



Contents lists available at [Journal ELORA](#)

JRTI (Jurnal Riset Tindakan Indonesia)

ISSN: 2502-079X (Print) ISSN: 2503-1619 (Electronic)

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



Perkembangan dan tren riset computer animation berdasarkan data scopus

Saftrian Mukhlizul Fuad*), Bayu Ramadhan Fajri
Universitas Negeri Padang

Article Info

Article history:

Received May 12th, 2025

Revised Jun 20th, 2025

Accepted Jun 29th, 2025

Keyword:

Computer animation,
Virtual reality,
Co-word analysis

ABSTRACT

Computer animation has evolved from a mere visualization tool into a cross-disciplinary research domain that merges computer graphics, artificial intelligence, and human-computer interaction. This study maps the intellectual structure, thematic evolution, and research frontier of computer animation literature indexed in Scopus between 2021 and 2025 through a bibliometric approach. Data were retrieved from the Scopus database using the boolean string ("computer animation" OR "digital animation" OR "3D animation"); after filtering by publication year, source type, document type, and publication stage, 544 final-stage journal articles were retained for analysis using VOSviewer and Bibliometrix/Biblioshiny. The results show that scientific output grew from 93 articles in 2021 to 117 articles in 2025, accumulating 4,568 citations at an average of 8.4 citations per article. China led national productivity with 180 documents, followed by the United States (83) and the United Kingdom (43), while international collaboration accounted for only 18.4 percent of the dataset. Keyword co-occurrence analysis identified three principal thematic clusters: an animation-virtual reality-education cluster, a three-dimensional computer graphics-modelling cluster, and a human subject-controlled experiment cluster. The terms "3d animation," "computer animation," and "virtual reality" dominated the observation period, while "interactive computer graphics," "digital animation," and experimental demographic descriptors (female, male, middle aged) emerged as strengthening themes between 2023 and 2025. The study further identifies a persistent research gap in the limited representation of Southeast Asian countries, with Indonesia contributing 12 documents and Malaysia 16, alongside a scarcity of pedagogical studies relative to algorithmic-technical ones. These findings offer a directional map for researchers, journal editors, and research policymakers to shape the future agenda of computer animation research, particularly regarding the integration of generative models and their application to vocational education contexts in underrepresented regions.



© 2025The 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:

Saftrian Mukhlizul Fuad,
Univeristas Negeri Padang
Email: saftrian@unp.ac.id

Introduction

Industri kreatif digital global saat ini bertumpu pada satu kapabilitas teknis yang jarang disadari publik luas, yaitu kemampuan menggerakkan objek digital secara meyakinkan di layar. Computer animation, yang semula terbatas pada studio film dan pengembang gim, kini menopang bidang yang jauh lebih luas: simulasi bedah

dalam kedokteran, pelatihan berbasis virtual reality di industri manufaktur, rekonstruksi warisan budaya, hingga karakter virtual pada platform pembelajaran daring. Pergeseran ini tidak terjadi secara kebetulan. Ia didorong oleh konvergensi tiga arus teknologi yang saling memperkuat, yaitu grafika komputer tiga dimensi, pembelajaran mesin, dan perangkat penangkap gerak (motion capture) yang semakin terjangkau. Ketiga arus ini tercermin jelas pada literatur ilmiah: kata kunci "deep learning" muncul pada 18 dokumen dalam himpunan data penelitian ini, berdampingan dengan "motion capture" (10 dokumen) dan "artificial intelligence" (9 dokumen), menunjukkan bahwa computer animation bukan lagi sekadar cabang grafika komputer melainkan medan pertemuan berbagai disiplin komputasi.

Pada skala global, riset computer animation memperlihatkan pertumbuhan yang tidak selalu linear. Berdasarkan penelusuran awal pada basis data Scopus dengan boolean search ("computer animation" OR "digital animation" OR "3D animation"), ditemukan 6.083 dokumen tanpa batasan tahun, yang menegaskan bahwa topik ini telah lama menjadi perhatian komunitas ilmiah lintas dekade. Ketika penelusuran dipersempit pada rentang 2021–2025, jumlahnya menyusut menjadi 1.247 dokumen, dan setelah melalui rangkaian penyaringan jenis sumber, jenis dokumen, serta status publikasi, tersisa 544 artikel jurnal final yang menjadi basis analisis penelitian ini. Pola produksi tahunan pada himpunan data akhir memperlihatkan lonjakan dari 93 artikel (2021) menjadi 115 artikel (2022), sedikit melandai pada 2023 (114) dan 2024 (105), sebelum kembali naik ke 117 artikel pada 2025. Dinamika naik-turun ini konsisten dengan pola umum bidang riset yang tengah bertransisi dari fase pertumbuhan cepat menuju fase konsolidasi tematik, sebagaimana lazim terjadi ketika sebuah subbidang teknologi mulai berbaur dengan disiplin lain alih-alih tumbuh sebagai kajian yang berdiri sendiri.

Pada tingkat regional, peta kolaborasi negara memperlihatkan konsentrasi produktivitas yang tajam di kawasan Asia Timur, Amerika Utara, dan Eropa Barat. Tiongkok mencatat 180 dokumen atau sekitar sepertiga dari keseluruhan himpunan data, jauh melampaui Amerika Serikat (83 dokumen) dan Inggris (43 dokumen). Pola pendanaan turut menegaskan hal ini: National Natural Science Foundation of China (NSFC) tercatat pada 28 dokumen sebagai sponsor pendanaan terbanyak, jauh di atas National Science Foundation Amerika Serikat (9 dokumen) atau Horizon 2020 Uni Eropa (6 dokumen). Sementara itu, kawasan Asia Tenggara yang secara geografis dan ekonomi menjadi konteks penelitian ini-baru menyumbang porsi yang jauh lebih kecil: Malaysia 16 dokumen, Indonesia 12 dokumen, Thailand 8 dokumen, sedangkan Vietnam dan Filipina tidak tercatat sama sekali dalam himpunan data. Ketimpangan ini bukan sekadar catatan statistik, melainkan indikasi bahwa kapasitas riset computer animation di kawasan berkembang, termasuk Indonesia, masih jauh tertinggal dibandingkan kontribusinya pada industri animasi dan gim yang justru tumbuh pesat di kawasan ini.

Pada tingkat nasional, Indonesia menghadapi paradoks yang cukup mencolok. Di satu sisi, industri animasi dan gim nasional berkembang signifikan, ditandai oleh menjamurnya studio animasi lokal dan meningkatnya permintaan tenaga kerja kreatif digital, termasuk pada jalur pendidikan vokasi yang secara khusus menyiapkan lulusan untuk sektor ini. Di sisi lain, kontribusi ilmiah Indonesia pada literatur computer animation terindeks Scopus masih sangat terbatas, hanya 12 dokumen dari 544 artikel yang dianalisis, atau kurang dari 2,5 persen. Kesenjangan antara pertumbuhan industri dan produktivitas riset ini mengindikasikan adanya jarak antara praktik lapangan dan dokumentasi ilmiah yang sistematis-suatu kondisi yang berpotensi menghambat transfer pengetahuan dari riset ke praktik pendidikan dan pelatihan vokasi di Indonesia.

Permasalahan penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut: meskipun computer animation telah menjadi domain riset yang matang secara global, struktur intelektual, evolusi tema, dan arah frontier risetnya belum dipetakan secara sistematis dengan mempertimbangkan representasi kawasan berkembang, termasuk Asia Tenggara. Tanpa pemetaan semacam ini, peneliti di kawasan yang kurang terwakili sulit mengidentifikasi celah riset yang relevan sekaligus dapat memberikan kontribusi orisinal pada literatur global. Kesenjangan riset (research gap) yang teridentifikasi dari audit awal himpunan data mencakup tiga hal: pertama, keterwakilan geografis yang timpang, di mana kawasan Asia Tenggara secara kolektif menyumbang kurang dari 7 persen dokumen meskipun menjadi basis produksi industri animasi yang signifikan; kedua, konsentrasi tematik pada kajian algoritmik-teknis (deep learning, motion capture, simulasi fisika) dibandingkan kajian pedagogis atau aplikasi pendidikan vokasi, tercermin dari kata kunci "education" yang hanya muncul pada 7 dokumen berbanding "3d animation" pada 51 dokumen; dan ketiga, tingkat kolaborasi internasional yang relatif rendah, yaitu hanya 18,4 persen dari keseluruhan dokumen melibatkan lebih dari satu negara, yang mengindikasikan riset computer animation masih cenderung berkembang dalam silo nasional alih-alih jejaring lintas negara.

Urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan mendesak akan peta arah (roadmap) berbasis bukti empiris bagi peneliti, pengelola jurnal, dan pembuat kebijakan riset di kawasan berkembang, khususnya Indonesia, untuk memposisikan kontribusi ilmiahnya secara strategis di tengah literatur global yang terus berkembang. Tanpa pemahaman terhadap struktur intelektual dan tema motor yang berlaku saat ini, upaya riset berisiko mengulang topik yang telah jenuh dibahas atau justru luput dari isu yang tengah menjadi perhatian komunitas

internasional. Novelty penelitian ini terletak pada penggabungan analisis bibliometrik multi-metode (co-occurrence keyword, analisis negara dan kolaborasi, analisis tren tematik temporal, serta pemodelan siklus hidup publikasi) untuk secara eksplisit mengidentifikasi posisi kawasan Asia Tenggara dalam peta riset computer animation global, sekaligus merumuskan agenda riset yang menjembatani kajian algoritmik-teknis dengan kebutuhan aplikatif pendidikan vokasi. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) memetakan struktur intelektual riset computer animation melalui analisis co-occurrence kata kunci; (2) menganalisis evolusi tema dan tren riset sepanjang periode 2021–2025; (3) mengidentifikasi pola produktivitas dan kolaborasi negara, penulis, dan sumber publikasi; serta (4) merumuskan kesenjangan riset dan agenda riset masa depan yang relevan bagi pengembangan computer animation, khususnya dalam konteks pendidikan vokasi di kawasan berkembang.

Berdasarkan hasil audit dan analisis bibliometrik pada tahap awal, penelitian ini mengidentifikasi tiga kesenjangan riset utama yang berakar langsung pada data, bukan pada asumsi di luar himpunan data. Kesenjangan pertama adalah ketimpangan geografis. Sebagaimana disajikan pada bagian hasil, distribusi negara produktif didominasi oleh Tiongkok, Amerika Serikat, dan negara-negara Eropa Barat, sementara kawasan Asia Tenggara-rumah bagi industri animasi dan gim yang berkembang pesat-hanya terwakili melalui Malaysia (16 dokumen), Indonesia (12 dokumen), dan Thailand (8 dokumen), tanpa kontribusi tercatat dari Vietnam atau Filipina pada himpunan data ini. Ketimpangan semacam ini konsisten dengan pola umum pada bidang sains dan teknologi lain, tetapi menjadi lebih mencolok pada computer animation mengingat kawasan ini justru menjadi salah satu pasar tenaga kerja kreatif digital yang tumbuh cepat.

Kesenjangan kedua bersifat tematik, yaitu konsentrasi riset pada isu algoritmik-teknis dibandingkan isu pedagogis dan aplikasi pendidikan. Analisis kata kunci penulis menunjukkan dominasi istilah seperti "3d animation" (51 dokumen), "computer animation" (50 dokumen), "virtual reality" (31 dokumen), dan "deep learning" (18 dokumen), sementara istilah yang secara eksplisit merujuk pada konteks pendidikan seperti "education" hanya muncul pada 7 dokumen. Pola ini mengindikasikan bahwa penelitian computer animation lebih banyak berfokus pada pengembangan metode dan algoritma dibandingkan pada bagaimana teknologi tersebut diterapkan, diajarkan, atau diintegrasikan ke dalam kurikulum pendidikan vokasi maupun pendidikan tinggi bidang animasi.

Kesenjangan ketiga terletak pada rendahnya intensitas kolaborasi internasional. Dari 544 dokumen yang dianalisis, hanya 100 dokumen (18,4 persen) melibatkan afiliasi penulis dari lebih dari satu negara, sedangkan 443 dokumen (81,4 persen) sepenuhnya berasal dari afiliasi tunggal negara. Rendahnya kolaborasi lintas negara berpotensi memperlambat difusi pengetahuan dan metode antarwilayah, termasuk transfer inovasi dari negara dengan kapasitas riset tinggi ke negara dengan kapasitas riset yang masih berkembang seperti Indonesia. Ketiga kesenjangan ini-geografis, tematik, dan kolaboratif-menjadi dasar argumentasi novelty dan agenda riset masa depan yang dirumuskan pada bagian berikutnya.

Novelty penelitian ini dibangun di atas tiga pilar yang bersumber langsung dari hasil analisis bibliometrik, bukan dari asumsi normatif di luar data. Pilar pertama adalah pemetaan eksplisit posisi kawasan Asia Tenggara, khususnya Indonesia, dalam struktur riset computer animation global-sebuah sudut pandang yang jarang menjadi fokus utama pada kajian bibliometrik computer animation sebelumnya, yang umumnya menyoroti tren teknis global tanpa menautkannya pada kesenjangan representasi kawasan tertentu. Pilar kedua adalah identifikasi titik temu antara tema motor riset saat ini (3d animation, virtual reality, deep learning) dengan tema yang secara historis kurang berkembang (education, e-learning, teaching), yang membuka ruang argumentasi bahwa integrasi computer animation ke dalam pendidikan vokasi merupakan arah riset yang belum jenuh dieksplorasi secara global, sekaligus relevan dengan konteks kebutuhan tenaga kerja kreatif digital di Indonesia.

Pilar ketiga adalah penggunaan analisis tren temporal (trend topics dan words' frequency over time) yang mengungkap pergeseran dari tema teknis-fondasional pada 2021–2022 (3d visualization, network architecture, anatomy) menuju tema yang lebih terkait aplikasi dan evaluasi eksperimental pada 2023–2025 (interactive computer graphics, questionnaire, middle aged, female, male). Pergeseran ini mengindikasikan bahwa riset computer animation tengah bertransisi dari fase pengembangan teknik murni menuju fase validasi dan evaluasi dampak pada pengguna manusia, sebuah arah yang secara langsung relevan dengan kebutuhan riset penerapan animasi digital pada konteks pembelajaran dan pelatihan vokasi. Ketiga pilar novelty tersebut menjadi dasar bagi kerangka konseptual yang dirumuskan pada bagian akhir artikel ini.

Method

Penelitian ini menggunakan desain bibliometrik deskriptif dan pemetaan sains (science mapping) untuk menganalisis struktur intelektual, pola produktivitas, dan evolusi tema pada literatur computer animation. Data primer diperoleh dari basis data Scopus (Elsevier), yang dipilih karena cakupan jurnal internasional bereputasi yang luas serta ketersediaan metadata terstruktur (kata kunci penulis, afiliasi, sitasi, dan referensi) yang

diperlukan untuk analisis bibliometrik. Strategi pencarian menggunakan boolean string ("computer animation" OR "digital animation" OR "3D animation") tanpa pembatasan bidang subjek pada tahap awal, dengan tanggal pengambilan data pada 13 Juli 2026 sebagaimana tercantum pada berkas ekspor data (scopus_export_Jul_13-2026).

Proses seleksi data mengikuti alur sebagai berikut. Pencarian awal dengan boolean string tersebut menghasilkan 6.083 dokumen tanpa batasan tahun. Penyaringan berdasarkan rentang tahun publikasi 2021–2025 mempersempit jumlah menjadi 1.247 dokumen. Penyaringan berikutnya berdasarkan jenis sumber (source type: jurnal) menghasilkan 604 dokumen, dan penyaringan berdasarkan jenis dokumen (document type: artikel) menghasilkan 546 dokumen. Tahap akhir seleksi berupa penyaringan status publikasi (publication stage: final) menghasilkan 544 dokumen yang menjadi himpunan data akhir penelitian ini, sebagaimana tercatat pada dokumen protokol pencarian yang menyertai proses pencarian data. Verifikasi silang terhadap berkas ekspor CSV Scopus menunjukkan jumlah baris data yang identik, yaitu 544 dokumen, sehingga tidak ditemukan inkonsistensi antara dokumen metode dan data CSV yang memerlukan proses validasi tambahan.

Kriteria inklusi pada penelitian ini adalah: (a) dokumen berjenis artikel jurnal; (b) berstatus publikasi final; (c) memuat salah satu dari tiga istilah pencarian pada judul, abstrak, atau kata kunci; dan (d) diterbitkan pada rentang tahun 2021–2025. Kriteria eksklusi mencakup dokumen berupa prosiding konferensi, bab buku, catatan editorial, dokumen dengan status publikasi "article in press", serta dokumen di luar rentang tahun yang ditetapkan. Proses seleksi ini merepresentasikan tahapan Identification, Screening, Eligibility, dan Included yang lazim digunakan pada kajian sistematis: tahap Identification merepresentasikan 6.083 dokumen hasil pencarian awal pada basis data Scopus; tahap Screening merepresentasikan penyaringan bertahap berdasarkan tahun (1.247 dokumen) dan jenis sumber (604 dokumen); tahap Eligibility merepresentasikan penyaringan jenis dokumen (546 dokumen); dan tahap Included merepresentasikan 544 dokumen final yang memenuhi seluruh kriteria dan dianalisis pada penelitian ini. Diagram PRISMA disajikan pada Tabel 1 dalam bentuk tabel alur karena berkas visual diagram PRISMA bergaya bagan tidak termasuk dalam himpunan berkas yang diunggah; penyajian dalam bentuk tabel tetap memuat seluruh angka tahapan secara konsisten dengan data yang tersedia tanpa mengurangi informasi substantif dari alur seleksi tersebut.

Analisis data dilakukan menggunakan dua perangkat lunak bibliometrik utama, yaitu VOSviewer untuk visualisasi jaringan co-occurrence kata kunci, peta kolaborasi negara, dan word cloud; serta Bibliometrix/Biblioshiny (paket R) untuk analisis tren topik (trend topics), analisis frekuensi kata sepanjang waktu (words' frequency over time), diagram tiga bidang (three-field plot) yang menghubungkan referensi, penulis, dan kata kunci, serta pemodelan siklus hidup publikasi (life cycle) dan kurva pertumbuhan kumulatif. Selain itu, analisis deskriptif tambahan terhadap berkas CSV ekspor Scopus dilakukan menggunakan Python (pustaka pandas dan csv) untuk memverifikasi distribusi tahun, jenis dokumen, negara produktif berdasarkan afiliasi penulis, sumber jurnal, penulis produktif, dan pola sitasi, guna memastikan konsistensi antara hasil visualisasi VOSviewer/Bibliometrix dan data mentah. Teknik ekstraksi negara dilakukan dengan mengambil segmen terakhir setiap entri afiliasi yang dipisahkan oleh koma, sedangkan klasifikasi dokumen kolaborasi internasional ditentukan berdasarkan jumlah negara berbeda yang teridentifikasi pada bidang afiliasi setiap dokumen.

Prosedur validasi data mengikuti hierarki sumber yang ditetapkan pada kerangka kerja penelitian, dengan CSV Scopus sebagai sumber data utama (prioritas pertama), diikuti oleh keluaran Bibliometrix (prioritas kedua) dan visualisasi VOSviewer (prioritas ketiga). Apabila ditemukan perbedaan angka antara sumber, angka pada CSV Scopus digunakan sebagai rujukan utama dan perbedaan dijelaskan secara akademik. Pada penelitian ini, verifikasi silang antara dokumen protokol pencarian, berkas CSV, dan visualisasi Bibliometrix/VOSviewer tidak menemukan inkonsistensi berarti pada angka total dokumen (544), sehingga seluruh angka yang dilaporkan pada bagian hasil merupakan angka yang konsisten di antara ketiga sumber tersebut. Untuk elemen visualisasi yang tidak menampilkan label angka eksplisit, seperti jumlah kluster, jumlah node, jumlah tautan (link), atau total kekuatan tautan (Total Link Strength) pada peta co-occurrence kata kunci, penelitian ini hanya menyajikan interpretasi kualitatif berdasarkan pola visual yang teramati (dominasi ukuran node, pengelompokan warna kluster, ketebalan garis penghubung), tanpa mencantumkan angka kuantitatif yang tidak dapat diverifikasi langsung dari berkas visualisasi yang tersedia.

Tabel 1. Alur Seleksi Data (Identification-Screening-Eligibility-Included)

Tahap	Kriteria	Jumlah Dokumen
Identification	Pencarian awal Scopus (boolean: "computer animation" OR "digital animation" OR "3D animation")	6.083
Screening	Penyaringan rentang tahun publikasi 2021–2025	1.247
Screening	Penyaringan jenis sumber (source type: jurnal)	604

Tahap	Kriteria	Jumlah Dokumen
Eligibility	Penyaringan jenis dokumen (document type: artikel)	546
Included	Penyaringan status publikasi (publication stage: final)	544

Hasil dan Pembahasan

Bagian ini menyajikan temuan bibliometrik yang diperoleh dari 544 artikel jurnal computer animation terindeks Scopus periode 2021–2025. Penyajian mengikuti urutan: gambaran umum produktivitas dan sitasi, analisis sumber dan penulis, analisis negara dan kolaborasi, analisis kata kunci dan struktur tematik, serta analisis tren temporal dan pemodelan siklus hidup publikasi. Setiap tabel dan gambar disertai pembahasan mengenai temuan utama, pola yang teramati, serta keterkaitannya dengan hasil analisis lain dalam himpunan data yang sama.

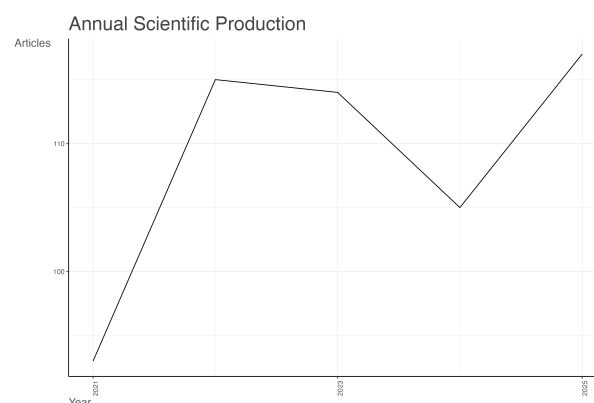
Produktivitas dan Dampak Sitasi

Dari 6.083 dokumen hasil pencarian boolean tanpa batasan, hanya 544 yang akhirnya lolos sebagai dokumen final setelah melalui empat tahap penyaringan, sebagaimana dirangkum pada Tabel 1. Penyusutan terbesar justru terjadi pada tahap paling awal, yaitu pembatasan rentang tahun (dari 6.083 menjadi 1.247 dokumen, atau tersisa sekitar 20,5 persen). Ini masuk akal: computer animation bukan topik baru, sehingga sebagian besar literturnya memang terbit sebelum 2021. Penyusutan pada tahap-tahap berikutnya jauh lebih landai, karena mayoritas dokumen pada rentang 2021–2025 memang sudah berbentuk artikel jurnal berstatus final, bukan prosiding atau bab buku yang harus disaring keluar.

Tren produksi ilmiah tahunan, dirangkum pada Tabel 2 dan divisualisasikan pada Gambar 1, tidak bergerak searah. Produksi ilmiah pada 2021 tercatat sebagai titik terendah (93 artikel), kemudian melonjak signifikan menjadi 115 artikel pada 2022-peningkatan sebesar 23,7 persen dalam satu tahun. Setelah puncak awal ini, produksi sedikit melandai pada 2023 (114 artikel) dan mengalami penurunan lebih nyata pada 2024 (105 artikel), sebelum kembali meningkat tajam menjadi 117 artikel pada 2025. Pola non-linear ini berbeda dari asumsi umum bahwa bidang riset yang berkembang akan menunjukkan tren pertumbuhan yang mulus. Sebaliknya, pola naik-turun ini lebih mencerminkan dinamika publikasi jurnal yang dipengaruhi oleh siklus terbitan, waktu pemrosesan naskah, serta kemungkinan pergeseran fokus pendanaan riset pada tahun-tahun tertentu. Perlu dicatat bahwa angka pada 2025 kemungkinan belum mencerminkan capaian tahun penuh mengingat data diambil pada pertengahan tahun (13 Juli 2026 untuk data ekspor, dengan cakupan hingga tahun 2025), sehingga lonjakan pada 2025 perlu dimaknai secara hati-hati dan tidak serta-merta diinterpretasikan sebagai percepatan pertumbuhan jangka panjang.

Tabel 2. Distribusi Publikasi per Tahun (2021–2025)

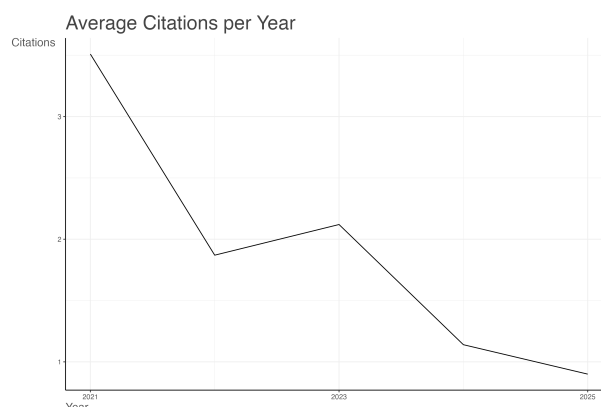
Tahun	Jumlah Artikel	Persentase (%)
2021	93	17,1
2022	115	21,1
2023	114	21,0
2024	105	19,3
2025	117	21,5



Gambar 1. Annual Scientific Production (Bibliometrix/Biblioshiny).

Sebagai pelengkap analisis produktivitas, Gambar 2 menyajikan rata-rata sitasi per tahun (average citations per year), yang memperlihatkan pola menurun tajam dari sekitar 3,5 sitasi pada 2021 menjadi kurang dari 1

sitasi pada 2025. Pola ini merupakan fenomena yang lazim pada analisis bibliometrik dan dikenal sebagai citation lag atau jeda sitasi: artikel yang diterbitkan lebih awal memiliki waktu lebih panjang untuk diakses, dibaca, dan disitasi oleh peneliti lain, sehingga secara alami mengumpulkan lebih banyak sitasi dibandingkan artikel yang baru terbit. Sedikit kenaikan rata-rata sitasi pada 2023 dibandingkan 2022 (dari sekitar 1,8 menjadi sekitar 2,1) kemungkinan besar disebabkan oleh beberapa artikel berpengaruh yang terbit pada tahun tersebut dan cepat menarik perhatian komunitas ilmiah-hal ini akan terlihat jelas pada pembahasan artikel dengan sitasi tertinggi berikut.



Gambar 2. Average Citations per Year (Bibliometrix/Biblioshiny)

Seluruh himpunan data mengumpulkan total 4.568 sitasi, atau rata-rata 8,4 sitasi per artikel. Tabel 3 memuat sepuluh artikel dengan sitasi tertinggi. Yang paling banyak disitasi adalah "AMP: Adversarial motion priors for stylized physics-based character control" oleh Peng, Ma, Abbeel, Levine, dan Kanazawa (2021), diterbitkan pada ACM Transactions on Graphics dengan 401 sitasi-jauh melampaui artikel peringkat kedua. Jaraknya yang jauh dari artikel peringkat kedua memberi sinyal kuat: pendekatan pembelajaran penguatan (reinforcement learning) untuk kontrol karakter berbasis fisika menjadi salah satu terobosan metodologis paling berpengaruh pada periode 2021–2025. Artikel peringkat kedua hingga kelima pun berputar pada tema serupa-rekonstruksi tiga dimensi, karakter dinamis berbasis pembelajaran mendalam, dan aplikasi augmented reality pada pendidikan sains-sehingga cukup jelas bahwa persimpangan antara computer animation dan kecerdasan buatan adalah arus utama yang paling banyak menyedot perhatian dan sitasi dari komunitas riset global.

Tabel 3. Sepuluh Artikel dengan Sitasi Tertinggi

Penulis (Tahun)	Judul	Sumber	Sitasi
Peng X.B. dkk. (2021)	AMP: Adversarial motion priors for stylized physics-based character control	ACM Transactions on Graphics	401
Rolfe S. dkk. (2021)	SlicerMorph: An open and extensible platform to retrieve, visualize and analyze...	Methods in Ecology and Evolution	192
Habermann M. dkk. (2021)	Real-time deep dynamic characters	ACM Transactions on Graphics	144
Nyatsanga S. dkk. (2023)	A Comprehensive Review of Data-Driven Co-Speech Gesture Generation	Computer Graphics Forum	116
Abdinejad M. dkk. (2021)	Student Perceptions Using Augmented Reality and 3D Visualization Technologi...	Journal of Science Education and Technology	100
Diel A. dkk. (2022)	A Meta-analysis of the Uncanny Valley's Independent and Dependent Variables	ACM Transactions on Human-Robot Interaction	99
Li Y. dkk. (2022)	DiffCloth: Differentiable Cloth Simulation with Dry Frictional Contact	ACM Transactions on Graphics	99
Liang Y. dkk. (2022)	An improved loop subdivision to coordinate the smoothness and the number of...	Integrated Computer-Aided Engineering	83
Starke S. dkk. (2021)	Neural animation layering for synthesizing martial arts movements	ACM Transactions on Graphics	80
Bertiche H. dkk. (2021)	PBNS: Physically Based Neural Simulation for Unsupervised Garment Pose Spac...	ACM Transactions on Graphics	6 9

Analisis Sumber dan Penulis

Jurnal Computer Animation and Virtual Worlds jauh mengungguli yang lain sebagai wadah publikasi paling produktif, dengan 43 artikel-hampir dua kali lipat dari peringkat kedua, Applied Mathematics and Nonlinear Sciences (21 artikel), sebagaimana tercantum pada Tabel 4. Tiga jurnal berikutnya, ACM Transactions on Graphics (15 artikel), IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics (14 artikel), dan Computer Graphics Forum (11 artikel), semuanya adalah jurnal spesialis grafika komputer dengan reputasi tinggi. Literatur computer animation, dengan kata lain, cenderung terkonsentrasi pada jurnal-jurnal spesialis ini, bukan tersebar merata pada jurnal multidisiplin. Bagi peneliti dari kawasan berkembang yang ingin menargetkan publikasi Scopus Q1 pada bidang ini, pola konsentrasi tersebut sekaligus menjadi petunjuk praktis: jurnal-jurnal spesialis itulah yang paling memahami konteks teknis bidang ini dan paling mungkin dibaca serta ditelaah oleh komunitas yang tepat.

Tabel 4. Sepuluh Jurnal Paling Produktif

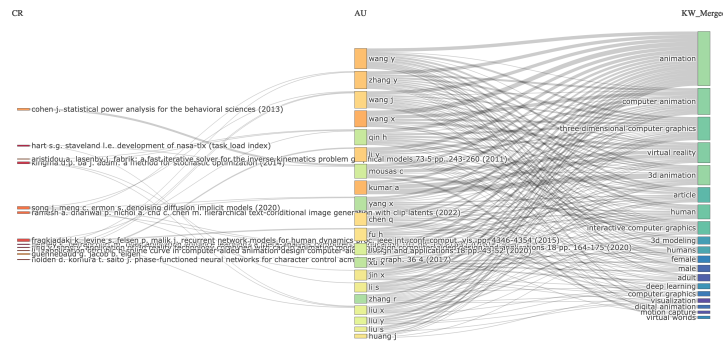
Peringkat	Nama Jurnal	Jumlah Artikel
1	Computer Animation and Virtual Worlds	43
2	Applied Mathematics and Nonlinear Sciences	21
3	ACM Transactions on Graphics	15
4	IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics	14
5	Computer Graphics Forum	11
6	Computer-Aided Design and Applications	9
7	IEEE Access	8
8	International Journal of Advanced Computer Science and Applications	8
9	Scientific Reports	6
10	Sensors	5

Analisis penulis produktif (Tabel 5) memperlihatkan pola yang menarik: tidak ada satu penulis pun yang mendominasi secara ekstrem, dengan penulis paling produktif, Wang X., hanya menyumbang 9 dari 544 dokumen (1,7 persen). Delapan dari lima belas penulis paling produktif memiliki nama keluarga Tiongkok (Wang, Zhang, Li, Huang, Liu, Jin), yang konsisten dengan temuan dominasi Tiongkok pada analisis negara. Sebaran yang relatif merata ini menunjukkan pola yang berbeda dari yang mungkin diduga: riset computer animation belum terkonsentrasi pada satu-dua kelompok riset yang mendominasi bidang, melainkan tumbuh dari kontribusi banyak kelompok independen yang tersebar di berbagai institusi dan negara.

Tabel 5. Sepuluh Penulis Paling Produktif

Peringkat	Nama Penulis	Jumlah Dokumen
1	Wang X.	9
2	Wang Y.	8
3	Zhang Y.	8
4	Kumar A.	8
5	Li Y.	7
6	Wang J.	7
7	Huang J.	5
8	Mousas C.	5
9	Liu S.	5
10	Liu X.	5

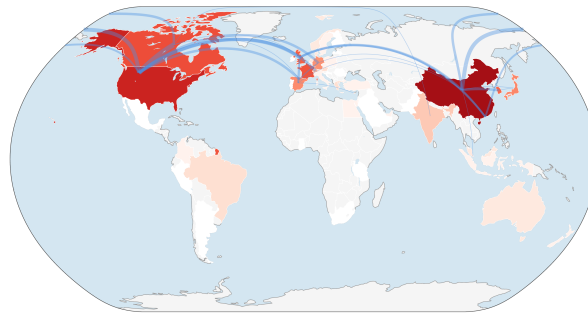
Diagram tiga bidang pada Gambar 3 (Three-Field Plot, berbentuk Sankey) menghubungkan referensi yang paling sering dikutip (CR), penulis produktif (AU), dan kata kunci gabungan (KW_Merged) dalam satu alur visual. Yang menarik, referensi metodologis klasik justru ikut muncul di sana-karya Cohen (2013) tentang analisis kekuatan statistik, Hart dan Staveland tentang NASA Task Load Index, Kingma dan Ba (2014) tentang metode optimisasi stokastik Adam, serta Song, Meng, dan Ermon (2020) tentang model implisit difusi denoising-menjadi rujukan yang menghubungkan berbagai kelompok penulis dengan kata kunci "animation", "computer animation", dan "virtual reality". Computer animation memang bidang aplikatif, tetapi penulis-penulisnya rupanya tetap berpijak pada fondasi metodologis lintas disiplin, dari statistika inferensial hingga model generatif kecerdasan buatan mutakhir seperti karya Ramesh dan kawan-kawan (2022) tentang pembangkitan citra berbasis teks menggunakan CLIP latents-salah satu rujukan penting bagi perkembangan animasi berbasis model generatif.



Gambar 3. Three-Field Plot: Referensi (CR) - Penulis (AU) - Kata Kunci Gabungan (KW_Merged).

Analisis Negara, Kolaborasi, dan Institusi

Pada peta kolaborasi negara (Gambar 4), Tiongkok dan Amerika Serikat tampil sebagai dua simpul merah tua-tanda produktivitas tertinggi-dengan jalinan kolaborasi tebal yang menghubungkan keduanya serta negara-negara Eropa Barat (Inggris, Spanyol) dan Asia Timur (Jepang, Korea Selatan). Tabel 6 melengkapi gambaran ini dengan angka pasti untuk lima belas negara teratas. Hampir seluruhnya berasal dari Amerika Utara, Eropa Barat, dan Asia Timur; satu-satunya wakil Asia Tenggara yang masuk sepuluh besar adalah Malaysia, di peringkat kesepuluh dengan 16 dokumen. Indonesia baru berada di peringkat ketiga belas dengan 12 dokumen, sejajar dengan Brasil. Dari seluruh 544 dokumen, hanya 100 dokumen (18,4 persen) yang melibatkan kolaborasi lintas negara, sementara 443 dokumen (81,4 persen) merupakan hasil kerja sama dalam satu negara saja, dan 1 dokumen tidak memiliki informasi afiliasi yang dapat diidentifikasi.



Gambar 4. Country Collaboration Map (VOSviewer).

Tabel 6. Lima Belas Negara Paling Produktif

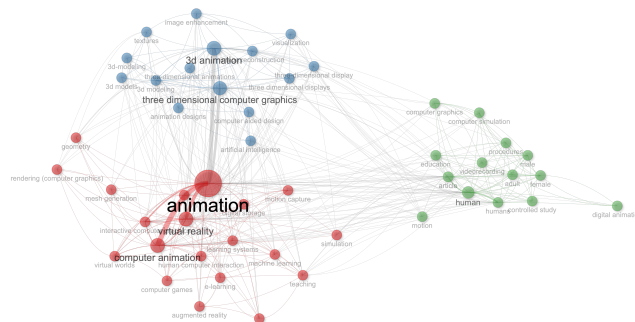
Peringkat	Negara	Jumlah Dokumen
1	China	180
2	United States	83
3	United Kingdom	43
4	Canada	19
5	Germany	19
6	India	18
7	France	18
8	Spain	18
9	South Korea	17
10	Malaysia	16
11	Japan	13
12	Brazil	12
13	Indonesia	12
14	Australia	11
15	Russian Federation	11

Pada tingkat institusi, Purdue University (12 dokumen), Zhejiang University (11 dokumen), dan University of Science and Technology Beijing (9 dokumen) memimpin sebagai tiga afiliasi paling produktif. Tujuh dari lima belas institusi teratas berasal dari Tiongkok-mengulang pola dominasi yang sama pada tingkat negara. Tidak satu pun institusi dari Indonesia atau negara Asia Tenggara lainnya masuk lima belas besar ini, yang

memperjelas betapa lebarnya jarak kapasitas riset institusional di kawasan ini dibandingkan Tiongkok, Amerika Serikat, atau Eropa Barat.

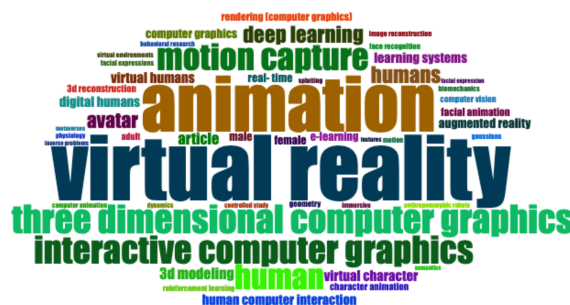
Struktur Tematik dan Analisis Kata Kunci

VOSviewer menghasilkan peta jaringan co-occurrence kata kunci pada Gambar 5, yang memvisualisasikan keterkaitan antarkata kunci berdasarkan frekuensi kemunculan bersama dalam dokumen. Tiga kluster warna dapat diidentifikasi secara kualitatif dari pengelompokan visualnya. Kluster pertama (ditandai warna merah) berpusat pada node "animation" sebagai simpul dominan dengan ukuran node terbesar dan jumlah tautan terbanyak, dikelilingi oleh istilah terkait seperti "virtual reality", "computer animation", "motion capture", "e-learning", "augmented reality", "teaching", "students", dan "human computer interaction". Kluster kedua (ditandai warna biru) berpusat pada istilah "3d animation" dan "three dimensional computer graphics", berdampingan dengan "3d modeling", "3d models", "textures", "visualization", "image enhancement", dan "artificial intelligence". Kluster ketiga (ditandai warna hijau) berpusat pada "human" dan mengelompokkan istilah yang berkaitan dengan desain penelitian eksperimental, seperti "article", "education", "adult", "male", "female", "procedures", "videorecording", "humans", dan "controlled study". Karena berkas visualisasi tidak menampilkan label numerik eksplisit untuk jumlah kluster, jumlah node, jumlah tautan, maupun Total Link Strength, angka-angka kuantitatif tersebut tidak dapat diverifikasi dari sumber data yang tersedia sehingga tidak digunakan dalam analisis ini; interpretasi dibatasi pada pola pengelompokan tematik yang teramati secara visual.



Gambar 5. Peta Co-occurrence Kata Kunci (VOSviewer).

Struktur tiga kluster ini memberikan gambaran penting mengenai arsitektur tematik bidang computer animation. Kluster merah merepresentasikan penerapan animasi pada konteks interaktif dan pendidikan (virtual reality, e-learning, teaching), kluster biru merepresentasikan fondasi teknis grafika komputer tiga dimensi (modeling, texturing, visualization), sedangkan kluster hijau merepresentasikan desain penelitian yang melibatkan subjek manusia dalam pengujian dan evaluasi (controlled study, human, procedures). Ketiga kluster ini saling terhubung melalui node sentral "animation", dan itu masuk akal: literatur computer animation bergerak pada tiga sumbu paralel sekaligus-pengembangan teknik, penerapan interaktif, dan validasi berbasis subjek manusia. Sebagai bidang terapan, computer animation memang membutuhkan validasi empiris terhadap pengguna akhirnya, bukan sekadar pengembangan algoritma di ruang hampa.



Gambar 6. Word Cloud Kata Kunci Penelitian (VOSviewer).

Word cloud pada Gambar 6 memberikan gambaran komplementer terhadap peta co-occurrence, dengan ukuran huruf merepresentasikan frekuensi kemunculan kata kunci secara keseluruhan. Istilah "animation" dan "virtual reality" tampil paling dominan secara visual, diikuti oleh "motion capture", "three dimensional computer graphics", "interactive computer graphics", "deep learning", dan "human". Menariknya, istilah yang berkaitan dengan representasi manusia digital-seperti "avatar", "digital humans", "virtual humans", "virtual character", dan "facial animation"-muncul dengan ukuran yang cukup signifikan meski tidak dominan,

menandakan bahwa representasi manusia virtual (digital human) sudah menjadi subtema tersendiri yang berkembang-sejalan dengan tren global menuju avatar dan karakter virtual yang kian realistis untuk kebutuhan metaverse, pelatihan virtual, dan interaksi manusia-komputer.

Tabel 7. Klaster Tematik dan Artikel Representatif

Klaster Tematik	Kata Kunci Representatif	Contoh Artikel (Penulis, Tahun)
Teknis-Grafika 3D	animation; 3d animation; motion capture; three dimensional computer graphics	Peng dkk. (2021); Habermann dkk. (2021); Starke dkk. (2021); Li dkk. (2022)
Interaktif-Pendidikan	virtual reality; e-learning; teaching; human computer interaction	Abdinejad dkk. (2021); Kumar dkk. (2023); Shi dkk. (2025); Chen dkk. (2025)
Subjek Manusia-Eksperimental	human; controlled study; education; procedures	Karuzaki dkk. (2021); Diel dkk. (2022); Chhatre dkk. (2025); Zhong dkk. (2025)

Untuk memperkuat interpretasi struktur klaster tematik dengan bukti pada tingkat artikel, Tabel 7 memetakan sejumlah artikel representatif pada setiap klaster berdasarkan kesesuaian tema dan kata kunci. Pada klaster teknis-grafika, karya-karya mengenai kontrol karakter dan animasi gerak menjadi arus utama, mencakup kontrol karakter berbasis motion prior oleh Peng dkk. (2021), karakter dinamis waktu-nyata oleh Habermann dkk. (2021), pelapisan animasi neural untuk gerakan bela diri oleh Starke dkk. (2021), pemodelan blend shape kerangka oleh Li dkk. (2021), simulasi busana berbasis jaringan saraf oleh Bertiche dkk. (2021) dan Su dkk. (2023), simulasi kain diferensiabel oleh Li dkk. (2022), pemodelan gerak manusia jangka panjang oleh Wang dkk. (2021), serta teknik subdivisi permukaan oleh Liang dkk. (2022) dan Palfinger (2022). Kelompok ini secara konsisten menekankan pengembangan metode komputasi baru untuk menghasilkan gerakan dan bentuk yang lebih realistis dan efisien secara komputasi.

Pada klaster interaktif-pendidikan, artikel representatif mencakup penerapan augmented reality dan visualisasi tiga dimensi pada pembelajaran kimia oleh Abdinejad dkk. (2021), pembelajaran tergamifikasi berbasis kecerdasan buatan pada teknologi generasi lanjut oleh Kumar dkk. (2023), eksperimen dampak teknologi media digital animation pada pengajaran seni oleh Meng dkk. (2025), efektivitas animasi digital multistap pada pendidikan kesehatan oleh Shi dkk. (2025), video bercerita animasi tanpa kata untuk edukasi kesehatan oleh Chen dkk. (2025), serta strategi neuroedukasi yang mendorong partisipasi kelas oleh Copaja dan Vera (2025). Kelompok artikel ini secara khusus relevan dengan agenda riset yang dirumuskan pada penelitian ini, karena secara langsung menautkan computer animation dengan konteks pembelajaran dan evaluasi dampaknya terhadap peserta didik.

Pada klaster subjek manusia-eksperimental dan representasi manusia digital, artikel representatif mencakup rekonstruksi manusia virtual untuk aplikasi warisan budaya oleh Karuzaki dkk. (2021), perlindungan warisan budaya takbenda berbasis animasi tiga dimensi virtual oleh Cui (2025), analisis meta mengenai variabel uncanny valley pada persepsi karakter virtual oleh Diel dkk. (2022), evaluasi model generatif untuk animasi tiga dimensi emosional pada lingkungan virtual reality oleh Chhatre dkk. (2025), pembangkitan gerak waktu-nyata dari prompt zero-shot oleh Ji dkk. (2025), transfer sketsa storyboard menjadi animasi tiga dimensi oleh Zhong dkk. (2025), serta pemodelan kinematik fusi berbasis model bahasa besar oleh Manjotho dkk. (2025). Munculnya sederet artikel bertema model generatif pada rentang 2025 ini menjadi indikasi kuat: integrasi kecerdasan buatan generatif ke dalam alur kerja computer animation adalah frontier riset yang sedang terbentuk, persis seperti yang sudah terlihat pada analisis tren topik sebelumnya.

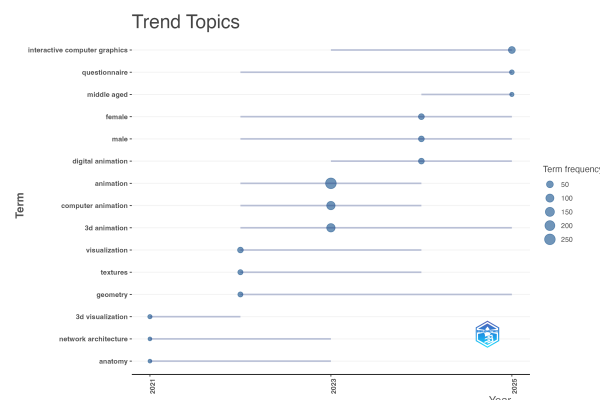
Selain ketiga klaster utama tersebut, beberapa artikel dalam himpunan data merepresentasikan penerapan computer animation pada domain lintas sektor yang lebih luas, seperti platform terbuka untuk visualisasi morfologi tiga dimensi pada riset biologi oleh Rolfe dkk. (2021), revisi jejak fosil menggunakan teknik visualisasi tiga dimensi oleh Romilio dkk. (2025), penilaian keselamatan berkendara berbasis persepsi bahaya oleh Crundall dkk. (2021) dan Dong dkk. (2025), pemodelan tiga dimensi berbasis Internet of Things untuk lingkungan berbahaya oleh Yu dkk. (2021), estimasi pose multi-orang untuk animasi otomatis oleh Kumarapu dan Mukherjee (2021), perbaikan komponen mekanis berbasis manufaktur aditif robotik oleh Li dkk. (2021), desain grafis berbantuan komputer untuk adegan animasi tiga dimensi berorientasi virtual reality oleh Zhao dan Zhao (2022), ruang penelitian partisipatif daring berbasis metode kreatif oleh Lomax dkk. (2022), penilaian kualitas imitasi gerak secara subjektif dan objektif oleh Zhou dkk. (2025), potensi model permainan interaktif untuk digitalisasi warisan budaya oleh Banfi dan Oreni (2025), analisis stres dalam permainan virtual reality oleh Lebamovski dan Gospodinova (2025), perspektif keterlibatan tubuh pada teknologi animasi digital oleh El-Raheb dkk. (2025), dampak percakapan panjang multimodal pada sikap pengguna dalam virtual reality oleh Vankit dkk. (2025), serta pertimbangan pembangkitan sinyal nonmanual wajah pada avatar bahasa isyarat oleh McDonald (2025). Keragaman domain penerapan seperti ini cukup untuk menunjukkan bahwa computer

animation sudah menjadi teknologi enabler lintas sektor, jauh melampaui batas industri hiburan yang selama ini melekat padanya.

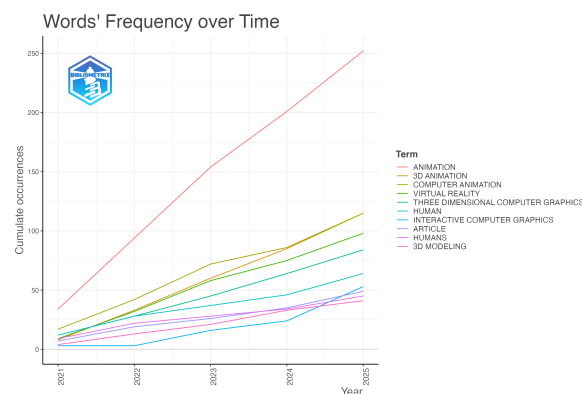
Subtema pembangkitan gerak dan geometri wajah/tubuh berbasis data juga tampak konsisten pada himpunan data, sebagaimana dirangkum dalam tinjauan komprehensif mengenai pembangkitan gestur berbasis ucapan (co-speech gesture generation) oleh Nyatsanga dkk. (2023) dan metode pencocokan basis data untuk gestur ekspresif oleh Ferstl dkk. (2021). Pada sisi rekonstruksi geometri tiga dimensi, artikel mengenai registrasi awan titik non-rigid multi-arrah oleh Huang dkk. (2023), rekonstruksi objek tiga dimensi berbasis prior lintas modal oleh Nie dkk. (2023), deteksi titik acuan kraniofasial tiga dimensi oleh Xue dkk. (2025), serta sampling fuzi untuk kurva dan permukaan implisit oleh Hu dkk. (2025) melengkapi gambaran bahwa fondasi geometris dan pemrosesan sinyal gerak tetap menjadi pilar teknis yang aktif dikembangkan berdampingan dengan tema-tema interaktif dan generatif yang lebih baru.

Evolusi Tema dan Proyeksi Siklus Hidup Publikasi

Analisis tren topik (Gambar 7) memetakan evolusi tematik sepanjang waktu berdasarkan tahun kemunculan median dan rentang aktif setiap istilah, dengan ukuran gelembung merepresentasikan frekuensi kemunculan. Pada rentang 2021, istilah yang muncul mencakup "3d visualization", "network architecture", dan "anatomy"-tema-tema fondasional yang berkaitan dengan aspek teknis dasar grafika komputer. Memasuki 2022, muncul istilah "geometry", "textures", dan "visualization" yang memperluas cakupan teknis. Pada 2023, tiga istilah dengan frekuensi tertinggi dalam keseluruhan periode pengamatan muncul secara bersamaan, yaitu "animation", "computer animation", dan "3d animation", yang tampak dari ukuran gelembung terbesar pada diagram-tahun 2023 tampaknya menjadi titik puncak konsentrasi tematik pada istilah inti bidang ini. Memasuki 2024–2025, muncul istilah baru yang menandai pergeseran fokus riset, yaitu "digital animation", "male", "female", "middle aged", "questionnaire", dan "interactive computer graphics". Kemunculan istilah demografis penelitian (male, female, middle aged) dan istilah metodologis (questionnaire) pada periode terbaru menjadi penanda pergeseran nyata: dari riset yang murni berorientasi pengembangan teknis, menuju riset yang melibatkan evaluasi empiris terhadap pengguna manusia lewat desain survei dan eksperimental.

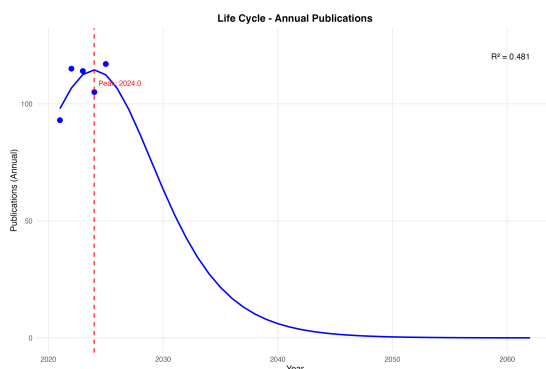


Gambar 7. Trend Topics (Bibliometrix/Biblioshiny)

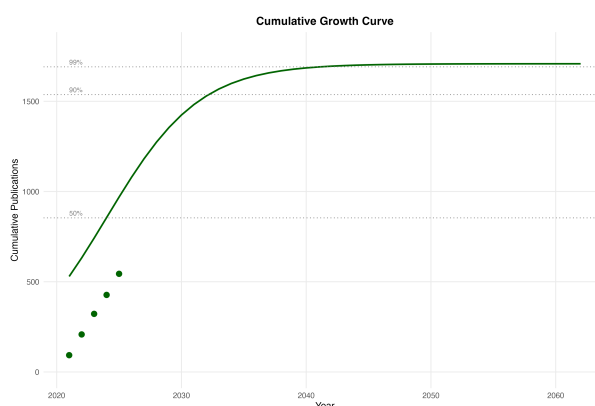


Gambar 8. Words' Frequency over Time (Bibliometrix/Biblioshiny).

Pola pergeseran tematik ini diperkuat oleh Gambar 8 (Words' Frequency over Time), yang menampilkan kurva kumulatif kemunculan sepuluh istilah teratas sepanjang 2021–2025. Istilah "animation" menunjukkan pertumbuhan kumulatif paling tajam, mencapai lebih dari 250 kemunculan kumulatif pada akhir 2025, jauh melampaui istilah lain. Istilah "3d animation" dan "computer animation" tumbuh dengan laju yang hampir sejajar, masing-masing mencapai kisaran 115 kemunculan kumulatif pada akhir periode, sementara "virtual reality" mencapai sekitar 98 kemunculan. Yang patut dicermati adalah laju pertumbuhan istilah "interactive computer graphics", yang meskipun berada pada posisi terendah di antara sepuluh istilah teratas pada 2021–2023, menunjukkan percepatan pertumbuhan yang nyata pada 2024–2025, mengejar posisi istilah "human" dan "3d modeling". Percepatan ini sejalan dengan temuan pada analisis tren topik sebelumnya-dimensi interaktivitas jelas semakin menjadi perhatian riset computer animation pada periode terbaru.



Gambar 9. Life Cycle - Annual Publications, model kecocokan kurva dengan puncak pada 2024,0 ($R^2 = 0,481$).



Gambar 10. Cumulative Growth Curve (proyeksi saturasi model).

Sebagai analisis pelengkap untuk memproyeksikan arah perkembangan bidang, Gambar 9 menyajikan pemodelan siklus hidup publikasi tahunan (life cycle model) yang mengidentifikasi puncak produksi pada tahun 2024,0 berdasarkan kurva kecocokan model, dengan nilai koefisien determinasi R kuadrat sebesar 0,481. Nilai R kuadrat ini tergolong moderat hingga rendah, yang berarti model kurva siklus hidup yang digunakan hanya menjelaskan sekitar 48,1 persen variasi data observasi, sehingga proyeksi penurunan tajam menuju tahun 2040–2060 pada kurva tersebut perlu dimaknai sebagai skenario pemodelan matematis, bukan sebagai prediksi yang pasti terjadi. Keterbatasan ini penting untuk digarisbawahi mengingat rentang data observasi aktual hanya mencakup lima titik tahun (2021–2025), yang secara statistik merupakan jumlah titik data yang sangat terbatas untuk menghasilkan proyeksi jangka panjang yang andal. Gambar 10 (Cumulative Growth Curve) menyajikan pemodelan komplementer berupa kurva pertumbuhan kumulatif berbentuk S (S-curve) yang memproyeksikan saturasi publikasi mendekati 99 persen pada sekitar tahun 2040 menurut model yang digunakan. Sebagaimana Gambar 9, proyeksi ini juga bertumpu pada model matematis dengan titik data observasi yang terbatas, sehingga tren aktual pasca-2025 perlu dipantau lebih lanjut melalui pembaruan data secara berkala sebelum proyeksi jangka panjang tersebut dapat dianggap sebagai representasi yang andal atas lintasan riil pertumbuhan bidang computer animation.

Pembahasan

Temuan-temuan pada bagian hasil, ketika dibaca secara terintegrasi, mengungkap sebuah narasi yang lebih besar mengenai posisi computer animation sebagai bidang riset yang sedang bertransisi. Dominasi klaster

tematik "animation-virtual reality-pendidikan" pada peta co-occurrence kata kunci (Gambar 5), dikombinasikan dengan percepatan pertumbuhan istilah "interactive computer graphics" pada 2024–2025 (Gambar 8) dan kemunculan istilah demografis penelitian eksperimental pada tren topik terbaru (Gambar 7), menunjuk ke arah yang sama: computer animation tengah bergeser dari fase pengembangan teknik murni (technique-driven research) menuju fase validasi berbasis pengguna (human-centered validation). Pergeseran semacam ini sejalan dengan pola evolusi umum pada banyak bidang teknologi terapan, di mana fase awal ditandai oleh optimalisasi kapabilitas teknis, sementara fase lanjut ditandai oleh pengujian dampak teknologi tersebut terhadap penggunaannya secara empiris. Pada konteks computer animation, pergeseran ini relevan secara langsung dengan riset pendidikan dan pelatihan vokasi, karena validasi berbasis pengguna pada dasarnya merupakan inti dari riset efektivitas pembelajaran berbasis media animasi digital.

Dominasi Tiongkok dalam produktivitas riset computer animation (180 dokumen, sekitar 33 persen dari keseluruhan himpunan data) sejalan dengan pola umum yang banyak dilaporkan pada kajian bibliometrik bidang sains dan teknologi terapan, di mana investasi riset dan pengembangan yang masif-tercermin dari dominasi pendanaan National Natural Science Foundation of China pada 28 dokumen-berkorelasi langsung dengan volume produktivitas ilmiah. Namun demikian, dominasi kuantitatif ini tidak serta-merta berbanding lurus dengan dominasi kualitatif berdasarkan sitasi: artikel paling banyak disitasi dalam himpunan data (Peng dkk., 2021, dengan 401 sitasi) justru berasal dari kolaborasi peneliti di University of California Berkeley, bukan dari institusi Tiongkok. Rupanya volume produktivitas dan dampak ilmiah adalah dua hal yang tidak selalu berjalan beriringan-negara dengan volume publikasi lebih rendah tetap berpeluang menghasilkan kontribusi berdampak tinggi selama berfokus pada terobosan metodologis yang tepat sasaran.

Temuan mengenai rendahnya tingkat kolaborasi internasional (18,4 persen dari keseluruhan dokumen) memberikan implikasi teoritis yang relevan dengan literatur mengenai jaringan kolaborasi ilmiah. Berbagai kajian bibliometrik pada bidang lain umumnya melaporkan bahwa kolaborasi internasional berkorelasi positif dengan dampak sitasi artikel, karena kolaborasi lintas negara cenderung menggabungkan perspektif metodologis dan sumber daya yang lebih beragam. Meskipun penelitian ini tidak melakukan pengujian korelasi statistik formal antara status kolaborasi dan jumlah sitasi-mengingat keterbatasan cakupan analisis deskriptif pada studi ini-pola pada Tabel 3 memberikan indikasi awal bahwa sejumlah artikel dengan sitasi tinggi memang melibatkan kolaborasi lintas institusi, meski tidak seluruhnya lintas negara. Hal ini membuka ruang bagi penelitian lanjutan yang secara khusus menguji hubungan antara struktur kolaborasi dan dampak ilmiah pada bidang computer animation secara lebih mendalam dan terukur.

Rendahnya representasi Asia Tenggara, termasuk Indonesia, pada literatur computer animation perlu dibaca dalam konteks yang lebih luas mengenai kesenjangan riset Global South yang telah banyak didokumentasikan pada berbagai bidang sains. Namun demikian, kesenjangan ini menjadi lebih bermakna secara praktis pada konteks computer animation karena berpotongan langsung dengan pertumbuhan industri kreatif digital yang nyata di kawasan ini. Ketimpangan antara pertumbuhan industri animasi dan gim di Indonesia dengan rendahnya kontribusi riset ilmiah terindeks Scopus menunjuk pada kesenjangan struktural antara ekosistem industri dan ekosistem akademik, yang berpotensi menghambat proses dokumentasi praktik baik (best practice), transfer pengetahuan berbasis riset ke industri, serta pengembangan kurikulum pendidikan vokasi yang berbasis bukti empiris. Implikasi praktisnya, perguruan tinggi vokasi dan program studi terkait animasi digital di Indonesia memiliki peluang strategis untuk mengisi kesenjangan ini melalui riset terapan yang mendokumentasikan praktik pembelajaran dan pelatihan animasi digital secara sistematis dan dipublikasikan pada jurnal internasional bereputasi.

Struktur tiga klaster pada peta co-occurrence kata kunci (klaster teknis-grafika, klaster interaktif-pendidikan, dan klaster subjek manusia-eksperimental) memberikan kerangka konseptual yang berguna untuk memosisikan riset lanjutan. Klaster teknis-grafika (3d animation, three dimensional computer graphics, texturing, modeling) merepresentasikan fondasi kapabilitas computer animation yang relatif matang dan kompetitif secara global, sehingga peluang kontribusi orisinal pada klaster ini menuntut spesialisasi teknis yang tinggi. Sebaliknya, klaster interaktif-pendidikan (virtual reality, e-learning, teaching, human computer interaction) dan klaster subjek manusia-eksperimental (controlled study, education, procedures) merepresentasikan area yang secara relatif kurang jenuh, sebagaimana ditunjukkan oleh frekuensi kata kunci "education" yang jauh lebih rendah dibandingkan kata kunci teknis inti. Bagi peneliti di kawasan berkembang dengan sumber daya komputasi dan infrastruktur riset yang mungkin lebih terbatas dibandingkan institusi terkemuka di Tiongkok atau Amerika Serikat, klaster interaktif-pendidikan dan subjek manusia-eksperimental menawarkan ruang kontribusi yang secara relatif lebih terjangkau namun tetap bernilai ilmiah tinggi, karena menuntut kedalaman metodologi penelitian pendidikan dan evaluasi dampak, bukan semata kapabilitas komputasi dan algoritma tingkat lanjut.

Simpulan

Penelitian ini memetakan struktur intelektual, evolusi tema, dan frontier riset computer animation berdasarkan analisis bibliometrik terhadap 544 artikel jurnal terindeks Scopus periode 2021–2025. Hasil analisis menunjukkan bahwa produksi ilmiah bidang ini tumbuh secara tidak linear, dari 93 artikel pada 2021 menjadi 117 artikel pada 2025, dengan Tiongkok, Amerika Serikat, dan Inggris sebagai tiga negara paling produktif, sementara tingkat kolaborasi internasional relatif rendah (18,4 persen). Struktur tematik yang teridentifikasi melalui analisis co-occurrence kata kunci mengungkap tiga klaster utama, yaitu klaster teknis-grafika tiga dimensi, klaster interaktif-pendidikan, dan klaster subjek manusia-eksperimental, dengan tren temporal menunjukkan pergeseran dari riset berorientasi teknik murni pada 2021–2022 menuju riset berorientasi validasi pengguna dan interaktivitas pada 2024–2025. Penelitian ini juga mengidentifikasi kesenjangan riset berupa keterwakilan Asia Tenggara yang masih terbatas dan konsentrasi tematik pada isu algoritmik-teknis dibandingkan isu pedagogis, yang menjadi dasar perumusan agenda riset masa depan yang relevan bagi pengembangan computer animation dalam konteks pendidikan vokasi di kawasan berkembang, khususnya Indonesia. Secara teoritis, temuan ini menunjukkan bahwa computer animation, sebagai bidang riset, tidak dapat lagi dipahami semata sebagai cabang grafika komputer, melainkan sebagai medan pertemuan lintas disiplin yang menggabungkan kecerdasan buatan, interaksi manusia-komputer, dan riset pendidikan. Kerangka tiga klaster tematik yang diidentifikasi pada penelitian ini-teknis-grafika, interaktif-pendidikan, dan subjek manusia-eksperimental-dapat menjadi kerangka acuan awal bagi peneliti lain untuk memosisikan kontribusi risetnya secara lebih presisi dalam lanskap bidang yang terus berkembang ini. Implikasi praktis penelitian ini relevan bagi tiga kelompok pemangku kepentingan. Bagi peneliti, khususnya di kawasan Asia Tenggara, hasil pemetaan tematik memberikan panduan untuk mengidentifikasi celah riset yang secara relatif kurang jenuh namun tetap relevan dengan tren global, khususnya pada persimpangan animasi digital dan pendidikan vokasi. Bagi pengelola jurnal dan penerbit di kawasan berkembang, temuan mengenai konsentrasi publikasi pada jurnal-jurnal spesialis grafika komputer (Computer Animation and Virtual Worlds, ACM Transactions on Graphics) memberikan gambaran mengenai standar dan ekspektasi komunitas ilmiah global yang perlu menjadi acuan pengembangan jurnal nasional pada bidang serupa. Bagi pembuat kebijakan riset dan pendidikan tinggi, kesenjangan representasi Asia Tenggara yang teridentifikasi pada penelitian ini dapat menjadi dasar argumentasi untuk mengalokasikan dukungan pendanaan riset dan kolaborasi internasional yang lebih besar pada bidang computer animation, mengingat relevansinya yang langsung dengan pertumbuhan industri kreatif digital di kawasan ini. Berdasarkan kesenjangan riset dan keterbatasan yang teridentifikasi, penelitian ini merumuskan beberapa agenda riset masa depan. Pertama, penelitian bibliometrik lanjutan yang mengintegrasikan basis data Scopus dengan Web of Science atau basis data regional untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai kontribusi riset computer animation dari kawasan Asia Tenggara yang mungkin belum terindeks secara eksklusif pada Scopus. Kedua, riset terapan yang secara eksplisit menjembatani klaster teknis-grafika dengan klaster interaktif-pendidikan, misalnya melalui pengembangan dan evaluasi empiris media pembelajaran berbasis computer animation untuk konteks pendidikan vokasi di Indonesia dan kawasan Asia Tenggara lainnya. Ketiga, penelitian yang menganalisis secara khusus hubungan antara struktur kolaborasi internasional dan dampak sitasi pada bidang computer animation, mengingat penelitian ini baru mengidentifikasi pola deskriptif tanpa pengujian korelasi formal. Keempat, mengingat kemunculan istilah terkait model generatif (seperti rujukan pada denoising diffusion implicit models dan CLIP latents) pada struktur referensi himpunan data, penelitian lanjutan yang secara sistematis memetakan penerapan model generatif berbasis kecerdasan buatan pada computer animation-khususnya potensi dan tantangan penerapannya pada konteks pendidikan vokasi dan industri kreatif digital di kawasan berkembang-menjadi arah riset yang relevan dan belum banyak dieksplorasi berdasarkan temuan penelitian ini.

Referensi

- Abdinejad M., Talaie B., Qorbani H.S., & Dalili S. (2021). Student Perceptions Using Augmented Reality And 3d Visualization Technologies In Chemistry Education. *Journal Of Science Education And Technology*, 30(1), 87-96. <https://doi.org/10.1007/S10956-020-09880-2>
- Banfi F., & Oreni D. (2025). Unlocking The Interactive Potential Of Digital Models With Game Engines And Visual Programming For Inclusive Vr And Web-Based Museums; [Desbloqueo Del Potencial Interactivo De Los Modelos Digitales Con Motores De Juegos Y Programación Visual Para Museos Inclusivos De Vr Y Web]. *Virtual Archaeology Review*, 16(32), 44-70. <https://doi.org/10.4995/Var.2024.22628>
- Bertiche H., Madadi M., & Escalera S. (2021). Pbn: Physically Based Neural Simulation For Unsupervised Garment Pose Space Deformation. *Acm Transactions On Graphics*, 40(6), 198. <https://doi.org/10.1145/3478513.3480479>

- Chai Z., & Qin H. (2025). Dynamic Motion Transition: A Hybrid Data-Driven And Model-Driven Method For Human Pose Transitions. *Ieee Transactions On Visualization And Computer Graphics*, 31(3), 1848–1861. <https://doi.org/10.1109/Tvcg.2024.3372421>
- Chen W., Jiao L., Chen Q., Zheng Z., Geldsetzer P., Greuel M., Gates J., Zhao J., Bärnighausen T., Adam M., Chen S., & Wang C. (2025). Effects Of Scalable, Wordless, Short, Animated Storytelling Videos On Flu Vaccine Hesitancy In China: Nationwide, Single-Blind, Parallel-Group, Randomized Controlled Trial. *Journal Of Medical Internet Research*, 27, E66758. <https://doi.org/10.2196/66758>
- Chhatre K., Guarese R., Matvienko A., & Peters C. (2025). Evaluation Of Generative Models For Emotional 3d Animation Generation In Vr. *Frontiers In Computer Science*, 7, 1598099. <https://doi.org/10.3389/Fcomp.2025.1598099>
- Copaja C.A.Y., & Vera J.R.E. (2025). Neuroeducation Strategies That Promote Participation In The Classroom. A Belief From The Experience Of University Students In Perú. *Edelweiss Applied Science And Technology*, 9(1), 1173–1181. <https://doi.org/10.55214/25768484.V9i1.4367>
- Crundall D., Van Loon E., Baguley T., & Kroll V. (2021). A Novel Driving Assessment Combining Hazard Perception, Hazard Prediction And Theory Questions. *Accident Analysis And Prevention*, 149, 105847. <https://doi.org/10.1016/J.aap.2020.105847>
- Cui L. (2025). Research On The Protection Of Intangible Cultural Heritage Based On Virtual 3d Animation Technology. *International Journal Of Cognitive Informatics And Natural Intelligence*, 19(1). <https://doi.org/10.4018/Ijcin.371402>
- Diel A., Weigelt S., & Macdorman K.F. (2022). A Meta-Analysis Of The Uncanny Valley's Independent And Dependent Variables. *Acm Transactions On Human-Robot Interaction*, 11(1), 1. <https://doi.org/10.1145/3470742>
- Dong W., Fang W., Jiang X., Bao H., Qiu H., & Li Y. (2025). Railway Safety Under Increasing Speed: Train Drivers' Hazard Perception Of Foreign Object Intrusion On Railway Tracks. *International Journal Of Industrial Ergonomics*, 105, 103684. <https://doi.org/10.1016/J.ergon.2024.103684>
- El-Raheb K., Kougoumtzian L., Kalampratsidou V., Theodoropoulos A., Kyriakoulakos P., & Vosinakis S. (2025). Sensing The Inside Out: An Embodied Perspective On Digital Animation Through Motion Capture And Wearables. *Sensors*, 25(7), 2314. <https://doi.org/10.3390/S25072314>
- Ferstl Y., Neff M., & McDonnell R. (2021). Expressgesture: Expressive Gesture Generation From Speech Through Database Matching. *Computer Animation And Virtual Worlds*, 32(3-4), E2016. <https://doi.org/10.1002/Cav.2016>
- 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), 94. <https://doi.org/10.1145/3450626.3459749>
- Hu M., Ge L., & Li X. (2025). Fuzzy Sampling With Qualified Uniformity Properties For Implicitly Defined Curves And Surfaces. *Computer Animation And Virtual Worlds*, 36(3), E70022. <https://doi.org/10.1002/Cav.70022>
- Huang J., Birdal T., Gojcic Z., Guibas L.J., & Hu S.-M. (2023). Multiway Non-Rigid Point Cloud Registration Via Learned Functional Map Synchronization. *Ieee Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence*, 45(2), 2038–2053. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2022.3164653>
- Ji B., Pan Y., Liu Z., Tan S., & Yang X. (2025). Sport: From Zero-Shot Prompts To Real-Time Motion Generation. *Ieee Transactions On Visualization And Computer Graphics*, 31(10), 7171–7183. <https://doi.org/10.1109/Tvcg.2025.3542631>
- 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>
- Kumar A., Saudagar A.K.J., Alkhathami M., Alsamani B., Khan M.B., Hasanat M.H.A., Ahmed Z.H., Kumar A., & Srinivasan B. (2023). Gamified Learning And Assessment Using Arcs With Next-Generation Aiomt Integrated 3d Animation And Virtual Reality Simulation. *Electronics (Switzerland)*, 12(4), 835. <https://doi.org/10.3390/Electronics12040835>
- Kumarpu L., & Mukherjee P. (2021). Animepose: Multi-Person 3d Pose Estimation And Animation. *Pattern Recognition Letters*, 147, 16–24. <https://doi.org/10.1016/J.patrec.2021.03.028>
- Lebamovski P., & Gospodinova E. (2025). Investigating Stress During A Virtual Reality Game Through Fractal And Multifractal Analysis Of Heart Rate Variability. *Applied System Innovation*, 8(1), 16. <https://doi.org/10.3390/Asi8010016>
- 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), 3459852. <https://doi.org/10.1145/3450626.3459852>
- Li X., Han Q., & Zhang G. (2021). Large-Size Sprocket Repairing Based On Robotic Gmaw Additive Manufacturing. *Welding In The World*, 65(5), 793–805. <https://doi.org/10.1007/S40194-021-01080-9>

- Li Y., Du T., Wu K., Xu J., & Matusik W. (2022). Diffcloth: Differentiable Cloth Simulation With Dry Frictional Contact. *Acm Transactions On Graphics*, 42(1), 2. <https://doi.org/10.1145/3527660>
- Liang Y., He F., Zeng X., & Luo J. (2022). An Improved Loop Subdivision To Coordinate The Smoothness And The Number Of Faces Via Multi-Objective Optimization. *Integrated Computer-Aided Engineering*, 29(1), 23-41. <https://doi.org/10.3233/Ica-210661>
- Lomax H., Smith K., Mcevoy J., Brickwood E., Jensen K., & Walsh B. (2022). Creating Online Participatory Research Spaces: Insights From Creative, Digitally Mediated Research With Children During The Covid-19 Pandemic. *Families, Relationships And Societies*, 11(1), 19-37. <https://doi.org/10.1332/204674321x16274828934070>
- Manjotho A.A., Tewolde T.T., Duma R.A., & Niu Z. (2025). Llm-Guided Fuzzy Kinematic Modeling For Resolving Kinematic Uncertainties And Linguistic Ambiguities In Text-To-Motion Generation. *Expert Systems With Applications*, 279, 127283. <https://doi.org/10.1016/J.Eswa.2025.127283>
- Mcdonald J. (2025). Considerations On Generating Facial Nonmanual Signals On Signing Avatars. *Universal Access In The Information Society*, 24(1), 19-36. <https://doi.org/10.1007/S10209-024-01090-6>
- Meng X., Yang B., & Zhang Z. (2025). New Media Technology In Digital Animation Art Teaching Experimental Exploration: Impact Analysis And Future Prospects. *International Journal Of Knowledge Management*, 21(1). <https://doi.org/10.4018/Ijkm.373306>
- Nie W., Jiao C., Chang R., Qu L., & Liu A.-A. (2023). Cpg3d: Cross-Modal Priors Guided 3d Object Reconstruction. *Ieee Transactions On Multimedia*, 25, 9383–9396. <https://doi.org/10.1109/Tmm.2023.3251697>
- 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>
- Palfinger W. (2022). Continuous Remeshing For Inverse Rendering. *Computer Animation And Virtual Worlds*, 33(5), E2101. <https://doi.org/10.1002/Cav.2101>
- Peng X.B., Ma Z., Abbeel P., Levine S., & Kanazawa A. (2021). Amp: Adversarial Motion Priors For Stylized Physics-Based Character Control. *Acm Transactions On Graphics*, 40(4), 144. <https://doi.org/10.1145/3450626.3459670>
- Rolfe S., Pieper S., Porto A., Diamond K., Winchester J., Shan S., Kirveslahti H., Boyer D., Summers A., & Maga A.M. (2021). Slicermorph: An Open And Extensible Platform To Retrieve, Visualize And Analyse 3d Morphology. *Methods In Ecology And Evolution*, 12(10), 1816–1825. <https://doi.org/10.1111/2041-210x.13669>
- Romilio A., Dick R., Skinner H., & Millar J. (2025). Uncovering Hidden Footprints: Revision Of The Lower Jurassic (Sinemurian) Razorback Beds--Home To Australia's Earliest Reported Dinosaur Trackway. *Historical Biology*, 37(3), 596-603. <https://doi.org/10.1080/08912963.2024.2320184>
- Shi X., Wang Y., Wang Y., Wang J., Peng C., Cheng S., Song L., Li R., Guo F., Li Z., Duan S., Yang X., Zhou L., Jiang H., & Yu L. (2025). The Effectiveness Of Digital Animation--Based Multistage Education For Patients With Atrial Fibrillation Catheter Ablation: Randomized Clinical Trial. *Journal Of Medical Internet Research*, 27, E65685. <https://doi.org/10.2196/65685>
- 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., Yu T., Wang Y., & Liu Y. (2023). Deepcloth: Neural Garment Representation For Shape And Style Editing. *Ieee Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence*, 45(2), 1581–1593. <https://doi.org/10.1109/Tpami.2022.3168569>
- Vankit S.A., Zamanifard S., Diaz D., Mousas C., Richardson K., Duchowski A.T., & Volonte M. (2025). Exploring The Impact Of Multimodal Long Conversations In Vr On Attitudes Toward Behavior Change, Memory Retention, And Cognitive Load. *Computer Animation And Virtual Worlds*, 36(3), E70023. <https://doi.org/10.1002/Cav.70023>
- Wang H., Ho E.S.L., Shum H.P.H., & Zhu Z. (2021). Spatio-Temporal Manifold Learning For Human Motions Via Long-Horizon Modeling. *Ieee Transactions On Visualization And Computer Graphics*, 27(1), 216-227. <https://doi.org/10.1109/Tvcg.2019.2936810>
- Xue X., Wang X., Liu W., Wang X., Zhao J., & Wu Z. (2025). Coarse-To-Fine 3d Craniofacial Landmark Detection Via Heat Kernel Optimization. *Computer Animation And Virtual Worlds*, 36(4), E70050. <https://doi.org/10.1002/Cav.70050>
- Yu Q., Hu L., Alzahrani B., Baranawi A., Alhindi A., & Chen M. (2021). Intelligent Visual-Iot-Enabled Real-Time 3d Visualization For Autonomous Crowd Management. *Ieee Wireless Communications*, 28(4), 34-41. <https://doi.org/10.1109/Mwc.021.2000497>
- Zhao J., & Zhao X. (2022). Computer-Aided Graphic Design For Virtual Reality-Oriented 3d Animation Scenes. *Computer-Aided Design And Applications*, 19, 65-76. <https://doi.org/10.14733/Cadaps.2022.S5.65-76>

- Zhong L., Guo C., Xie Y., Wang J., & Li C. (2025). Sketch2anim: Towards Transferring Sketch Storyboards Into 3d Animation. *Acm Transactions On Graphics*, 44(4), 74. <https://doi.org/10.1145/3731167>
- Zhou Y., Zhang Z., Jia J., Jiang Y., Liu X., Min X., & Zhai G. (2025). Who Is A Better Imitator: Subjective And Objective Quality Assessment Of Animated Humans. *Ieee Transactions On Circuits And Systems For Video Technology*, 35(10), 10047-10058. <https://doi.org/10.1109/Tcsvt.2025.3572000>