*.

Pada tahun 1980-an, *Very Large Scale Integration* (VLSI) memuat beribu-ribu komponen dalam sebuah *chip* tunggal. *Ultra Large Scale Integration* (ULSI) meningkat dalam jumlah tersebut menjadi jutaan.

Kemampuan untuk dapat memasang sedemikian banyak komponen dalam suatu komponen yang berukuran setengah keping uang logam mendorong turunannya harga dan ukuran komputer. Hal tersebut juga meningkatkan daya kerja, efisiensi dan keandalan komputer.

Lalu *chip* Intel 4004 yang tercipta pada tahun 1971 membawa kemajuan pada IC dengan meletakkan seluruh komponen dari sebuah komputer (CPU, memori, dan perangkat *input* dan *output*) dalam sebuah *chip* yang berukuran sangat kecil. Sebelumnya, IC dibuat untuk mengerjakan suatu tugas tertentu yang bersifat spesifik. Sekarang, sebuah mikroprosesor dapat diproduksi dan kemudian diprogram untuk memenuhi seluruh kebutuhan yang diinginkan.

Tidak lama kemudian, setiap perangkat rumah tangga seperti *microwave oven*, televisi, dan mobil dengan *electronic fuel injection* dilengkapi dengan mikroprosesor. Perkembangan

yang demikian memungkinkan orang-orang biasa untuk menggunakan komputer biasa. Komputer tidak lagi menjadi dominasi perusahaan-perusahaan besar atau lembaga pemerintah.

Pada pertengahan tahun 1970-an, perakitan komputer menawarkan produk komputer mereka ke masyarakat umum. Komputer-komputer ini, yang disebut minikomputer, dijual dengan paket piranti lunak yang mudah digunakan oleh kalangan awam. Piranti lunak yang paling populer pada saat itu adalah program *word processing* dan *spreadsheet*.

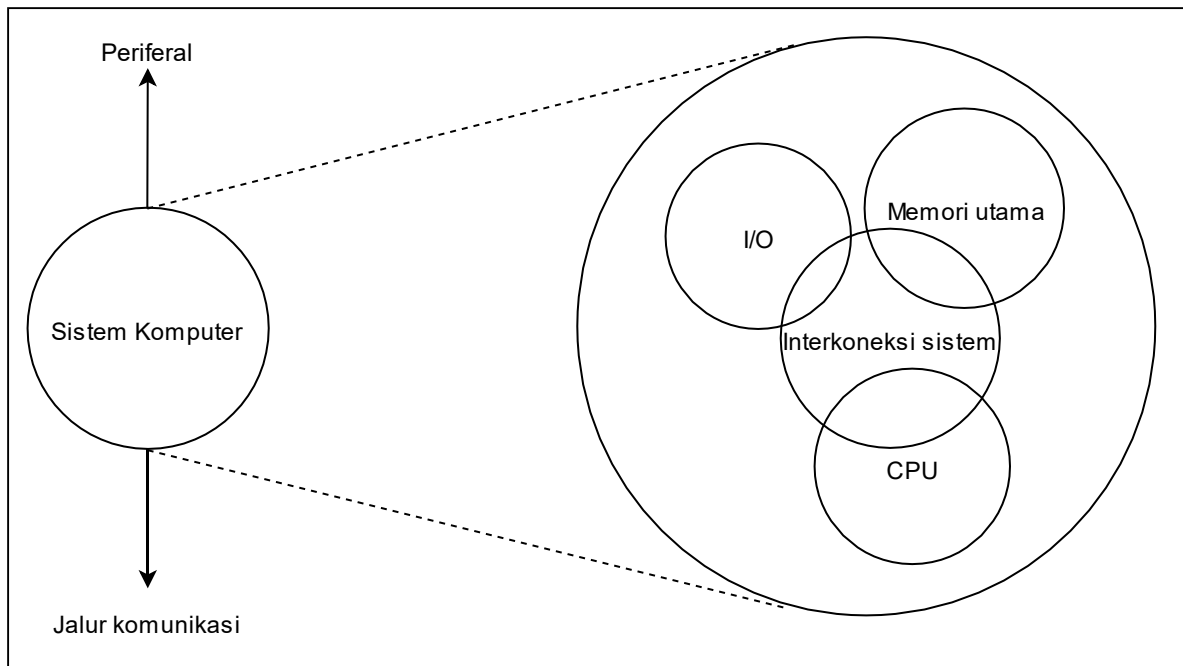
Struktur Komputer

Komputer adalah sebuah sistem yang kompleks yang terdiri dari jutaan komponen elektronik dasar [4]. Komputer merupakan sebuah sistem berhierarki yang saling terhubung, dari tingkat terendah hingga tingkat tertinggi. Sifat hierarki dari sistem yang kompleks memudahkan dalam perancangan. Perilaku pada masing-masing tingkatan dalam hierarki hanya tergantung pada sifat sistem pada tingkatan sebelumnya yang disederhanakan (atau abstraksi). Hal ini memungkinkan perancangan dapat dengan mudah dilakukan dengan memperhatikan sifat-sifat pada masing-masing tingkatan saja, yaitu bagaimana cara komponen-komponen saling terhubung dan operasi yang dapat dilakukan oleh setiap komponen sebagai bagian dari struktur.

Seperti yang sudah dibahas dalam subbab sejarah perkembangan komputer, komputer IAS yang dikembangkan oleh John von Neumann, terdiri atas 4 komponen utama yaitu memori, ALU, unit kontrol, dan perangkat I/O. ALU dan unit kontrol membentuk sebuah komponen yang saat ini kita sebut sebagai CPU (*Central Processing Unit*). Seluruh komponen pada arsitektur komputer von Neumann ini tetap dipertahankan hingga generasi komputer modern saat ini. Prinsip kerja komputer von Neumann adalah sebagai berikut:

1. Data dan instruksi-instruksi disimpan di memori.
2. Muatan dari memori memiliki lokasi alamat tertentu.
3. Eksekusi instruksi dilakukan secara sekuensial.

Interaksi antar komponen dalam arsitektur komputer von Neumann dapat dijabarkan sebagai berikut. CPU mengontrol operasi komputer dan membentuk fungsi-fungsi pengolah data. Memori utama berperan sebagai komponen untuk penyimpanan data. CPU bertukar data dengan memori. Sebuah modul memori terdiri dari sekumpulan lokasi yang didefinisikan sebagai alamat yang diberikan nomor secara berurutan. Masing-masing lokasi pada memori berisi suatu bilangan biner yang dapat diinterpretasikan oleh CPU baik itu sebagai data maupun sebagai instruksi yang akan dieksekusi. Modul I/O memindahkan data dari perangkat eksternal menuju CPU dan memori atau sebaliknya. Sistem interkoneksi mengatur mekanisme komunikasi antara CPU, memori utama, dan I/O. Jika disimpulkan, secara garis besar, struktur internal sebuah komputer dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Struktur internal komputer dari tingkat teratas

Fungsi Komputer

Secara mendasar, ada empat fungsi dasar komputer [4], yaitu:

1. Pengolahan data
2. Penyimpanan data
3. Pemindahan data
4. Kontrol

Komputer harus dapat mengolah data. CPU merupakan unit pada komputer yang memiliki fungsi utama untuk pengolahan data. Jenis data dapat beraneka ragam dan kebutuhan pengolahan data ini sangat luas. Selain itu, komputer juga harus memiliki kemampuan menyimpan data. Komputer menyimpan data dalam unit memori. Meskipun komputer memproses data dalam waktu yang cepat, komputer perlu memiliki kemampuan menyimpan data untuk kemudian dapat dicari dan diperbarui pada pemrosesan selanjutnya. Komputer juga harus dapat memindahkan data antara komputer itu sendiri dengan dunia luar. Ketika data diterima dari atau dikirimkan ke perangkat yang terhubung langsung pada komputer itu sendiri (peralatan ini biasa disebut sebagai periferan), maka proses tersebut dikenal sebagai **input-output (I/O)**. Ketika data dipindahkan dari atau ke peralatan atau lingkungan dengan jarak yang lebih jauh, proses ini dikenal sebagai **komunikasi data**, contohnya seperti *chatting*, mengirimkan email, dan lain sebagainya. Kemudian pada akhirnya, untuk menjamin seluruh fungsi komputer ini bekerja dengan baik, diperlukan fungsi kontrol dalam mengatur kinerja sumber daya komputer yang ada.

Komponen Perangkat Keras Komputer

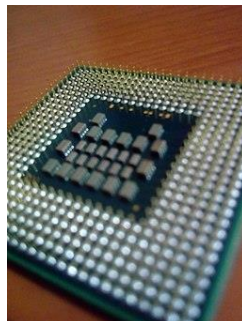
Komputer tersusun atas beberapa komponen perangkat keras atau *hardware*. Berikut ini akan dijelaskan beberapa komponen perangkat keras dasar yang menyusun sistem komputer modern.

CPU

CPU (*Central Processing Unit*) atau biasa disingkat penyebutannya sebagai prosesor merupakan salah satu komponen utama dalam sistem komputer. CPU merupakan komponen paling penting dalam pemrosesan data oleh sistem komputer. Hampir seluruh proses komputasi aritmetika dan logika dalam sebuah sistem komputer dilakukan oleh CPU, sehingga peran CPU sangat besar dalam sistem komputer. Menurut Techopedia [5], CPU merupakan nyawa sekaligus otak dari sebuah sistem komputer. Tanpa CPU, fungsi komputer tidak dapat terwujud. CPU menerima data masukan, mengeksekusi instruksi-instruksi terhadap data masukan, dan memrosesnya untuk menjadi informasi. CPU berkomunikasi dan bertukar data dengan dunia luar melalui media input/output (IO).

Dalam CPU, terdapat komponen ALU yang mampu melakukan operasi aritmetika dan logika pada data, khususnya data dalam bentuk biner. Data biner merupakan data yang hanya memiliki dua nilai dalam membentuk representasinya, yaitu 1 dan 0. Seluruh data yang diproses oleh komputer harus terlebih dahulu dikonversi menjadi bentuk biner. Proses konversi ini disebut sebagai digitalisasi. Selain ALU, terdapat pula unit penyimpanan internal dalam CPU yang disebut sebagai register. Isi register dapat berupa data, alamat memori, bahkan instruksi. CPU juga memiliki jalur komunikasi data, yang dinamakan sebagai *bus*, untuk bertukar data dengan *cache memory*.

Beberapa contoh merek dagang CPU yang beredar hingga saat ini adalah Intel, AMD, Qualcomm, MTK, dan lain-lain. CPU dari Intel merupakan produk yang paling populer di segmen komputer personal. Untuk segmen ponsel cerdas, CPU didominasi oleh produk dari Qualcomm berdasarkan laporan dari Strategyanalytics.com [6]. Gambar 5 menunjukkan rupa prosesor komputer modern.



Gambar 5. Prosesor atau CPU (sumber: *wikimedia commons*)

Media Penyimpanan

Bagi kebanyakan orang, media penyimpanan dalam sistem komputer cenderung dikaitkan dengan *Harddisk*. Memang benar bahwa *Harddisk* merupakan salah satu media penyimpanan dalam sistem komputer modern. Namun, media penyimpanan dalam sistem komputer tidak hanya terbatas pada *Harddisk* saja. Media penyimpanan dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu media penyimpanan primer dan media penyimpanan sekunder. Dalam sistem komputer modern, media penyimpanan primer memiliki fungsi sebagai tempat dimana program aplikasi berjalan [7]. Lain halnya dengan media penyimpanan primer, media penyimpanan sekunder digunakan sebagai tempat penyimpanan program dan data untuk jangka waktu yang lebih lama.

RAM (*Random Access Memory*) merupakan salah satu media penyimpanan dalam sistem komputer. RAM termasuk dalam kategori media penyimpanan primer atau sering disebut sebagai *main memory*. RAM tidak dapat menyimpan data secara permanen, data yang tersimpan dalam RAM bersifat sementara atau bersifat *volatile*. RAM hanya dapat menyimpan data pada saat komputer menyala atau dialiri oleh aliran listrik. Sifat khusus RAM lainnya adalah, RAM memungkinkan akses terhadap data secara acak sesuai dengan lokasinya. Untuk mengakses data pada RAM, tidak perlu mengakses data pada lokasi sebelumnya seperti halnya pada prinsip akses data secara sekuensial. Gambar 6, menunjukkan bentuk RAM pada komputer personal modern.



Gambar 6. RAM (sumber: *wikimedia commons*)

Berbeda dengan RAM, *Harddisk drive* (HDD) atau sering kita sebut sebagai *Harddisk* saja, termasuk dalam kategori media penyimpanan sekunder. Data pada Harddisk dapat disimpan dalam jangka waktu yang lama atau bersifat *non-volatile*, yang artinya data dapat tetap tersimpan dalam perangkat meskipun perangkat tidak teraliri oleh aliran listrik. Selain Harddisk, beberapa perangkat yang dapat dikategorikan sebagai media penyimpanan sekunder adalah, CD/DVD dan Solid State Drive (SSD). Harddisk dan SSD merupakan varian media penyimpan sekunder yang paling populer pada sistem komputer personal saat ini. Hal utama yang membedakan antara Harddisk dengan SSD adalah, Harddisk memiliki komponen mekanik berupa piringan yang berputar saat beroperasi, sedangkan SSD tidak memiliki komponen ini. Beberapa rupa dari varian memori sekunder dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Harddisk (kiri) dan Solid State Drive (kanan) (sumber: *wikimedia commons*)

Periferal

Perangkat periferal pada umumnya terdiri dari perangkat masukan (*input*) dan perangkat keluaran (*output*). Perangkat masukan memungkinkan pengguna untuk memasukkan perintah atau data untuk dapat diproses oleh komputer. Sedangkan perangkat keluaran memungkinkan informasi yang telah diproses oleh komputer dikonversi kedalam bentuk yang dapat dengan mudah dipahami oleh pengguna komputer.

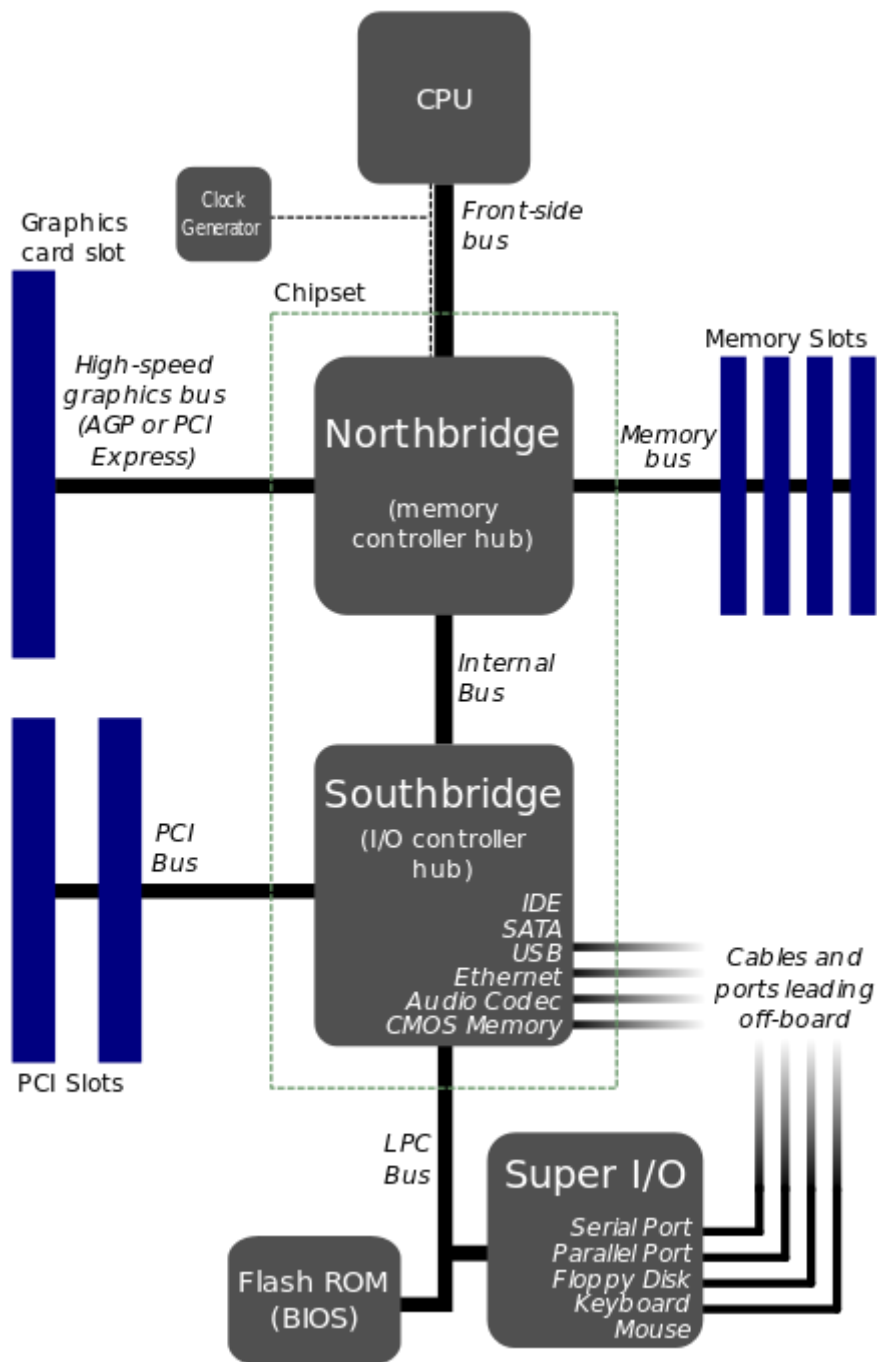
Masing-masing perangkat periferal memiliki fungsi dalam memproses berbagai jenis masukan dan keluaran. Beberapa jenis perangkat yang termasuk dalam kategori perangkat masukan adalah:

1. Papan ketik (*keyboard*) yang memproses masukan dari pengguna berupa tekanan tombol-tombol pada perangkat dan mengubahnya menjadi sinyal digital untuk kemudian diproses lebih lanjut.
2. Tetikus (*mouse*) yang memproses masukan dari pengguna berupa gerakan perangkat dan mengubahnya menjadi sinyal digital untuk kemudian diproses lebih lanjut.
3. Layar sentuh yang memproses masukan dari pengguna berupa sentuhan ke layar dan mengubahnya menjadi sinyal digital untuk kemudian diproses lebih lanjut.
4. Mikrofon yang memproses masukan dari pengguna berupa suara dan mengubahnya kedalam bentuk sinyal suara digital untuk kemudian diproses lebih lanjut.
5. Kamera *web* memproses masukan dari pengguna berupa gambar dan mengubahnya kedalam bentuk citra digital untuk kemudian diproses lebih lanjut.

Selain beberapa jenis perangkat masukan yang telah disebutkan sebelumnya. Berikut ini merupakan contoh perangkat luaran, antara lain adalah:

1. Monitor yang memproses data digital dalam bentuk teks, citra, maupun video untuk kemudian ditampilkan ke sebuah layar sebagai citra.
2. Printer yang memproses data digital berupa teks maupun citra untuk kemudian ditampilkan/dicetak pada kertas.
3. *Speaker* yang memproses data digital berupa suara untuk kemudian diubah menjadi energi suara.

Keseluruhan perangkat komputer yang sudah disebutkan sebelumnya kemudian berintegrasi dan bekerja sama dengan komponen-komponen lainnya (seperti CPU dan memori) menjadi sebuah sistem komputer dengan media Bus sebagai penghubungnya. Gambar 8 menunjukkan keterhubungan (interkoneksi) antar perangkat yang ada dalam sistem komputer modern.



Gambar 8. Intekoneksi antar komponen dalam sistem komputer personal (sumber: wikipedia)

Pustaka

- [1] D. Shapiro, "NVIDIA Working with PACCAR on Self-Driving trucks," 16 Maret 2017. [Online]. Available: <https://blogs.nvidia.com/blog/2017/03/16/paccar/>.
- [2] D. H. Sanders, R. A. Fry dan R. J. Condon, Inside Computers Today: Study Guide to Accompany Computers Today, New York: McGraw-Hill, 1988.
- [3] W. M. Fuori, Introduction to The Computer: The Tool of Business, Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1977.
- [4] W. Stallings, Organisasi dan Arsitektur Komputer: Rancangan Kinerja, 6th penyunt., vol. 1, Upper Saddle River, New Jersey: Prentic-Hall, Inc., 2003.
- [5] Techopedia, "What is a Central Processing Unit (CPU)? - Definition from Techopedia," [Online]. Available: <https://www.techopedia.com/definition/2851/central-processing-unit-cpu>. [Diakses 15 Maret 2019].
- [6] strategyanalytics, "Strategy Analytics: Q1 2018 Smartphone Apps Processor Market Share: Chips with On-device Artificial Intelligence (AI) Grew Three Fold | Strategy Analytics Online Newsroom," 8 Agustus 2018. [Online]. Available: <https://news.strategyanalytics.com/press-release/devices/strategy-analytics-q1-2018-smartphone-apps-processor-market-share-chips>. [Diakses 27 Juni 2019].
- [7] A. Silberschatz, G. Gagne dan P. B. Galvin, Operating System Concepts, Wiley, 2012.
- [8] The Editors of Encyclopaedia Britannica, "Digital Computer," 28 Juni 2017. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/technology/digital-computer>. [Diakses 14 Desember 2018].