



ANALISIS HIERARKI MEMORI PADA ORGANISASI ARSITEKTUR KOMPUTER

Ifolala Natafati Ziliwu¹⁾

¹⁾ Teknologi Informasi, Sains Dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia

Email: ifolalanatafatiziliwu@gmail.com

Abstract

In computer architecture, memory plays an important role in overall system performance. Memory hierarchy is a concept that describes the grouping of memory based on access speed, size, and cost. This article aims to analyze the memory hierarchy in computer architecture organization, which includes registers, cache, main memory (RAM), and secondary storage. This analysis will look at how each memory level works to support processor efficiency and performance. The results of this research show that with the correct use of a memory hierarchy system, computer performance can be optimized by reducing latency and increasing throughput. This research also provides an overview of the challenges in memory design and solutions that can be implemented to improve system performance.

Keywords: Memory Hierarchy; Computer Architecture; Access Speed, Latency; Processor Performance, Cache Memory; Main Memory; Secondary Storage.

Abstrak

Dalam arsitektur komputer, memori memainkan peran penting dalam kinerja sistem secara keseluruhan. Hierarki memori adalah konsep yang menggambarkan pengelompokan memori berdasarkan kecepatan akses, ukuran, dan biaya. Artikel ini bertujuan untuk menganalisis hierarki memori dalam organisasi arsitektur komputer, yang meliputi register, cache, memori utama (RAM), dan penyimpanan sekunder. Analisis ini akan melihat bagaimana masing-masing level memori bekerja dalam mendukung efisiensi dan kinerja prosesor. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dengan penggunaan sistem hierarki memori yang tepat, kinerja komputer dapat dioptimalkan dengan mengurangi latensi dan meningkatkan throughput. Penelitian ini juga memberikan gambaran tentang tantangan dalam desain memori dan solusi yang dapat diterapkan untuk meningkatkan kinerja sistem.

Kata Kunci: Hierarki memori, Arsitektur komputer, Kecepatan akses, Latensi, Kinerja prosesor, Memori cache, Memori utama, Penyimpanan sekunder.



PENDAHULUAN

Memori adalah elemen krusial dalam organisasi arsitektur komputer, yang berfungsi untuk menyimpan data dan instruksi yang diperlukan oleh prosesor selama eksekusi program. Sistem memori dalam komputer umumnya dibangun dalam bentuk hierarki yang terdiri dari berbagai level memori, mulai dari register yang tercepat hingga penyimpanan sekunder yang lebih besar namun lebih lambat. Hierarki memori ini bertujuan untuk mengatasi perbedaan kecepatan akses antara berbagai jenis memori dan untuk menyediakan ruang penyimpanan yang cukup dengan biaya yang efisien. Dengan demikian, memori yang lebih cepat dan lebih kecil (seperti cache) digunakan untuk menyimpan data yang sering diakses, sementara memori yang lebih besar dan lebih lambat (seperti hard disk atau SSD) digunakan untuk menyimpan data yang jarang diakses. Artikel ini akan mengkaji struktur dan peran dari setiap level dalam hierarki memori serta tantangan yang dihadapi dalam desain memori komputer modern. Dalam konteks penelitian ini dilakukan melalui metode kajian literatur, yang memberikan wawasan yang berharga tentang struktur memori dan hierarki memori dalam arsitektur komputer. Dengan melibatkan analisis komparatif terhadap berbagai jenis memori, seperti DRAM dan SRAM, serta memori eksternal seperti magnetic disk dan optical disk, kita dapat memahami kelebihan dan kekurangan masing-masing jenis memori.

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam literatur arsitektur komputer, hierarki memori telah menjadi topik yang banyak dibahas. Beberapa peneliti fokus pada optimasi sistem memori untuk meningkatkan kinerja prosesor. Hennessy dan Patterson (2011) dalam bukunya *Computer Architecture: A Quantitative Approach* menjelaskan pentingnya struktur hierarki dalam desain komputer modern dan bagaimana penggunaan cache dapat mengurangi latensi akses memori. Selain itu, berbagai penelitian juga membahas tentang perkembangan teknologi memori, seperti DRAM dan SRAM, yang digunakan dalam memori utama dan cache.

Sumber lain, seperti buku *Computer Organization and Design* oleh David A. Patterson dan John L. Hennessy (2017), memberikan penjelasan mengenai berbagai level memori dan strategi pengelolaannya dalam sistem komputer.

1. Konsep Dasar Memori dalam Komputer

Memori Primer (Main Memory): Merupakan memori yang langsung terhubung dengan prosesor dan digunakan untuk menyimpan data serta instruksi yang sedang diproses. Biasanya berupa RAM (Random Access Memory).

Memori Sekunder: Menyimpan data dalam jangka panjang dan memiliki kapasitas lebih besar dibandingkan memori primer. Contohnya adalah hard disk, SSD, atau tape drive.

Memori Cache: Merupakan memori berkecepatan tinggi yang terletak di antara prosesor dan memori utama untuk mengurangi waktu akses data. Cache terbagi menjadi beberapa level, seperti L1, L2, dan L3.

2. Hierarki Memori

Hierarki memori mengacu pada penggunaan beberapa jenis memori dengan kecepatan dan kapasitas yang berbeda-beda, dengan tujuan untuk meningkatkan kinerja sistem. Biasanya, memori dengan kapasitas besar lebih lambat (seperti memori sekunder), sedangkan memori dengan kapasitas kecil lebih cepat (seperti cache dan register).

Register: Memori tercepat yang terletak di dalam prosesor untuk menyimpan data yang sedang diproses.

Cache Level 1 (L1), Level 2 (L2), dan Level 3 (L3): Memori yang lebih cepat daripada RAM tetapi lebih lambat daripada register. L1 adalah yang tercepat dan paling kecil, sementara L3 lebih besar tetapi lebih lambat.

RAM: Memori utama yang lebih besar tetapi lebih lambat dibandingkan cache.

3. Analisis Kinerja dan Trade-Off dalam Hierarki Memori.

Kecepatan vs Kapasitas: Memori yang lebih cepat memiliki kapasitas yang lebih kecil dan lebih mahal, sementara memori dengan kapasitas lebih besar cenderung



lebih lambat. Desain hierarki memori bertujuan untuk mengoptimalkan kecepatan akses data dengan biaya yang wajar.

Locality of Reference: Konsep yang menyatakan bahwa data yang sedang digunakan cenderung berada di dekat data yang baru saja digunakan. Oleh karena itu, memori cache dan strategi pemindahan data sering didasarkan pada prinsip ini.

Latency dan Bandwidth: Latency mengacu pada waktu yang dibutuhkan untuk mengakses data dari memori, sedangkan bandwidth mengacu pada seberapa banyak data yang bisa dipindahkan dalam satu waktu. Keduanya sangat dipengaruhi oleh posisi data dalam hierarki memori.

4. Arsitektur Komputer dan Peran Memori dalam Sistem

Arsitektur Von Neumann: Dalam arsitektur ini, memori digunakan untuk menyimpan data dan instruksi yang dijalankan oleh prosesor. Hierarki memori dalam arsitektur ini sangat penting untuk memastikan efisiensi dalam pemrosesan.

Arsitektur Harvard: Dalam arsitektur Harvard, terdapat pemisahan antara memori untuk data dan instruksi, yang memungkinkan akses paralel ke instruksi dan data.

5. Optimasi dan Manajemen Memori

Memory Management Unit (MMU): Digunakan untuk mengelola akses ke berbagai level memori. MMU berfungsi untuk menerjemahkan alamat logis menjadi alamat fisik.

Virtual Memory: Memungkinkan komputer untuk menggunakan lebih banyak memori daripada yang tersedia secara fisik dengan memanfaatkan ruang penyimpanan sekunder, seperti hard disk.

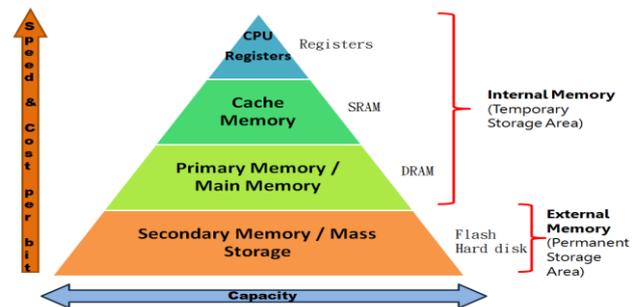
6. Isu dan Tantangan dalam Desain Hierarki Memori

Cache Coherence: Dalam sistem multiprosesor, penting untuk memastikan bahwa data yang ada di cache masing-masing prosesor tetap konsisten.

Penggunaan Memori yang Efisien: Penggunaan memori yang tepat, seperti teknik paging dan segmentation, adalah

kunci untuk kinerja yang baik dalam sistem komputer yang memiliki banyak aplikasi atau proses yang berjalan secara bersamaan.

METODOLOGI PENELITIAN



Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan kualitatif menggunakan analisis literatur. Data yang digunakan diperoleh dari sumber-sumber primer yang terdiri dari buku, jurnal ilmiah, dan artikel yang membahas hierarki memori dan desain arsitektur komputer. Fokus utama dari penelitian ini adalah untuk menganalisis komponen memori dalam hierarki arsitektur komputer, termasuk register, cache, memori utama (RAM), dan penyimpanan sekunder. Setiap level memori dianalisis berdasarkan kecepatan akses, ukuran, dan biaya implementasinya. Penelitian ini juga akan mencakup studi tentang teknik-teknik pengelolaan memori yang diterapkan dalam komputer modern untuk meningkatkan kinerja. Metodologi penelitian analisis hierarki memori pada organisasi arsitektur komputer bertujuan untuk memahami bagaimana memori dalam komputer diorganisasikan dalam berbagai level, serta bagaimana aliran data dan akses ke memori diatur untuk efisiensi dan kinerja sistem komputer. Penelitian ini dapat menggunakan pendekatan kuantitatif dan kualitatif untuk mengevaluasi struktur memori, dari register, cache, hingga memori utama dan penyimpanan sekunder.

PEMBAHASAN

1. Prinsip Lokalitas:

Salah satu alasan untuk menggunakan hierarki memori adalah prinsip lokalitas, yang terdiri dari:\ Lokalitas



temporal: Data yang baru diakses kemungkinan besar akan diakses lagi dalam waktu dekat. Lokalitas spasial: Data yang berada di dekat lokasi data yang baru diakses juga cenderung untuk diakses. Oleh karena itu, sistem memori mengatur data dalam cache dan RAM berdasarkan pola akses ini, untuk meningkatkan kinerja sistem.

2. Trade-off Kecepatan dan Kapasitas:

Semakin cepat memori, semakin kecil kapasitasnya dan semakin mahal biayanya.

Semakin besar kapasitas memori, semakin lambat kecepatannya.

Oleh karena itu, untuk memaksimalkan kinerja sistem, memori diorganisasikan sedemikian rupa sehingga CPU dapat mengakses data yang sering digunakan dengan cepat, sementara data yang jarang digunakan disimpan di memori yang lebih lambat.

3. Manajemen Cache: Sistem komputer menggunakan teknik seperti "cache hit" dan "cache miss" untuk mengelola akses ke cache. Cache hit berarti data yang dibutuhkan sudah ada di cache, sementara cache miss berarti data harus diambil dari memori yang lebih lambat, meningkatkan waktu akses.

4. Optimalisasi Penggunaan Memori: Dalam desain arsitektur komputer, penting untuk memastikan penggunaan memori yang efisien untuk menghindari bottleneck. Ini termasuk penggunaan algoritma penggantian cache yang efektif dan pengelolaan alokasi memori yang bijaksana.

TUJUAN

Optimasi kinerja: Dengan menempatkan data yang sering diakses di tingkat memori yang lebih cepat, arsitektur dapat meminimalkan waktu akses.

Efisiensi biaya: Memori cepat (seperti register dan cache) mahal, sehingga memori yang lebih lambat (seperti disk)

digunakan untuk menyimpan data dalam jumlah besar dengan biaya yang lebih rendah.

Pengelolaan latensi: Mengurangi latensi akses data dengan menggunakan teknik seperti prediksi akses data dan pengelolaan blok data yang optimal.

Keseluruhan hierarki ini bertujuan untuk menyajikan keseimbangan antara kecepatan, kapasitas, dan biaya, guna mendukung kinerja komputer secara keseluruhan.

Hasil Analisis Hierarki

1. Hierarki Memori pada Arsitektur Komputer

Hierarki memori pada arsitektur komputer terdiri dari beberapa level, masing-masing dengan karakteristik berbeda:

Register: Merupakan bagian terkecil dan tercepat dalam sistem memori, terletak langsung di dalam prosesor. Meskipun sangat cepat, kapasitasnya sangat terbatas.

Cache: Cache, diucapkan sebagai "kaesh", berfungsi sebagai lokasi penyimpanan sementara yang membantu mempercepat proses pengaksesan data dengan menyimpannya secara berkala untuk pengambilan cepat bila diperlukan (Abdurohman, 2017). Dalam arsitektur komputer, cache adalah jenis memori yang berada di bagian atas hierarki memori, tepat di bawah register. Meskipun cache memiliki kapasitas terbatas, efisiensinya sebanding dengan prosesor. Memori cache terletak di antara register dan memori utama, dengan kapasitas lebih besar daripada register tetapi lebih kecil dan lebih cepat daripada RAM. Cache berfungsi untuk menyimpan data dan instruksi yang sering diakses, sehingga dapat mengurangi latensi akses ke memori utama. Cache ini biasanya terbagi menjadi beberapa level, seperti L1, L2, dan L3, dengan L1 memiliki kecepatan tercepat tetapi kapasitas terkecil.



Memori Utama (RAM): RAM adalah tempat utama penyimpanan data yang dapat diakses dengan kecepatan yang lebih rendah dibandingkan dengan register dan cache. Namun, kapasitas RAM lebih besar dan memungkinkan program untuk dijalankan dengan lebih efisien.

Penyimpanan Sekunder: Ini mencakup hard disk drive (HDD), solid-state drive (SSD), dan perangkat penyimpanan lainnya. Meskipun lebih besar, penyimpanan sekunder memiliki latensi yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan memori utama dan cache.

2. Kinerja dan Efisiensi

Penggunaan hierarki memori yang tepat dapat mengoptimalkan kinerja sistem komputer. Kecepatan akses yang lebih tinggi di level cache dan register memungkinkan prosesor untuk mengakses data lebih cepat, sementara memori utama dan penyimpanan sekunder menyediakan kapasitas lebih besar untuk menyimpan data. Namun, tantangan utama adalah pengelolaan data yang efektif untuk memastikan bahwa data yang sering diakses berada di cache, sementara data yang jarang diakses disimpan di memori utama atau penyimpanan sekunder.

3. Tantangan dalam Desain Memori

Salah satu tantangan utama dalam desain memori adalah bagaimana menjaga keseimbangan antara kecepatan, kapasitas, dan biaya. Memori yang lebih cepat, seperti SRAM, sangat mahal dan memiliki kapasitas yang terbatas, sementara memori yang lebih besar seperti DRAM lebih lambat. Oleh karena itu, penggunaan cache yang efisien dan algoritma pengelolaan memori yang cerdas menjadi sangat penting dalam mengoptimalkan kinerja sistem.

4. Memori Register: Ini adalah level memori yang paling cepat dan terletak paling dekat dengan unit pemrosesan pusat (CPU). Meskipun sangat cepat, kapasitasnya sangat terbatas.

5. Cache Memori: Terdapat dua jenis cache utama: L1 (terpasang di dalam CPU) dan L2 (terletak di luar CPU, tetapi masih sangat cepat). Cache digunakan untuk menyimpan data yang sering digunakan oleh CPU, mengurangi waktu akses data.

6. Memori Utama (RAM): Memori utama adalah tempat untuk menyimpan data dan program yang sedang dieksekusi. Kapasitasnya lebih besar dibandingkan dengan cache atau register, namun lebih lambat dalam hal akses.

7. Memori Sekunder (Hard Drive, SSD): Ini adalah memori dengan kapasitas besar, tetapi memiliki kecepatan akses yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan RAM atau cache. Memori ini digunakan untuk menyimpan data secara permanen.

8. Memori Tersier (Optical Discs, Tape Drives): Memori ini digunakan untuk penyimpanan jangka panjang, biasanya lebih lambat dan lebih murah. Tidak digunakan untuk operasi langsung, lebih cocok untuk backup atau penyimpanan arsip.

9. Main Memory (Memori Utama)

Memori utama terletak pada motherboard, menyimpan data untuk pemrosesan dan program yang digunakan untuk memproses data. Ia harus memiliki kapasitas yang cukup untuk menampung semua informasi yang diperlukan. Data disimpan dalam alamat tertentu agar mudah diakses. Penjelasan ini memperjelas detail memori internal, lokasinya, dan kapasitasnya.

1). Random Access Memory (RAM)

RAM (Random Access Memory), merupakan salah satu komponen kunci dalam komputer yang menyimpan sistem operasi, aplikasi, dan informasi prosesor. Hal ini memungkinkan prosesor mengakses data secara acak dan cepat. RAM sendiri bersifat volatil, yang artinya data akan hilang jika listrik padam, sehingga hanya cocok untuk penyimpanan



sementara. Ram sendiri memiliki dua jenis ram yaitu; DRAM (Dynamic Random Access Memory), memiliki biaya per-bit yang lebih murah namun memerlukan dukungan ekstra untuk menyegarkan sel, dan satu jenis lainnya yaitu SRAM (Static random Access Memory), pada memori ini memiliki kecepatan akses yang lebih cepat dan biasanya digunakan untuk memori cache.

a) Dynamic Random Access Memory (DRAM) RAM Dinamis, atau DRAM, seperti sistem penyimpanan yang

menggunakan muatan kapasitor kecil untuk menyimpan informasi. Tagihan ini perlu diperbarui secara berkala untuk memastikan informasi tidak hilang. Sel DRAM hanya dapat menyimpan data dalam waktu singkat sebelum perlu diisi ulang. Istilah “dinamis” mengacu pada bagaimana muatan dapat bocor seiring berjalannya waktu. Chip DRAM TMS4464 dapat menampung data sebesar 256 KB dan memiliki pin serta saluran khusus untuk membantu mengakses dan menyimpan informasi secara efisien.

b). Static Random Access Memory (SRAM)

Di lain sisi, RAM Statis atau SRAM menggunakan komponen logika yang sama dengan yang ditemukan pada prosesor seperti perangkat digital. SRAM menyimpan nilai biner melalui pengaturan gerbang logika flip-flop konvensional. Memori jenis ini menampung data untuk sementara selama menerima daya, sehingga cocok untuk

kebutuhan kapasitas memori yang kecil. SRAM TMS4016 adalah tipe khusus SRAM 2K x 8 Bit dengan 11 input alamat dan 8 pin input/output data. Diagram pada Gambar 8 menampilkan pin pada chip SRAM TMS4016.



Gambar 1.1

2) . ROM / PROM / EPROM / EEPROM

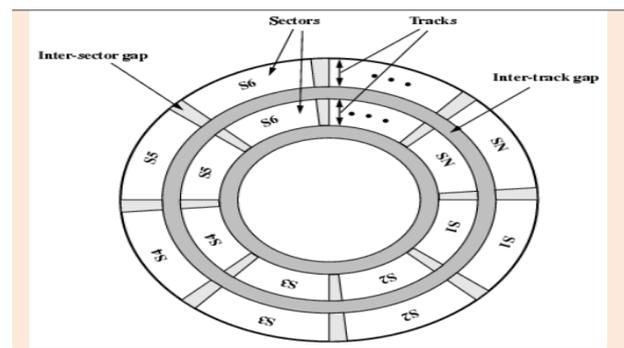
ROM (*Read Only Memory*) adalah memori non-volatile artinya tidak memerlukan sumber daya untuk memelihara data, ROM ini berisi data tetap dan tidak dapat ditulisi, biasanya digunakan untuk pemrograman mikro dan fungsi yang sering digunakan. Lalu PROM (*Programmable ROM*) adalah versi ROM yang dapat diprogram, menawarkan fleksibilitas dan kenyamanan dengan proses penulisan yang dilakukan secara elektrik. EPROM (*Erasable Programmable ROM*), dapat diprogram dan dihapus menggunakan cahaya dan listrik, memerlukan paparan sinar ultraviolet untuk menghapus informasi sebelum menulis data baru (Nur hayati, S.ST, 2017). Sedangkan EEPROM (*Electrically Erasable PROM*) adalah versi ROM yang lebih canggih, memungkinkan penghapusan listrik dan penulisan tanpa menghapus konten sebelumnya, menawarkan keunggulan non-volatilitas dan fleksibilitas meskipun prosesnya membutuhkan waktu lebih lama. Semua jenis memori ini memiliki peran penting dalam penyimpanan dan pemrosesan data.

3) .Flash Memory

Jenis memori semikonduktor lainnya adalah memori flash, dinamai karena kecepatan pemrograman ulangnya yang cepat dan umumnya dikenal sebagai Read-Mostly Memory (RMM). Memori flash juga



kadang-kadang disebut sebagai EEPROM (Electrically Erasable Programmable ROM), EAPROM (Electrically Alterable Programmable ROM), atau NVRAM (Non-Volatile RAM). Flash memiliki keunggulan non-volatilitas yang baik, dalam hal kemampuan penulisan ulang sistem dan densitas yang tinggi, dan telah menemukan banyak aplikasi. Flash berarti bahwa konten dari seluruh susunan memo, atau blok memory, dihapus dalam satu langkah (Jun, 2001).



10. Eksternal Memory (Memori Eksternal)

Memori eksternal ibarat tempat khusus komputer menyimpan informasi penting yang tidak akan hilang saat komputer dimatikan. Inidigunakan untuk menyimpan program dan data dalam waktu lama, seperti pada magnetic disk, optical disc, dan magnetic tape. Komputer dapat mengakses memori ini dengan perangkat khusus.

1) Magnetic Disk

Disk adalah benda berbentuk lingkaran yang terbuat dari logam atau plastik, dengan permukaan yang dapat dimagnetisasi dan dilapisi dengan bahan yang memungkinkan data dibaca atau ditulis menggunakan kumparan penghantar (head). Head tetap diam, sementara piringan berputar sesuai arah. Data pada disk ditata dengan dua jenis seperti yang diilustrasikan pada gambar (3.9): kecepatan sudut konstan dan perekaman beberapa zona. Data tersebut disusun dalam track-track yang dipisahkan oleh celah, dengan track-track tersebut berada dalam cincin konsentris.

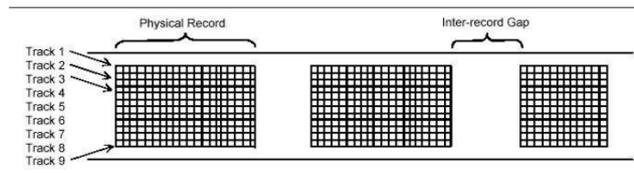
Gambar 1.2

2) Optical Disk

Optical disk adalah medium penyimpanan elektronik yang dapat ditulis dan dibaca menggunakan sinar laser berkekuatan rendah. Optical Disk ini dapat menampung data mulai dari kisaran 550 Mb - 800MB. Optical Disk sendiri memiliki berbagai produk seperti CD (*Compact Disk*), CD-ROM (*Compact Disk Read Only Memory*), CD-I (*Compact Disk Interactive*), DVI (*Digital Video Interactive*), WORM (*Write One Read Many*), dan *Erasable Optik Disk* (Victor Amrizal & Qurrotul Aini, 2013).

3) Magnetic Tape

Sistem pita magnetik dan sistem disk magnetik menggunakan teknik membaca dan menulis yang sama. Di masa lalu, sistem pita magnetik memiliki 9 jalur untuk menyimpan data, dengan satu byte dan satu bit paritas pada setiap jalur. Sistem tape modern memiliki 18 atau 36 track untuk mendukung lebar kata digital. Mirip dengan disk, pita magnetik dibaca dan ditulis dalam blok kontinu yang dikenal sebagai rekaman fisik, dipisahkan oleh celah antar rekaman.



Kepala pita magnetik berfungsi sebagai perangkat akses berurutan, yang memerlukan penyesuaian untuk mencari dan membaca atau menulis catatan. Jika head diposisikan di atas rekaman yang diinginkan, pita harus dibalik sebelum melanjutkan ke arah depan. Cara ini berbeda dengan teknologi disk yang memanfaatkan metode akses langsung. Karena kecepatan putarannya yang lambat dan kecepatan transfer data yang lamban, pita magnetik secara bertahap mulai ditinggalkan dan digantikan oleh produk CD. (Ir. Heru Nurwarsito, 2012)

KESIMPULAN

Hierarki memori adalah elemen penting dalam organisasi arsitektur komputer yang berfungsi untuk mengoptimalkan kinerja sistem dengan mengurangi latensi dan memaksimalkan throughput. Dengan memanfaatkan berbagai jenis memori, dari register hingga penyimpanan sekunder, komputer dapat beroperasi secara efisien meskipun ada perbedaan besar dalam kecepatan akses dan kapasitas masing-masing level memori. Namun, desain memori yang efektif tetap menghadapi tantangan besar, terutama dalam pengelolaan data dan pemilihan teknologi memori yang tepat. Analisis hierarki memori penting untuk memahami bagaimana sistem komputer mengelola data di berbagai level memori. Dengan memanfaatkan prinsip lokalitas dan melakukan optimasi dalam pengelolaan cache serta penggunaan berbagai jenis memori sesuai dengan kecepatan dan kapasitasnya, sistem komputer dapat mencapai kinerja yang optimal. Hierarki memori dalam arsitektur komputer memiliki peran penting dalam meningkatkan kinerja sistem secara keseluruhan. Berbagai jenis memori, mulai dari register hingga memori sekunder seperti magnetic disk dan optical disk, memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing dalam hal kecepatan, kapasitas, dan biaya per bit. Penelitian ini menyoroti pentingnya pemahaman mendalam tentang

struktur memori untuk merancang sistem memori yang optimal sesuai dengan kebutuhan komputasi modern. Selain itu, teknik pemetaan seperti *k-way set associative mapping* juga menjadi faktor penting dalam mengoptimalkan pengambilan memori dan efisiensi sistem secara keseluruhan. Dengan demikian, pemahaman yang baik tentang hierarki memori dan berbagai jenis memori dapat membantu dalam meningkatkan performa dan efisiensi sistem komputer secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- Dhamdhere, D. M. (2011). *Computer Organization and Architecture*. Tata McGraw-Hill Education.
- Flynn, M. J. (2005). *Computer Architecture: Pipelined and Parallel Processor Design*. Jones & Bartlett Publishers.
- Hennessy, J. L., & Patterson, D. A. (2011). *Computer Architecture: A Quantitative Approach* (5th ed.). Elsevier.
- Hennessy, J. L., & Patterson, D. A. (2011). *Computer Architecture: A Quantitative Approach*. Elsevier.
- Hennessy, J. L., & Patterson, D. A. (2019). *Computer Architecture: A Quantitative Approach* (6th ed.). Morgan Kaufmann.
- Hennessy, J. L., & Patterson, D. A. (2019). *Computer Architecture: A Quantitative Approach* (6th ed.). Morgan Kaufmann.
- Hill, M. D., & Larus, J. R. (2005). *Computer Architecture: A Quantitative Approach to Parallel Computing*. Elsevier.
- John, L. H., & Kumar, S. (2008). *Advanced Computer Architecture: A Design Space Approach*. McGraw-Hill.
- Kim, Y., & Lee, J. (2016). *Memory Systems: Cache, DRAM, Disk*. Springer.
- Nilsen, L. (2020). *Memory Systems: Cache, DRAM, Disk* (1st ed.). CRC Press.
- Patel, A. (2019). *Computer Organization and Architecture: Analysis and Design*. Cengage Learning.



- Patterson, D. A., & Hennessy, J. L. (2014). *Computer Organization and Design: The Hardware/Software Interface* (5th ed.). Morgan Kaufmann
- Patterson, D. A., & Hennessy, J. L. (2017). *Computer Organization and Design: The Hardware/Software Interface* (5th ed.). Morgan Kaufmann.
- Putri, E. D. (2008). ALGORITMA DIVIDE AND CONQUER UNTUK MEMBUAT KERJA CACHE PADA KOMPUTER PARALEL LEBIH EFISIEN. 4.
- Rima Rizqi Wijayanti, S.ST., M. M. S. (2023). *Arsitektur dan Organisasi Komputer*. (P. T. Cahyono (ed.)). CV. Rey Media Grafika.
- Septi Budi Sartika (ed.); Vol. 1, Issue 1). UMSIDA PRESS.
- Smith, J. E. (2010). *High Performance Computer Architecture*. Addison-Wesley.
- Stallings, W. (2016). *Computer Organization and Architecture 10th Edition*. Pearson Education, Inc.
- Stallings, W. (2018). *Computer Organization and Architecture: Designing for Performance* (10th ed.). Pearson
- Stallings, W. (2018). *Computer Organization and Architecture: Designing for Performance* (10th ed.). Pearson.
- Suryawinata, M. K. (2018). *Buku Ajar : Arsitektur dan Organisasi Komputer* (M. P.
- Tanenbaum, A. S. (2006). *Structured Computer Organization*. Prentice Hall.
- Tanenbaum, A. S. (2014). *Structured Computer Organization* (6th ed.). Pearson Education.
- Tanenbaum, A. S., & Austin, T. (2013). *Structured Computer Organization* (6th ed.). Pearson.
- Vahid, F., & Givargis, T. (2008). *Embedded Systems Design: A Unified Hardware/Software Introduction*. Wiley.
- Wolf, M. (2006). *Modern Processor Design: Fundamentals of Superscalar Processors* (2nd ed.). Pearson.