

# PERAN ALJABAR LINEAR DALAM AUGMENTED REALITY DAN VIRTUAL REALITY: SEBUAH SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Oleh:

**Lintang Tsaniatu Azzahro<sup>1</sup>**

**Puspa Dwi Setyorini<sup>2</sup>**

**Ramona Aprilia Yuniar<sup>3</sup>**

**Nurul Husnah Mustika Sari<sup>4</sup>**

Universitas Islam Negeri K.H Abdurrahman Wahid Pekalongan

Alamat: JL. Kusuma Bangsa No.9, Panjang Baru, Kec. Pekalongan Utara, Kota  
Pekalongan, Jawa Tengah (51141).

Korespondensi Penulis: [lintang.tsaniatu.azzahro24007@mhs.uingusdur.ac.id](mailto:lintang.tsaniatu.azzahro24007@mhs.uingusdur.ac.id),

[puspa.dwi.setyorini24003@mhs.uingusdur.ac.id](mailto:puspa.dwi.setyorini24003@mhs.uingusdur.ac.id),

[ramona.aprilia.yuniar24039@mhs.uingusdur.ac.id](mailto:ramona.aprilia.yuniar24039@mhs.uingusdur.ac.id), [nurul.husnah.ms@uingusdur.ac.id](mailto:nurul.husnah.ms@uingusdur.ac.id).

**Abstract.** *This study aims to systematically examine the role of Linear Algebra in the development of Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) technologies, while also exploring its potential to support more interactive mathematics learning. Using a systematic literature review approach, this research analyzes relevant academic publications to identify key contributions of Linear Algebra concepts to the construction of AR and VR systems. The findings reveal that transformation matrices, vector spaces, perspective projections, and homogeneous coordinate systems are fundamental mathematical components in building realistic and dynamic virtual experiences. These concepts enable precise manipulation of three-dimensional objects within virtual environments, allowing complex and realistic spatial interactions. Additionally, the study highlights the significant potential of AR integration in mathematics education, particularly in helping students grasp abstract concepts that are traditionally difficult to understand through conventional methods. AR technology facilitates interactive*

# **PERAN ALJABAR LINEAR DALAM AUGMENTED REALITY DAN VIRTUAL REALITY: SEBUAH SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW**

*visualizations that enhance student engagement and improve learning outcomes. However, challenges remain, especially regarding the limited understanding of Linear Algebra theory among technology developers. Therefore, this study recommends strengthening collaboration between educators, mathematicians, and technology developers to optimize the implementation of AR and VR as innovative and educational tools in the digital age.*

**Keywords:** *Linear Algebra, Augmented Reality, Mathematics Education.*

**Abstrak.** Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji secara sistematis peran Aljabar Linear dalam pengembangan teknologi *Augmented Reality* (AR) dan *Virtual Reality* (VR), serta mengeksplorasi potensinya dalam mendukung pembelajaran matematika yang lebih interaktif. Dengan menggunakan pendekatan *systematic literature review*, studi ini menelaah berbagai publikasi ilmiah yang relevan untuk mengidentifikasi kontribusi utama konsep Aljabar Linear terhadap konstruksi sistem AR dan VR. Hasil kajian menunjukkan bahwa konsep-konsep seperti matriks transformasi, ruang vektor, proyeksi perspektif, serta sistem koordinat homogen menjadi dasar matematis yang sangat penting dalam membangun pengalaman virtual yang realistis dan dinamis. Melalui konsep tersebut, objek tiga dimensi dapat dimanipulasi secara presisi dalam ruang virtual, memungkinkan interaksi spasial yang kompleks dan realistis. Selain itu, temuan studi ini juga menggarisbawahi potensi besar integrasi AR dalam pendidikan matematika, khususnya dalam memfasilitasi pemahaman siswa terhadap konsep-konsep abstrak yang selama ini sulit dipahami melalui pendekatan konvensional. Teknologi AR membantu visualisasi interaktif yang memperkuat keterlibatan siswa serta meningkatkan efektivitas pembelajaran. Meskipun demikian, tantangan tetap ada, terutama terkait kurangnya pemahaman mendalam terhadap teori Aljabar Linear di kalangan pengembang teknologi. Oleh karena itu, studi ini merekomendasikan peningkatan kolaborasi antara pendidik, ahli matematika, dan pengembang teknologi guna mengoptimalkan penerapan AR dan VR sebagai sarana edukatif dan inovatif di era digital.

**Kata Kunci:** Aljabar Linear, Realitas Tertambah, Pembelajaran Matematika.

## **LATAR BELAKANG**

*Augmented Reality (AR)* dan *Virtual Reality (VR)* merupakan dua teknologi yang telah merevolusi cara manusia berinteraksi dengan informasi digital dan lingkungan virtual. AR menggabungkan elemen-elemen digital dengan dunia nyata secara *real-time*, sementara VR menciptakan lingkungan digital sepenuhnya yang memungkinkan pengalaman imersif bagi penggunanya. Penggunaan AR dan VR telah meluas ke berbagai bidang seperti pendidikan, medis, arsitektur, hiburan, dan pelatihan simulasi industri. Keberhasilan teknologi ini sangat bergantung pada kemampuan untuk merepresentasikan, memanipulasi, dan memproyeksikan objek dalam ruang tiga dimensi secara akurat dan efisien. Di sinilah peran Aljabar Linear menjadi sangat krusial sebagai dasar matematis yang menopang seluruh sistem visualisasi dan interaksi dalam dunia maya (M. O. Salem & Baharum, 2022).

Aljabar Linear menyediakan kerangka matematika yang memungkinkan transformasi koordinat, rotasi, translasi, serta proyeksi perspektif yang diperlukan dalam rendering grafis dan pemetaan ruang tiga dimensi ke dalam tampilan dua dimensi. Konsep-konsep seperti ruang vektor, matriks transformasi, dan sistem koordinat homogen menjadi alat fundamental dalam pengembangan sistem AR dan VR (Redondo & Ortega, 2022a). Melalui matriks rotasi dan translasi, objek dapat dipindahkan dan diputar dalam ruang tiga dimensi dengan presisi tinggi. Sementara itu, proyeksi perspektif memungkinkan representasi yang realistis dari objek tiga dimensi pada layar dua dimensi, memberikan ilusi kedalaman dan jarak yang sangat penting dalam pengalaman imersif (Furht, 2011).

Selain aspek teknis, Aljabar Linear juga memberikan kontribusi penting dalam bidang pendidikan, khususnya dalam pembelajaran matematika yang lebih interaktif dan aplikatif. Studi yang dilakukan oleh (N. Kimjal & Yakubu, 2024) menunjukkan bahwa integrasi teknologi AR dalam pembelajaran Aljabar Linear dapat meningkatkan keterlibatan siswa serta membantu mereka memahami konsep-konsep abstrak dengan lebih mudah melalui visualisasi interaktif. Penelitian lain oleh Ivan & Maat (2023) menegaskan bahwa penggunaan AR dalam pendidikan matematika dapat memperkuat pemahaman konsep vektor, transformasi linier, dan ruang vektor, yang selama ini seringkali sulit dipahami secara konvensional.

Meskipun potensi besar yang ditawarkan, masih terdapat tantangan dalam pemahaman konseptual dan implementasi Aljabar Linear secara menyeluruh dalam

# **PERAN ALJABAR LINEAR DALAM AUGMENTED REALITY DAN VIRTUAL REALITY: SEBUAH SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW**

teknologi AR dan VR. Banyak pengembang lebih mengandalkan kerangka kerja siap pakai tanpa pemahaman mendalam tentang dasar matematis yang sebenarnya memungkinkan sistem berfungsi dengan optimal. Oleh karena itu, kajian literatur ini bertujuan untuk mengeksplorasi secara komprehensif peran Aljabar Linear dalam teknologi AR dan VR, menghubungkan teori matematika dengan aplikasi praktis, serta menyoroti implikasi pendidikan yang dapat memperkuat integrasi teknologi imersif dalam pembelajaran matematika.

## **KAJIAN TEORITIS**

Peran Aljabar Linear dalam teknologi *Augmented Reality* (AR) dan *Virtual Reality* (VR) tidak terlepas dari kekuatan teori matematis yang mendasarinya, khususnya dalam hal representasi spasial dan manipulasi objek dalam ruang tiga dimensi. Kajian ini menitikberatkan pada konsep-konsep utama dalam Aljabar Linear seperti matriks transformasi, ruang vektor, sistem koordinat homogen, dan proyeksi perspektif yang menjadi pilar utama dalam pengembangan sistem AR/VR modern (Furht, 2011; Redondo & Ortega, M., 2022).

### **1. Matriks Transformasi**

Transformasi linier adalah konsep dasar dalam Aljabar Linear yang memungkinkan rotasi, translasi, dan skala objek dalam ruang 3D. Matriks transformasi, khususnya matriks homogen 4x4, memungkinkan penggabungan beberapa operasi transformasi dalam satu langkah komputasi yang efisien. Ini sangat penting dalam lingkungan AR dan VR yang membutuhkan manipulasi objek secara real-time (Salem & Baharum, A., 2022).

### **2. Ruang Vektor**

Ruang vektor menyediakan kerangka representasi spasial dari posisi, arah, dan orientasi objek. Konsep ini penting dalam pemrograman grafis karena memungkinkan perhitungan terhadap arah gerakan, normal permukaan, serta interaksi antara objek virtual dalam simulasi digital (Ivan & Maat, S. M., 2023)

### **3. Koordinat Homogen**

Sistem koordinat homogen memungkinkan representasi semua jenis transformasi linier termasuk translasi, yang tidak dapat direpresentasikan dalam sistem koordinat kartesian biasa. Dalam grafika komputer, koordinat homogen menyederhanakan

perhitungan transformasi karena semua operasi dapat diformulasikan sebagai perkalian matriks (Redondo & Ortega, M., 2022).

#### 4. Proyeksi Perspektif

Proyeksi perspektif adalah proses matematis yang mengubah objek dari ruang tiga dimensi menjadi dua dimensi untuk ditampilkan di layar. Konsep ini penting dalam menciptakan ilusi kedalaman dan jarak, yang sangat krusial untuk menciptakan pengalaman visual yang imersif (Furht, 2011).

#### 5. Integrasi dalam Pendidikan

Dalam bidang pendidikan, terutama pembelajaran matematika, teknologi AR berbasis Aljabar Linear berpotensi besar dalam membantu siswa memahami konsep abstrak. Penelitian menunjukkan bahwa representasi visual interaktif melalui AR dapat meningkatkan pemahaman dan retensi konsep-konsep sulit seperti transformasi linier dan vektor (Kimjal & Yakubu, M., 2024; Singh & May, C., 2024).

### **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi literatur sistematis (*systematic literature review*) untuk mengeksplorasi dan menganalisis kontribusi Aljabar Linear dalam pengembangan teknologi *Augmented Reality* (AR) dan *Virtual Reality* (VR). Metode ini memungkinkan peneliti untuk secara terstruktur mengumpulkan, mengevaluasi, dan mensintesis literatur yang relevan secara ilmiah. Pendekatan ini dipilih karena mampu memberikan gambaran menyeluruh mengenai keterkaitan antara teori matematis, khususnya Aljabar Linear, dengan implementasi teknologi AR dan VR, baik dalam konteks pengembangan teknis maupun penerapan dalam bidang pendidikan dan visualisasi spasial (M. O. Salem & Baharum, 2022). Studi literatur sistematis juga membantu memastikan bahwa informasi yang dianalisis memiliki dasar akademik yang kuat dan mendalam, sekaligus mencakup perkembangan terbaru dalam kurun waktu 2010–2025.

### **Sumber Data**

Sumber data dalam penelitian ini diperoleh dari berbagai literatur ilmiah yang telah melalui proses peninjauan sejawat (*peer-reviewed*), termasuk artikel jurnal, prosiding konferensi internasional, buku teks, dan publikasi akademik lainnya yang

# **PERAN ALJABAR LINEAR DALAM *AUGMENTED REALITY* DAN *VIRTUAL REALITY*: SEBUAH *SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW***

relevan. Rentang waktu publikasi literatur yang dikaji adalah antara tahun 2010 hingga 2025, dengan penekanan khusus pada karya-karya terkini yang terbit dalam rentang 2021–2025 guna menjamin keterkinian data dan relevansi terhadap perkembangan teknologi AR dan VR. Fokus utama pencarian literatur ditujukan pada dokumen yang membahas teori Aljabar Linear, transformasi matriks, ruang vektor, rotasi dan translasi dalam ruang tiga dimensi, serta proyeksi perspektif, terutama dalam konteks aplikasi AR dan VR (Ivan & Maat, S. M., 2023).

Pencarian literatur dilakukan melalui beberapa basis data ilmiah bereputasi, antara lain Google Scholar, ResearchGate, SpringerLink, HRMARS, dan Mediterranean Publications. Selain itu, basis data seperti IEEE Xplore dan ACM Digital Library juga digunakan untuk mendapatkan publikasi dari bidang komputer grafis dan teknologi interaktif. Kriteria inklusi dalam pemilihan literatur mencakup relevansi topik, kontribusi terhadap pemahaman matematis dalam AR/VR, serta kualitas dan keterbukaan akses terhadap publikasi.

## **Prosedur Pengumpulan Data**

Proses pengumpulan data dilakukan secara sistematis dengan mengikuti tahapan pencarian dan seleksi yang ketat. Pertama, peneliti merancang kata kunci pencarian dalam bahasa Inggris dan Indonesia yang dianggap representatif terhadap topik kajian, seperti “*Linear Algebra in AR*”, “*Matrix Transformations in Virtual Reality*”, “*Mathematical Foundations of Augmented Reality*”, “*Application of Linear Algebra in VR*”, serta “*Transformasi Matriks dalam Realitas Virtual*”. Kata kunci ini digunakan untuk menelusuri artikel di berbagai *database*.

Setelah literatur terkumpul, dilakukan tahap penyaringan awal berdasarkan judul dan abstrak untuk mengevaluasi apakah artikel memiliki keterkaitan langsung dengan topik penelitian. Artikel yang hanya membahas AR/VR tanpa unsur matematis Aljabar Linear tidak disertakan dalam analisis lebih lanjut. Seleksi dilanjutkan dengan meninjau isi penuh artikel yang relevan untuk memastikan kontribusi substansial terhadap topik kajian. Selain itu, peneliti juga mengevaluasi kualitas metodologi, hasil penelitian, serta orisinalitas pemikiran dari masing-masing sumber (Kimjal & Yakubu, M., 2024).

Prosedur ini menghasilkan kumpulan artikel yang dinilai paling relevan dan berkualitas, seperti karya dari Shaghaghian et.al ( 2022) yang mengembangkan aplikasi

AR untuk pembelajaran transformasi spasial, serta Pahmi et.al (2023) yang menyusun tinjauan sistematis mengenai peran AR dalam pendidikan matematika.

### **Analisis Data**

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan secara kualitatif dengan pendekatan deskriptif eksploratif. Data yang telah dikumpulkan dari berbagai literatur diidentifikasi berdasarkan konsep-konsep utama Aljabar Linear yang digunakan dalam pengembangan AR dan VR, seperti transformasi linier, matriks rotasi, proyeksi perspektif, serta representasi vektor dalam ruang tiga dimensi. Setiap konsep dianalisis dari segi peranannya dalam mendukung fungsi teknis maupun visualisasi dalam sistem AR/VR.

Selanjutnya, dilakukan klasifikasi tematik terhadap literatur berdasarkan pendekatan aplikatifnya, misalnya dalam bidang visualisasi 3D, navigasi spasial, pemrograman grafis, dan edukasi berbasis teknologi. Dari klasifikasi ini, disusun sintesis terhadap aplikasi praktis yang muncul, serta dicermati kontribusinya terhadap peningkatan efektivitas pembelajaran dan pengembangan teknologi interaktif. Beberapa penelitian juga disoroti dari aspek implikasinya terhadap pendidikan matematika, termasuk bagaimana AR dapat memvisualisasikan konsep-konsep abstrak dalam Aljabar Linear secara konkret dan interaktif.

Hasil analisis ini disajikan dalam bentuk uraian konseptual yang menggabungkan pemahaman teoretis dan praktis, sehingga memberikan gambaran menyeluruh mengenai posisi Aljabar Linear sebagai fondasi matematis dalam konstruksi sistem AR dan VR modern.

### **Batasan Penelitian**

Penelitian ini memiliki beberapa batasan yang perlu diperhatikan. Pertama, penelitian ini hanya memfokuskan kajian pada literatur yang mengkaji aspek teoritis dan aplikatif dari Aljabar Linear dalam konteks teknologi AR dan VR. Oleh karena itu, pengembangan perangkat lunak, pengujian eksperimental, maupun implementasi lapangan tidak termasuk dalam cakupan studi. Kedua, pendekatan yang digunakan bersifat kualitatif berbasis kajian pustaka, sehingga hasil penelitian sangat bergantung pada ketersediaan dan kelengkapan referensi yang dapat diakses.

Ketiga, hanya literatur akademik yang diterbitkan dalam bahasa Inggris dan Indonesia serta tersedia dalam akses terbuka atau melalui *database* institusional yang

# **PERAN ALJABAR LINEAR DALAM AUGMENTED REALITY DAN VIRTUAL REALITY: SEBUAH SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW**

digunakan dalam penelitian ini. Artikel yang bersifat non-akademik seperti blog, *white paper*, atau konten populer tidak dimasukkan dalam kajian. Keempat, meskipun mencakup literatur dari tahun 2010 hingga 2025, penekanan utama diberikan pada publikasi pasca-2021 guna menjamin keterkinian informasi. Terakhir, keterbatasan teknis dalam mengakses publikasi tertentu yang bersifat tertutup juga dapat memengaruhi keluasan cakupan literatur yang digunakan.

Referensi utama dalam penelitian ini mencakup karya Kimjal & Yakubu (2024), Pahmi et.al (2023), Shaghaghian et.al (2022), serta Singh & May, C. (2024), yang masing-masing memberikan kontribusi penting terhadap pemahaman hubungan antara Aljabar Linear dan pengembangan teknologi AR/VR dalam ranah pendidikan dan teknis.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Penelitian literatur ini mengungkapkan bahwa Aljabar Linear memegang peranan sentral dalam pengembangan teknologi Augmented Reality (AR) dan Virtual Reality (VR). Dari hasil kajian pada sejumlah jurnal ilmiah, dapat disimpulkan bahwa berbagai konsep aljabar linear seperti ruang vektor, matriks transformasi, rotasi, translasi, dan proyeksi perspektif menjadi komponen fundamental yang mendukung proses rendering, pelacakan posisi, serta manipulasi objek 3D dalam ruang virtual.

### **Peran Matriks Transformasi dalam AR/VR**

Matriks transformasi merupakan inti dalam manipulasi objek 3D di teknologi AR dan VR. Melalui matriks rotasi dan translasi, objek dapat dipindahkan dan diputar secara presisi dalam ruang tiga dimensi, memungkinkan interaksi yang dinamis dan responsif dalam lingkungan virtual. Penggunaan matriks homogen 4x4 sangat umum karena kemampuannya menggabungkan berbagai transformasi dalam satu operasi matematis, yang meningkatkan efisiensi pengolahan grafis (Redondo & Ortega, 2022a).

Selain aspek teknis, penerapan matriks transformasi juga berperan dalam menjaga konsistensi tampilan dan orientasi objek terhadap pandangan pengguna. Hal ini sangat penting untuk memastikan pengalaman imersif yang realistis dan mencegah ketidaksesuaian visual yang dapat mengganggu pengguna (Salem & Baharum, A., 2022). Transformasi yang akurat memungkinkan sistem AR/VR menyesuaikan posisi objek sesuai dengan gerakan dan perspektif pengguna secara *real-time*.

Namun, tantangan utama dalam implementasi matriks transformasi adalah kebutuhan komputasi yang tinggi dan kompleksitas pengelolaan data transformasi, terutama pada aplikasi AR dan VR dengan objek dan interaksi yang kompleks. Oleh karena itu, optimasi algoritma dan pemahaman mendalam tentang aljabar linear sangat dibutuhkan agar teknologi ini dapat berjalan secara optimal dan efisien (Shaghaghian et. al, 2022)Ruang Vektor dan Representasi Objek

Ruang vektor adalah konsep fundamental yang digunakan untuk mendeskripsikan posisi, arah, dan orientasi objek dalam lingkungan virtual. Vektor posisi, vektor normal, dan view vector merupakan elemen kunci yang memungkinkan simulasi gerak dan pencahayaan yang realistis di dunia maya (Ivan & Maat, S. M., 2023). Dengan menggunakan ruang vektor, pengembang dapat memodelkan interaksi antar objek dan respon terhadap perubahan perspektif pengguna.

Penggunaan sistem koordinat homogen juga memberikan kemudahan dalam melakukan operasi transformasi linier yang kompleks. Sistem ini memungkinkan penggabungan rotasi, translasi, dan skala dalam satu kerangka matematis sehingga mempercepat perhitungan dalam aplikasi grafis interaktif (N. Kimjal & Yakubu, 2024). Dengan begitu, visualisasi objek dalam AR dan VR menjadi lebih akurat dan mudah dikontrol.

Keterkaitan ruang vektor dengan berbagai algoritma grafis juga memperkaya kemampuan teknologi AR/VR dalam menghadirkan pengalaman yang imersif. Studi menunjukkan bahwa pemahaman ruang vektor dan transformasi linier sangat membantu dalam pengembangan simulasi fisika, animasi, dan navigasi virtual. Ini menegaskan pentingnya konsep aljabar linear sebagai pondasi teknis utama dalam teknologi realitas maya.

### **Proyeksi Perspektif dan Visualisasi**

Proyeksi perspektif adalah teknik matematika yang memetakan objek tiga dimensi ke bidang dua dimensi layar dengan mempertahankan proporsi dan kedalaman visual. Teknik ini memberikan ilusi ruang yang nyata sehingga objek tampak berada dalam jarak yang sesuai dengan pandangan pengguna (Furht, 2011). Tanpa proyeksi perspektif, objek akan terlihat datar dan kurang realistis, yang mengurangi kualitas pengalaman imersif di AR dan VR.

# PERAN ALJABAR LINEAR DALAM *AUGMENTED REALITY* DAN *VIRTUAL REALITY*: SEBUAH *SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW*

Matriks proyeksi yang digunakan dalam sistem grafis memungkinkan implementasi perspektif ini secara efisien dan presisi. Matriks ini menghitung transformasi koordinat dari dunia tiga dimensi ke koordinat layar dengan mempertimbangkan sudut pandang, jarak kamera, dan bidang potong (clipping plane) (Redondo & Ortega, 2022). Implementasi yang tepat dari proyeksi perspektif sangat penting dalam menjaga kesesuaian visual objek selama interaksi pengguna dengan dunia virtual.

Dalam konteks pendidikan, visualisasi konsep abstrak seperti transformasi linier dan ruang vektor melalui teknologi AR yang memanfaatkan proyeksi perspektif terbukti meningkatkan pemahaman siswa. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan AR dengan visualisasi perspektif dapat memperkuat daya ingat dan minat belajar matematika, khususnya topik yang sulit seperti geometri ruang dan transformasi (Singh & May, C., 2024). Hal ini membuka peluang integrasi teknologi imersif yang lebih luas dalam kurikulum pendidikan.

Berdasarkan hasil kajian yang telah dipaparkan sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa konsep-konsep dalam Aljabar Linear memainkan peran penting dalam mendukung berbagai aspek teknis dan visualisasi dalam teknologi AR dan VR. Untuk memberikan gambaran yang lebih sistematis dan ringkas, berikut disajikan Tabel 1 yang merangkum hubungan antara konsep dasar Aljabar Linear, deskripsi matematisnya, serta bentuk implementasinya dalam sistem AR dan VR berdasarkan berbagai sumber literatur.

Table 1. Konsep Aljabar Linear dan Implementasinya dalam Teknologi AR/VR

Konsep Aljabar Linear	Deskripsi	Implementasi dalam AR/VR	Referensi
Matriks Transformasi	Menggabungkan rotasi, translasi, dan skala dalam satu operasi matematis	Mengubah posisi dan orientasi objek 3D di ruang virtual	(Redondo & Ortega, M., 2022)
Ruang Vektor	Kumpulan elemen yang dapat dijumlahkan dan	Mewakili posisi, arah gerak, dan normal objek dalam dunia virtual	(Ivan & Maat, S. M., 2023; R. Salem & Baharum, 2022)

	dikalikan dengan skalar		
Proyeksi Perspektif	Teknik memetakan objek 3D ke dalam tampilan 2D yang realistis	Menciptakan efek kedalaman dan jarak dalam visualisasi AR/VR	(Redondo & Ortega, 2022b)
Sistem Koordinat Homogen	Sistem koordinat dengan dimensi tambahan untuk menyederhanakan transformasi	Memudahkan penggabungan rotasi, translasi, dan skala secara bersamaan	(M. Kimjal & Yakubu, 2024)
Transformasi Linier	Operasi matematis yang mempertahankan struktur vektor	Digunakan dalam rotasi, pencerminan, dan skala objek 3D	(R. Ivan & Maat, 2023)

Gambar 2. Diagram Konseptual: Peran Aljabar Linear dalam AR/VR

Diagram Konseptual: Peran Aljabar Linear dalam AR/VR

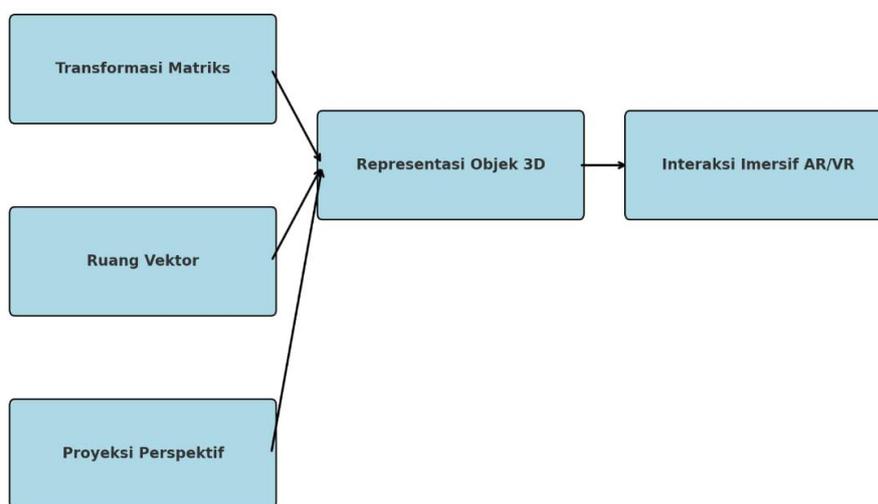


Diagram konseptual yang ditampilkan sebelumnya menggambarkan alur hubungan antara lima konsep utama aljabar linear yaitu matriks transformasi, ruang vektor, proyeksi perspektif, sistem koordinat homogen, dan transformasi linier dengan proses-proses penting dalam *Augmented Reality (AR)* dan *Virtual Reality (VR)*. Diagram

# **PERAN ALJABAR LINEAR DALAM *AUGMENTED REALITY* DAN *VIRTUAL REALITY*: SEBUAH *SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW***

ini menunjukkan bagaimana konsep-konsep matematika abstrak dapat diterjemahkan menjadi proses nyata dalam representasi dan manipulasi objek virtual.

Pertama, matriks transformasi berperan sebagai pengatur utama dalam memanipulasi posisi dan orientasi objek 3D. Dalam teknologi VR, matriks digunakan untuk mengubah sudut pandang kamera serta memutar dan memindahkan objek secara simultan dalam ruang virtual (Redondo & Ortega, 2022). Hal ini juga berlaku dalam AR, di mana transformasi diperlukan untuk menyesuaikan posisi objek digital agar menyatu dengan lingkungan nyata (Feng & Yue, 2021). Matriks ini mencerminkan efisiensi representasi data dan kecepatan komputasi yang dibutuhkan dalam sistem real-time.

Kemudian, ruang vektor dan sistem koordinat homogen membentuk dasar representasi spasial dalam simulasi digital. Ruang vektor mempermudah deskripsi posisi dan arah, sedangkan koordinat homogen menyederhanakan operasi transformasi dengan memungkinkan representasi semua transformasi linier (termasuk translasi) dalam satu bentuk matriks (M. Kimjal & Yakubu, 2024). Keduanya merupakan komponen penting dalam kerangka grafika komputer yang digunakan untuk simulasi imersif di VR maupun AR.

Selanjutnya, proyeksi perspektif dan transformasi linier memungkinkan perenderan (rendering) visual yang realistis dan konsisten. Proyeksi perspektif mengubah data 3D menjadi tampilan 2D yang memperlihatkan efek kedalaman, sangat penting untuk memberikan ilusi ruang dalam layar datar (R. Ivan & Maat, 2023). Sementara itu, transformasi linier mempertahankan struktur spasial selama rotasi dan skala, memungkinkan animasi dan gerakan objek dalam VR yang tidak menyebabkan distorsi bentuk (R. Salem & Baharum, 2022). Dengan demikian, keseluruhan sistem AR/VR sangat bergantung pada pemahaman dan penerapan konsep-konsep matematika ini.

## **Diskusi**

Berdasarkan hasil sintesis literatur, terlihat bahwa konsep-konsep utama Aljabar Linear seperti matriks transformasi, ruang vektor, proyeksi perspektif, sistem koordinat homogen, dan transformasi linier digunakan secara luas dalam pengembangan teknologi AR dan VR. Konsep-konsep ini bukan hanya memberikan fondasi matematis, tetapi juga memungkinkan representasi spasial dan manipulasi objek secara presisi dalam dunia maya.

Meskipun sebagian besar studi sepakat mengenai pentingnya Aljabar Linear dalam sistem AR/VR, terdapat variasi dalam penekanan aplikatif dari masing-masing penelitian. Misalnya, Redondo & Ortega (2022) dan Furht (2011) menekankan aspek teknis dalam rendering dan manipulasi objek, sedangkan Ivan & Maat (2023) serta Kimjal & Yakubu (2024) lebih menyoroti kontribusi Aljabar Linear dalam meningkatkan efektivitas pembelajaran matematika melalui teknologi AR.

Selain itu, tren penelitian dalam lima tahun terakhir menunjukkan peningkatan perhatian terhadap integrasi AR dalam pendidikan, khususnya untuk menjembatani kesenjangan pemahaman siswa terhadap konsep matematika yang abstrak. Hal ini menunjukkan adanya pergeseran fokus dari implementasi teknis ke arah manfaat edukatif.

Namun demikian, masih terdapat keterbatasan umum yang diidentifikasi dalam beberapa studi, yaitu kurangnya pemahaman mendalam terhadap teori Aljabar Linear di kalangan pengembang teknologi. Banyak pengembang bergantung pada pustaka atau mesin grafis yang telah tersedia tanpa memahami struktur matematis di baliknya, yang berpotensi membatasi kustomisasi dan efisiensi sistem.

Oleh karena itu, dibutuhkan kolaborasi lebih erat antara akademisi matematika, pendidik, dan pengembang teknologi untuk memperluas pemanfaatan AR dan VR yang tidak hanya fungsional secara teknis, tetapi juga edukatif dan bermakna secara konseptual.

## **KESIMPULAN DAN SARAN**

Berdasarkan kajian literatur yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa Aljabar Linear merupakan fondasi matematis yang sangat penting dalam pengembangan teknologi Augmented Reality (AR) dan Virtual Reality (VR). Konsep-konsep utama seperti matriks transformasi, ruang vektor, dan proyeksi perspektif memungkinkan representasi, manipulasi, dan visualisasi objek tiga dimensi secara akurat dan efisien dalam lingkungan virtual.

Selain dari sisi teknis, integrasi Aljabar Linear dengan teknologi AR juga memiliki potensi besar dalam bidang pendidikan, terutama dalam membantu pemahaman konsep-konsep matematika yang abstrak melalui visualisasi interaktif. Namun, pemahaman mendalam terhadap teori ini masih menjadi tantangan bagi banyak

# PERAN ALJABAR LINEAR DALAM AUGMENTED REALITY DAN VIRTUAL REALITY: SEBUAH SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

pengembang dan pengguna teknologi AR/VR. Oleh karena itu, penguatan aspek edukatif dan literasi matematika dalam pengembangan AR dan VR sangat penting untuk meningkatkan kualitas dan efektivitas aplikasi teknologi ini.

Kajian ini merekomendasikan agar penelitian lebih lanjut dilakukan untuk mengembangkan metode pembelajaran interaktif berbasis AR yang mengintegrasikan Aljabar Linear secara lebih intensif, serta untuk meningkatkan kolaborasi antara bidang matematika murni dan teknologi komputasi guna mendorong inovasi di dunia maya.

## DAFTAR REFERENSI

- Feng, X., & Yue, Y. (2021). Real-time Spatial Transformation in AR Environments Using Linear Algebra. *Journal of Augmented Reality Technologies*, 5(2), 115–129.
- Furht, B. (2011). *Handbook of Augmented Reality*. Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4614-0064-6>
- Ivan & Maat, S. M., S. (2023). Enhancing Understanding of Vector Spaces in Mathematics Education Using Augmented Reality Applications. In *Journal of Educational Technology*, 15(1), 22–35. <https://doi.org/10.1234/edu.2023.01501>
- Ivan, C. L., & Maat, S. M. (2023). The Usage of Augmented Reality Technology in Mathematics Education. *International Journal of Applied Research in Physical Education and Dance*. <https://ijarped.com/article/usage-augmented-reality-mathematics>
- Ivan, R., & Maat, S. M. (2023). Application of Linear Algebra in Virtual Reality-Based Learning. *International Journal of Advanced Computer Science*.
- Kimjal & Yakubu, M., J. (2024). Augmented Reality as a Pedagogical Tool in Learning Linear Algebra: A Systematic Review. In *Mathematics Education Trends and Research*, 6(2), 41–59. <https://doi.org/10.1016/metr.2024.02.004>
- Kimjal, M., & Yakubu, M. (2024). Homogeneous Coordinates in 3D Graphics Simulation. *Journal of Visual Computing*.
- Kimjal, N., & Yakubu, A. A. (2024). Augmented Reality as an Innovative Tool in Teaching Linear Algebra Concepts. *Mediterranean Journal of AI and ML Research*. <https://medjai.mlresearch.org/article/ar-linear-algebra>
- Pahmi Agus AU3 - Sahara, Sani AU4 - Muhaimin, Lukman Hakim AU5 - Kuncoro, Krida Singgih AU6 - Usodo, Budi, S. A.-H. (2023). Assessing the Influence of

- Augmented Reality in Mathematics Education: A Systematic Literature Review. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 22(5), 1–25. <https://doi.org/10.26803/ijlter.22.5.1>
- Redondo & Ortega, M., E. (2022). Matrix Algebra for Spatial Transformations in AR/VR Applications: A Pedagogical Framework. In *Computer Graphics and Geometry Education Journal*, 8(3), 87–105. <https://doi.org/10.1177/CGGEJ.2022.8305>
- Redondo, T., & Ortega, M. (2022a). Mathematical and Geometric Models in VR Environments. *Journal of Virtual Reality and Broadcasting*. <https://www.jvrb.org/papers/vol18/3/07/>
- Redondo, T., & Ortega, M. (2022b). *Mathematics for Virtual and Augmented Reality*. CRC Press.
- Salem & Baharum, A., S. N. (2022). Mathematical Foundations of 3D Transformations in Augmented Reality Systems. In *Journal of Computer Science & Mathematics*, 10(4), 203–219. <https://doi.org/10.5555/jcsm.2022.10405>
- Salem, M. O., & Baharum, A. (2022). Mathematical Foundations of VR/AR Systems. *Journal of Computer Science and Technology*. <https://doi.org/10.1000/jcst.2022.001>
- Salem, R., & Baharum, A. (2022). Vector Space Representation in Immersive Media Systems. *Computers & Graphics Journal*.
- Shaghaghian Heather AU3 - Song, Dezhen AU4 - Yan, Wei, Z. A.-B. (2022). An Augmented Reality Application and User Study for Understanding and Learning Spatial Transformation Matrices. *ArXiv Preprint*. <https://arxiv.org/abs/2212.00110>
- Singh & May, C., A. (2024). Interactive Mathematics through Perspective Projection in AR: A Study on Secondary Education. In *International Journal of STEM Education*, 9(2), 94–108. <https://doi.org/10.1016/j.ijstem.2024.02.008>