**MEMORY EXTERNAL**

Nama : Diyaz Muhammad Shafutra

Nim : 11222032

Kelas : A2

Matkul : Data Mining

**Jl. Raya Cilegon No.Km. 5, Taman, Drangong, Kec. Taktakan, Kota Serang, Banten 42162**

**BAB I**

**PENDAHULUAN**

**1.1. Latar Belakang**

Dalam dunia komputasi modern, memori adalah salah satu komponen vital yang menentukan kinerja dan efisiensi sistem komputer. Memori sekunder, yang sering disebut juga sebagai penyimpanan sekunder, memainkan peran penting dalam menyimpan data dan program secara permanen atau semi-permanen. Berbeda dengan memori utama (RAM) yang bersifat volatil dan hanya menyimpan data sementara saat sistem aktif, memori sekunder dirancang untuk menyimpan data dalam jangka panjang, bahkan ketika sistem dimatikan.

Memori sekunder mencakup berbagai perangkat penyimpanan yang digunakan untuk menyimpan data dalam jumlah besar secara permanen atau semi-permanen. Contoh umum dari memori sekunder meliputi hard disk drive (HDD), solid-state drive (SSD), CD/DVD, Blu-ray, dan berbagai bentuk media penyimpanan eksternal seperti USB flash drive dan kartu memori.

Kerentanan data ini tidak terkecuali ketika perusahaan memilih untuk menyimpan data di server online. Bahkan sebelum internet menjadi norma, pada tahun 1984, penyusup menggunakan teknik pencurian kata sandi untuk menyelinap ke jadwal perusahaan pelaporan kredit dan mengakses informasi pribadi 90 juta klien Amerika dari meja depan yang kini dikenal sebagai Experian. Sejak paruh kedua 2000-an dan sebagian besar tahun 2010-an, mayoritas operasi perusahaan bergantung pada penyimpanan data penting mereka di dalam sistem server.

**BAB II**

**ISI**

**2.1. Pengertian dan Konsep Dasar Memori Sekunder**

**2.1.1. Definisi Memori Sekunder**

Memori sekunder, atau yang sering disebut sebagai penyimpanan sekunder, adalah jenis memori komputer yang digunakan untuk menyimpan data dalam jangka panjang. Berbeda dengan memori primer (RAM) yang bersifat volatil, memori sekunder dapat menyimpan informasi bahkan saat daya dimatikan. Contoh dari memori sekunder termasuk hard drive, solid-state drive (SSD), serta disk optik seperti CD dan DVD.

Dalam arsitektur komputer, memori sekunder memainkan peran penting dalam menyimpan sejumlah besar data yang tidak sering diakses. Memori ini menyediakan solusi penyimpanan permanen untuk sistem operasi, aplikasi, dan file pengguna. Meskipun kecepatan aksesnya lebih lambat dibandingkan memori primer, kapasitas penyimpanannya yang besar membuat memori sekunder sangat penting untuk penyimpanan dan pencadangan data.

Selain itu, dokumen ini juga membahas teknologi dan paradigma baru seperti compute-in-memory (CIM) dan compute-near-memory (CNM). Kedua inovasi ini bertujuan untuk memproses data lebih dekat ke tempat penyimpanannya, mengurangi pergerakan data, dan meningkatkan kinerja. Inovasi-inovasi ini menunjukkan evolusi berkelanjutan dalam arsitektur memori untuk mengatasi keterbatasan sistem von Neumann tradisional.

Pohon pencarian biner (binary search trees) terbukti menjadi struktur file yang praktis untuk memori gelembung magnetik. Algoritma praktis untuk memelihara pohon AVL dalam memori sekunder juga telah diperlihatkan. Algoritma ini didesain dengan efisiensi tinggi yang meminimalkan jumlah akses ke memori sekunder. Jumlah akses tambahan terutama bergantung pada panjang jalur traceback. Algoritma AVL ini terbukti lebih cepat daripada algoritma non-balancing dasar untuk hampir semua aplikasi praktis. Penghematan oleh algoritma AVL ini meningkat secara logaritmik dengan ukuran pohon dan secara linear dengan rasio pengambilan data terhadap penyisipan data.

Dengan demikian, memori sekunder tidak hanya esensial untuk penyimpanan data jangka panjang tetapi juga terus mengalami inovasi untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi dalam berbagai aplikasi komputasi.

**2.1.2. Jenis-Jenis Memori Sekunder**

Memori sekunder terdiri dari berbagai jenis perangkat penyimpanan, masing-masing dengan karakteristik dan kegunaannya sendiri. Berikut adalah beberapa jenis utama memori sekunder:

* **Hard Disk Drive (HDD)**: Perangkat penyimpanan berbasis piringan magnetik yang telah lama digunakan dalam komputer. HDD memiliki kapasitas penyimpanan besar dengan biaya per gigabyte yang relatif rendah, tetapi memiliki kecepatan akses yang lebih lambat dibandingkan dengan SSD.
* **Solid-State Drive (SSD)**: Perangkat penyimpanan berbasis flash memory yang menawarkan kecepatan akses data yang jauh lebih cepat dibandingkan dengan HDD. SSD tidak memiliki bagian bergerak sehingga lebih tahan terhadap guncangan dan memiliki masa pakai lebih panjang.
* **Optical Disk (CD/DVD/Blu-ray)**: Media penyimpanan yang menggunakan teknologi optik untuk membaca dan menulis data. Meskipun memiliki kapasitas yang lebih rendah dibandingkan dengan HDD dan SSD, optical disk sering digunakan untuk distribusi perangkat lunak dan media hiburan.
* **USB Flash Drive**: Perangkat penyimpanan portabel yang menggunakan flash memory. USB flash drive menawarkan kapasitas penyimpanan yang bervariasi dan sangat mudah dibawa, menjadikannya pilihan populer untuk transfer data antar perangkat.
* **Kartu Memori (SD Card/MicroSD Card)**: Media penyimpanan kecil yang sering digunakan dalam perangkat mobile seperti smartphone, kamera, dan tablet. Kartu memori menawarkan kapasitas penyimpanan yang cukup besar dengan ukuran fisik yang sangat kecil.

**2.2. Karakteristik Memori Sekunder**

**2.2.1. Kapasitas Penyimpanan**

Salah satu keunggulan utama memori sekunder adalah kapasitas penyimpanannya yang besar. Kapasitas penyimpanan memori sekunder dapat bervariasi dari beberapa gigabyte hingga beberapa terabyte, memungkinkan penyimpanan data dalam jumlah besar. Misalnya, HDD modern dapat memiliki kapasitas hingga 20TB atau lebih, sementara SSD umumnya memiliki kapasitas hingga 4TB, meskipun SSD dengan kapasitas lebih besar juga tersedia.

Kapasitas penyimpanan memori sekunder adalah salah satu faktor utama yang menentukan pilihan perangkat penyimpanan dalam sistem komputer. Kapasitas penyimpanan mengacu pada jumlah data yang dapat disimpan oleh perangkat memori sekunder dan diukur dalam satuan byte, biasanya gigabyte (GB) atau terabyte (TB) dalam konteks modern. Berikut adalah pembahasan mendalam mengenai kapasitas penyimpanan dari berbagai jenis memori sekunder.

**Hard Disk Drive (HDD)**

Hard Disk Drive (HDD) adalah salah satu jenis memori sekunder yang paling umum digunakan karena kemampuannya untuk menyediakan kapasitas penyimpanan besar dengan biaya yang relatif rendah. HDD menggunakan teknologi piringan magnetik untuk menyimpan data. Kapasitas penyimpanan HDD terus meningkat seiring dengan perkembangan teknologi. Saat ini, HDD dengan kapasitas hingga 20TB tersedia di pasar, menjadikannya pilihan ideal untuk penyimpanan data dalam jumlah besar seperti video, gambar, aplikasi, dan data arsip.

**Solid-State Drive (SSD)**

Solid-State Drive (SSD) menggunakan teknologi flash memory untuk menyimpan data, yang memungkinkan akses data yang lebih cepat dan keandalan yang lebih tinggi dibandingkan dengan HDD. SSD umumnya tersedia dalam kapasitas yang lebih kecil dibandingkan dengan HDD, tetapi teknologi ini terus berkembang. Saat ini, SSD dengan kapasitas hingga 4TB sudah tersedia dan digunakan secara luas. Meskipun SSD dengan kapasitas besar lebih mahal, mereka menawarkan kecepatan baca/tulis yang jauh lebih cepat, yang penting untuk aplikasi yang memerlukan kinerja tinggi seperti sistem operasi, aplikasi game, dan pengeditan video.

**Optical Disk (CD/DVD/Blu-ray)**

Optical disk seperti CD, DVD, dan Blu-ray digunakan untuk penyimpanan data jangka panjang, distribusi perangkat lunak, dan media hiburan. Kapasitas penyimpanan dari optical disk lebih rendah dibandingkan dengan HDD dan SSD. CD biasanya memiliki kapasitas sekitar 700MB, DVD sekitar 4.7GB hingga 8.5GB (dual layer), dan Blu-ray hingga 25GB (single layer) atau 50GB (dual layer). Meskipun kapasitasnya terbatas, optical disk tetap populer untuk penggunaan tertentu karena biayanya yang rendah dan kemampuan untuk menyimpan data dalam jangka panjang tanpa risiko kehilangan data.

**USB Flash Drive**

USB flash drive adalah perangkat penyimpanan portabel yang menggunakan teknologi flash memory. Kapasitas penyimpanan USB flash drive bervariasi, mulai dari beberapa gigabyte hingga 2TB. Mereka sangat populer karena portabilitasnya, kemudahan penggunaan, dan kompatibilitas yang luas dengan berbagai perangkat. USB flash drive digunakan secara luas untuk transfer data antar perangkat, backup data, dan penyimpanan data sementara.

**Kartu Memori (SD Card/MicroSD Card)**

Kartu memori, termasuk SD card dan MicroSD card, adalah jenis memori sekunder yang digunakan dalam perangkat mobile seperti smartphone, kamera, dan tablet. Kapasitas penyimpanan kartu memori juga bervariasi, mulai dari beberapa gigabyte hingga 1TB. Kartu memori menawarkan penyimpanan yang fleksibel dan mudah dibawa, menjadikannya pilihan populer untuk memperluas kapasitas penyimpanan perangkat mobile dan untuk penyimpanan data sementara.

**Perbandingan Kapasitas Penyimpanan**

Perbandingan kapasitas penyimpanan antara berbagai jenis memori sekunder dapat dilihat dari tabel berikut:

| **Jenis Memori Sekunder** | **Kapasitas Penyimpanan (umum)** |
| --- | --- |
| HDD | Hingga 20TB |
| SSD | Hingga 4TB |
| CD | Sekitar 700MB |
| DVD | 4.7GB - 8.5GB |
| Blu-ray | 25GB - 50GB |
| USB Flash Drive | Hingga 2TB |
| SD/MicroSD Card | Hingga 1TB |

**Tren dan Perkembangan Kapasitas Penyimpanan**

Kapasitas penyimpanan memori sekunder terus berkembang seiring dengan kemajuan teknologi. Beberapa tren dan inovasi yang mendorong peningkatan kapasitas penyimpanan meliputi:

1. **3D NAND Flash:** Teknologi 3D NAND flash memungkinkan penataan sel memori secara vertikal, meningkatkan kapasitas penyimpanan per unit area. Teknologi ini digunakan dalam SSD dan kartu memori untuk memberikan kapasitas lebih besar tanpa menambah ukuran fisik perangkat.
2. **Shingled Magnetic Recording (SMR)**: Teknologi SMR pada HDD memungkinkan data disimpan lebih rapat dengan mengatur jalur penyimpanan secara tumpang tindih. Hal ini meningkatkan kapasitas penyimpanan HDD tanpa memerlukan peningkatan signifikan dalam ukuran fisik drive.
3. **Helium-Filled Drives**: HDD yang diisi helium memiliki hambatan udara lebih rendah, memungkinkan lebih banyak piringan dalam drive yang sama dan meningkatkan kapasitas penyimpanan secara signifikan. Drive berisi helium juga lebih efisien dalam penggunaan energi.
4. **NVMe SSD**: NVMe (Non-Volatile Memory Express) adalah protokol komunikasi baru yang dirancang khusus untuk SSD, memungkinkan kecepatan transfer data yang jauh lebih tinggi dibandingkan antarmuka SATA tradisional. NVMe SSD dengan kapasitas besar menawarkan kombinasi kinerja tinggi dan kapasitas besar yang ideal untuk aplikasi yang memerlukan kecepatan dan keandalan tinggi.

Dengan inovasi-inovasi ini, kapasitas penyimpanan memori sekunder terus meningkat, memenuhi kebutuhan penyimpanan data yang semakin besar dalam berbagai aplikasi, mulai dari komputer pribadi hingga pusat data besar.

**2.2.2. Kecepatan Akses**

Kecepatan akses data adalah faktor krusial yang membedakan berbagai jenis memori sekunder. Solid State Drive (SSD) memiliki kecepatan baca/tulis yang jauh lebih cepat dibandingkan Hard Disk Drive (HDD) karena tidak memiliki bagian bergerak. SSD NVMe (Non-Volatile Memory Express), misalnya, dapat mencapai kecepatan baca hingga 3500 MB/s, sementara HDD tradisional biasanya hanya memiliki kecepatan baca sekitar 100-200 MB/s. Keunggulan ini membuat SSD lebih unggul dalam hal kecepatan akses data, terutama dalam aplikasi yang memerlukan transfer data cepat dan efisien.

Memori persisten Intel Optane DC (PMEM) menonjol karena kemampuannya untuk menunjukkan latensi yang sangat rendah dan bandwidth yang tinggi. Dalam pengujian, PMEM mampu mengurangi overhead virtualisasi dalam vSphere hingga kurang dari 4%, memastikan performa tinggi dalam lingkungan virtualisasi. Dengan konfigurasi yang tepat, PMEM dapat mencapai bandwidth yang jauh lebih tinggi dan latensi yang lebih rendah dibandingkan SSD NVMe tradisional. Kecepatan akses ini menjadikan PMEM sebagai solusi ideal untuk lingkungan komputasi intensif yang memerlukan kecepatan dan efisiensi akses data yang optimal.

Studi performa I/O dengan tolok ukur FIO menunjukkan bahwa konfigurasi PMEM dapat memberikan bandwidth hingga 3,3 kali lebih besar dan latensi kurang dari satu mikrodetik dibandingkan SSD NVMe. Pengujian dengan basis data relasional seperti Oracle dan MySQL juga memperlihatkan peningkatan performa signifikan dengan PMEM. Transaksi per menit meningkat secara dramatis dan latensi operasi basis data menurun signifikan, menegaskan pentingnya waktu respons cepat dalam meningkatkan kinerja sistem secara keseluruhan.

Aplikasi yang dimodifikasi untuk memanfaatkan PMEM, seperti Redis yang dimodifikasi dan SQL Server 2019, menunjukkan manfaat performa yang lebih besar dengan peningkatan throughput dan pengurangan latensi. Redis yang dioptimalkan untuk PMEM menunjukkan throughput penulisan yang dua kali lebih baik dan latensi yang 8,6 kali lebih rendah dibandingkan dengan SSD NVMe. SQL Server 2019 yang dioptimalkan juga menunjukkan peningkatan kinerja signifikan, dengan throughput aplikasi yang meningkat hingga 2,7 kali lipat dibandingkan dengan konfigurasi NVMe SSD.

Implementasi PMEM dalam lingkungan virtualisasi vSphere memberikan beberapa keunggulan praktis, termasuk kemampuan untuk mencapai hampir seluruh bandwidth dan latensi perangkat PMEM dengan overhead virtualisasi yang minimal. Hal ini memungkinkan lingkungan virtualisasi untuk memanfaatkan keunggulan PMEM secara maksimal, memberikan peningkatan performa yang signifikan dalam berbagai skenario penggunaan.

Secara keseluruhan, dokumen ini menyoroti keuntungan besar dari penggunaan Intel Optane DC persistent memory dalam lingkungan virtualisasi, terutama dalam hal kecepatan akses dan latensi. PMEM menjadi pilihan yang sangat menarik untuk aplikasi yang memerlukan akses data cepat dan andal, memberikan keuntungan performa signifikan dibandingkan dengan solusi penyimpanan tradisional. Kecepatan akses data yang superior dari teknologi seperti SSD NVMe dan PMEM menawarkan manfaat besar dalam berbagai aplikasi, terutama dalam lingkungan virtualisasi dan basis data yang memerlukan waktu respons cepat dan throughput tinggi. Optimalisasi penggunaan memori persisten ini sangat penting untuk mencapai performa sistem yang optimal dan memastikan keunggulan kompetitif dalam operasional komputasi intensif.

**2.2.3. Keandalan dan Daya Tahan**

Keandalan dan daya tahan memori sekunder sangat penting, terutama untuk penyimpanan data yang kritis. Ada beberapa jenis memori sekunder yang umum digunakan, seperti Hard Disk Drive (HDD) dan Solid State Drive (SSD). HDD biasanya lebih murah per gigabyte dibandingkan dengan SSD, menjadikannya pilihan ekonomis untuk penyimpanan data dalam jumlah besar. Namun, HDD lebih rentan terhadap kerusakan fisik karena memiliki bagian bergerak. Sebaliknya, SSD lebih tahan terhadap guncangan dan getaran karena tidak memiliki bagian bergerak, tetapi memiliki keterbatasan dalam jumlah siklus tulis/hapus yang bisa mempengaruhi masa pakainya.

Penggunaan teknologi memori yang lebih baru, seperti 3D NAND dalam SSD, telah meningkatkan daya tahan dan kapasitasnya, meskipun biaya per gigabyte tetap lebih tinggi dibandingkan HDD. Teknologi seperti RAID (Redundant Array of Independent Disks) juga digunakan untuk meningkatkan keandalan dan performa penyimpanan data. RAID 5 dan RAID 6, misalnya, menggunakan teknik parity untuk memungkinkan pemulihan data jika terjadi kegagalan disk, sementara RAID 1 mencerminkan data di dua disk untuk redundansi penuh.

Untuk meningkatkan keandalan sistem penyimpanan, teknik redundansi dan pemulihan data sering digunakan. Redundansi geografis memungkinkan sistem untuk menempatkan elemen-elemen kritis di lokasi geografis yang berbeda, mengurangi risiko kegagalan total akibat bencana alam atau kegagalan listrik. Model keandalan menggunakan pendekatan Markov dapat mengevaluasi dan membandingkan berbagai strategi pemulihan dan redundansi, memberikan evaluasi kuantitatif keandalan untuk berbagai opsi arsitektur.

Dalam sistem penyimpanan, redundansi aktif-aktif dan aktif-standby adalah desain backup yang umum digunakan. Dalam konfigurasi aktif-aktif, dua cabang sistem memproses data secara paralel, sementara dalam konfigurasi aktif-standby, cabang sekunder hanya mengambil alih jika cabang utama gagal. Model Markov membantu menghitung downtime dan meningkatkan keandalan dengan mengadopsi metode redundansi tersebut.

Penelitian menunjukkan bahwa infrastruktur jaringan dan protokol yang digunakan juga mempengaruhi keandalan. Dalam sistem IP Multimedia Subsystem (IMS), geo-redundancy dan re-route dapat meningkatkan ketersediaan layanan. Strategi pemulihan berbasis klien dan sistem terintegrasi dapat meningkatkan efisiensi pemulihan kegagalan, terutama dalam kasus kegagalan diam yang sulit terdeteksi oleh sistem.

Keandalan dan daya tahan memori sekunder juga dapat ditingkatkan melalui kombinasi penggunaan teknologi memori yang lebih baik, strategi redundansi yang tepat, dan model keandalan yang komprehensif. Pendekatan ini memastikan bahwa data yang kritis disimpan dengan aman dan dapat diakses dengan andal kapan saja diperlukan.

Penggunaan metode kuantitatif dalam evaluasi keandalan, seperti yang dibahas dalam penelitian, memungkinkan untuk analisis lebih mendalam dan pengambilan keputusan yang lebih baik dalam desain sistem penyimpanan. Penelitian mengenai geo-redundancy dalam konteks infrastruktur jaringan menunjukkan bahwa penempatan strategis elemen sistem di lokasi yang berbeda secara geografis dapat mengurangi risiko gangguan layanan. Model Markov digunakan untuk memodelkan dan menganalisis keandalan sistem dengan lebih rinci, termasuk evaluasi downtime dan strategi pemulihan.

**2.2.4. Biaya per Unit Penyimpanan**

Biaya per unit penyimpanan adalah faktor penting yang mempengaruhi pemilihan jenis memori sekunder dalam arsitektur dan organisasi komputer. Hard Disk Drive (HDD) umumnya lebih murah per gigabyte dibandingkan dengan Solid State Drive (SSD), menjadikannya pilihan ekonomis untuk penyimpanan data dalam jumlah besar. Namun, harga SSD terus menurun seiring dengan perkembangan teknologi, sehingga menjadi lebih terjangkau untuk pengguna umum.

Untuk memori sekunder seperti disk putar, waktu akses yang lebih lama dibandingkan dengan eksekusi instruksi memerlukan optimasi struktur data. Meminimalkan jumlah akses yang dibutuhkan selama operasi pencarian acak dapat meningkatkan efisiensi biaya penyimpanan. Pohon biner pencarian yang dioptimalkan, khususnya pohon AVL, dapat mengurangi jumlah akses langsung yang diperlukan selama operasi pencarian dan pembaruan, sehingga mengurangi biaya per unit penyimpanan.

Ukuran total waktu akses dapat diminimalkan dengan menyesuaikan urutan pohon multi-arah. Pohon dengan urutan lebih tinggi mengurangi jumlah pencarian, sementara pohon dengan urutan lebih rendah mengurangi ukuran transfer. Misalnya, memori gelembung magnetik (MBM) memiliki waktu pencarian yang lebih kecil dan waktu transfer yang lebih besar, sehingga cocok untuk pohon multi-arah dengan urutan rendah.

Selama operasi traceback dan rotasi dalam pohon AVL, penyesuaian faktor keseimbangan memerlukan penulisan ulang setiap node yang terlibat. Menjaga node dalam memori utama selama mungkin dapat meminimalkan jumlah penulisan ulang dan akses I/O tambahan yang dibutuhkan, sehingga mengurangi biaya per unit penyimpanan.

Menggunakan simulasi cache-driven trace, kita dapat mempelajari efek asosiasi terhadap rasio miss cache. Menambah asosiasi dapat meningkatkan kemungkinan blok tetap berada di cache dengan menurunkan probabilitas bahwa terlalu banyak blok yang baru diakses dipetakan ke tempat yang sama dan memungkinkan lebih banyak blok untuk dipertimbangkan untuk penggantian. Meskipun peningkatan asosiasi sering kali meningkatkan biaya cache dan waktu akses, strategi ini dapat mengoptimalkan biaya per unit penyimpanan untuk cache yang lebih besar dengan rasio miss yang lebih kecil.

Optimasi lebih lanjut menunjukkan bahwa untuk beberapa file yang disimpan dalam MBM, pohon pencarian biner mungkin menjadi struktur pohon yang optimal karena efisiensinya dalam pencarian, pembaruan, dan penyeimbangan. Dengan strategi optimasi yang tepat, pemanfaatan memori sekunder yang lebih lambat dan lebih murah dapat dimaksimalkan. Ini memungkinkan penyimpanan data yang lebih efisien dan ekonomis dalam arsitektur komputer, memberikan solusi penyimpanan yang lebih baik dengan biaya per unit yang lebih rendah.

**BAB III**

**PENUTUP**

Memori sekunder adalah komponen penting dalam sistem komputer modern yang digunakan untuk menyimpan data secara permanen atau semi-permanen. Contoh memori sekunder termasuk HDD, SSD, optical disk, USB flash drive, dan kartu memori. Memori ini berperan vital dalam menjaga data tetap aman dan tersedia bahkan saat sistem dimatikan.

Memori sekunder memiliki beberapa jenis dengan karakteristik yang berbeda. Hard Disk Drive (HDD) memiliki kapasitas besar dengan biaya rendah namun kecepatan aksesnya lebih lambat dibandingkan Solid-State Drive (SSD). SSD menawarkan kecepatan akses tinggi dan tahan guncangan, namun lebih mahal per gigabyte. Optical disk seperti CD, DVD, dan Blu-ray memiliki kapasitas lebih rendah dan biaya rendah, sering digunakan untuk distribusi data. USB flash drive memiliki portabilitas tinggi dengan kapasitas bervariasi dan mudah digunakan. Kartu memori digunakan dalam perangkat mobile dengan kapasitas besar namun ukuran fisiknya kecil.

Karakteristik utama memori sekunder meliputi kapasitas penyimpanan yang beragam dari beberapa gigabyte hingga terabyte, yang penting untuk penyimpanan data besar. Kecepatan akses SSD lebih cepat daripada HDD, dengan teknologi baru seperti NVMe dan PMEM menawarkan kecepatan akses lebih tinggi. Keandalan dan daya tahan memori sekunder juga bervariasi, di mana SSD lebih tahan terhadap kerusakan fisik dibandingkan HDD, tetapi memiliki batasan siklus tulis/hapus. Biaya per unit penyimpanan HDD lebih ekonomis, tetapi SSD semakin terjangkau dengan perkembangan teknologi.

Memori sekunder terus mengalami inovasi untuk meningkatkan kinerja, kapasitas, dan efisiensinya, menjadikannya esensial dalam penyimpanan data jangka panjang dan berbagai aplikasi komputasi.

**DAFTAR PUSAKA**

Billinton, R., & Allan, R. N. (1983). Reliability Evaluation of Engineering Systems: Concepts and Techniques. *Springer Science+Business Media*.

Hill, M. D., & Smith, A. J. (December 1989). Evaluating Associativity in CPU Caches. *IEEE Transactions on Computers, XXXVIII*(12).

Qasim, A., & Yedlapalli, P. (2019). PMEM Performance in vSphere 6.7 with Intel Optane DC Persistent Memory. *VMware, Inc*.

Wright, W. E. (1979). An AVL Algorithm For Secondary Memory. *Computer Software and Applications Conference*.

Zhang, X., Pham, H., & Johnson, C. R. (t.thn.). Reliability models for systems with internal and external redundancy. *International Journal of Systems Assurance Engineering and Management, I*(2), 131-144.