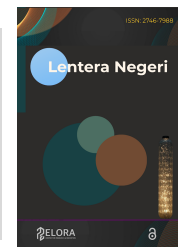




Contents lists available at [Elora Center](#)

**Lentera Negeri**

Journal homepage: <https://lentera.eloracenter.org/lentera>



## Motion capture technology dalam produksi animasi digital: analisis bibliometrik terhadap struktur pengetahuan global

Alzet Rama, Wiki Lofandri

Universitas Negeri Padang

### Article Info

#### Article history:

Received Oct 12<sup>th</sup>, 2025

Revised Nov 20<sup>th</sup>, 2025

Accepted Dec 29<sup>th</sup>, 2025

#### Keyword:

Motion capture,  
Animasi digital,  
Bibliometrik,  
VOSviewer,  
struktur pengetahuan,  
character animation

### ABSTRACT

Motion capture (mocap) telah menjadi salah satu teknologi kunci dalam produksi animasi digital kontemporer, namun struktur intelektual dan arah perkembangan risetnya belum banyak dipetakan secara sistematis. Penelitian ini bertujuan menganalisis struktur pengetahuan global pada domain motion capture dalam produksi animasi digital melalui pendekatan bibliometrik. Data bersumber dari basis data Scopus dengan strategi pencarian Boolean pada bidang title-abstract-keyword yang menggabungkan istilah motion capture dan animasi, dibatasi pada rentang tahun 2021–2025, jenis sumber jurnal, jenis dokumen artikel, dan tahap publikasi final, sehingga diperoleh 229 dokumen. Analisis dilakukan terhadap tren publikasi, sumber jurnal, sitasi, kata kunci, serta visualisasi VOSviewer berupa density, overlay, dan network visualization. Hasil menunjukkan tren publikasi meningkat tajam pada 2024–2025, dengan Computer Graphics Forum dan ACM Transactions on Graphics sebagai jurnal dominan. Struktur kata kunci menunjukkan tiga orientasi tematik utama, yaitu rekonstruksi dan pemrosesan gerak berbasis deep learning, animasi karakter dan kontrol fisik, serta aplikasi lintas domain seperti realitas virtual, avatar, dan bahasa isyarat. Studi ini mengidentifikasi kesenjangan penelitian pada integrasi motion capture dengan pedagogi produksi animasi serta pada representasi geografis riset di luar kawasan dominan. Novelty penelitian ini terletak pada pemetaan konvergensi antara evolusi teknis motion capture dan konteks produksi animasi digital sebagai satu kesatuan struktur pengetahuan, bukan sekadar tinjauan teknologi tunggal. Hasil penelitian ini diharapkan memberi peta jalan bagi peneliti, pendidik vokasi animasi, dan pengembang teknologi dalam merancang agenda riset lanjutan yang lebih terarah.



© 2026 The Authors.

This is an open access article under the CC BY-NC-SA license  
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>)

### Corresponding Author:

Alzet Rama,

[alzetrama@unp.ac.id](mailto:alzetrama@unp.ac.id)

## Pendahuluan

Industri animasi digital global telah mengalami transformasi besar dalam satu dekade terakhir seiring dengan konvergensi antara komputer grafis, kecerdasan buatan, dan teknologi penangkapan gerak (motion capture). Motion capture memungkinkan gerak tubuh manusia direkam secara presisi dan ditransfer ke dalam model karakter digital, sehingga produksi animasi tidak lagi sepenuhnya bergantung pada teknik keyframe manual yang memakan waktu. Perkembangan ini didorong pula oleh permintaan industri film, gim, media interaktif, dan realitas virtual terhadap karakter digital yang semakin realistis dan responsif. Secara regional, adopsi teknologi motion capture tidak merata. Data pada dataset penelitian ini menunjukkan dominasi kontribusi riset dari kawasan Asia Timur, Amerika Utara, dan Eropa Barat, sementara representasi dari kawasan lain relatif terbatas. Ketimpangan ini mencerminkan pola umum pada riset komputer grafis dan animasi digital,

di mana pusat-pusat unggulan (center of excellence) cenderung terkonsentrasi pada institusi dengan infrastruktur laboratorium grafis komputer yang mapan.

Pada konteks nasional, khususnya di negara-negara berkembang, pemanfaatan motion capture dalam pendidikan vokasi animasi dan industri kreatif digital masih berada pada tahap awal. Keterbatasan akses terhadap perangkat motion capture berbiaya tinggi serta minimnya kurikulum yang mengintegrasikan teknologi ini secara mendalam menjadi tantangan tersendiri, meskipun kebutuhan terhadap tenaga kerja animasi yang menguasai teknologi mutakhir terus meningkat. Permasalahan penelitian muncul ketika sejumlah besar publikasi ilmiah tentang motion capture dalam animasi tersebar di berbagai disiplin mulai dari ilmu komputer, teknik, hingga seni dan humaniora tanpa adanya pemetaan struktur pengetahuan yang terintegrasi. Akibatnya, peneliti baru maupun pengambil kebijakan pendidikan vokasi kesulitan mengidentifikasi tema dominan, tren yang sedang berkembang, serta celah penelitian yang benar-benar relevan dengan kebutuhan produksi animasi kontemporer. Berdasarkan audit dataset penelitian ini, ditemukan bahwa 229 artikel jurnal terindeks Scopus pada rentang 2021–2025 membahas motion capture dalam konteks animasi, tersebar pada 115 judul jurnal berbeda, dengan intensitas publikasi yang meningkat tajam pada dua tahun terakhir (2024 dan 2025 menyumbang 114 dari 229 dokumen, atau sekitar 49,8 persen dari keseluruhan korpus). Pola ini mengindikasikan bahwa domain ini sedang berada pada fase pertumbuhan (growth phase), namun pemetaan sistematis terhadap arah pertumbuhan tersebut belum banyak dilakukan.

Berdasarkan audit awal dan analisis kata kunci pada dataset, ditemukan bahwa mayoritas penelitian terkonsentrasi pada aspek teknis pemrosesan data gerak seperti rekonstruksi pose, sintesis gerak berbasis deep learning, dan kontrol karakter berbasis fisika sementara keterkaitan motion capture dengan proses produksi animasi digital secara kelembagaan (studio, pipeline produksi, dan pendidikan vokasi) relatif jarang menjadi fokus artikel yang terindeks. Kata kunci seperti 'computer animation', 'character animation', dan 'animation systems' muncul dengan frekuensi yang jauh lebih rendah dibandingkan kata kunci teknis seperti 'motion capture', 'deep learning', dan 'character animation'. Hal ini mengindikasikan gap antara riset teknologi inti motion capture dan riset terapan pada konteks produksi maupun pendidikan animasi.

Novelty penelitian ini terletak pada upaya memetakan struktur pengetahuan motion capture secara terintegrasi dengan konteks produksi animasi digital, menggunakan kombinasi analisis bibliometrik kuantitatif (tren publikasi, sitasi, sumber) dan visualisasi VOSviewer (density, overlay temporal, dan network co-occurrence keyword), sehingga diperoleh gambaran evolusi tematik dari kluster teknis (pemrosesan gerak dan pembelajaran mendalam) menuju kluster aplikatif (animasi karakter, realitas virtual, avatar, dan bahasa isyarat) dalam satu dataset yang sama. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) memetakan tren publikasi motion capture dalam animasi digital periode 2021–2025; (2) mengidentifikasi sumber jurnal, penulis, dan artikel paling berpengaruh pada domain ini; (3) menganalisis struktur tematik melalui visualisasi VOSviewer; dan (4) merumuskan agenda penelitian masa depan berdasarkan celah yang teridentifikasi dari data.

## Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan bibliometrik kuantitatif dengan sumber data tunggal Scopus (Elsevier), sesuai hierarki sumber data yang ditetapkan pada protokol penelitian ini. Prosedur pencarian data disusun berdasarkan dokumen narasi metode yang menyertai dataset dan divalidasi silang dengan tangkapan layar hasil analisis Scopus (Scopus Analyze Search Results).

Strategi pencarian menggunakan Boolean string pada bidang TITLE-ABS-KEY sebagai berikut: TITLE-ABS-KEY(("motion capture" OR mocap OR "performance capture" OR "human motion capture" OR "markerless motion capture" OR "marker-based motion capture") AND (animation\* OR "digital animation" OR "computer animation" OR "3D animation" OR "character animation" OR "animated film")). Pencarian awal menghasilkan 2.581 dokumen.

**Tabel 1.** Tahapan Seleksi Dokumen

| Tahap Seleksi | Kriteria                                                      | Jumlah Dokumen |
|---------------|---------------------------------------------------------------|----------------|
| 1             | Hasil pencarian Boolean awal (seluruh tahun)                  | 2.581          |
| 2             | Pembatasan tahun publikasi 2021–2025                          | 649            |
| 3             | Pembatasan jenis sumber = Jurnal (Source type: Journal)       | 254            |
| 4             | Pembatasan jenis dokumen = Artikel (Document type: Article)   | 233            |
| 5             | Pembatasan tahap publikasi = Final (Publication stage: Final) | 229            |

Data akhir sejumlah 229 dokumen diekspor dalam format CSV lengkap dengan metadata penulis, afiliasi, abstrak, kata kunci penulis dan indeks, jumlah sitasi, serta daftar referensi. Analisis co-occurrence kata kunci dan visualisasi peta pengetahuan dilakukan menggunakan VOSviewer, menghasilkan tiga jenis visualisasi yang dianalisis pada bagian Hasil dan Pembahasan: peta kepadatan (density visualization), peta overlay temporal (overlay visualization), dan peta jaringan (network visualization). Analisis deskriptif tambahan (tren tahun, sumber, penulis, dan sitasi) dilakukan langsung terhadap berkas CSV Scopus.

Sesuai prinsip anti-hallucination yang diterapkan pada penelitian ini, seluruh angka dan interpretasi dibatasi hanya pada informasi yang benar-benar tersedia pada dataset. Beberapa metrik VOSviewer standar seperti jumlah klaster, jumlah node, jumlah link, dan Total Link Strength tidak tercantum secara numerik pada berkas visualisasi (gambar) yang tersedia, sehingga metrik-metrik tersebut tidak dilaporkan sebagai angka pasti; analisis jaringan kata kunci pada penelitian ini dibatasi pada pengamatan kualitatif terhadap posisi, ukuran label, dan pengelompokan warna yang tampak pada visualisasi.

## Hasil dan Pembahasan

### Tren Publikasi

Distribusi dokumen berdasarkan tahun publikasi ditampilkan pada Tabel 2. Data menunjukkan pola pertumbuhan yang tidak linear namun secara umum meningkat, dengan lonjakan signifikan pada tahun 2024 dan 2025.

**Tabel 2.** Distribusi Dokumen Berdasarkan Tahun Publikasi

| Tahun | Jumlah Dokumen | Persentase (%) |
|-------|----------------|----------------|
| 2021  | 40             | 17,5           |
| 2022  | 44             | 19,2           |
| 2023  | 31             | 13,5           |
| 2024  | 55             | 24,0           |
| 2025  | 59             | 25,8           |
| Total | 229            | 100            |

Penurunan jumlah dokumen pada tahun 2023 (31 dokumen) dibandingkan tahun 2022 (44 dokumen) merupakan temuan yang tercatat apa adanya dari dataset; penyebab pasti penurunan ini apakah karena faktor pergeseran fokus riset, keterlambatan indeksasi Scopus, atau faktor lain tidak dapat diverifikasi dari dataset yang tersedia sehingga tidak diinterpretasikan lebih lanjut. Lonjakan pada 2024–2025, yang bersama-sama menyumbang hampir separuh (49,8%) dari total dokumen, konsisten dengan narasi umum bahwa integrasi deep learning ke dalam pipeline motion capture semakin intensif dibahas pada periode ini, sebagaimana tercermin pula pada frekuensi kata kunci 'deep learning' yang menempati posisi ketiga tertinggi (Tabel 5).

### Sumber (Jurnal), Sitasi, dan Dokumen Berpengaruh

Tabel 3 disajikan untuk mengidentifikasi jurnal mana yang menjadi wadah utama diseminasi riset motion capture dalam animasi digital, sekaligus untuk melihat apakah domain ini terkonsentrasi pada segelintir sumber atau tersebar merata. Data menunjukkan bahwa dari 115 jurnal unik yang menerbitkan 229 dokumen, hanya dua jurnal Computer Graphics Forum dan ACM Transactions on Graphics yang masing-masing menyumbang 26 dokumen, atau bersama-sama sekitar 22,7% dari seluruh korpus. Sepuluh jurnal teratas pada Tabel 3 secara kumulatif menyumbang 102 dari 229 dokumen (44,5%), sementara sisanya (55,5%) tersebar pada 105 jurnal lain dengan kontribusi rata-rata sangat kecil. Pola ini menunjukkan struktur diseminasi yang cenderung terkonsentrasi (skewed) namun tetap memiliki ekor panjang (long tail) sumber-sumber minor, sebuah pola yang lazim ditemukan pada bidang riset interdisipliner yang sedang tumbuh.

Dominasi Computer Graphics Forum dan ACM Transactions on Graphics keduanya jurnal inti komunitas SIGGRAPH/Eurographics mengindikasikan bahwa secara kelembagaan, riset motion capture dalam animasi digital masih diposisikan terutama sebagai bagian dari disiplin ilmu komputer grafis (computer graphics), bukan sebagai bagian dari jurnal-jurnal seni, desain, atau pendidikan animasi. Temuan ini konsisten dengan hasil analisis kata kunci pada Tabel 5, yang juga didominasi istilah teknis seperti 'deep learning' dan 'neural networks', serta memperkuat interpretasi pada density visualization (Gambar 1) bahwa inti pengetahuan bidang ini bersifat komputasional. Munculnya IEEE Access, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, dan IEEE Sensors Journal pada sepuluh besar juga menunjukkan

kontribusi signifikan dari komunitas teknik elektro dan sistem sensor, yang relevan dengan tren integrasi motion capture berbasis sensor wearable sebagaimana teramati pada overlay visualization (Gambar 2).

**Tabel 3.** Sepuluh Sumber Jurnal dengan Jumlah Publikasi Terbanyak

| Nama Jurnal                                                            | Jumlah Dokumen |
|------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Computer Graphics Forum                                                | 26             |
| ACM Transactions on Graphics                                           | 26             |
| Computer Animation and Virtual Worlds                                  | 10             |
| IEEE Access                                                            | 9              |
| IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics               | 6              |
| Applied Mathematics and Nonlinear Sciences                             | 6              |
| Proceedings of the ACM on Computer Graphics and Interactive Techniques | 5              |
| Sensors                                                                | 5              |
| IEEE Sensors Journal                                                   | 5              |
| International Journal of Advanced Computer Science and Applications    | 4              |

Implikasi teoritisnya, konsentrasi publikasi pada jurnal-jurnal komputer grafis papan atas menegaskan bahwa kerangka teoretis yang mendasari riset motion capture dalam animasi lebih banyak bersumber dari teori pemrosesan sinyal, geometri komputasional, dan pembelajaran mesin, dibandingkan teori estetika atau naratif animasi. Implikasi praktisnya, peneliti dan penulis dari latar belakang pendidikan seni atau vokasi animasi yang ingin mempublikasikan temuan pada domain ini perlu mempertimbangkan standar metodologis jurnal-jurnal komputer grafis tersebut, atau sebaliknya mencari peluang publikasi pada jurnal aplikatif (seperti Computer Animation and Virtual Worlds) yang secara tematik berada di titik temu antara riset teknis dan penerapan produksi animasi. Bagi agenda riset ke depan, keterbatasan keterwakilan jurnal seni/pendidikan pada sepuluh besar sumber ini memperkuat urgensi penelitian terapan yang menjembatani kedua komunitas tersebut. Total sitasi kumulatif pada seluruh dataset tercatat 2.636 sitasi (kolom Cited by pada CSV Scopus), dengan 33 dari 229 dokumen (14,4%) belum memperoleh sitasi pada saat pengambilan data. Sepuluh dokumen dengan sitasi tertinggi ditampilkan pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Sepuluh Dokumen dengan Sitasi Tertinggi

| Penulis (Tahun)         | Judul (disingkat)                                                  | Sitasi |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------|
| Habermann et al. (2021) | Real-time deep dynamic characters                                  | 143    |
| Nyatsanga et al. (2023) | A Comprehensive Review of Data-Driven Co-Speech Gesture Generation | 116    |
| Zhang et al. (2021)     | ManipNet: Neural Manipulation Synthesis...                         | 113    |
| Won et al. (2022)       | Physics-based character controllers using conditional VAEs         | 103    |
| Ghorbani et al. (2023)  | ZeroEGGS: Zero-shot Example-based Gesture Generation               | 88     |
| Mourot et al. (2022)    | A Survey on Deep Learning for Skeleton-Based Human Animation       | 79     |
| Starke et al. (2021)    | Neural animation layering for synthesizing martial arts movements  | 78     |
| Ahuja et al. (2021)     | CoolMoves: User Motion Accentuation in VR                          | 74     |
| Fussell et al. (2021)   | SuperTrack                                                         | 64     |
| Li et al. (2021)        | Learning skeletal articulations with neural blend shapes           | 62     |

Dominasi Computer Graphics Forum dan ACM Transactions on Graphics, baik dari sisi jumlah publikasi maupun sitasi dokumen tertinggi, menegaskan bahwa domain motion capture dalam animasi digital secara intelektual berakar kuat pada komunitas riset komputer grafis (computer graphics community) dan bukan semata komunitas seni animasi. Seluruh sepuluh dokumen tersitasi tertinggi terbit pada rentang 2021–2023, sebuah pola yang wajar mengingat dokumen yang lebih lama secara kumulatif memiliki waktu lebih panjang untuk memperoleh sitasi dibandingkan dokumen 2024–2025.

#### Kata Kunci Penulis (Author Keywords)

Dari 229 dokumen, 209 (91,3%) mencantumkan kata kunci penulis; 20 dokumen tidak mencantumkan kata kunci sehingga tidak diikutsertakan pada perhitungan frekuensi. Sebelas kata kunci dengan frekuensi tertinggi ditampilkan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Kata Kunci Penulis dengan Frekuensi Tertinggi

| Kata Kunci             | Frekuensi |
|------------------------|-----------|
| motion capture         | 66        |
| animation              | 29        |
| deep learning          | 26        |
| character animation    | 23        |
| virtual reality        | 11        |
| machine learning       | 7         |
| neural networks        | 7         |
| reinforcement learning | 7         |
| motion control         | 7         |
| motion synthesis       | 6         |
| motion tracking        | 6         |

### Negara Kontributor (Berdasarkan Grafik Analyze Search Results Scopus)

Berdasarkan grafik 'Documents by country/territory' pada tangkapan layar Scopus Analyze Search Results (Gambar 1), sepuluh negara dengan jumlah dokumen terbanyak secara berurutan adalah China, India, Amerika Serikat, Korea Selatan, Inggris, Jerman, Kanada, Perancis, Hong Kong, dan Jepang. Nilai numerik pasti untuk masing-masing negara tidak tercantum secara eksplisit pada tangkapan layar (grafik batang tanpa label angka), sehingga angka pasti per negara dinyatakan tidak dapat diverifikasi dan tidak digunakan sebagai statistik presisi dalam pembahasan; informasi ini digunakan semata sebagai data urutan peringkat (ranking) kontribusi negara.



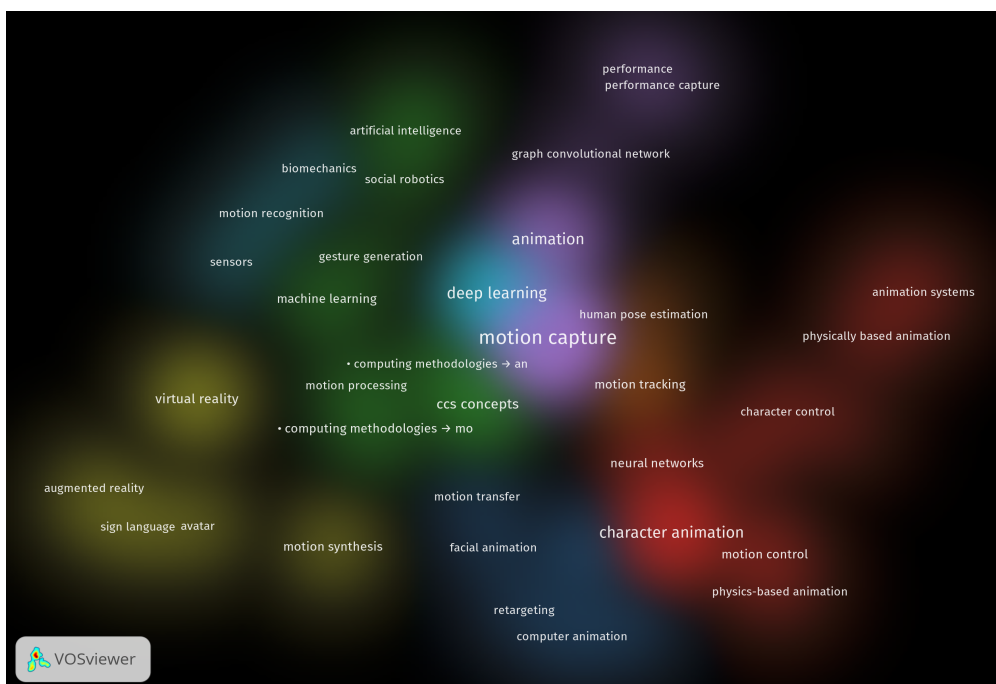
**Gambar 1.** Tangkapan Layar Scopus Analyze Search Results Panel Documents by Affiliation, Documents by Country/Territory, Documents by Type, Documents by Subject Area, dan Documents by Funding Sponsor (Sumber: Scopus, diakses melalui menu Analyze Search Results pada query dataset penelitian)

Gambar 1 ditampilkan untuk memberikan bukti visual langsung dari sumber resmi Scopus atas klaim urutan peringkat negara, afiliasi, jenis dokumen, bidang subjek, dan sponsor pendanaan yang dibahas pada bagian ini. Panel 'Documents by country/territory' pada gambar menempatkan China pada posisi teratas,

diikuti India, Amerika Serikat, Korea Selatan, dan Inggris sebuah pola yang konsisten dengan dominasi afiliasi Tiongkok (Tsinghua University, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan Textile University) yang juga teramati pada audit afiliasi penulis di CSV Scopus. Karena Scopus menampilkan panel ini sebagai diagram batang horizontal tanpa label angka eksplisit pada tangkapan layar, penelitian ini secara konsisten hanya menggunakannya sebagai bukti peringkat kualitatif, bukan sebagai sumber statistik kuantitatif presisi, sejalan dengan prinsip anti-hallucination yang diterapkan pada seluruh tahap analisis. Panel 'Documents by type' pada gambar yang sama juga mengonfirmasi ulang temuan pada Tahap 1 dan Tabel 2, yaitu bahwa 100% dokumen pada dataset berjenis Article, sehingga menjadi validasi silang independen bagi keandalan data CSV yang menjadi sumber utama analisis. Implikasi praktisnya, peneliti lanjutan yang ingin memperoleh angka pasti kontribusi tiap negara disarankan mengunduh tabel 'Documents by country/territory' dalam format CSV dari Scopus (bukan hanya tangkapan layar grafik), agar analisis kolaborasi internasional dapat dilakukan secara kuantitatif.

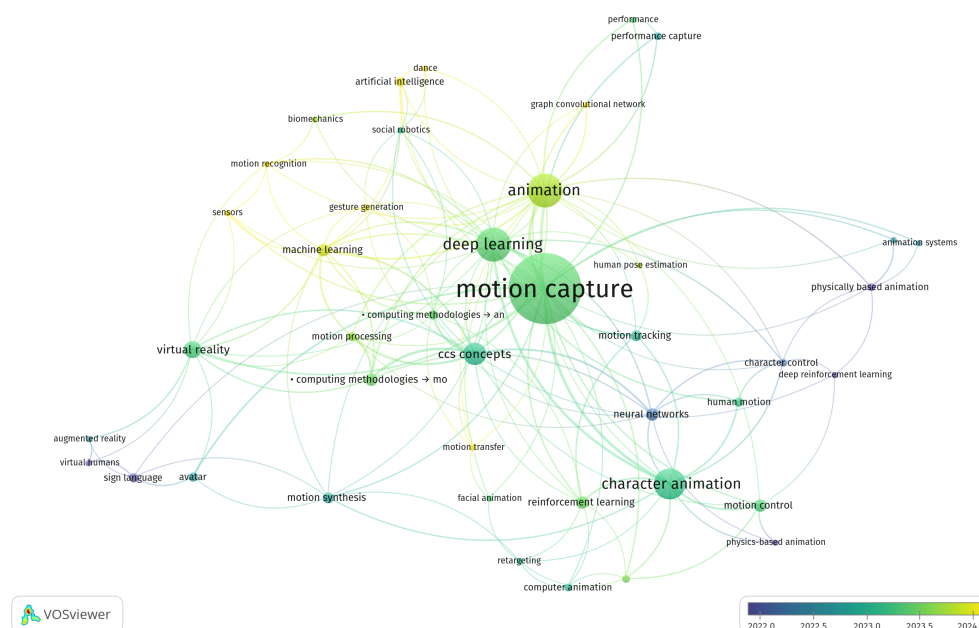
### Interpretasi Visualisasi VOSviewer

Gambar 2 menampilkan peta kepadatan (density visualization) yang bertujuan menunjukkan intensitas kemunculan dan keterkaitan antar-istilah pada korpus penelitian. Wilayah dengan warna paling terang (kuning kehijauan) berpusat pada istilah 'motion capture', yang berarti istilah ini merupakan simpul dengan kepadatan tertinggi pada peta, diikuti oleh 'character animation', 'animation', dan 'deep learning' yang juga tampak menonjol dengan label berukuran besar. Sebaliknya, istilah seperti 'sign language', 'avatar', 'augmented reality', dan 'facial animation' berada pada area dengan kepadatan visual yang lebih rendah, menandakan istilah-istilah ini muncul namun dengan intensitas keterkaitan yang lebih tipis dibanding kluster inti. Pola ini konsisten dengan hasil frekuensi kata kunci pada Tabel 5, yang juga menempatkan 'motion capture', 'animation', 'deep learning', dan 'character animation' sebagai empat istilah dengan frekuensi tertinggi.



**Gambar 2.** Density Visualization Co-occurrence Kata Kunci (Sumber: VOSviewer, diolah dari 229 dokumen dataset penelitian)

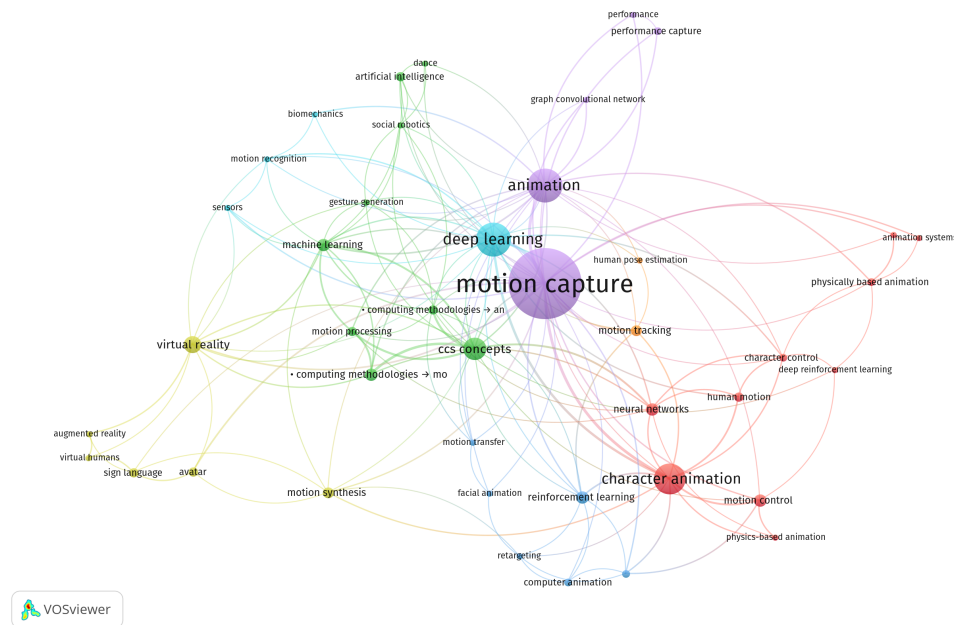
Dari perspektif teori evolusi tematik pada bibliometrik, kepadatan tinggi pada istilah inti mengindikasikan bahwa domain penelitian ini masih berputar pada isu-isu teknis mendasar yaitu bagaimana data gerak ditangkap, diproses, dan ditransfer ke karakter animasi dan belum banyak bergerak menuju isu-isu aplikatif lintas domain secara merata. Implikasi teoritisnya, konsep motion capture dalam literatur ini masih diposisikan terutama sebagai persoalan rekayasa sinyal dan pembelajaran mesin, bukan sebagai bagian dari wacana produksi kreatif animasi secara luas. Implikasi praktisnya, peneliti yang ingin berkontribusi pada celah penelitian (research gap) sebaiknya mengarahkan perhatian pada area-area kepadatan rendah seperti aplikasi motion capture pada pendidikan animasi, bahasa isyarat, dan realitas tertambah, karena area tersebut secara relatif belum jenuh dibahas.



**Gambar 3.** Overlay Visualization (Evolusi Temporal Kata Kunci) (Sumber: VOSviewer, skala warna 2022–2024)

Gambar 3 menampilkan overlay visualization yang memetakan rata-rata tahun kemunculan (average publication year) setiap istilah pada skala warna dari ungu tua (lebih lama, mendekati 2022) hingga kuning (lebih baru, mendekati 2024). Istilah-istilah yang tampak berwarna kuning atau kuning-hijau seperti 'artificial intelligence', 'dance', 'sensors', 'machine learning', dan 'motion transfer' mengindikasikan istilah yang secara rata-rata lebih baru muncul atau lebih intensif dibahas pada publikasi-publikasi terkini dalam dataset. Sebaliknya, istilah berwarna ungu atau biru tua seperti 'performance capture', 'graph convolutional network', 'animation systems', dan 'physically based animation' menunjukkan istilah yang secara rata-rata lebih banyak dibahas pada publikasi periode sebelumnya dalam rentang dataset. Istilah inti 'motion capture', 'character animation', dan 'deep learning' berada pada rentang warna hijau, yang mengindikasikan istilah tersebut relatif konsisten dibahas sepanjang periode 2021–2025 tanpa pergeseran tajam ke satu ujung waktu tertentu. Pola pewarnaan ini secara akademik dapat diinterpretasikan sebagai indikasi pergeseran perhatian riset dari topik-topik representasi teknis murni (graph convolutional network, physically based animation) ke arah topik yang lebih berorientasi interaksi dan penerapan (dance, sensors, motion transfer), meskipun istilah inti motion capture sendiri tetap menjadi jangkar tematik yang stabil. Implikasi praktisnya, tren riset ke depan kemungkinan akan semakin mengarah pada integrasi sensor dan kecerdasan buatan generatif untuk transfer gerak, sebuah arah yang relevan bagi pengembangan kurikulum vokasi animasi yang adaptif terhadap perkembangan teknologi.

Gambar 3 menampilkan network visualization yang mengelompokkan istilah ke dalam beberapa kluster berdasarkan warna simpul dan garis penghubung. Secara kualitatif (tanpa mengklaim jumlah kluster atau Total Link Strength yang presisi, karena angka tersebut tidak tercantum pada berkas gambar), dapat diamati beberapa pengelompokan warna: kluster berwarna hijau yang berpusat pada 'deep learning', 'machine learning', dan 'ccs concepts' beserta istilah terkait computing methodologies; kluster berwarna ungu yang berpusat pada 'motion capture' dan 'animation' beserta 'performance capture' dan 'graph convolutional network'; kluster berwarna merah/oranye yang berpusat pada 'character animation', 'neural networks', dan 'motion control' beserta 'reinforcement learning' dan 'deep reinforcement learning'; kluster berwarna biru yang mencakup 'facial animation', 'retargeting', dan 'computer animation'; serta kluster berwarna kuning yang mencakup 'virtual reality', 'sign language', 'avatar', dan 'motion synthesis'.



**Gambar 4.** Network Visualization Co-occurrence Kata Kunci (Sumber: VOSviewer)

Pola ini menunjukkan bahwa domain motion capture dalam animasi digital terbagi menjadi sub-struktur teknis (pembelajaran mesin dan kontrol berbasis penguatan) dan sub-struktur aplikatif (realitas virtual, avatar, dan bahasa isyarat) yang saling terhubung melalui simpul sentral 'motion capture'. Posisi sentral 'motion capture' yang menghubungkan hampir seluruh kluster berwarna mengindikasikan perannya sebagai bridging concept, sejalan dengan teori jaringan pengetahuan (knowledge network) yang memandang istilah dengan derajat keterhubungan tinggi sebagai penopang koherensi suatu bidang riset. Implikasi teoritisnya, riset motion capture pada animasi digital berkembang secara multidisiplin namun tetap terikat pada satu inti konseptual yang sama, sehingga peneliti lintas kluster masih dapat saling merujuk pada literatur inti motion capture yang sama.

## Pembahasan

Temuan pada penelitian ini menunjukkan bahwa struktur pengetahuan motion capture dalam animasi digital bergerak pada dua sumbu utama: sumbu teknis-komputasional dan sumbu aplikatif-kreatif. Pada sumbu teknis, dominasi kata kunci 'deep learning', 'machine learning', dan 'neural networks' (Tabel 5), yang juga tampak menonjol pada density visualization (Gambar 1), menegaskan bahwa transformasi motion capture kontemporer sangat dipengaruhi oleh kemajuan pembelajaran mendalam dalam merekonstruksi, membersihkan (denoising), dan mensintesis data gerak. Temuan ini konsisten dengan artikel bersitasi tertinggi pada dataset, seperti karya Habermann dkk. (2021) tentang karakter dinamis waktu nyata dan Won dkk. (2022) tentang pengendali karakter berbasis fisika menggunakan conditional VAE, yang keduanya menempatkan pembelajaran mesin sebagai inti metodologis.

Pada sumbu aplikatif, klaster kuning pada network visualization (Gambar 3) yang memuat 'virtual reality', 'avatar', dan 'sign language' menunjukkan bahwa motion capture juga meluas ke ranah aplikasi sosial dan aksesibilitas, sebagaimana tercermin pada artikel dataset tentang narasi bahasa isyarat pada museum (Partarakis dkk., 2022) dan sintesis gerak reaktif terkendali (Zhang dkk., 2025). Perluasan ini sejalan dengan pandangan bahwa motion capture bukan lagi sekadar alat produksi visual efek, melainkan medium representasi tubuh manusia yang berimplikasi pada inklusi digital, pelestarian budaya, dan interaksi manusia-komputer.

Meningkatnya proporsi dokumen pada 2024–2025 (49,8% dari total korpus) yang berisikan dengan meningkatnya frekuensi istilah bernuansa kecerdasan buatan generatif pada overlay visualization (Gambar 2) memberikan indikasi bahwa arah riset ke depan kemungkinan besar akan semakin berorientasi pada model generatif untuk sintesis gerak (motion synthesis) dan transfer gerak (motion transfer) dari data sparse atau data sensor wearable, sebagaimana tergambar pada artikel Reda dkk. (2023) tentang physics-based motion retargeting dari input sparse dan Ponton dkk. (2023) tentang rekonstruksi gerak tubuh penuh secara waktu nyata dari data terbatas. Tren ini relevan bagi pengembangan sistem motion capture berbiaya rendah

yang lebih dapat diakses oleh studio animasi skala kecil maupun lembaga pendidikan vokasi, yang selama ini terkendala oleh mahalanya perangkat motion capture optik konvensional.

Namun demikian, kepadatan rendah pada istilah yang secara eksplisit terkait dengan konteks pendidikan, pipeline produksi studio, dan pedagogi animasi (Gambar 1) mengindikasikan adanya jarak antara riset teknologi inti motion capture dan riset penerapannya pada konteks pembelajaran vokasi. Dari perspektif Technical and Vocational Education and Training (TVET), kesenjangan ini penting untuk diperhatikan karena penguasaan teknologi motion capture oleh lulusan program vokasi animasi akan sangat bergantung pada tersedianya literatur dan model pembelajaran yang menjembatani riset teknis dengan praktik pengajaran keterampilan produksi animasi.

Perlu ditegaskan bahwa dominasi kontributor dari kawasan tertentu (Tiongkok, Amerika Serikat, dan sejumlah negara Eropa dan Asia Timur lainnya, berdasarkan urutan peringkat pada grafik Scopus) menegaskan pola sentralisasi geografis riset komputer grafis pada umumnya. Sesuai Golden Rules penelitian ini, angka pasti kontribusi tiap negara tidak dilaporkan karena tidak tersedia secara eksplisit pada dataset, namun pola peringkat ini tetap relevan untuk didiskusikan sebagai indikasi ketimpangan representasi riset global, yang berimplikasi pada perlunya kolaborasi riset lintas kawasan agar temuan teknologi motion capture lebih inklusif terhadap konteks industri animasi di kawasan yang selama ini kurang terwakili. Berdasarkan hasil analisis kata kunci dan visualisasi VOSviewer, kerangka konseptual penelitian ini disusun dari tiga komponen yang benar-benar muncul pada dataset, yaitu: (1) Komponen Teknis-Komputasional, mencakup motion capture, deep learning, machine learning, neural networks, dan reinforcement learning; (2) Komponen Representasi dan Kontrol Karakter, mencakup character animation, motion control, motion synthesis, motion tracking, dan retargeting; serta (3) Komponen Aplikasi dan Konteks Sosial, mencakup virtual reality, avatar, sign language, dan facial animation. Ketiga komponen ini saling terhubung melalui simpul sentral motion capture sebagaimana tergambar pada network visualization (Gambar 3). Variabel-variabel di luar ketiga komponen ini misalnya variabel ekonomi produksi, kebijakan industri, atau model bisnis animasi tidak muncul pada hasil co-occurrence kata kunci dataset ini sehingga tidak dimasukkan ke dalam kerangka konseptual, sesuai prinsip bahwa kerangka konseptual harus berbasis bukti bibliometrik yang tersedia.

## Simpulan

Penelitian ini memetakan struktur pengetahuan global motion capture dalam produksi animasi digital berdasarkan 229 artikel jurnal terindeks Scopus periode 2021–2025. Tren publikasi meningkat signifikan pada 2024–2025, dengan Computer Graphics Forum dan ACM Transactions on Graphics sebagai jurnal paling produktif. Struktur tematik menunjukkan tiga komponen utama teknis-komputasional, representasi/kontrol karakter, dan aplikasi sosial yang saling terhubung melalui konsep inti motion capture. Kesenjangan penelitian teridentifikasi pada aspek penerapan motion capture dalam konteks pendidikan vokasi animasi serta pada representasi geografis riset di luar kawasan dominan. Implikasi teoritis: penelitian ini memperkuat pemahaman bahwa motion capture berfungsi sebagai bridging concept yang menghubungkan riset komputer grafis teknis dengan riset aplikatif lintas domain, memperkaya literatur bibliometrik pada bidang animasi digital yang masih relatif terbatas. Implikasi praktis: bagi pengembang teknologi dan studio animasi, temuan ini menunjukkan arah investasi riset yang relevan (motion synthesis berbasis data sparse dan sensor wearable). Bagi institusi pendidikan vokasi, hasil ini menegaskan perlunya pengembangan kurikulum yang menjembatani teknologi motion capture mutakhir dengan praktik produksi animasi di kelas. Penelitian ini memiliki sejumlah keterbatasan. Pertama, dataset hanya bersumber dari Scopus dan tidak mencakup basis data lain seperti Web of Science atau Google Scholar, sehingga cakupan riset dapat berbeda apabila menggunakan basis data lain. Kedua, metrik jaringan VOSviewer yang bersifat kuantitatif presisi (jumlah kluster, node, link, dan Total Link Strength) tidak dapat dilaporkan karena tidak tersedia secara eksplisit pada berkas visualisasi yang diunggah; analisis jaringan pada penelitian ini bersifat kualitatif berdasarkan pengamatan visual. Ketiga, data jumlah dokumen per negara hanya tersedia dalam bentuk peringkat pada grafik Scopus tanpa nilai numerik pasti, sehingga analisis kolaborasi antarnegara tidak dapat dilakukan secara kuantitatif mendalam pada penelitian ini. Berdasarkan celah yang teridentifikasi, agenda penelitian masa depan yang disarankan meliputi: (1) kajian empiris tentang penerapan motion capture pada kurikulum dan pembelajaran vokasi animasi; (2) studi bibliometrik lanjutan yang menggabungkan Scopus dengan Web of Science untuk memperluas cakupan geografis dan disiplin; (3) analisis co-authorship dan kolaborasi internasional yang menggunakan data numerik lengkap (bukan hanya grafik peringkat) untuk memetakan jaringan kolaborasi riset secara presisi; serta (4) penelitian tentang

aksesibilitas teknologi motion capture berbiaya rendah berbasis sensor wearable bagi studio animasi skala kecil dan lembaga pendidikan di kawasan yang kurang terwakili dalam dataset ini.

## Referensi

- Ahuja, K., Ofek, E., Gonzalez-Franco, M., Holz, C., & Wilson, A. D. (2021). CoolMoves: User Motion Accentuation in Virtual Reality. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, 5(2), Art. 63. <https://doi.org/10.1145/3463499>
- Ami-Williams, T., Serghides, C.-G., & Aristidou, A. (2024). Digitizing traditional dances under extreme clothing: The case study of Eyo. *Journal of Cultural Heritage*, 67, 145-157. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2024.02.011>
- Bailey, S. W., Riviere, J., Mikkelsen, M., & O'Brien, J. F. (2022). Monocular Facial Performance Capture Via Deep Expression Matching. *Computer Graphics Forum*, 41(8), 243-254. <https://doi.org/10.1111/cgf.14639>
- Cannavo, A., Offre, G., & Lamberti, F. (2025). A Semiautomated Pipeline for the Creation of Virtual Fitting Room Experiences Featuring Motion Capture and Cloth Simulation. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 45(1), 84-98. <https://doi.org/10.1109/MCG.2024.3521716>
- Chen, K., Wang, Y., Zhang, S.-H., Xu, S.-Z., Zhang, W., & Hu, S.-M. (2021). MoCap-solver: A neural solver for optical motion capture data. *ACM Transactions on Graphics*, 40(4), Art. 84. <https://doi.org/10.1145/3450626.3459681>
- Choi, J.-Y., Ha, E., Son, M., Jeon, J.-H., & Kim, J.-W. (2024). Human Joint Angle Estimation Using Deep Learning-Based Three-Dimensional Human Pose Estimation for Application in a Real Environment. *Sensors*, 24(12), Art. 3823. <https://doi.org/10.3390/s24123823>
- Dai, J., & Xue, F. (2024). Action capture method of animated characters based on virtual reality technology. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 9(1), Art. 20242714. <https://doi.org/10.2478/amns-2024-2714>
- Dawn, S., & Bhattacharya, M. (2025). Dancing into the digital age: Preserving Indian classical dance narratives through virtual avatars. *ShodhKosh: Journal of Visual and Performing Arts*, 6(2), 157-169. <https://doi.org/10.29121/shodhkosh.v6.i2.2025.6273>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285-296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Dzardanova, E., Nikolakopoulou, V., Kasapakis, V., Vosinakis, S., Xenakis, I., & Gavalas, D. (2024). Exploring the impact of non-verbal cues on user experience in immersive virtual reality. *Computer Animation and Virtual Worlds*, 35(1), Art. e2224. <https://doi.org/10.1002/cav.2224>
- Fraser, A. D., Branson, I., Hollett, R. C., Speelman, C. P., & Rogers, S. L. (2022). Expressiveness of real-time motion captured avatars influences perceived animation realism and perceived quality of social interaction in virtual reality. *Frontiers in Virtual Reality*, 3, Art. 981400. <https://doi.org/10.3389/frvir.2022.981400>
- Fussell, L., Bergamin, K., & Holden, D. (2021). SuperTrack. *ACM Transactions on Graphics*, 40(6), Art. 197. <https://doi.org/10.1145/3478513.3480527>
- Ghorbani, S., Ferstl, Y., Holden, D., Troje, N. F., & Carbonneau, M.-A. (2023). ZeroEGGS: Zero-shot Example-based Gesture Generation from Speech. *Computer Graphics Forum*, 42(1), 206-216. <https://doi.org/10.1111/cgf.14734>
- Grandia, R., Farshidian, F., Knoop, E., Schumacher, C., Hutter, M., & Bächer, M. (2023). DOC: Differentiable Optimal Control for Retargeting Motions onto Legged Robots. *ACM Transactions on Graphics*, 42(4), Art. 3592454. <https://doi.org/10.1145/3592454>
- Habermann, M., Liu, L., Xu, W., Zollhoefer, M., Pons-Moll, G., & Theobalt, C. (2021). Real-time deep dynamic characters. *ACM Transactions on Graphics*, 40(4), Art. 94. <https://doi.org/10.1145/3450626.3459749>
- Karuzaki, E., Partarakis, N., Patsiouras, N., Zidianakis, E., Katzourakis, A., Pattakos, A., Kaplanidi, D., Baka, E., Cadi, N., Magnenat-Thalmann, N., Ringas, C., Tasiopoulou, E., & Zabulis, X. (2021). Realistic virtual humans for cultural heritage applications. *Heritage*, 4(4), 4148-4171. <https://doi.org/10.3390/heritage4040228>
- Khalloufi, H., Zaifri, M., Benlahbib, A., Kaghat, F. Z., & Azough, A. (2024). Evaluating the Accuracy of Cloud-based 3D Human Pose Estimation Tools: A Case Study of MOTiO by RADiCAL. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 15(4), 43-54. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2024.0150406>

- Kucherenko, T., Wolfert, P., Yoon, Y., Viegas, C., Nikolov, T., Tsakov, M., & Henter, G. E. (2024). Evaluating Gesture Generation in a Large-scale Open Challenge: The GENE Challenge 2022. *ACM Transactions on Graphics*, 43(3), Art. 32. <https://doi.org/10.1145/3656374>
- Li, P., Aberman, K., Hanocka, R., Liu, L., Sorkine-Hornung, O., & Chen, B. (2021). Learning skeletal articulations with neural blend shapes. *ACM Transactions on Graphics*, 40(4), Art. 130. <https://doi.org/10.1145/3450626.3459852>
- Li, Z. (2025). Biomechanical analysis of cinematic motion: AI-driven generation and evaluation in film and animation. *Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering*, 25(6), 5375-5387. <https://doi.org/10.1177/14727978251348639>
- Loi, I., & Moustakas, K. (2025). Fatigue-PINN: Physics-Informed Fatigue-Driven Motion Modulation and Synthesis. *IEEE Access*, 13, 109378-109398. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3582731>
- Matth  , T., Ioannidis, N., & Van De Panne, M. (2025). Walk This Way: Imitation-free Reinforcement Learning of Flexibly-Constrained Walking Controllers. *Proceedings of the ACM on Computer Graphics and Interactive Techniques*, 8(4), Art. 8. <https://doi.org/10.1145/3747865>
- McDonald, J., & Filhol, M. (2021). Natural synthesis of productive forms from structured descriptions of sign language. *Machine Translation*, 35(3), 363-386. <https://doi.org/10.1007/s10590-021-09272-2>
- Meng, S., Wu, T., Zhang, F.-L., Chen, S.-Y., Ma, Y., Hu, W., & Gao, L. (2024). AvatarWild: Fully controllable head avatars in the wild. *Visual Informatics*, 8(3), 96-106. <https://doi.org/10.1016/j.visinf.2024.09.001>
- Merz, C., Krome, N., Wienrich, C., Kopp, S., & Latoschik, M. E. (2025). The Impact of AI-Based Real-Time Gesture Generation and Immersion on the Perception of Others and Interaction Quality in Social XR. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 31(11), 10131-10141. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2025.3616864>
- Moser, L., Chien, C., Williams, M., Serra, J., Hendler, D., & Roble, D. (2021). Semi-supervised video-driven facial animation transfer for production. *ACM Transactions on Graphics*, 40(6), Art. 216. <https://doi.org/10.1145/3478513.3480515>
- Mouro  , L., Hoyet, L., Le Clerc, F., Schnitzler, F., & Hellier, P. (2022). A Survey on Deep Learning for Skeleton-Based Human Animation. *Computer Graphics Forum*, 41(1), 122-157. <https://doi.org/10.1111/cgf.14426>
- Nugraha, D., Faizah, S., & Zaenudin, M. (2024). Enhancing interaction and learning experience for deaf students through sign language translator. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 34(3), 1730-1738. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v34.i3.pp1730-1738>
- Nyatsanga, S., Kucherenko, T., Ahuja, C., Henter, G. E., & Neff, M. (2023). A Comprehensive Review of Data-Driven Co-Speech Gesture Generation. *Computer Graphics Forum*, 42(2), 569-596. <https://doi.org/10.1111/cgf.14776>
- Partarakis, N., Zabulis, X., Foukarakis, M., Moutsaki, M., Zidianakis, E., Patakos, A., Adami, I., Kaplanidi, D., Ringas, C., & Tasiopoulou, E. (2022). Supporting sign language narrations in the museum. *Heritage*, 5(1), 1-20. <https://doi.org/10.3390/heritage5010001>
- Pieta, P., Jegierski, H., Babiuch, P., Jegierski, M., Plaza, M., Lukawski, G., Deniziak, S., Jasinski, A., Opalka, J., Wegrzyn, P., Igras-Cybulska, M., & Lapczynski, A. (2024). Automated Classification of Virtual Reality User Motions Using a Motion Atlas and Machine Learning Approach. *IEEE Access*, 12, 94584-94609. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3424930>
- Ponton, J. L., Yun, H., Andujar, C., & Pelechano, N. (2022). Combining Motion Matching and Orientation Prediction to Animate Avatars for Consumer-Grade VR Devices. *Computer Graphics Forum*, 41(8), 107-118. <https://doi.org/10.1111/cgf.14628>
- Ponton, J. L., Yun, H., Aristidou, A., Andujar, C., & Pelechano, N. (2023). SparsePoser: Real-time Full-body Motion Reconstruction from Sparse Data. *ACM Transactions on Graphics*, 43(1), Art. 5. <https://doi.org/10.1145/3625264>
- Quandt, L. C., Willis, A., Schwenk, M., Weeks, K., & Ferster, R. (2022). Attitudes Toward Signing Avatars Vary Depending on Hearing Status, Age of Signed Language Acquisition, and Avatar Type. *Frontiers in Psychology*, 13, Art. 730917. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.730917>
- Reda, D., Won, J., Ye, Y., Van De Panne, M., & Winkler, A. (2023). Physics-based Motion Retargeting from Sparse Inputs. *Proceedings of the ACM on Computer Graphics and Interactive Techniques*, 6(3), Art. 3606928. <https://doi.org/10.1145/3606928>
- Skublewska-Paszowska, M., Powro  nik, P., Barszcz, M., & Dziedzic, K. (2023). Dual Attention Graph Convolutional Neural Network to Support Mocap Data Animation. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 17(5), 313-325. <https://doi.org/10.12913/22998624/171592>
- Skublewska-Paszowska, M., Powro  nik, P., Barszcz, M., Dziedzic, K., & Aristidou, A. (2024). Identifying and Animating Movement of Zeibekiko Sequences by Spatial Temporal Graph Convolutional

- Network with Multi Attention Modules. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 18(8), 217-227. <https://doi.org/10.12913/22998624/193180>
- Starke, S., Zhao, Y., Zinno, F., & Komura, T. (2021). Neural animation layering for synthesizing martial arts movements. *ACM Transactions on Graphics*, 40(4), 1-16. <https://doi.org/10.1145/3450626.3459881>
- Su, Z., Wan, W., Yu, T., Liu, L., Fang, L., Wang, W., & Liu, Y. (2022). MulayCap: Multi-Layer Human Performance Capture Using a Monocular Video Camera. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 28(4), 1862-1879. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2020.3027763>
- Tessler, C., Guo, Y., Nabati, O., Chechik, G., & Peng, X. B. (2024). MaskedMimic: Unified Physics-Based Character Control Through Masked Motion Inpainting. *ACM Transactions on Graphics*, 43(6), Art. 209. <https://doi.org/10.1145/3687951>
- van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523-538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Vishwakarma, S., Li, W., Tang, C., Woodbridge, K., Adve, R., & Chetty, K. (2022). SimHumalator: An Open-Source End-to-End Radar Simulator for Human Activity Recognition. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 37(3), 6-22. <https://doi.org/10.1109/MAES.2021.3138948>
- Wei, T., Sukhbayar, B., & Cao, L. (2025). Motion Capture Using GCN and Multi-Scale Features in Virtual Human Animation. *IEEE Access*, 13, 208748-208762. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3641607>
- Won, J., Gopinath, D., & Hodgins, J. (2022). Physics-based character controllers using conditional VAEs. *ACM Transactions on Graphics*, 41(4), Art. 96. <https://doi.org/10.1145/3528223.3530067>
- Yang, A., Liu, G., Naeem, W., Wu, D., Zhou, Y., & Chen, L. (2023). A monocular 3D human pose estimation approach for virtual character skeleton retargeting. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 14(7), 9563-9574. <https://doi.org/10.1007/s12652-023-04629-2>
- Zell, E., & McDonnell, R. (2022). Compact Facial Landmark Layouts for Performance Capture. *Computer Graphics Forum*, 41(2), 121-133. <https://doi.org/10.1111/cgf.14463>
- Zhang, H., Ye, Y., Shiratori, T., & Komura, T. (2021). ManipNet: Neural Manipulation Synthesis with a Hand-Object Spatial Representation. *ACM Transactions on Graphics*, 40(4), Art. 121. <https://doi.org/10.1145/3450626.3459830>
- Zhang, X., Chang, Z., Men, Q., & Shum, H. P. H. (2025). Real-Time and Controllable Reactive Motion Synthesis via Intention Guidance. *Computer Graphics Forum*, 44(6), Art. e70222. <https://doi.org/10.1111/cgf.70222>
- Zheng, R., Mou, C., & Hu, R. (2025). PhaseTrack: Physics-Based Motion Tracking via Phase-Guided Motion Generation. *Computers and Graphics*, 132, Art. 104333. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2025.104333>