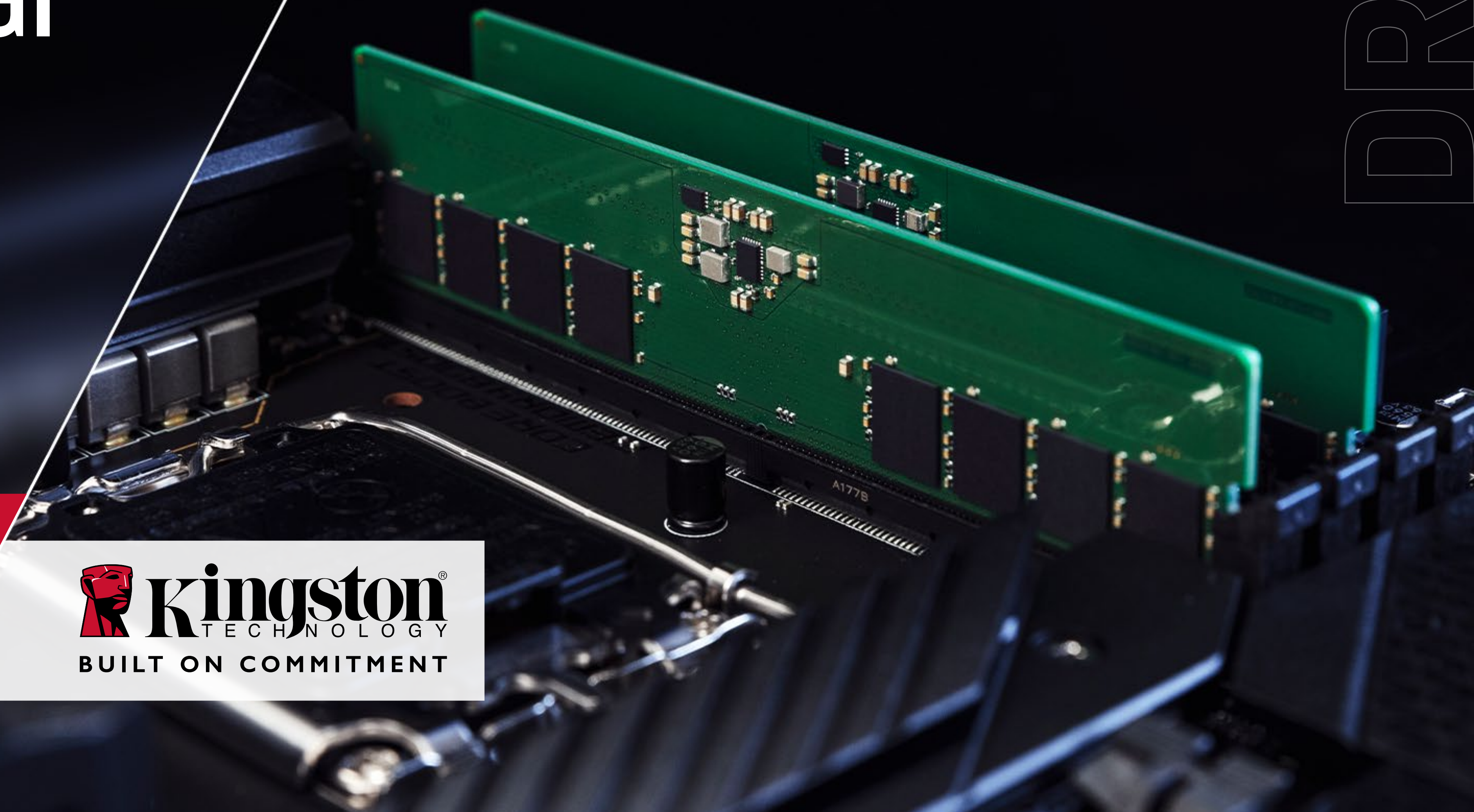


# EVOLUSI TEKNOLOGI MEMORI

DRAW



 **Kingston**<sup>®</sup>  
TECHNOLOGY  
BUILT ON COMMITMENT

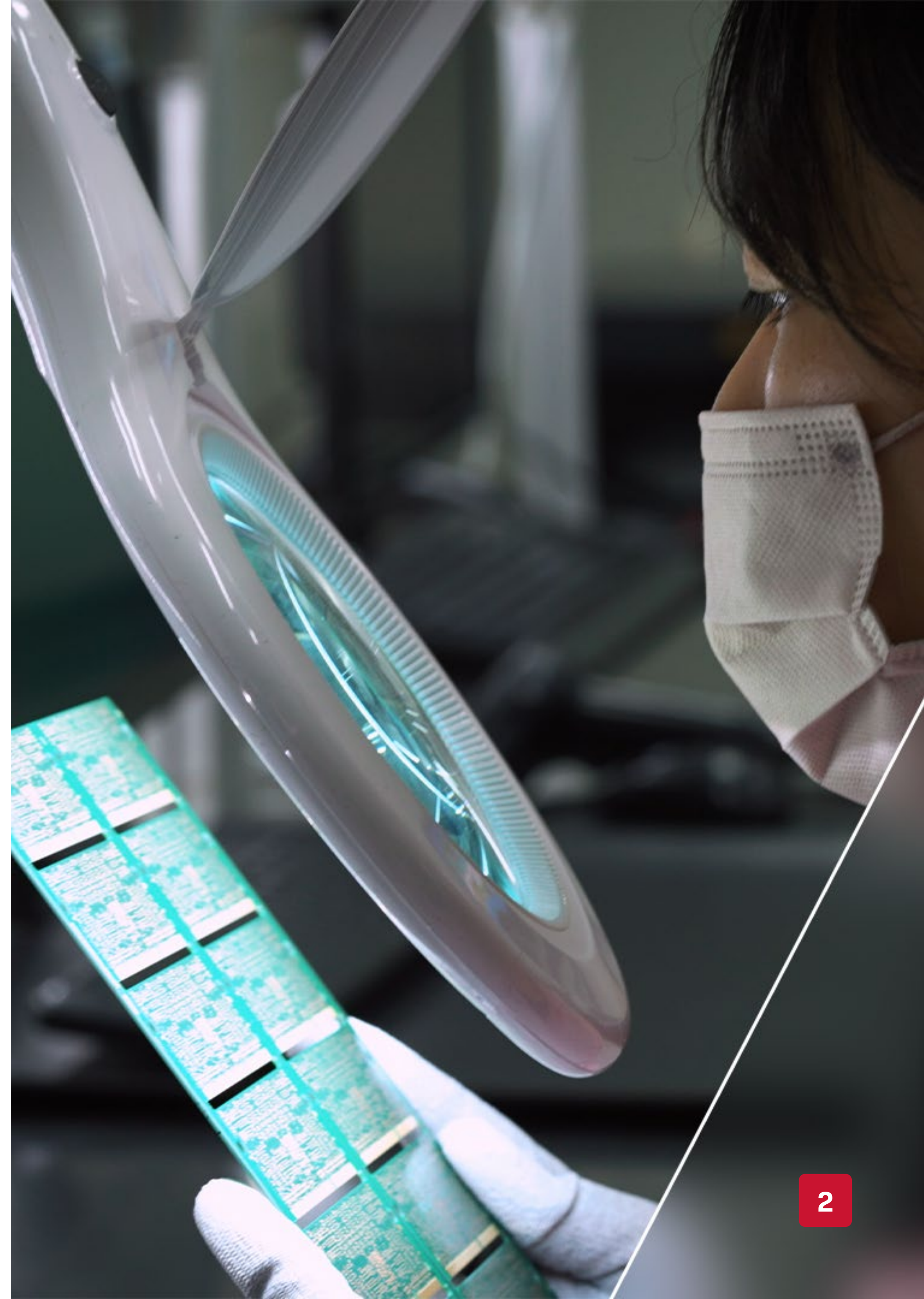


# Pendahuluan dan isi

Evolusi Memori Akses Acak Dinamis (DRAM - Dynamic Random Access Memory) mulai dari Mode Page Cepat atau Fast-Page Mode (FPM), Sinkron atau Synchronous (SDRAM), hingga Laju Data Ganda atau Double Data Rate (DDR SDRAM), kini sedang dalam generasi ke-5 (dengan DDR5) yang menunjukkan kemajuan signifikan dalam teknologi komputasi yang didorong oleh kebutuhan peningkatan kinerja, penambahan bandwidth, dan perbaikan efisiensi energi. Di tengah maraknya aplikasi AI, permintaan tersebut terus meningkat pesat dengan makin populernya DDR5 dan HBM (DRAM Memori Bandwidth Tinggi atau High Bandwidth Memory) pada sistem pusat data dan klien. DDR SDRAM, yang dianggap sebagai andalan utama memori semikonduktor, berada dalam posisi yang unik di industri berkat konsumsi dayanya yang rendah, kinerjanya yang tinggi, dan kemampuannya mentransfer data ke prosesor dengan cepat.

Menurut pakar industri, DRAM akan tetap menjadi teknologi memori utama hingga waktu yang belum dapat dipastikan. Namun, apa sebenarnya yang membuat jenis memori ini sangat unggul dalam memenuhi kebutuhan bisnis saat ini dari segi kinerja dan arsitektur? Apakah jenis memori tertentu lebih cocok untuk server daripada desktop? Bagaimana teknologi ini berevolusi dan apa saja tantangan khas serta kasus penggunaannya? Buku elektronik ini akan membahas berbagai pertanyaan tersebut dan menjelajahi masa depan DRAM, dengan bantuan dari pakar teknis dari Kingston.

Daftar Isi	Halaman
Kontributor	3
Evolusi DRAM: Dari FPM hingga DDR5 SDRAM	4
Jenis DRAM dan perbedaan utamanya	5
Pentingnya latensi dan kecepatan	6
Kasus penggunaan khas dan dampak beban kerja	7
Masalah kompatibilitas DRAM dan pertimbangan untuk peningkatan	8 - 9
Mengatasi tantangan produksi DRAM	10
Pengembangan DRAM: Pengaruh kecenderungan pasar	11
Masa depan teknologi DRAM	12
Ringkasan	13





# Kontributor

Buku elektronik ini disusun oleh dua pakar Kingston.



## Mike Mohney | Kingston Technology

Mike Mohney menjabat sebagai Manajer Teknologi Senior di Kingston Technology dengan kantor di Fountain Valley, California. Dia bergabung dengan Kingston sejak tahun 1996 dengan membawa pengalamannya selama lebih dari 28 tahun.

Dalam fungsi pekerjaannya, Mike berperan penting dalam mengelola dan memajukan inisiatif teknologi Kingston, khususnya di sektor solusi DRAM dan memori. Keahlian dan kepemimpinannya telah berkontribusi besar terhadap posisi Kingston sebagai produsen pihak ketiga terdepan untuk solusi DRAM.

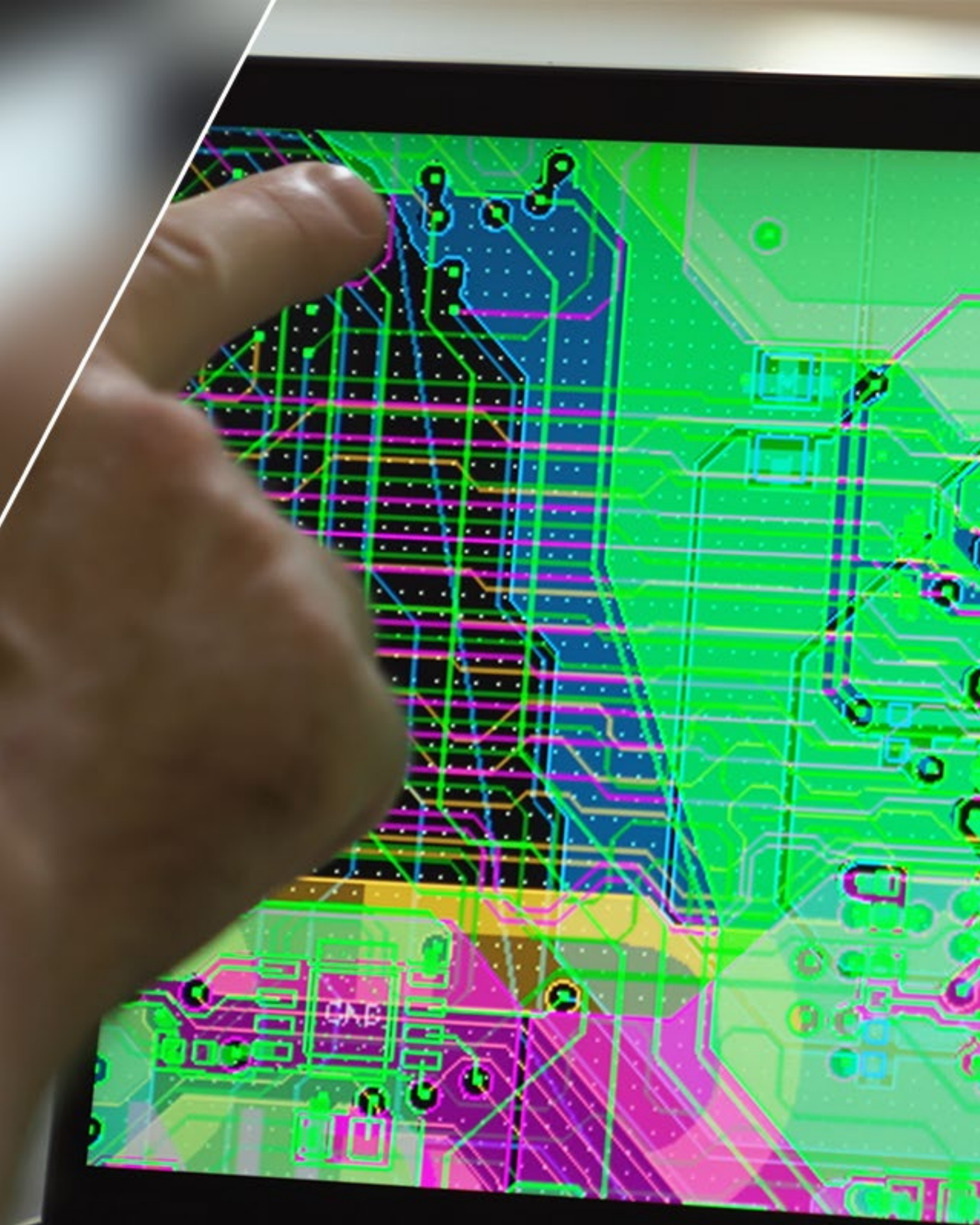


## Geoffrey Petit | Kingston Technology Europe

Geoffrey Petit menjabat sebagai Pemimpin Tim Grup Sumber Daya Teknis di Kingston Technology Europe. Dia bergabung dengan Kingston pada tahun 2016 sebagai Ahli Teknik Dukungan Teknis yang memberikan dukungan teknis purnajual kepada pelanggan yang berbasis di EMEA, memberikan pelatihan teknis kepada kolega dan karyawan baru, serta menguji produk baru.

Geoffrey dan timnya bertanggung jawab untuk memberikan dukungan teknis kepada pelanggan dan menjawab pertanyaan pra-penjualan dari Manajer Bisnis, Pemasaran, tim Penjualan Internal, pelanggan, dan personel utama.





## Evolusi DRAM: Dari FPM hingga DDR5

Pada pertengahan 1980-an, revolusi PC berlangsung dengan pesat dengan diperkenalkannya prosesor 80486. DRAM Mode Page Cepat atau Fast Page Mode (FPM) pada SIMM (Modul Memori Sebaris Tunggal atau Single In-Line Memory Module) adalah teknologi memori utama pada saat itu. Kebutuhan untuk peningkatan kinerja telah mendorong pengembangan DRAM EDO (Ekstensi Data Keluar atau Extended Data Out) pada awal 1990-an, yang diikuti dengan cepat oleh SDRAM dan DIMM (Modul Memori Sebaris Ganda atau Dual In-line Memory Module), yang berjalan lebih efisien melalui penyelarasan dengan clock CPU dan pada laju data tunggal. Pada tahun 2000, DDR (Laju Data Ganda atau Double Data Rate) SDRAM pertama diluncurkan yang menggandakan laju data dengan mentransfer data pada sisi kenaikan dan penurunan sinyal clock sekaligus. DDR SDRAM juga lebih hemat daya dibandingkan dengan model sebelumnya, dengan penurunan tegangan hingga 2,5V per modul dibandingkan dengan 3,3V pada model sebelumnya. DDR SDRAM terus berevolusi dalam perencanaan yang teliti dari badan standar industri (JEDEC) dengan peluncuran DDR generasi ke-2 (DDR2) pada 2003. Peluncuran tersebut diikuti oleh DDR3 pada 2007, lalu oleh DDR4 pada 2014. Setiap generasi meningkatkan kecepatan memori, kapasitas, dan menurunkan tegangan pengoperasian dengan memanfaatkan peningkatan litografi wafer semikonduktor dan penyusutan sel memori.

Melangkah cepat ke tahun 2021, DDR5 SDRAM mulai digunakan yang menandai kemajuan besar dalam teknologi memori. DDR5 mulai diluncurkan dengan kecepatan 4800MT/dtk yang menunjukkan 50% peningkatan bandwidth dibandingkan dengan kecepatan terakhir DDR4 yang besarnya 3200MT/dtk. Selain kecepatan, modul DDR5 juga menyertakan Sirkuit Terpadu Manajemen Daya (PMIC - Power Management IC) yang membantu mengatur daya yang dibutuhkan oleh berbagai komponen modul memori, memberikan distribusi daya yang lebih baik dibandingkan dengan generasi sebelumnya, meningkatkan integritas sinyal,

serta mengurangi derau elektronik. Kecenderungan untuk mengurangi konsumsi daya terus berlanjut, dengan DDR5 yang hanya membutuhkan 1,1V untuk beroperasi. Peningkatan penting pada integritas data juga dirancang dalam perangkat, seperti ECC (Kode Koreksi Kesalahan - Error Correction Code) pada chip atau On-Die ECC yang dapat mendeteksi dan memperbaiki kesalahan bit di dalam komponen DRAM sehingga mengurangi kemungkinan kerusakan data.



*Selain peningkatan pada kinerja utama, konsumsi daya, dan densitas, berbagai fitur lainnya telah dirancang di dalam setiap generasi memori berikutnya. Fitur tersebut mencakup peningkatan teknologi koreksi kesalahan, perbaikan integritas sinyal, tambahan langkah mitigasi untuk menghindari kerentanan peretasan perangkat keras, serta faktor bentuk yang baru.*

**Mike Mohny | Kingston Technology**



Sejak diluncurkan, DDR5 telah dilengkapi dengan empat rencana peningkatan kecepatan yang didukung oleh platform Intel dan AMD secara beruntun. Secara historis, peningkatan kecepatan memori terjadi setahun sekali, mengikuti ritme yang telah ditentukan oleh standar industri memori dan dimungkinkan oleh chipset baru. Beberapa kategori kecepatan dilewatkan oleh DDR5 sebagian karena persaingan dari produsen chipset dan prosesor, dan permintaan akan memori berkinerja tinggi untuk menangani aplikasi dengan penggunaan bandwidth memori yang intensif seperti AI.

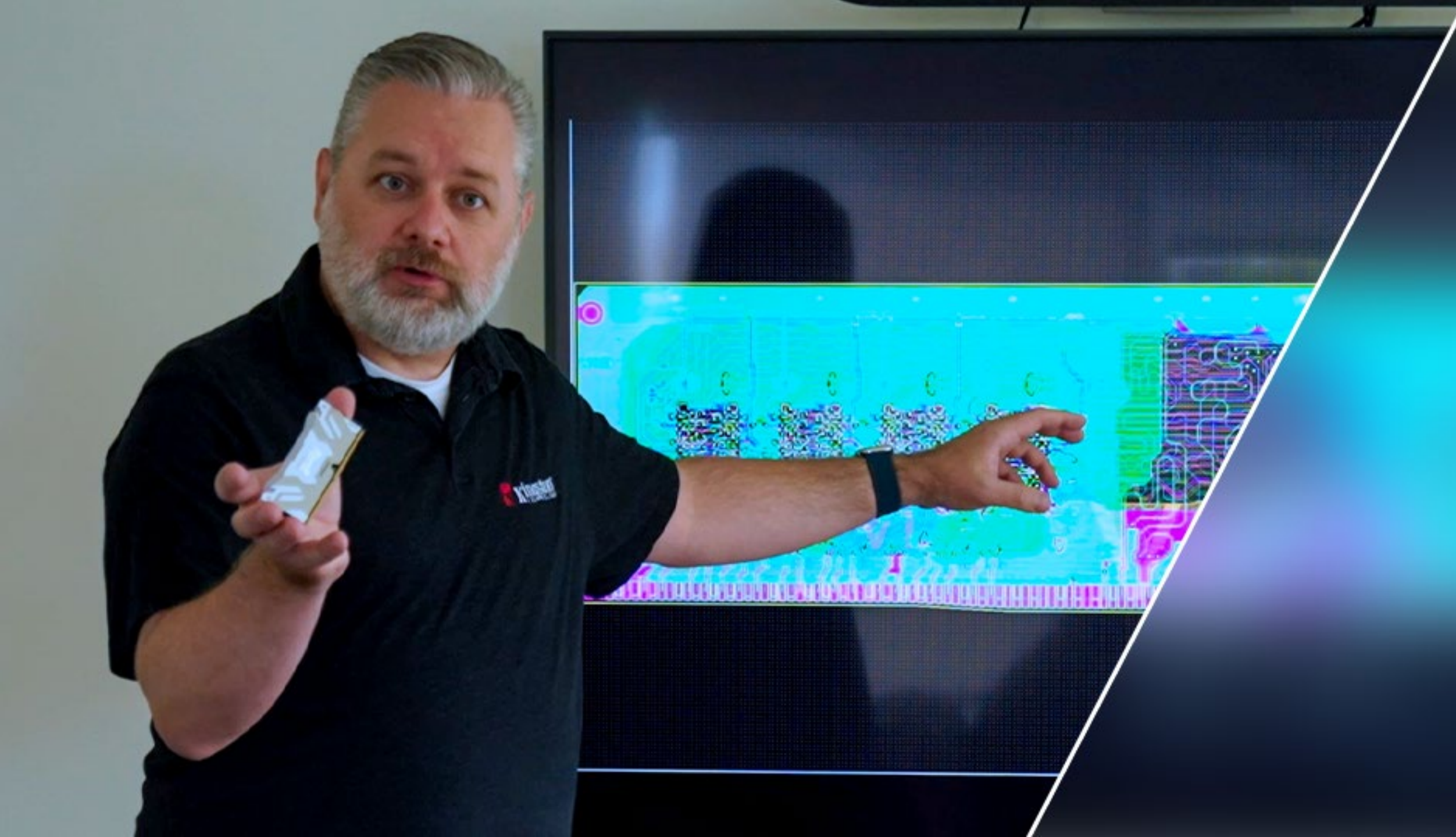


*Densitas yang lebih tinggi menjadi mungkin saat itu sehingga kapasitas memori yang lebih besar dapat dicapai pada satu modul, yang sangat penting untuk server dan komputasi berkinerja tinggi.*

**Geoffrey Petit | Kingston Technology Europe**







## Jenis Modul DRAM dan perbedaan utamanya

Badan standar industri JEDEC tidak hanya menentukan spesifikasi memori DRAM, tetapi juga menentukan faktor bentuk yang akan ditempati oleh DRAM agar sesuai dengan berbagai platform dan lingkungan komputasi.

Modul tanpa buffer, seperti **DIMM tanpa buffer (UDIMM - Unbuffered DIMM)** dan **SODIMM tanpa buffer (unbuffered SODIMM - Small Outline DIMM)** adalah jenis modul memori paling umum yang digunakan pada komputer desktop dan laptop konsumen.

Penambahan komponen DRAM untuk mendukung Kode Koreksi Kesalahan (ECC - Error Correction Code) menghasilkan **ECC UDIMM** dan **ECC SODIMM** untuk mendukung sistem kelas stasiun kerja yang umum. Berbagai fitur ini memberikan dukungan integritas data yang krusial bagi aplikasi dengan penggunaan memori yang intensif.

Untuk server prosesor tunggal atau multiprosesor, **DIMM ECC Beregister (ECC Registered DIMM - RDIMM)** berfitur komponen register pada modulnya yang melakukan proses buffer data antara

DRAM dan pengontrol memori. Fitur ini sangat penting di lingkungan yang membutuhkan memori dalam jumlah besar dan sangat mengutamakan keandalan data.

**DIMM dengan Pengurangan Beban (LRDIMM - Load Reduced DIMM)** berfitur buffer data untuk mengurangi beban pada pengontrol memori. Tanpa fitur ini, pengontrol akan menurunkan kecepatan memori untuk mengimbangi beban kerja. Teknologi LRDIMM memungkinkan dibuatnya modul berkapasitas besar tanpa mengorbankan kinerja. Fitur ini pertama kali diperkenalkan pada 2012 untuk DDR3, yang kemudian disempurnakan untuk DDR4 pada 2014.

**DDR Berdaya Rendah (LPDDR - Low Power DDR)** memasuki pasar pada 2006 sebagai solusi penghematan daya baterai untuk perangkat seluler. Meskipun biasanya dipasang langsung ke papan sistem, sejak tahun 2024, LPDDR5 juga dapat digunakan pada faktor bentuk CAMM2 (Compression Attached Memory Module - Modul Memori dengan Pemasangan Tekan) sehingga memberikan solusi modular yang dapat digunakan oleh produsen pada laptop atau PC dengan faktor bentuk kecil.

Selain DDR SDRAM, kategori memori dengan pertumbuhan tercepat adalah **Memori Bandwidth Tinggi (HBM - High Bandwidth Memory)** yang dikembangkan oleh AMD pada tahun 2008 untuk memenuhi meningkatnya permintaan akan memori berkinerja dan berkapasitas tinggi guna mendukung GPU dengan kebutuhan daya yang lebih rendah. HBM menggunakan antarmuka berkecepatan tinggi untuk mengelola tumpukan 3D dari lapisan-lapisan SDRAM dalam paket chip tunggal. Antarmuka ini menyediakan akses memori beralamat dan berjalur lebar (128-bit+) yang menargetkan langsung kartu grafis, memori prosesor pada paket, dan kartu akselerator AI.

“

*HBM telah mengalami evolusi melalui beberapa generasi secara beruntun selama dekade terakhir untuk meningkatkan dukungan terhadap kapasitas memori yang lebih tinggi dalam lapisan yang lebih banyak, bus data yang lebih lebar, dan keluaran kinerja yang lebih tinggi. Meskipun demikian, memori HBM saat ini tidak digunakan pada modul memori dan dianggap belum layak dari segi skala harga per GB untuk menjadi teknologi alternatif DDR DRAM.*

**Mike Mohny | Kingston Technology**

”



# Pentingnya latensi dan kecepatan

Latensi dan kecepatan adalah dua atribut utama yang ditetapkan oleh badan standar industri memori (JEDEC) yang digunakan sebagai metrik kinerja.



*Dalam komputasi, ada banyak jenis aplikasi yang lebih mendayagunakan salah satu komponen perangkat keras dibandingkan komponen lainnya untuk beban kerjanya. Aplikasi yang mengandalkan memori akan mendapatkan manfaat dari kecepatan memori berkinerja tinggi dan latensi yang lebih rendah dibandingkan dengan aplikasi yang berfokus pada penyimpanan atau GPU.*

**Mike Mohny | Kingston Technology**

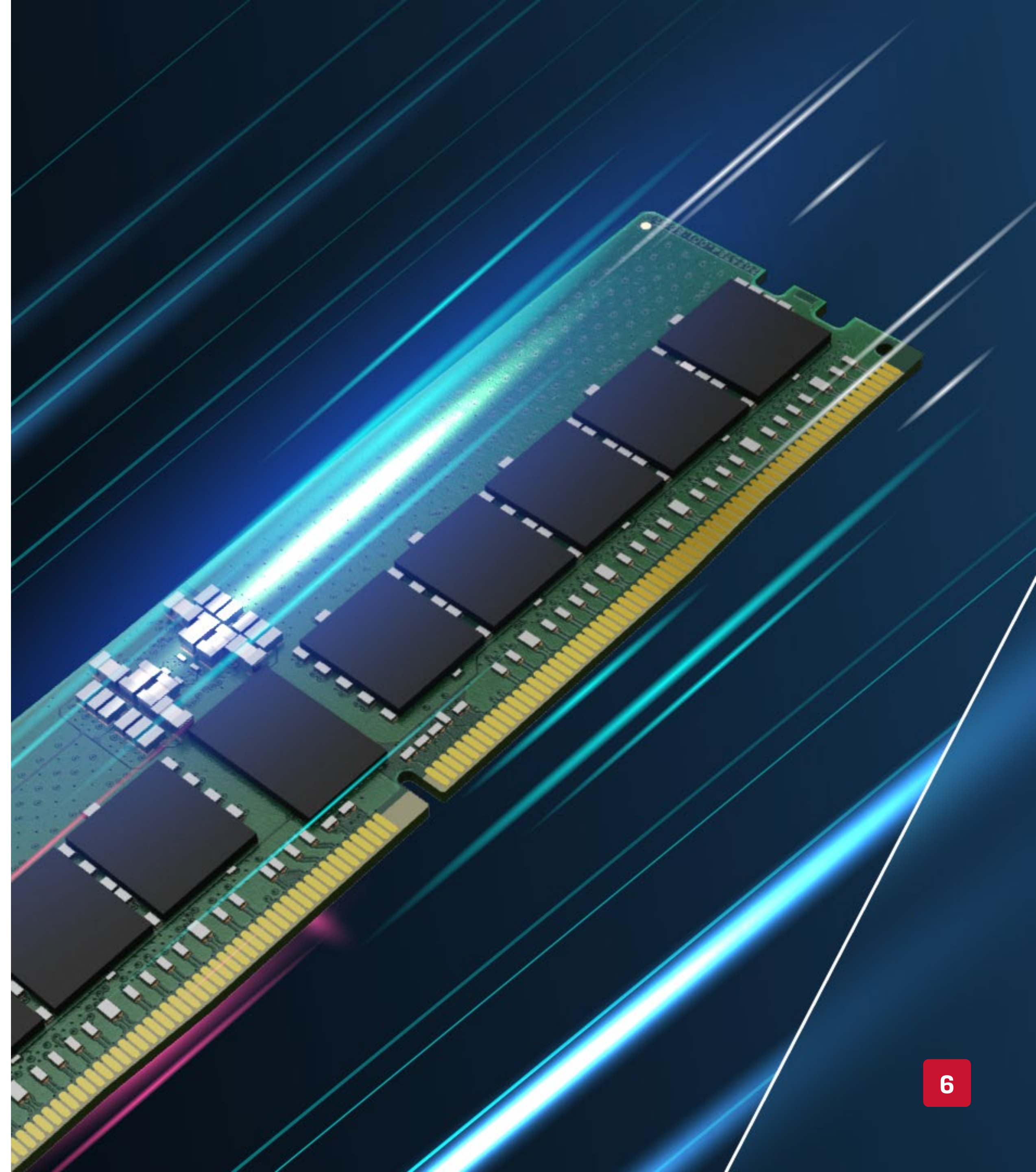


Untuk setiap teknologi memori baru, JEDEC menetapkan standar kecepatan dan pengaturan waktu yang digunakan oleh produsen memori, arsitek prosesor dan chipset, serta produsen motherboard/ sistem agar dapat saling selaras. Seiring meningkatnya kecepatan memori standar industri, latensi juga meningkat. Hal ini sering menjadi kontroversi dan menimbulkan kesalahpahaman pada pengguna yang percaya bahwa keunggulan peningkatan kecepatan standar akan ditiadakan oleh peningkatan waktu Latensi CAS. Namun, total latensi yang menggabungkan kecepatan dengan pengaturan waktu adalah cara yang lebih akurat untuk mengukur kinerja memori dalam satuan nanodetik. Total latensi mengacu pada waktu yang dibutuhkan oleh prosesor untuk menerima data dari memori.



*Dalam hal dampak terhadap tugas komputasi, memori tanpa buffer sangat cocok untuk desktop dan stasiun kerja yang membutuhkan kecepatan waktu respons. Memori kelas server, seperti DIMM Beregister (Registered DIMM) dan DIMM dengan Pengurangan Beban (Load Reduced DIMM), lebih unggul di pusat data yang lebih mementingkan kestabilan, koreksi kesalahan, dan penanganan kumpulan data besar dibandingkan dengan masalah latensi.*

**Geoffrey Petit | Kingston Technology Europe**







## Kasus penggunaan khas dan dampak beban kerja

Pengguna akhir dan arsitek pusat data memilih platform berdasarkan kebutuhan aplikasi dan beban kerja mereka. Pada gilirannya, tuntutan aplikasi akan kapasitas dan kinerja memori akan menentukan jenis modul yang dipilih dan dikonfigurasi.

Dalam industri memori, kami membedakan kelas dari komponen dan faktor bentuk modul menjadi kelas klien (alias PC) dan kelas server. Sistem kelas klien mencakup desktop dan laptop yang menggunakan memori non-ECC standar industri dalam faktor bentuk DIMM tanpa buffer (UDIMM/CUDIMM), SODIMM/CSODIMM, dan CAMM2. Sedangkan untuk sistem kelas server, termasuk stasiun kerja desktop dan stasiun kerja bergerak, menggunakan modul memori yang mendukung ECC (Kode Koreksi Kesalahan atau Error Correction Code).

Perangkat konsumen lebih memilih kesederhanaan dan kecepatan pada memori tanpa buffer. Komputer desktop dan laptop tidak dirancang untuk beroperasi 24 jam sehari dan biasanya dimatikan saat tidak digunakan. Jenis aplikasi dan beban kerja pada sistem ini juga tidak menekan batas toleransi kemampuan komponen memori seperti halnya aplikasi dan beban kerja pada server sehingga tidak diperlukan dukungan ECC.

Di sisi lain, sistem yang lebih kompleks seperti server dan stasiun kerja berkinerja tinggi yang dirancang untuk selalu aktif, mendapatkan manfaat dari kestabilan dan keandalan tambahan yang diberikan oleh DIMM ECC Beregister (ECC Registered DIMM/RDIMM) dan DIMM dengan Pengurangan Beban (Load Reduced DIMM/LRDIMM). Modul kelas ECC mendukung koreksi kesalahan untuk data yang rusak sehingga mencegah kondisi server tidak merespons atau kehilangan informasi yang krusial. Modul ini juga berfitur komponen DRAM berkualitas lebih tinggi, teruji pada toleransi lebih tinggi, dan dengan tingkat kegagalan yang lebih rendah.

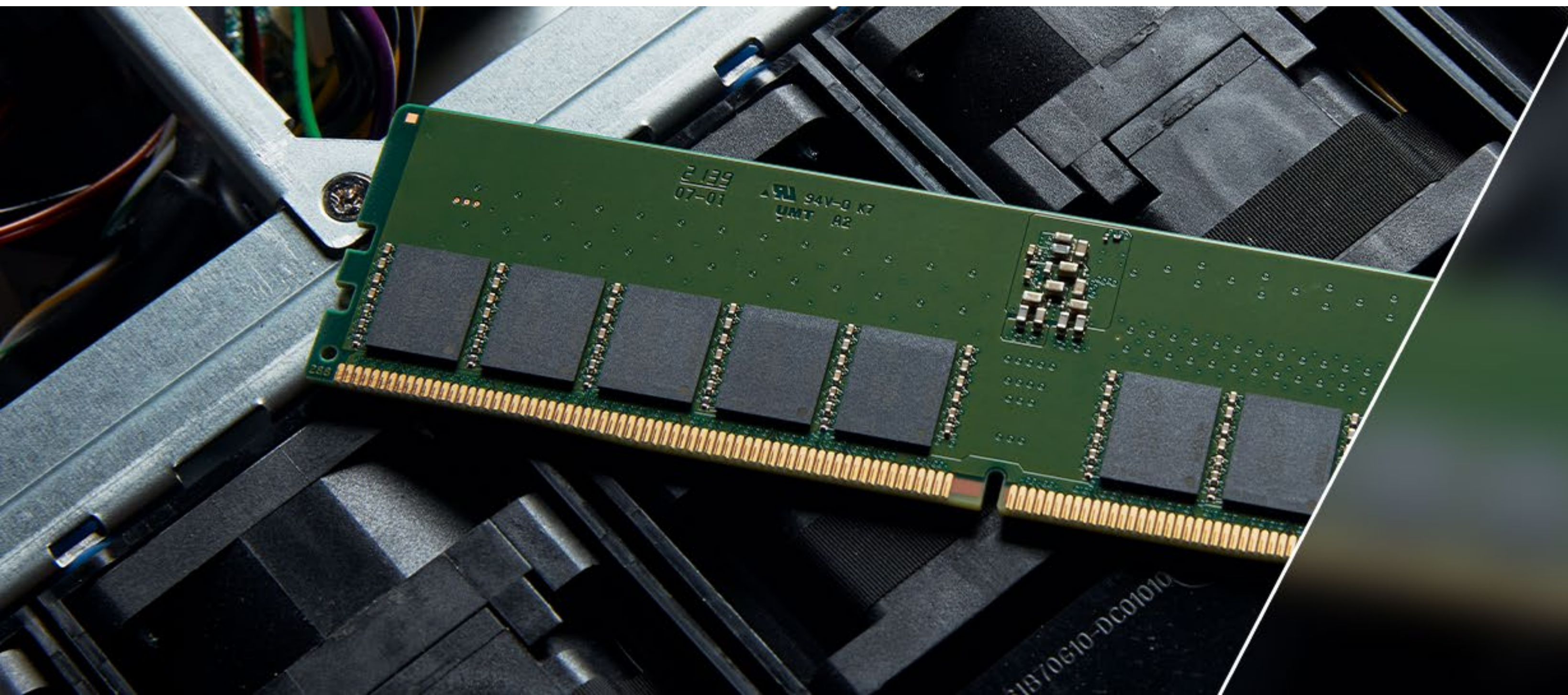


# Masalah kompatibilitas DRAM dan pertimbangan untuk peningkatan

Selain pertimbangan kasus penggunaan, penerapan, dan beban kerja, pentingnya reputasi merek harus sangat diperhatikan saat menilai pilihan memori. Secara umum, produsen memori memiliki lebih sedikit masalah kompatibilitas jika berinvestasi dalam infrastruktur pengujian untuk memvalidasi desain memorinya dengan arsitek chipset (seperti Intel dan AMD) serta bekerja sama dengan produsen motherboard dan sistem untuk melakukan kualifikasi memori. Ekosistem pengawasan dan pengendalian yang kuat terdapat antara Intel, AMD, produsen motherboard, merek sistem utama, dan produsen memori. Namun, tidak semua vendor modul memori berpartisipasi dalam ekosistem tersebut.

Memasang DRAM yang tidak kompatibel dapat menghalangi proses booting sistem. Saat melakukan peningkatan atau penggantian memori, selalu periksa informasi di panduan motherboard atau situs web produsen sebelum membeli memori baru, serta pertimbangkan:

1. **Dukungan motherboard:** Pastikan jenis teknologi memori dan jenis modul spesifik yang didukung oleh motherboard (misalnya, DDR4, DDR5, RDIMM vs. UDIMM).
2. **Kecepatan:** Cocokkan atau lampau kecepatan DRAM saat ini untuk menghindari masalah kinerja. Dalam satu generasi DDR, kecepatan biasanya kompatibel mundur. Dengan demikian, pembelian komponen standar 3200MT/dtk akan menurunkan clock dengan aman sehingga dapat berfungsi pada sistem yang mensyaratkan 2666MT/dtk.
3. **Kapasitas:** Pilih modul untuk dipasang dalam pasangan atau kelompok yang identik, sesuai dengan arsitektur motherboard, dan upayakan selalu kapasitas dengan persediaan berlebih untuk memenuhi kebutuhan memori pada masa mendatang.
4. **Pencampuran modul DRAM:** Pencampuran jenis DRAM yang berbeda (dalam hal lebar jalur data, densitas, dan merek) dalam pasangan atau kelompok yang sama dapat menyebabkan ketidakstabilan. Memasang modul dalam pasangan atau kelompok yang identik menurut arsitektur memori pada motherboard akan mengurangi kemungkinan terjadinya masalah.
5. **Koreksi kesalahan:** Jika memasang modul ECC Tanpa Buffer pada stasiun kerja klien atau umum, pastikan untuk memverifikasi bahwa motherboard dan model prosesor nya mendukung fungsi ECC.



“  
Misalnya, DDR4 RDIMM dan LRDIMM menggunakan kunci (alur) modul yang sama dengan DIMM tanpa buffer. Apabila dipasang pada sistem kelas desktop, RDIMM dan LRDIMM tidak akan berfungsi. Lebar jalur data dan densitas komponen DRAM juga dapat memengaruhi kompatibilitas, karena beberapa chipset tidak dapat berfungsi dengan lebar jalur data atau densitas tinggi DRAM tertentu.  
”

Geoffrey Petit | Kingston Technology Europe



# Masalah kompatibilitas DRAM dan pertimbangan untuk peningkatan

Industri memori bergerak secara berkelanjutan, membuat desain untuk memenuhi tuntutan generasi terbaru sambil tetap memperhatikan kebutuhan komputer pada masa sekarang dan sebelumnya. Oleh karena itu, sangat penting bagi produsen modul memori untuk menjaga arsip platform komputer yang ekstensif hingga beberapa generasi sebelumnya.



*Menguji komponen memori baru pada sistem model sebelumnya, yang juga disebut pengujian regresi, adalah satu langkah sangat penting yang dilewatkan oleh sebagian produsen modul memori demi penghematan biaya. Hal inilah yang sering menimbulkan masalah kompatibilitas.*

**Mike Mohnney | Kingston Technology**



Database kompatibilitas sistem yang ekstensif juga harus dijaga karena sangat penting untuk menghindari masalah. Sebagai satu-satunya vendor modul memori di dunia yang secara aktif mengelola arsip database yang mencakup lebih dari 40.000 sistem komputer, ahli teknik Kingston dapat lebih akurat dalam mengomunikasikan opsi peningkatan memori yang kompatibel dengan ribuan model komputer di pasar global saat ini dan model sebelumnya. Perbedaan kecil antara chipset dan generasi prosesor dari Intel dan AMD sering kali terjadi, dan dalam beberapa kasus, sengaja tidak diungkapkan kepada pengguna. Tujuan Kingston adalah berbagi wawasan teknis yang dibutuhkan oleh pengguna untuk memahami cara memilih opsi yang terbaik dan paling kompatibel bagi komputernya.



*Masalah kompatibilitas dapat terjadi jika komponen belum diperiksa atau dioptimalkan dengan chipset atau BIOS. Masalah kompatibilitas yang juga umum adalah penggunaan konfigurasi DRAM atau jenis modul yang tidak didukung dalam sistem.*

**Geoffrey Petit | Kingston Technology Europe**





# Mengatasi tantangan produksi DRAM

Meskipun dapat menjadi masalah jika tidak ditangani dengan tepat, kompatibilitas bukan satu-satunya tantangan. Kompleksitas desain, ketelitian perakitan, dan kendali mutu berkontribusi semuanya terhadap tantangan utama produksi DRAM. Sebagai produsen modul DRAM pihak ketiga terdepan, berbagai tantangan inilah yang membentuk Kingston. Namun, setiap tantangan memiliki solusinya sendiri:

Jadi, mari mulai dengan cara kami mendesain solusi memori kami.

- » **Kompleksitas desain:** Setiap jenis modul DRAM yang kami rancang memiliki fitur yang unik, baik itu DDR4 vs DDR5, Tanpa Buffer vs Beregister, dan banyak lainnya. Hal ini menambahkan kompleksitas pada desain. Kompleksitas ini membutuhkan perancangan tingkat lanjut dan integrasi yang tepat untuk memastikan keandalan dan kinerja.
- » **Solusi:** Untuk mengatasi hal ini, kami menggunakan perangkat lunak desain terspesialisasi dan protokol pengujian yang ketat untuk memastikan agar setiap jenis memori dapat berfungsi sebagaimana diinginkan, tanpa kesalahan.

Selanjutnya, kami bekerja sama dengan perusahaan semikonduktor DRAM terdepan.

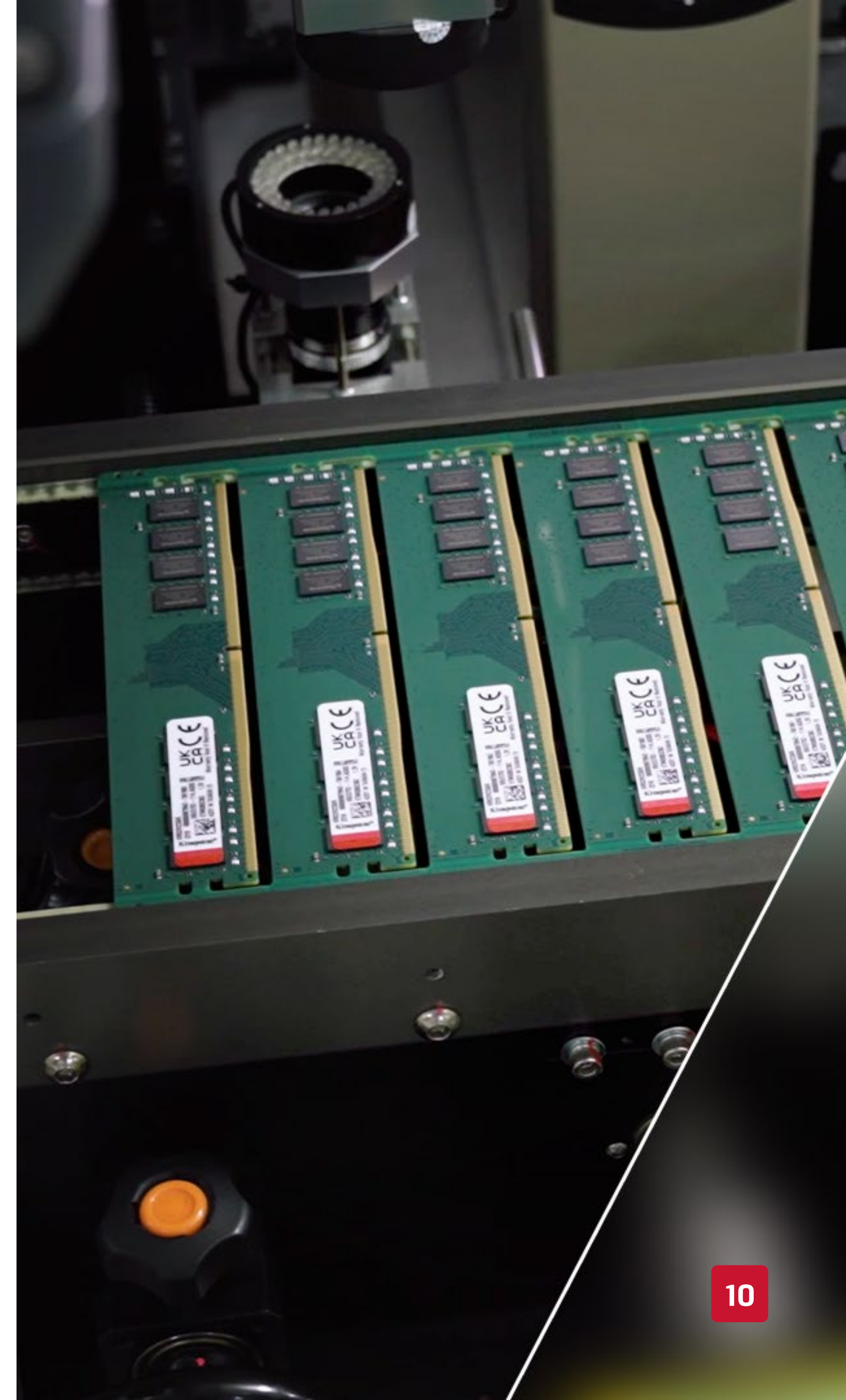
- » **Presisi fabrikasi:** Chip DRAM diproduksi oleh perusahaan semikonduktor pada proses berskala nano sehingga variasi kecil sekalipun dapat menyebabkan cacat yang memengaruhi hasil dan kinerja.
- » **Solusi:** Kingston secara eksklusif bekerja sama dengan beberapa perusahaan semikonduktor yang dapat menjamin tingkat kinerja dan keandalan yang tinggi. Perusahaan semikonduktor tersebut menggunakan teknik litografi

mutakhir dan lingkungan ruang bersih untuk meminimalkan cacat serta memastikan tingkat ketepatan dan konsistensi yang tinggi selama produksi. Kami tidak akan bekerja sama dengan perusahaan semikonduktor yang tidak dapat memenuhi persyaratan tersebut.

Berikutnya, cara kami merancang dan menguji modul DRAM kami.

- » **Kendali mutu:** Setelah dirakit, semua faktor bentuk DRAM kami harus memenuhi standar kinerja dan keandalan yang ketat.
- » **Solusi:** Pengujian ekstensif dalam berbagai kondisi, termasuk uji suhu dan tekanan, membantu mengidentifikasi dan menghilangkan unit yang cacat sehingga menjamin hanya memori andal yang sampai di pasar.

Melalui teknologi canggih dan jaminan kualitas yang ketat, Kingston memproduksi solusi DRAM yang andal, berkinerja tinggi, dan cocok untuk berbagai kebutuhan komputasi. Kami mengambil langkah lebih jauh melalui kerja sama yang erat dengan Intel dan AMD untuk mendapatkan platform referensi yang membantu kami mengembangkan teknologi memori baru, dan juga mempersiapkan peningkatan yang dibutuhkan dalam kemampuan pengujian produksi kami. Peningkatan perangkat keras dan perangkat lunak terus dilakukan untuk lingkungan produksi kami guna mendukung kecepatan memori baru, kapasitas baru, dan untuk meningkatkan kualitas modul yang diproduksi.







## Pengembangan DRAM: Dampak kecenderungan pasar

Terkait dengan pengaruhnya terhadap pengembangan dan penggunaan berbagai jenis memori DRAM, kecenderungan pasar digerakkan oleh tuntutan teknologi yang terus berkembang serta perilaku konsumen yang berperan penting. Kinerja, efisiensi, dan skalabilitas adalah semua faktor kunci yang memengaruhi pengembangan dan penggunaan teknologi.

Jika melihat ke masa sebelumnya, komputasi dan tuntutan beban kerja dalam beberapa dekade terakhir telah berdampak pada jenis memori yang dikembangkan. Pada pertengahan tahun 2000-an, industri memori berubah dengan mulai menawarkan teknologi memori yang dapat menghemat keseluruhan konsumsi daya, baik di sektor seluler maupun di pusat data. Pada pertengahan tahun 2010-an, virtualisasi mendorong permintaan akan modul berkapasitas lebih tinggi. Pada saat itu, hilangnya kinerja pada modul berkapasitas tinggi akibat keterbatasan chipset akhirnya menyebabkan pengembangan DIMM dengan Pengurangan Beban (Load Reduced DIMM) untuk DDR3 dan DDR4.

Dewasa ini, industri seperti AI, gaming, dan analisis mahadata (big data) terus berkembang dan makin menuntut memori berkecepatan dan berkapasitas tinggi. Perkembangan ini mendorong pengembangan jenis modul DRAM yang canggih seperti DIMM Rank Multipleks (Multiplexed-Rank DIMM - MRDIMM) yang memenuhi kebutuhan kinerja tersebut. Meningkatnya permintaan akan perangkat yang lebih tipis dan ringan juga telah memengaruhi penggunaan solusi memori yang ringkas dan efisien seperti CAMM2, yang menawarkan solusi modular hemat biaya kepada produsen untuk menggantikan DRAM yang disolder langsung atau penggunaan beberapa SODIMM yang secara fisik tidak akan muat di dalam laptop atau tablet kelas Ultrabook.

Kemampuan pengembangan kapasitas memori melebihi kapasitas soket DIMM biasa adalah bidang lain yang berkembang pesat.

“

*Tuntutan kinerja dari AI adalah penggerak utama lainnya yang mendorong diciptakannya memori yang dapat diskalakan serta berkapasitas dan berkinerja tinggi seperti MRDIMM, yang secara khusus mengatasi faktor penghambat kinerja pada memori berkapasitas tinggi.*

**Geoffrey Petit | Kingston Technology Europe**

”

Beberapa contoh tersebut hanyalah sebagian contoh yang menunjukkan cara industri memori beradaptasi dengan kecenderungan pasar yang memperlihatkan kesiapan ekosistem dan badan standar kita dalam mengatasi berbagai tantangan kebutuhan memori masa depan.

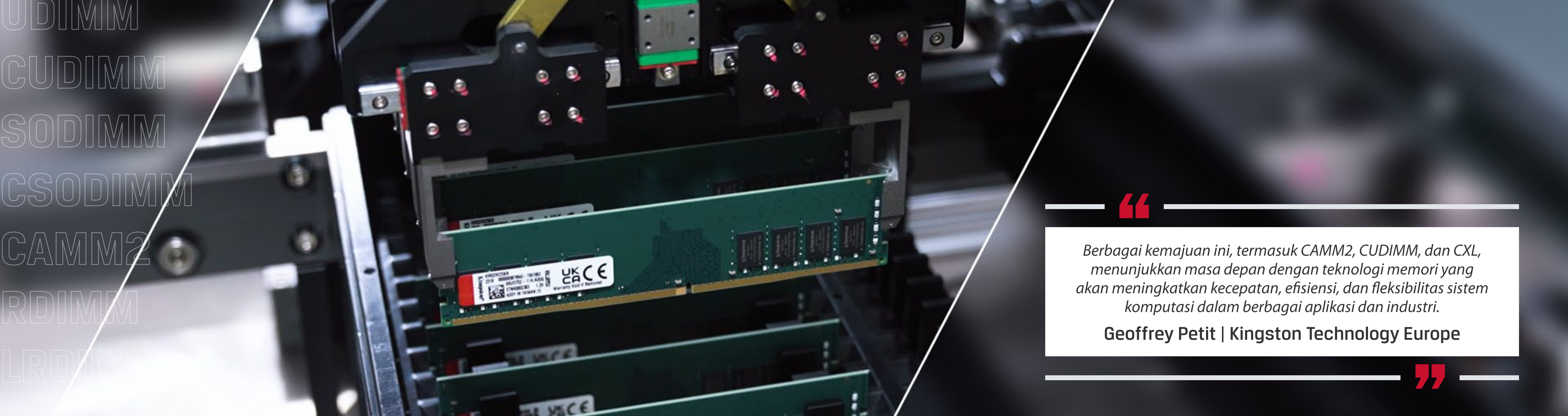
“

*Investasi pada infrastruktur dan penskalaan guna mendukung teknologi memori generasi terbaru sedang berlangsung. Kecepatan memori meningkat setiap tahun sehingga memiliki platform generasi terbaru jauh sebelum peluncurannya sangat penting untuk meningkatkan produksi guna mendukung permintaan global ketika sistem baru memasuki pasar.*

**Mike Mohney | Kingston Technology**

”





UDIMM  
CUDIMM  
SODIMM  
CSODIMM  
CAMM2  
RDIMM  
LRDIMM

“  
Berbagai kemajuan ini, termasuk CAMM2, CUDIMM, dan CXL, menunjukkan masa depan dengan teknologi memori yang akan meningkatkan kecepatan, efisiensi, dan fleksibilitas sistem komputasi dalam berbagai aplikasi dan industri.  
Geoffrey Petit | Kingston Technology Europe  
”

## Masa depan teknologi DRAM

Melihat ke depan, industri memori akan terus beradaptasi dan menyusun rencana untuk kebutuhan pasar. Pengembangan teknologi DRAM di masa depan akan berfokus pada peningkatan kecepatan, pengurangan konsumsi daya, dan peningkatan densitas untuk memenuhi tuntutan aplikasi canggih seperti AI, mahadata (big data), dan komputasi cloud. Selain itu, tantangan pada teknologi dan faktor bentuk memori saat ini telah memengaruhi spesifikasi DDR generasi terbaru, DDR6, yang sedang dikembangkan dengan JEDEC. Direncanakan selesai pada 2027, DDR6 kemungkinan besar akan berfokus pada peningkatan kinerja dengan peningkatan linear laju data yang signifikan dibandingkan dengan DDR5 serta dengan bus data yang lebih lebar.

Hingga saat itu, peningkatan kecepatan DDR5 akan terus berlanjut dan didayagunakan dalam berbagai faktor bentuk baru. Faktor bentuk tersebut mencakup CAMM2, yang telah diproyeksikan menjadi solusi modul yang dominan untuk sistem seluler dan sistem dengan faktor bentuk kecil dalam beberapa tahun berikutnya. CAMM2 yang berprofil tipis secara efektif dapat menggantikan dua SODIMM di laptop biasa sehingga menghemat biaya produsen secara signifikan dengan menggunakan solusi memori modular dibandingkan dengan komponen DRAM terpisah yang dipasang langsung ke motherboard. Beberapa produsen motherboard bahkan telah

mendemonstrasikan bahwa CAMM2 dapat digunakan pada PC desktop biasa. Sebagai pemasok memori resmi ke Dell untuk desain CAMM orisinal milik Dell, Kingston ditempatkan secara strategis untuk mendukung revolusi CAMM2, dengan infrastruktur dan investasi pada produksi dan pengujian yang sudah siap untuk faktor bentuk baru ini. Nantikan solusi CAMM2 kami di situs web Kingston, yang akan diluncurkan pada paruh pertama tahun 2025.

CUDIMM adalah jenis modul DRAM baru lainnya yang mengintegrasikan driver clock pada DIMM Tanpa Buffer (Unbuffered DIMM) dimulai dari DDR5 berkecepatan 6400MT/dtk. Komponen ini memperkuat dan mengirim ulang sinyal clock dari prosesor pada modul, meningkatkan integritas sinyal dan mengurangi insiden kesalahan karena derau dan jitter yang menjadi masalah pada kecepatan yang lebih tinggi.

Selain itu, ada Compute Express Link, atau disingkat CXL, kategori DRAM baru lainnya yang masih dalam tahap awal. CXL adalah protokol standar terbuka yang beroperasi pada bus PCI Express, hampir sama dengan NVMe untuk penyimpanan. Fokus pertama produk CXL adalah alat ekspansi memori (memory expander) yang memanfaatkan DRAM (DDR4, DDR5, HBM) pada berbagai faktor bentuk untuk meningkatkan kapasitas memori dan memperluas kumpulan memori yang dapat digunakan untuk server.



# Ringkasan

Seiring pesatnya kemajuan AI, para perancang memori berlomba untuk mengimbangnya. Sebagai tulang punggung memori semikonduktor, evolusi DDR SDRAM dengan kapasitasnya yang besar dan kecepatannya dalam mengirim data ke prosesor akan terus berlanjut. Dengan mengatasi tantangan utama dalam kompatibilitas dan produksi melalui investasi dan kendali mutu yang ketat, produsen dapat memproduksi memori yang andal dan berkinerja tinggi yang cocok untuk beragam kebutuhan komputasi. Namun, untuk memenuhi kebutuhan spesifik di lingkungan Anda, para pakar Kingston selalu siap mendukung Anda serta membantu dalam menjelajahi kompleksitas pada chipset yang terus berkembang, generasi prosesor, dan pengoptimalan konfigurasi memori.

## Built on Commitment (Dibangun di atas Komitmen)

Mulai dari mahadata (big data) hingga perangkat IoT, termasuk laptop, PC, dan teknologi yang dapat dikenakan, Kingston Technology berdedikasi untuk memberikan solusi produk, layanan, dan dukungan di tingkat yang tertinggi. Dipercaya oleh produsen PC dan penyedia cloud global terkemuka, kami menghargai kemitraan jangka panjang yang membantu perkembangan dan upaya inovasi kami. Kami memastikan bahwa setiap solusi akan memenuhi standar tertinggi melalui pengutamakan kualitas dan layanan pelanggan. Di setiap langkah, kami mendengar, mempelajari, dan berinteraksi dengan pelanggan serta mitra kami agar dapat memberikan solusi dengan dampak yang bertahan lama.

©2024 Kingston Technology Far East Corp. (Asia Headquarters) No. 1-5, Li-Hsin Rd. 1, Science Park, Hsin Chu, Taiwan. Semua hak dilindungi undang-undang. Semua merek dagang dan merek dagang terdaftar adalah properti dari pemiliknya masing-masing.



**Kingston**<sup>®</sup>  
TECHNOLOGY  
BUILT ON COMMITMENT



BUILT ON COMMITMENT