

BUKU AJAR

MATA KULIAH ARSITEKTUR KOMPUTER

BAB 2

SEJARAH DAN PERKEMBANGAN TEKNOLOGI KOMPUTER

Berbasis Rencana Pembelajaran Semester (RPS)
Arsitektur Komputer IF221101 | 3 SKS | 2026

IDENTITAS BAB

Komponen	Keterangan
Mata Kuliah	Arsitektur Komputer
Kode	IF221101
Bobot	3 SKS
Bab	Bab 2
Judul	Sejarah dan Perkembangan Teknologi Komputer
Fokus RPS	Sejarah teknologi komputer serta teknik dan strategi untuk memperoleh keseimbangan kinerja komputer
Level Pembelajaran	C2 – Memahami; diperluas melalui latihan dan studi kasus analitis

CAPAIAN PEMBELAJARAN BAB

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menjelaskan perkembangan teknologi komputer dari generasi awal hingga sistem modern.
2. Mengidentifikasi perubahan teknologi utama yang memengaruhi organisasi dan arsitektur komputer.
3. Menjelaskan perkembangan mikroprosesor sebagai bagian penting evolusi komputer modern.
4. Menjelaskan hubungan antara teknologi, kinerja, konsumsi energi, kapasitas, dan biaya.
5. Menganalisis mengapa peningkatan satu komponen tidak selalu menghasilkan peningkatan kinerja sistem secara keseluruhan.
6. Menjelaskan konsep keseimbangan kinerja sebagai pertimbangan dalam perancangan sistem komputer.

PETA KONSEP

ALUR KONSEP BAB 2

Komputer Awal → Generasi Komputer → Transistor → Integrated Circuit → Mikroprosesor → Komputer Personal → Multicore → Sistem Modern → Kinerja Komputer → Bottleneck → Keseimbangan CPU, Memori, I/O, Energi, dan Biaya.

2.1 Pendahuluan

Sejarah komputer menunjukkan bahwa perkembangan teknologi tidak berlangsung sebagai peningkatan kecepatan semata. Setiap periode menghadirkan perubahan pada komponen elektronik, cara pengolahan data, kapasitas penyimpanan, metode interkoneksi, dan rancangan sistem.

Komputer modern merupakan hasil evolusi panjang dari mesin komputasi mekanik, sistem elektronik berbasis tabung vakum, transistor, integrated circuit, mikroprosesor, hingga sistem multicore dan heterogeneous computing. Setiap lompatan teknologi membuka peluang baru sekaligus memunculkan persoalan baru, seperti kebutuhan energi, panas, kompleksitas desain, dan ketidakseimbangan antar subsistem.

Karena itu, pembahasan sejarah teknologi komputer perlu dihubungkan dengan konsep kinerja. Sistem dengan prosesor sangat cepat belum tentu menghasilkan pengalaman komputasi yang optimal apabila memori, penyimpanan, jaringan, atau perangkat I/O menjadi hambatan.

PERTANYAAN PEMANTIK

Mengapa komputer yang lebih baru tidak selalu terasa jauh lebih cepat untuk semua jenis pekerjaan? Apakah meningkatkan kecepatan CPU selalu menjadi solusi utama untuk meningkatkan performa?

2.2 Sebelum Komputer Elektronik

Sebelum komputer elektronik berkembang, manusia telah menggunakan berbagai alat bantu perhitungan. Perkembangan tersebut penting karena memperlihatkan kebutuhan mendasar terhadap representasi data, otomatisasi proses, dan pengendalian langkah-langkah komputasi.

Periode/Contoh	Kontribusi Konseptual	Relevansi
Alat hitung awal	Representasi dan manipulasi bilangan	Dasar kebutuhan komputasi
Mesin mekanik	Otomasi operasi aritmetika	Gagasan mesin penghitung
Konsep mesin terprogram	Urutan instruksi dan pengendalian	Cikal bakal konsep program
Sistem elektromekanik	Integrasi komponen untuk otomatisasi	Transisi menuju sistem elektronik

2.3 Generasi Pertama: Tabung Vakum

Komputer generasi pertama menggunakan tabung vakum sebagai komponen elektronik utama. Sistem pada periode ini berukuran besar, membutuhkan energi tinggi, menghasilkan panas yang besar, dan memiliki keterbatasan reliabilitas dibandingkan teknologi modern.

Pemrograman dan pengoperasian juga jauh lebih dekat dengan perangkat keras. Walaupun memiliki keterbatasan, periode ini menunjukkan bahwa komputasi elektronik dapat dilakukan secara otomatis dan menjadi fondasi bagi perkembangan sistem digital berikutnya.

Karakteristik	Dampak
Tabung vakum	Ukuran besar dan konsumsi daya tinggi
Panas tinggi	Memerlukan pengelolaan lingkungan dan meningkatkan risiko kegagalan
Kapasitas terbatas	Kemampuan penyimpanan dan pemrosesan masih terbatas
Interaksi tingkat rendah	Pemrograman sangat dekat dengan mesin

2.4 Generasi Kedua: Transistor

Penggunaan transistor menggantikan banyak fungsi tabung vakum dan membawa perubahan besar terhadap ukuran, reliabilitas, konsumsi daya, serta efisiensi komputer. Perangkat dapat dibuat lebih kecil dan lebih andal. Perkembangan bahasa pemrograman tingkat lebih tinggi juga membantu memperluas penggunaan komputer.

IDE UTAMA

Kemajuan teknologi komponen dasar dapat memengaruhi keseluruhan organisasi sistem: ukuran berubah, kebutuhan daya berubah, panas berkurang, dan rancangan yang lebih kompleks menjadi memungkinkan.

2.5 Generasi Ketiga: Integrated Circuit

Integrated Circuit atau IC memungkinkan sejumlah komponen elektronik diintegrasikan dalam satu chip. Integrasi ini meningkatkan kepadatan komponen dan membantu meningkatkan reliabilitas serta efisiensi produksi. Komputer mulai berkembang menjadi sistem yang lebih terstruktur dengan dukungan sistem operasi dan kemampuan pengelolaan sumber daya yang lebih baik.

Dari perspektif arsitektur, perkembangan IC memungkinkan peningkatan kompleksitas unit pemrosesan dan memori. Namun, kompleksitas yang meningkat juga menuntut desain organisasi yang lebih cermat.

2.6 Generasi Keempat: Mikroprosesor

Mikroprosesor merupakan tonggak penting karena fungsi pemrosesan utama dapat diintegrasikan ke dalam sebuah chip. Perkembangan ini mendorong munculnya komputer personal, perangkat embedded, dan berbagai bentuk komputasi yang lebih mudah diakses.

Evolusi mikroprosesor kemudian tidak hanya diarahkan pada peningkatan frekuensi. Pengembang prosesor memperkenalkan cache yang lebih baik, pipeline, superscalar execution, multicore, dan mekanisme lain untuk meningkatkan jumlah pekerjaan yang dapat diselesaikan secara efektif.

Perkembangan	Tujuan Utama	Konsekuensi Desain
Integrasi mikroprosesor	Mengurangi ukuran dan meningkatkan aksesibilitas	Kompleksitas chip meningkat
Cache	Mengurangi dampak latensi memori	Memerlukan kebijakan organisasi memori
Pipelining	Meningkatkan throughput instruksi	Muncul pipeline hazard
Multicore	Meningkatkan kapasitas pemrosesan paralel	Memerlukan perangkat lunak yang mampu memanfaatkan paralelisme

2.7 Perkembangan Komputer Personal dan Sistem Modern

Perkembangan komputer personal membawa perubahan pada orientasi desain sistem. Komputer tidak lagi hanya digunakan dalam lingkungan khusus, tetapi menjadi perangkat kerja, pendidikan, komunikasi, hiburan, dan pengembangan aplikasi.

Pada era modern, bentuk komputer semakin beragam. Laptop menekankan portabilitas dan efisiensi energi, workstation dapat menekankan kapasitas komputasi dan memori, server menekankan reliabilitas dan skalabilitas, sementara smartphone dan perangkat embedded menekankan efisiensi energi serta integrasi.

Jenis Sistem	Prioritas Umum	Contoh Tantangan
Laptop	Portabilitas dan efisiensi energi	Panas dan keterbatasan baterai

Desktop/Workstation	Kinerja dan fleksibilitas	Konsumsi daya dan biaya
Server	Skalabilitas dan reliabilitas	Pendinginan dan manajemen sumber daya
Mobile/Embedded	Efisiensi dan integrasi	Batas energi dan ukuran
Sistem AI/Accelerator	Throughput komputasi tertentu	Transfer data dan kebutuhan memori

2.8 Perkembangan Mikroprosesor

Mikroprosesor berkembang melalui beberapa arah utama: peningkatan integrasi, peningkatan jumlah transistor, optimasi pipeline, peningkatan cache, peningkatan paralelisme internal, dan penggunaan beberapa inti pemrosesan. Perubahan tersebut menunjukkan bahwa desain modern berusaha meningkatkan kinerja dengan berbagai strategi, bukan hanya satu pendekatan.

2.8.1 Peningkatan Frekuensi

Frekuensi yang lebih tinggi dapat meningkatkan jumlah siklus yang tersedia per satuan waktu, tetapi manfaat aktual tetap bergantung pada pekerjaan yang dijalankan dan kemampuan subsistem lain memasok data serta instruksi.

2.8.2 Hierarki Cache

Cache dikembangkan untuk memperkecil kesenjangan antara kecepatan CPU dan memori utama. Kehadiran cache memperlihatkan bahwa peningkatan kinerja membutuhkan strategi organisasi memori.

2.8.3 Pipelining dan Paralelisme

Instruksi dapat dipecah menjadi beberapa tahap sehingga beberapa instruksi berada pada tahap berbeda secara bersamaan. Konsep ini meningkatkan throughput, tetapi memerlukan penanganan terhadap berbagai hazard.

2.8.4 Multicore

Ketika peningkatan frekuensi menghadapi keterbatasan energi dan panas, penggunaan beberapa inti menjadi salah satu strategi penting. Kinerja tambahan akan sangat dipengaruhi oleh kemampuan perangkat lunak membagi pekerjaan secara paralel.

2.9 Konsep Kinerja Komputer

Kinerja komputer merupakan hasil interaksi berbagai faktor. Waktu penyelesaian suatu pekerjaan dapat dipengaruhi oleh jumlah instruksi, jumlah siklus yang diperlukan untuk instruksi, frekuensi prosesor, latensi memori, kecepatan penyimpanan, kemampuan I/O, serta karakteristik perangkat lunak.

PRINSIP PENTING

Kinerja sistem tidak boleh dianalisis hanya dari satu spesifikasi. Frekuensi CPU, jumlah core, ukuran RAM, kapasitas cache, kecepatan penyimpanan, dan pola kerja aplikasi dapat menghasilkan dampak yang berbeda.

Faktor	Pengaruh terhadap Kinerja
Jumlah instruksi	Lebih banyak instruksi dapat meningkatkan waktu

	eksekusi
Cycles per Instruction	Efisiensi eksekusi memengaruhi jumlah siklus yang dibutuhkan
Frekuensi CPU	Mempengaruhi jumlah siklus per satuan waktu
Cache dan memori	Memengaruhi kecepatan penyediaan data dan instruksi
I/O dan penyimpanan	Dapat menjadi hambatan untuk aplikasi tertentu
Paralelisme	Dapat meningkatkan throughput bila pekerjaan dapat dibagi
Perangkat lunak	Algoritma dan implementasi memengaruhi pemanfaatan hardware

2.10 Keseimbangan Kinerja Komputer

Fokus RPS pada teknik dan strategi untuk memperoleh keseimbangan kinerja menempatkan komputer sebagai sistem yang harus dirancang secara menyeluruh. Ketidakseimbangan terjadi ketika satu subsistem jauh lebih lambat dibandingkan kebutuhan subsistem lain.

2.10.1 CPU dan Memori

CPU yang sangat cepat dapat sering menunggu apabila data tidak tersedia tepat waktu dari hierarki memori. Oleh karena itu, cache, bandwidth memori, dan kapasitas memori menjadi bagian penting dari desain sistem.

2.10.2 CPU dan I/O

Aplikasi yang intensif melakukan pembacaan atau penulisan data dapat dibatasi oleh kecepatan perangkat penyimpanan atau jaringan. Dalam situasi seperti ini, peningkatan CPU mungkin memberikan manfaat terbatas.

2.10.3 Kinerja dan Energi

Kinerja tinggi sering memiliki konsekuensi terhadap konsumsi energi dan panas. Sistem modern harus mempertimbangkan performa per watt, terutama pada perangkat mobile, data center, dan sistem skala besar.

2.10.4 Kinerja dan Biaya

Sistem terbaik tidak selalu berarti sistem dengan spesifikasi tertinggi. Perancangan harus mempertimbangkan kebutuhan aplikasi dan biaya. Prinsip ini menghasilkan pendekatan “fit for purpose”, yaitu sumber daya disesuaikan dengan karakteristik beban kerja.

2.11 Bottleneck Sistem

Bottleneck adalah bagian sistem yang membatasi kinerja keseluruhan. Jika satu komponen menjadi penghambat utama, peningkatan komponen lain dapat memberikan manfaat yang relatif kecil.

Skenario	Kemungkinan Bottleneck	Strategi Awal
Aplikasi lambat saat membuka data besar	Penyimpanan atau memori	Evaluasi SSD, kapasitas RAM, pola akses data
Komputasi numerik berat	CPU/GPU	Evaluasi paralelisme dan kemampuan

		pemrosesan
Server banyak pengguna	CPU, memori, jaringan	Analisis utilisasi dan pola permintaan
Aplikasi AI	Akselerator dan bandwidth memori	Optimasi transfer data dan model
Sistem mobile cepat panas	Energi dan thermal	Optimasi efisiensi dan manajemen daya

2.12 Studi Kasus: Memilih Upgrade untuk Laboratorium Komputer

Sebuah laboratorium memiliki komputer dengan prosesor yang masih memadai, tetapi mahasiswa mengeluhkan proses pembukaan proyek dan pemuatan dataset yang lambat. Terdapat tiga usulan: mengganti CPU, menambah RAM, atau mengganti media penyimpanan ke SSD yang lebih cepat.

Analisis harus dimulai dari identifikasi bottleneck. Jika masalah terutama terjadi pada proses membaca dan menulis banyak berkas, penyimpanan dapat menjadi prioritas. Jika aplikasi kehabisan memori dan sering melakukan pertukaran data, peningkatan RAM mungkin lebih efektif. Penggantian CPU menjadi prioritas apabila analisis menunjukkan beban utama benar-benar bersifat CPU-bound.

PERTANYAAN ANALISIS

Informasi apa saja yang perlu dikumpulkan sebelum memilih strategi upgrade? Mengapa keputusan tidak dapat diambil hanya berdasarkan spesifikasi prosesor?

2.13 Aktivitas Pembelajaran Mahasiswa

Aktivitas 1: Membuat Garis Waktu

Buat garis waktu perkembangan komputer dari teknologi awal hingga sistem multicore. Untuk setiap tahap, tuliskan teknologi utama, perubahan organisasi sistem, dan dampak terhadap penggunaan komputer.

Aktivitas 2: Analisis Spesifikasi

Bandingkan dua perangkat komputer dengan karakteristik berbeda. Jangan hanya membandingkan kecepatan CPU. Analisis memori, penyimpanan, jumlah core, efisiensi energi, dan target penggunaan.

Aktivitas 3: Identifikasi Bottleneck

Pilih satu aplikasi yang sering digunakan. Identifikasi apakah aplikasi tersebut kemungkinan lebih bergantung pada CPU, memori, penyimpanan, GPU, atau jaringan. Jelaskan alasan.

Aktivitas 4: Diskusi

Diskusikan pernyataan berikut: “Komputer dengan spesifikasi tertinggi selalu menjadi komputer terbaik.” Berikan argumen berdasarkan konsep keseimbangan kinerja.

2.14 Rangkuman

- Perkembangan komputer berlangsung melalui perubahan teknologi dan organisasi sistem, mulai dari mesin awal hingga sistem modern.

- Tabung vakum, transistor, integrated circuit, dan mikroprosesor merupakan tonggak penting dalam evolusi teknologi komputer.
- Perkembangan mikroprosesor tidak hanya berfokus pada frekuensi, tetapi juga cache, pipelining, paralelisme, dan multicore.
- Kinerja komputer dipengaruhi oleh interaksi CPU, memori, penyimpanan, I/O, perangkat lunak, dan karakteristik beban kerja.
- Bottleneck pada satu subsistem dapat membatasi kinerja keseluruhan sistem.
- Keseimbangan kinerja berarti memilih dan mengombinasikan sumber daya sistem sesuai kebutuhan, bukan sekadar meningkatkan satu komponen.
- Perancangan sistem modern juga mempertimbangkan energi, panas, biaya, reliabilitas, dan skalabilitas.

2.15 Glosarium Bab

Istilah	Pengertian
Bottleneck	Komponen atau proses yang menjadi pembatas utama kinerja sistem.
Cache	Memori berkecepatan tinggi yang membantu menyediakan data dan instruksi bagi prosesor.
Integrated Circuit	Rangkaian elektronik yang mengintegrasikan sejumlah komponen dalam satu chip.
Kinerja	Kemampuan sistem menyelesaikan pekerjaan berdasarkan ukuran tertentu, misalnya waktu atau throughput.
Mikroprosesor	Prosesor yang fungsi utamanya diintegrasikan dalam sebuah chip.
Multicore	Arsitektur yang memiliki lebih dari satu inti pemrosesan.
Paralelisme	Pelaksanaan beberapa bagian pekerjaan secara bersamaan atau tumpang tindih.
Pipeline	Teknik pembagian proses instruksi ke dalam beberapa tahap.
Throughput	Jumlah pekerjaan atau operasi yang dapat diselesaikan dalam periode tertentu.
Workload	Karakteristik pekerjaan yang dijalankan oleh sistem.

2.16 Soal Latihan

A. Soal Pemahaman

7. Jelaskan secara ringkas perkembangan teknologi komputer dari generasi awal hingga komputer modern.
8. Jelaskan dampak penggunaan transistor terhadap perkembangan komputer.
9. Mengapa integrated circuit menjadi tonggak penting dalam perkembangan teknologi komputer?
10. Jelaskan peran mikroprosesor dalam perkembangan komputer personal.

11. Sebutkan empat strategi yang digunakan sistem modern untuk meningkatkan kinerja selain sekadar meningkatkan frekuensi.
12. Apa yang dimaksud dengan bottleneck?
13. Jelaskan hubungan antara CPU dan hierarki memori terhadap kinerja.
14. Mengapa jumlah core yang lebih besar tidak selalu memberikan peningkatan kinerja yang proporsional?
15. Jelaskan hubungan antara kinerja dan konsumsi energi.
16. Apa yang dimaksud dengan keseimbangan kinerja komputer?

B. Soal Analisis

17. Sebuah komputer memiliki CPU cepat tetapi RAM terbatas. Analisis dampak yang mungkin terjadi ketika menjalankan aplikasi dengan dataset besar.
18. Bandingkan strategi peningkatan frekuensi CPU dengan strategi penggunaan multicore.
19. Analisis mengapa SSD dapat meningkatkan pengalaman penggunaan komputer tanpa mengganti CPU.
20. Sebuah aplikasi membutuhkan banyak transfer data melalui jaringan. Komponen apa saja yang perlu dianalisis sebelum menyimpulkan bahwa CPU adalah penyebab kinerja lambat?
21. Buat analisis singkat tentang faktor yang harus dipertimbangkan saat memilih komputer untuk laboratorium pemrograman dan analitik data.

C. Soal HOTS dan Studi Kasus

22. Sebuah institusi memiliki anggaran terbatas untuk meningkatkan 30 komputer laboratorium. Pilihan upgrade adalah CPU, RAM, atau SSD. Rancang metodologi pengambilan keputusan berdasarkan konsep bottleneck dan keseimbangan kinerja.
23. Bandingkan kebutuhan arsitektur sistem untuk laptop mahasiswa, server basis data, dan perangkat AI. Jelaskan mengapa ketiga sistem tersebut memerlukan prioritas desain yang berbeda.
24. Rancang rekomendasi sistem untuk aplikasi pengolahan citra. Tentukan prioritas CPU, GPU, memori, penyimpanan, dan I/O beserta alasan.

2.17 Proyek Mini

Judul proyek: Analisis Evolusi dan Keseimbangan Kinerja Sistem Komputer.

Mahasiswa memilih satu jenis perangkat komputasi dan menyusun laporan yang memuat:

- Garis waktu singkat perkembangan teknologi yang relevan dengan perangkat tersebut.
- Identifikasi komponen pemrosesan, memori, penyimpanan, dan I/O.
- Analisis kebutuhan kinerja berdasarkan jenis beban kerja.
- Identifikasi minimal dua potensi bottleneck.
- Rekomendasi peningkatan kinerja dengan mempertimbangkan biaya dan energi.
- Kesimpulan mengenai konsep keseimbangan sistem.

2.18 Daftar Pustaka

- Comer, D. (2017). *Essentials of Computer Architecture*. Chapman and Hall/CRC.
- Englander, I., & Wong, W. (2021). *The Architecture of Computer Hardware, Systems Software, and Networking: An Information Technology Approach*. John Wiley & Sons.
- Heuring, V. P., & Murdocca, M. J. (2021). *Principles of Computer Architecture*.

- Dokumen Rencana Pembelajaran Semester Mata Kuliah Arsitektur Komputer IF221101, Program Studi Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur.

CATATAN PENYUSUNAN BAB

Fokus utama Bab 2 mengikuti RPS Arsitektur Komputer pada kemampuan menjelaskan sejarah teknologi komputer serta teknik dan strategi untuk memperoleh keseimbangan kinerja komputer. Pengembangan subbab mengenai generasi komputer, mikroprosesor, multicore, bottleneck, dan studi kasus merupakan elaborasi pedagogis untuk mendukung outline buku ajar dan ketercapaian tujuan pembelajaran.