

Perkembangan riset extended reality (XR) dalam produksi animasi digital berdasarkan publikasi terindeks

Alzet Rama*), Mutia Ramdhatul Jannah

Universitas Negeri Padang,

*) Correspondence regarding this article should be addressed to: Author address e-mail: alzetrama@unp.ac.id

Abstract: Teknologi extended reality (XR) mencakup virtual reality (VR), augmented reality (AR), dan mixed reality (MR) telah menjadi bagian yang semakin lekat dengan proses produksi animasi digital, mulai dari pemodelan tiga dimensi, penangkapan gerak, hingga penyajian karakter virtual kepada penonton. Meski demikian, pemetaan sistematis terhadap arah dan struktur riset di persimpangan XR dan animasi komputer masih jarang dilakukan. Studi ini menganalisis 220 artikel jurnal terindeks Scopus yang diterbitkan pada 2016–2025 menggunakan pendekatan bibliometrik dengan bantuan Biblioshiny (Bibliometrix) dan VOSviewer. Hasil audit data menunjukkan tren publikasi yang meningkat, dengan lonjakan tajam pada 2022–2023 dan 2025, didominasi oleh jurnal *Computer Animation and Virtual Worlds* serta kontributor dari Tiongkok dan Amerika Serikat. Analisis co-occurrence kata kunci mengidentifikasi empat kluster tematik utama: kluster inti virtual reality–computer animation, kluster pemodelan tiga dimensi, kluster kecerdasan buatan dan pendidikan, serta kluster metodologis terkait simulasi dan artikel manusia. Peta tematik memperlihatkan bahwa tema virtual reality dan animasi menempati kuadran motor themes, sedangkan augmented reality untuk pembelajaran (e-learning, students) justru berada pada kuadran tema yang muncul atau meredup, mengindikasikan pergeseran minat riset dari sekadar penerapan AR edukatif menuju integrasi VR yang lebih mendalam dengan kecerdasan buatan generatif. Analisis kolaborasi negara menunjukkan jaringan yang masih berpusat pada aksis Tiongkok–Amerika Serikat–Eropa, dengan keterlibatan negara Asia Tenggara, termasuk Indonesia, yang jauh lebih terbatas. Temuan ini menegaskan adanya kesenjangan representasi Global South dalam jaringan produksi pengetahuan XR-animasi, sekaligus membuka ruang bagi riset baru yang menghubungkan XR, pembelajaran mesin generatif, dan produksi animasi karakter di kawasan yang masih under-represented tersebut.

Keywords: extended reality; virtual reality; augmented reality; animasi digital; analisis bibliometrik; VOSviewer

Article History: Received on 06/05/2025; Revised on 08/06/2025; Accepted on 24/07/2025; Published Online: 28/08/2025.



This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. ©2025 by author.

PENDAHULUAN

Industri animasi digital dalam satu dekade terakhir tidak lagi bertumpu pada perangkat lunak pemodelan dan rendering konvensional saja. Ia bergerak ke arah lingkungan produksi yang imersif, di mana animator dapat memahat karakter tiga dimensi langsung di dalam ruang virtual,

menangkap gerak tubuh performer secara real-time melalui sensor motion capture yang terhubung dengan headset VR, atau menempatkan aset digital ke atas dunia nyata melalui augmented reality untuk kebutuhan previsualisasi. Pergeseran ini didorong oleh kematangan perangkat keras XR yang semakin ringan dan terjangkau, serta oleh permintaan pasar hiburan, edukasi, dan pelatihan industri yang menuntut pengalaman visual yang lebih partisipatif dibanding tayangan animasi linear.

Di tingkat global, laporan industri dan kajian akademik silih berganti mencatat pertumbuhan pasar XR yang ditopang oleh sektor game, film, dan simulasi pelatihan, dengan animasi komputer sebagai salah satu pilar teknis di baliknya. Riset yang muncul dalam basis data Scopus pada kurun 2016–2025 pun memperlihatkan lonjakan jumlah artikel yang mengaitkan virtual reality, augmented reality, atau mixed reality dengan proses computer animation maupun 3D animation, sebagaimana akan ditunjukkan pada bagian hasil. Fenomena ini tidak berdiri sendiri; ia berjalan seiring dengan penguatan riset computer graphics, deep learning untuk gesture generation, dan kebutuhan visualisasi tiga dimensi di bidang pendidikan, warisan budaya, hingga kedokteran.

Pada level regional, kawasan Asia khususnya Asia Timur tampak menjadi episentrum produksi riset ini, sebagaimana lazim terjadi pada bidang computer graphics dan visual computing lain. Tiongkok, dengan basis industri animasi dan gim yang besar, dan Korea Selatan, dengan ekosistem konten digital yang matang, konsisten muncul sebagai kontributor utama. Sebaliknya, kawasan Asia Tenggara, termasuk Indonesia yang memiliki industri animasi domestik yang tumbuh pesat serta populasi pengembang gim dan konten digital yang besar, baru menyumbang porsi publikasi yang jauh lebih kecil pada persimpangan riset XR dan animasi ini. Ketimpangan semacam ini konsisten dengan pola yang berulang pada berbagai kajian bibliometrik lain di bidang teknologi pendidikan dan TVET, di mana negara-negara Global South cenderung menjadi konsumen teknologi dibanding produsen pengetahuan ilmiah tentangnya.

Pada level nasional, Indonesia berada pada posisi yang menarik untuk dicermati. Di satu sisi, kebutuhan tenaga kerja kreatif digital termasuk animator, spesialis motion capture, dan pengembang aset XR terus meningkat seiring pertumbuhan industri animasi lokal dan kebutuhan konten metaverse maupun pelatihan berbasis simulasi. Di sisi lain, kontribusi riset ilmiah Indonesia pada topik spesifik integrasi XR dan animasi digital masih relatif kecil dibanding volume publikasi global, sehingga arah pengembangan kurikulum vokasi dan riset terapan di dalam negeri lebih banyak mengacu pada literatur dari negara maju tanpa basis empiris lokal yang memadai.

Permasalahan penelitian yang muncul dari kondisi tersebut adalah: bagaimana struktur, arah, dan evolusi tematik riset yang mengintegrasikan XR dengan produksi animasi digital berkembang secara global, serta di mana posisi negara-negara berkembang, termasuk Indonesia, dalam jaringan produksi pengetahuan tersebut? Pertanyaan ini penting dijawab karena tanpa pemetaan yang sistematis, upaya pengembangan riset maupun kurikulum vokasi terkait XR-animasi berisiko mengulang topik yang sudah jenuh dibahas, alih-alih mengisi celah yang justru belum tergarap.

Sejauh penelusuran terhadap basis data Scopus, belum banyak kajian bibliometrik yang secara khusus memotret persimpangan XR dan produksi animasi digital sebagai satu domain riset yang koheren; kajian bibliometrik yang ada lebih banyak membahas XR untuk pendidikan secara umum atau computer animation sebagai bidang tersendiri tanpa menyoroti irisan keduanya. Celah riset (research gap) inilah yang menjadi dasar dilakukannya kajian ini, dengan urgensi tambahan bahwa integrasi AI generatif ke dalam pipeline animasi yang mulai tampak dalam klaster kata kunci deep learning dan gesture generation pada dataset berpotensi mengubah lanskap riset ini secara cepat dalam beberapa tahun mendatang, sehingga baseline pemetaan yang mutakhir menjadi relevan untuk disusun sekarang.

Novelty studi ini terletak pada penggunaan analisis bibliometrik terpadu (bibliometric performance analysis dan science mapping) untuk memotret secara spesifik domain XR-animasi digital sebagai satu kesatuan, sekaligus menyoroti ketimpangan geografis produksi pengetahuan pada domain tersebut sebuah sudut pandang yang jarang diangkat secara eksplisit dalam kajian bibliometrik computer graphics maupun XR pendidikan yang sudah ada. Berdasarkan latar belakang, permasalahan, dan celah tersebut, tujuan penelitian ini adalah: (1) memetakan tren publikasi, sitasi, dan produktivitas sumber-penulis-negara pada riset XR untuk animasi digital periode 2016–2025; (2) mengidentifikasi struktur dan evolusi tematik riset melalui analisis co-occurrence kata kunci dan pemetaan tematik; serta (3) merumuskan celah riset dan agenda penelitian masa depan, khususnya bagi konteks negara berkembang seperti Indonesia.

METODE

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain bibliometrik kuantitatif dengan pendekatan performance analysis dan science mapping. Performance analysis digunakan untuk memetakan produktivitas publikasi, sitasi, penulis, sumber, dan negara, sedangkan science mapping digunakan untuk menelusuri struktur intelektual bidang melalui analisis co-occurrence kata kunci dan pemetaan tematik.

Database, Strategi Pencarian, dan Boolean Search

Data diambil dari basis data Scopus pada 20 Juli 2026. Strategi pencarian disusun menggunakan kombinasi istilah pada bidang judul, abstrak, dan kata kunci (TITLE-ABS-KEY) sebagai berikut:

("extended reality" OR XR OR "virtual reality" OR VR OR "augmented reality" OR AR OR "mixed reality" OR MR) AND ("digital animation" OR "computer animation" OR "3D animation" OR "animation production")

Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria inklusi yang diterapkan meliputi: (1) tahun terbit 2016–2025; (2) jenis sumber jurnal (source type: journal); (3) jenis dokumen artikel (document type: article); (4) tahap publikasi final (publication stage: final); dan (5) bahasa Inggris. Dokumen yang tidak memenuhi salah satu kriteria tersebut termasuk prosiding konferensi, book chapter, artikel dalam tahap in-press, dan artikel berbahasa non-Inggris dikeluarkan dari analisis.

Proses Seleksi Data

Proses penyaringan tersebut konsisten dilaporkan pada dokumen metode yang disusun peneliti maupun pada berkas ekspor akhir Scopus, sehingga angka 220 artikel digunakan sebagai populasi akhir penelitian ini. Diagram alur seleksi mengikuti logika PRISMA meski tidak seluruh tahap PRISMA konvensional (misalnya penghapusan duplikat antar-database) relevan diterapkan, karena penelusuran hanya dilakukan pada satu basis data tunggal (Scopus) tanpa penggabungan dengan basis data lain.

Tabel 1. Ringkasan Proses Seleksi Data

Tahap	Kriteria	Jumlah Dokumen
Identification	Boolean search awal pada Scopus (TITLE-ABS-KEY)	1.172
Screening 1	Rentang tahun 2016–2025	608
Screening 2	Jenis sumber: jurnal (journal)	269
Screening 3	Jenis dokumen: artikel (article)	234
Screening 4	Tahap publikasi: final	234
Included	Bahasa: Inggris	220

Informasi mengenai jumlah artikel yang dikeluarkan pada tahap eligibility berdasarkan penilaian manual abstrak tidak tersedia dalam dokumen yang diunggah sehingga tidak dapat diverifikasi dan tidak digunakan dalam analisis; seleksi pada penelitian ini berhenti pada tahap penyaringan otomatis melalui fitur refine Scopus.

Perangkat Analisis dan Prosedur Validasi

Analisis deskriptif dan performa bibliometrik dilakukan menggunakan Biblioshiny, antarmuka berbasis web dari paket Bibliometrix pada R (Aria & Cuccurullo, 2017), sedangkan analisis co-occurrence kata kunci dan visualisasi jaringan menggunakan VOSviewer (Van Eck & Waltman, 2010). Berkas CSV ekspor Scopus diperlakukan sebagai sumber data utama (Prioritas 1), diikuti hasil olahan Bibliometrix (Prioritas 2), visualisasi VOSviewer (Prioritas 3), dan dokumen proses pencarian (Prioritas 4) sebagai dasar validasi silang apabila ditemukan selisih angka. Pemeriksaan silang yang dilakukan pada tahap audit menunjukkan bahwa jumlah sumber jurnal unik pada berkas CSV (126 judul jurnal) sama persis dengan jumlah gabungan zona Bradford's Law pada Biblioshiny ($7 + 46 + 73 = 126$), dan bahwa frekuensi negara kontributor pada berkas analisis Scopus (misalnya Tiongkok 76 dokumen, Amerika Serikat 33 dokumen, Korea Selatan 15 dokumen) konsisten arahnya dengan peringkat negara pada keluaran Bibliometrix, meski nilai absolut Bibliometrix lebih tinggi karena metode penghitungannya berbasis frekuensi kemunculan negara pada seluruh baris afiliasi penulis, bukan berbasis dokumen unik. Tidak ditemukan inkonsistensi berarti antara jumlah dokumen pada CSV (220), narasi proses pencarian (220), dan ringkasan analisis Scopus (220), sehingga seluruh angka pada penelitian ini dianggap tervalidasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Audit Dataset

Audit awal menunjukkan bahwa keseluruhan 220 dokumen berjenis artikel jurnal berbahasa Inggris yang telah melalui tahap publikasi final, tersebar pada 126 judul jurnal berbeda dan ditulis oleh sekitar 674 nama penulis unik dengan 187 dokumen (85%) berstatus multi-penulis. Rentang tahun 2016–2025 mencerminkan periode sepuluh tahun terakhir sejak boom perangkat konsumen VR generasi modern (Oculus Rift, HTC Vive) mulai memengaruhi riset computer graphics secara luas.

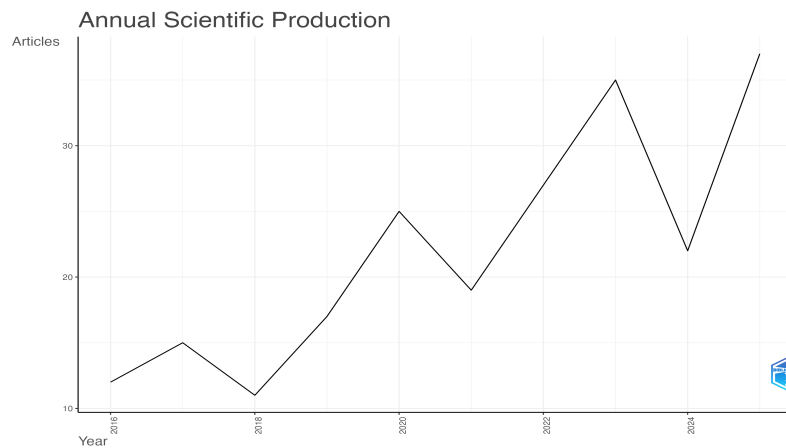
Tabel 2. Ringkasan Audit Dataset

Aspek	Temuan
Jumlah dokumen	220 artikel
Rentang tahun	2016–2025
Jenis dokumen	Artikel jurnal (100%)
Jumlah sumber (jurnal) unik	126 judul
Jumlah penulis unik (perkiraan)	674 nama
Dokumen multi-penulis	187 (85%)
Total sitasi	2.791
Rerata sitasi per dokumen	12,7
Negara kontributor teratas	Tiongkok, Amerika Serikat, Korea Selatan

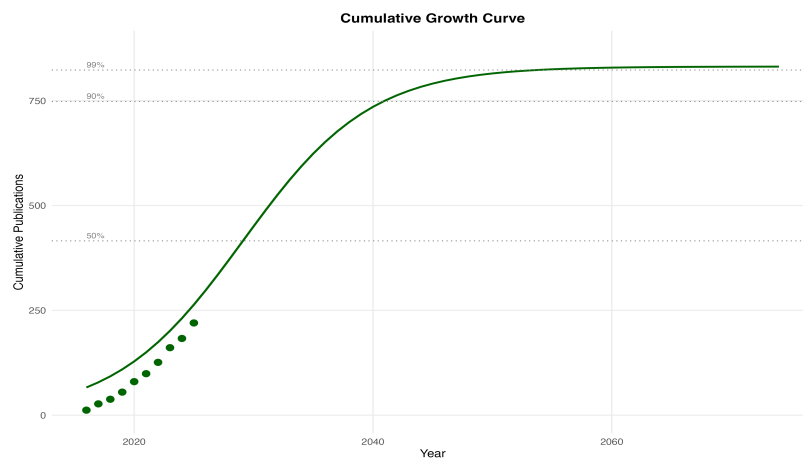
Analisis Tren Publikasi

Tren publikasi tahunan pada Gambar 1 memperlihatkan pola pertumbuhan yang tidak sepenuhnya linear. Jumlah artikel bergerak dari 12 dokumen pada 2016 naik-turun di kisaran 11–17 dokumen hingga 2019, kemudian melonjak ke 25 dokumen pada 2020 bersamaan dengan periode pandemi yang mendorong riset simulasi dan pembelajaran jarak jauh berbasis teknologi imersif. Setelah sedikit menurun pada 2021 (19 dokumen), tren kembali naik tajam hingga mencapai puncak sementara 35 dokumen pada 2023, turun pada 2024 (22 dokumen), lalu melonjak lagi menjadi 37

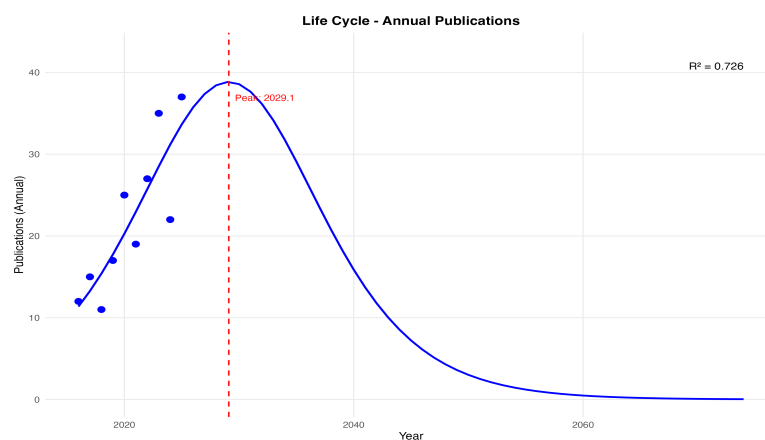
dokumen pada 2025. Pola gigi gergaji semacam ini umum dijumpai pada bidang riset teknologi yang masih dalam fase pertumbuhan, di mana lonjakan publikasi seringkali dipicu oleh edisi khusus jurnal atau gelombang minat terhadap sub-topik tertentu (misalnya generative AI untuk animasi karakter pada 2023–2025) yang kemudian diikuti oleh periode konsolidasi. Secara keseluruhan, tren ini menegaskan bahwa domain XR-animasi bukan bidang yang stagnan, melainkan bidang yang aktif tumbuh sekaligus masih mencari bentuk topik dominannya.



Gambar 1. Tren Produksi Ilmiah Tahunan (Annual Scientific Production), 2016–2025.



Gambar 2. Kurva Pertumbuhan Kumulatif Publikasi.

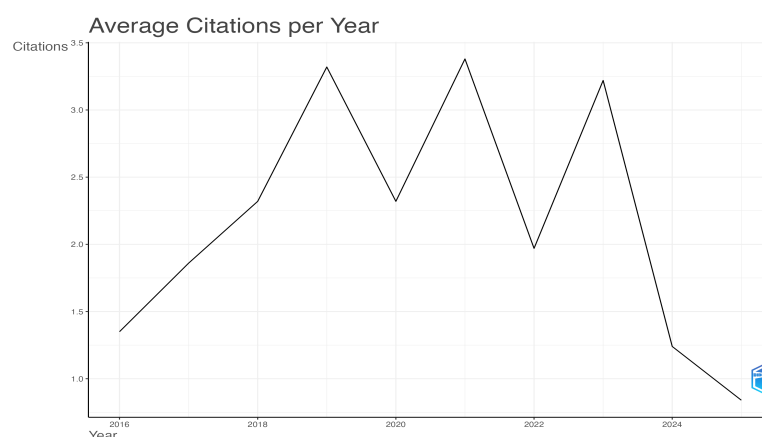


Gambar 3. Estimasi Siklus Hidup Publikasi Tahunan Berdasarkan Model Pertumbuhan Logistik.

Untuk melengkapi pembacaan tren mentah, Biblioshiny menyediakan estimasi model pertumbuhan logistik pada kurva kumulatif (Gambar 2 dan 3). Model tersebut mengestimasi kapasitas maksimum kumulatif publikasi (K) sebesar 831,5 dokumen dengan titik infleksi (tm) pada tahun 2029,1 dan estimasi puncak produksi tahunan sebesar 38,8 dokumen per tahun pada periode tersebut, dengan koefisien determinasi R^2 sebesar 0,726. Model ini juga mengestimasi bahwa bidang ini baru mencapai sekitar 10% dari total potensi kumulatifnya pada tahun 2017 dan diproyeksikan mencapai 90% pada tahun 2041. Perlu dicatat bahwa nilai R^2 sebesar 0,726 tergolong sedang, bukan tinggi, sehingga proyeksi jangka panjang ini sebaiknya dibaca sebagai indikasi arah pertumbuhan, bukan prediksi yang presisi data observasi aktual pada dataset ini hanya tersedia hingga 2025, sedangkan proyeksi puncak pada 2029 dan estimasi hingga 2053 merupakan ekstrapolasi model matematis yang melampaui rentang data yang teramati dan karenanya perlu diperlakukan secara hati-hati. Meski begitu, posisi kurva kumulatif yang masih berada jauh di bawah fase pelandaian (plateau) memberi indikasi yang konsisten dengan pembacaan tren mentah pada Gambar 1: bidang riset XR-animasi digital saat ini berada pada fase pertumbuhan (growth stage), bukan fase matang (maturity) apalagi jenuh (saturation), sehingga ruang kontribusi riset baru termasuk dari negara yang belum banyak berkontribusi secara teoritis masih terbuka luas.

Analisis Sitasi

Dataset ini mengumpulkan total 2.791 sitasi dengan rerata 12,7 sitasi per dokumen. Gambar 4 memperlihatkan rerata sitasi per artikel per tahun yang secara wajar menurun tajam mendekati tahun-tahun terbaru (2024–2025), karena artikel yang baru terbit belum memiliki cukup waktu untuk disitasi pola citation window yang lazim pada bidang apa pun, bukan indikasi menurunnya kualitas atau relevansi artikel terbaru. Yang lebih menarik untuk dicermati adalah fluktuasi pada tahun 2018–2023, dengan titik tertinggi pada 2021 (rerata di atas 3,3 sitasi/tahun) dan titik terendah relatif pada 2020 dan 2022. Pola berselang-seling ini mengindikasikan bahwa dampak sitasi riset pada bidang ini tidak stabil dari tahun ke tahun, kemungkinan karena topik yang dibahas cukup beragam dan belum mengarah pada satu isu inti yang secara konsisten menjadi rujukan lintas tahun.



Gambar 4. Rerata Sitasi per Artikel per Tahun. Sumber: Biblioshiny.

Tabel 3. Lima Belas Artikel dengan Sitasi Tertinggi

Penulis	Judul	Tahun	Sumber	Sitasi
Nyatsanga S. dkk.	A Comprehensive Review of Data-Driven Co-Speech Gesture G...	2023	Computer Graphics Forum	117
Ayala García A. dkk.	Virtual reality training system for maintenance and opera...	2016	Virtual Reality	116

Penulis	Judul	Tahun	Sumber	Sitasi
Abdinejad M. dkk.	Student Perceptions Using Augmented Reality and 3D Visual...	2021	Journal of Science Educat...	100
Chouinard-Thuly L. dkk.	Technical and conceptual considerations for using animate...	2017	Current Zoology	89
Murcia-López M. dkk.	A comparison of virtual and physical training transfer of...	2018	IEEE Transactions on Visu...	78
Ho L.-H. dkk.	Research on 3D painting in virtual reality to improve stu...	2019	Sustainability (Switzerland)	73
Lindner C. dkk.	Augmented Reality applications as digital experiments for...	2019	Acta Astronautica	58
Ferstl Y. dkk.	ExpressGesture: Expressive gesture generation from speech...	2021	Computer Animation and Vi...	54
Karuzaki E. dkk.	Realistic virtual humans for cultural heritage applications	2021	Heritage	54
Turnwald A. dkk.	Human-Like Motion Planning Based on Game Theoretic Decisi...	2019	International Journal of ...	52
Jing Y. dkk.	Application of 3d reality technology combined with cad in...	2020	Computer-Aided Design and...	51
Jiang H. dkk.	Example-driven virtual cinematography by learning camera ...	2020	ACM Transactions on Graphics	49
Lindquist M. dkk.	The effect of audio fidelity and virtual reality on the p...	2020	Landscape and Urban Planning	46
Cannavo A. dkk.	Immersive Virtual Reality-Based Interfaces for Character ...	2019	IEEE Access	45
Rapprich V. dkk.	Application of Modern Technologies in Popularization of t...	2017	Geoheritage	45

Artikel dengan sitasi tertinggi, "A Comprehensive Review of Data-Driven Co-Speech Gesture Generation" oleh Nyatsanga dkk. (2023) dengan 117 sitasi, mencerminkan minat besar komunitas riset terhadap penggunaan pembelajaran mendalam untuk menghasilkan gerak tubuh dan gestur karakter virtual secara otomatis dari input suara sebuah persoalan inti dalam animasi karakter yang kini beririsan langsung dengan riset AI generatif. Posisi kedua ditempati oleh Ayala García dkk. (2016) tentang sistem pelatihan VR untuk pemeliharaan jaringan listrik tegangan tinggi, yang menunjukkan bahwa aplikasi VR-animasi untuk pelatihan industri sudah menarik perhatian ilmiah sejak awal periode kajian ini dan tetap relevan disitasi hingga sekarang. Artikel-artikel lain pada peringkat atas memperlihatkan keragaman domain aplikasi yang luas: pendidikan kimia (Abdinejad dkk., 2021), studi perilaku hewan menggunakan stimulus animasi (Chouinard-Thuly dkk., 2017), pelatihan perakitan bimanual (Murcia-López & Steed, 2018), hingga warisan budaya (Karuzaki dkk., 2021). Keragaman ini menegaskan bahwa riset XR-animasi bukan bidang tunggal yang homogen, melainkan payung riset lintas-domain yang menyatukan teknik computer graphics

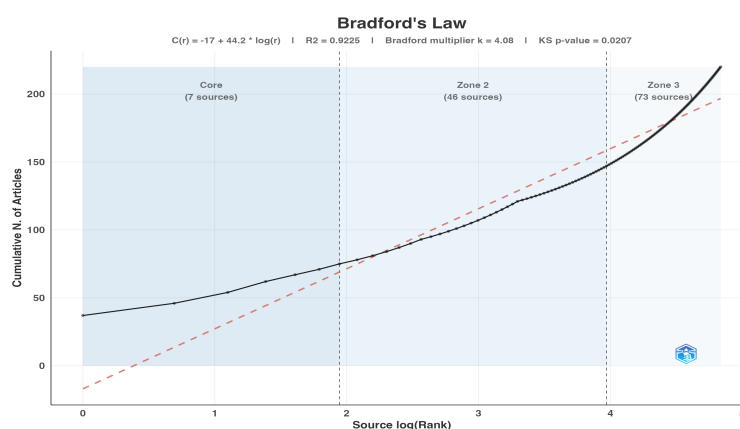
dengan kebutuhan aplikatif yang sangat bervariasi sebuah karakteristik yang relevan dikaitkan dengan teori diffusion of innovation, di mana teknologi generik (XR dan animasi tiga dimensi) diadopsi dan dimodifikasi oleh berbagai komunitas praktik sesuai kebutuhan spesifik mereka.

Analisis Sumber (Jurnal)

Computer Animation and Virtual Worlds menjadi jurnal dengan kontribusi dominan, menyumbang 37 dari 220 artikel (sekitar 17%) jauh melampaui jurnal peringkat kedua, Applied Mathematics and Nonlinear Sciences dan Computer-Aided Design and Applications, yang masing-masing menyumbang 9 dan 8 artikel. Dominasi satu jurnal spesialis ini konsisten dengan pola yang diprediksi Hukum Bradford, yaitu adanya sekelompok kecil jurnal inti (core sources) yang menampung proporsi besar literatur suatu bidang. Analisis Bradford pada Gambar 5 mengidentifikasi 7 jurnal sebagai zona inti, 46 jurnal pada zona kedua, dan 73 jurnal pada zona ketiga, dengan model regresi $C(r) = -17 + 44,2 \log(r)$ memiliki R^2 sebesar 0,9225 kecocokan yang secara umum tergolong baik. Meski demikian, nilai KS p-value sebesar 0,0207 (lebih kecil dari ambang 0,05) menunjukkan bahwa secara statistik, distribusi sumber pada dataset ini menyimpang secara signifikan dari model Bradford ideal, kemungkinan besar karena dominasi tunggal Computer Animation and Virtual Worlds yang jauh lebih menonjol dibanding pola distribusi bertahap yang diasumsikan hukum Bradford. Implikasi praktisnya bagi peneliti pemula di bidang ini adalah pemantauan rutin terhadap satu jurnal inti tersebut kemungkinan sudah memberi cakupan informasi yang proporsinya jauh lebih besar dibanding pemantauan jurnal manapun di zona kedua atau ketiga, meskipun keragaman topik yang lebih luas tetap memerlukan penelusuran pada jurnal-jurnal di luar zona inti.

Tabel 4. Sepuluh Jurnal dengan Kontribusi Artikel Terbanyak

Nama Jurnal	Jumlah Artikel
Computer Animation and Virtual Worlds	37
Applied Mathematics and Nonlinear Sciences	9
IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics	8
Computer-Aided Design and Applications	8
IEEE Access	5
Scientific Programming	4
International Journal of Advanced Computer Science and Applications	4
Sensors	3
Virtual Reality	3
Visual Computer	3



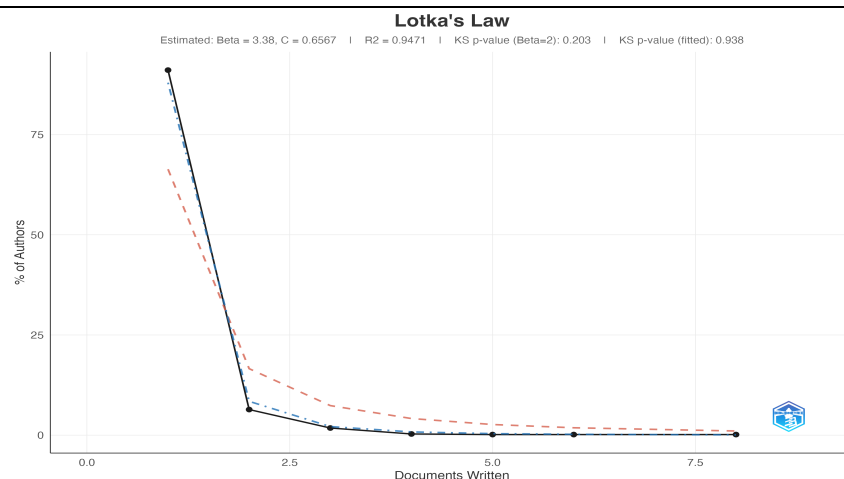
Gambar 5. Distribusi Sumber Berdasarkan Hukum Bradford.

Analisis Penulis

Kumar A. tercatat sebagai penulis paling produktif dengan 8 dokumen, diikuti oleh Wang X. (6 dokumen) dan Mousas C. (5 dokumen). Perlu dicatat bahwa penamaan "Kumar A." pada basis data Scopus berpotensi menggabungkan lebih dari satu individu berbeda dengan inisial yang sama, sehingga angka produktivitas tertinggi ini sebaiknya dibaca dengan kehati-hatian tanpa verifikasi disambiguasi ORCID lebih lanjut, yang tidak tersedia pada dataset yang diunggah dan karenanya tidak dapat diverifikasi. Terlepas dari catatan tersebut, pola keseluruhan produktivitas penulis pada Gambar 6 sejalan dengan prediksi Hukum Lotka: mayoritas penulis (di atas 85% berdasarkan kurva) hanya menghasilkan satu dokumen pada dataset ini, sementara sebagian kecil penulis menghasilkan banyak dokumen. Estimasi parameter Beta sebesar 3,38 lebih tinggi dari nilai teoretis klasik Lotka ($\text{Beta} = 2$), yang berarti konsentrasi produktivitas pada segelintir penulis di bidang ini lebih tajam dibanding prediksi klasik namun uji Kolmogorov-Smirnov terhadap model $\text{Beta} = 2$ klasik menghasilkan p-value 0,203 (tidak signifikan pada $\alpha 0,05$), yang berarti secara statistik, data pada dataset ini masih dapat dikatakan konsisten dengan Hukum Lotka klasik, sementara model dengan parameter yang disesuaikan ($\text{Beta} = 3,38$, $C = 0,6567$) memberikan kecocokan yang lebih baik lagi ($R^2 = 0,9471$; KS p-value = 0,938). Pola ini menggambarkan bidang riset yang belum memiliki kelompok inti penulis (invisible college) yang benar-benar mapan dan dominan, melainkan lebih banyak diisi oleh kontributor yang menerbitkan riset XR-animasi secara insidental di sela topik utama mereka yang lain.

Tabel 5. Sepuluh Penulis Paling Produktif

Nama Penulis	Jumlah Dokumen
Kumar A.	8
Wang X.	6
Mousas C.	5
Yang X.	4
Wang J.	4
Zhang J.	3
Li J.	3
Qin H.	3
Liu S.	3
Zhang H.	3



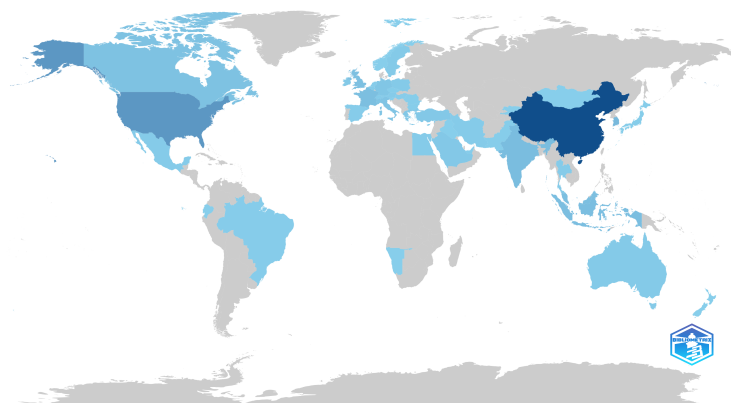
Gambar 6. Distribusi Produktivitas Penulis Berdasarkan Hukum Lotka.

Analisis Negara dan Kolaborasi

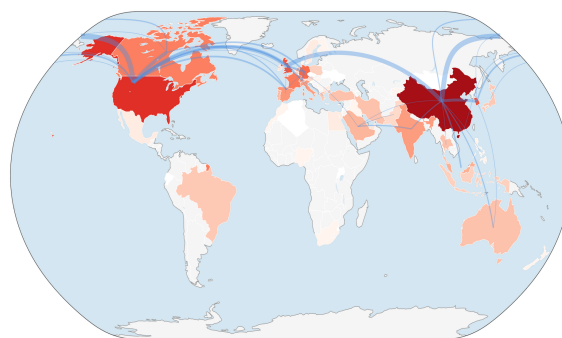
Tiongkok mendominasi produksi ilmiah pada domain ini dengan frekuensi kemunculan afiliasi penulis sebanyak 140, jauh di atas Amerika Serikat (58) dan Korea Selatan (22). Data ini konsisten dengan hasil audit pada berkas ekspor Scopus, yang mencatat 76 dokumen dengan setidaknya satu penulis berafiliasi di Tiongkok angka dokumen lebih kecil dibanding angka frekuensi afiliasi karena satu dokumen dapat melibatkan lebih dari satu penulis dari negara yang sama. India, Indonesia, Prancis, dan Malaysia mengisi kelompok kontributor menengah dengan rentang 16–18 frekuensi afiliasi. Peta kolaborasi pada Gambar 8 memperlihatkan bahwa jalinan kerja sama internasional paling tebal terjadi pada aksis Amerika Serikat–Tiongkok dan Amerika Serikat–Eropa Barat (Inggris, Jerman, Prancis, Italia), sementara garis kolaborasi yang menghubungkan negara Asia Tenggara dengan pusat-pusat riset tersebut jauh lebih tipis dan jarang.

Tabel 6. Sepuluh Negara dengan Frekuensi Afiliasi Penulis Terbanyak

Negara	Frekuensi Afiliasi
Tiongkok	140
Amerika Serikat	58
Korea Selatan	22
India	18
Indonesia	17
Prancis	16
Malaysia	16
Inggris Raya	15
Kanada	13
Italia	11



Gambar 7. Peta Produksi Ilmiah Berdasarkan Negara.

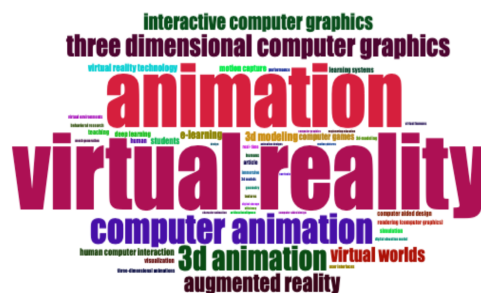


Gambar 8. Peta Kolaborasi Internasional Antar negara.

Temuan ini penting dibaca bersama posisi Indonesia yang, meski menempati peringkat lima besar dari sisi volume afiliasi (17 frekuensi), tidak tampak memiliki simpul kolaborasi internasional yang menonjol pada peta jaringan. Dengan kata lain, kontribusi Indonesia pada domain ini lebih banyak berbentuk publikasi mandiri atau kolaborasi domestik antar-institusi dalam negeri, bukan bagian dari jaringan kolaborasi lintas negara yang menjadi inti produksi pengetahuan global pada bidang XR-animasi. Pola screening semacam ini sejalan dengan argumen yang berulang dalam literatur bibliometrik mengenai ketimpangan Global North–Global South: negara berkembang cenderung berperan sebagai kontributor volume, namun jarang menjadi simpul sentral (hub) dalam jaringan kolaborasi yang menentukan arah agenda riset suatu bidang.

Analisis Kata Kunci dan Struktur Tematik

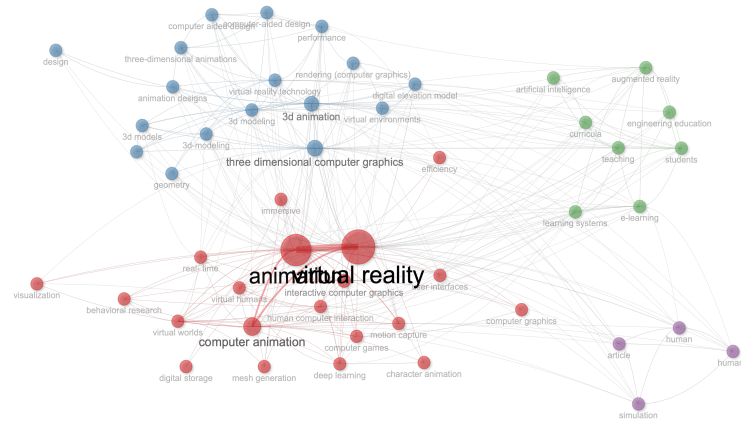
Kata kunci "virtual reality" (149 kemunculan) dan "animation" (124 kemunculan) menjadi dua istilah paling dominan pada dataset ini, jauh melampaui "computer animation" (59), "3d animation" (48), dan "three dimensional computer graphics" (43). Dominasi ini secara alami merefleksikan strategi pencarian yang digunakan, namun juga menegaskan bahwa dalam praktiknya, virtual reality menjadi payung teknologi XR yang paling banyak dikaitkan secara eksplisit dengan riset animasi, jauh lebih sering dibanding augmented reality (36 kemunculan) atau extended reality maupun mixed reality secara langsung sebagai istilah yang jarang muncul sebagai kata kunci mandiri pada dataset ini.



Gambar 9. Word Cloud Kata Kunci Dominan. Sumber: Biblioshiny.

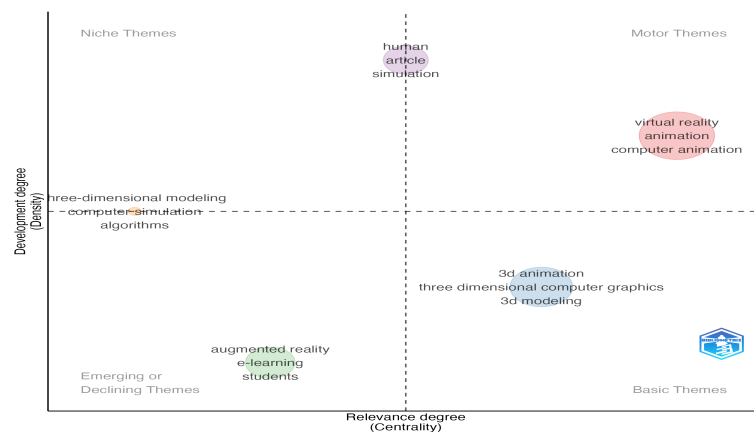
Tabel 7. Lima Belas Kata Kunci dengan Frekuensi Kemunculan Tertinggi

Kata Kunci	Frekuensi
virtual reality	149
animation	124
computer animation	59
3d animation	48
three dimensional computer graphics	43
augmented reality	36
interactive computer graphics	32
virtual worlds	29
3d modeling	18
e-learning	17
virtual reality technology	15
computer games	14
human computer interaction	14
students	14
deep learning	11



Gambar 10. Jaringan Co-occurrence Kata Kunci..

Peta jaringan co-occurrence pada Gambar 10 memperlihatkan empat kluster warna yang berbeda. Kluster merah, yang paling besar dan paling padat, berpusat pada node "virtual reality" dan "animation"/"computer animation", terhubung erat dengan istilah seperti motion capture, human computer interaction, virtual worlds, computer games, deep learning, dan character animation mengindikasikan inti riset yang menyatukan produksi konten virtual interaktif dengan teknik animasi karakter berbasis data. Kluster biru berkumpul di sekitar "3d animation" dan "three dimensional computer graphics", beririsan dengan istilah computer aided design, rendering, 3d modeling, dan virtual reality technology mencerminkan sisi teknis-produksi dari pipeline animasi tiga dimensi yang menggunakan VR sebagai alat bantu pemodelan, bukan sebagai medium penyajian akhir. Kluster hijau menghimpun istilah artificial intelligence, curricula, teaching, students, engineering education, dan e-learning bersama augmented reality menandakan sub-bidang tersendiri yang berfokus pada penerapan AR untuk pembelajaran dan pendidikan teknik, relatif terpisah dari inti riset produksi animasi itu sendiri. Kluster ungu yang lebih kecil menghimpun istilah metodologis umum seperti article, human, humans, dan simulation.



Gambar 11. Peta Tematik (Thematic Map) Berdasarkan Sentralitas dan Densitas.

Peta tematik pada Gambar 11 memperkuat pembacaan tersebut dengan menempatkan tema virtual reality–animation–computer animation pada kuadran motor themes (sentralitas dan densitas tinggi), yang berarti tema ini menjadi inti riset yang sudah mapan sekaligus terus berkembang. Tema 3d animation–three dimensional computer graphics–3d modeling menempati kuadran basic themes (sentralitas tinggi, densitas relatif lebih rendah), menandakan tema yang menjadi fondasi lintas riset namun belum berkembang menjadi sub-bidang yang benar-benar matang secara mandiri. Yang menarik, tema augmented reality–e-learning–students justru berada pada kuadran emerging or

declining themes (sentralitas dan densitas rendah) bukan pada motor themes seperti yang mungkin diasumsikan mengingat besarnya minat global terhadap AR pendidikan. Posisi ini mengindikasikan bahwa dalam konteks spesifik riset XR-animasi (bukan riset AR-pendidikan secara umum), penerapan AR untuk pembelajaran masih berada pada pinggiran struktur intelektual bidang, belum terintegrasi kuat dengan inti riset animasi itu sendiri. Sementara itu, tema human–article–simulation pada kuadran niche themes mengindikasikan kumpulan istilah metodologis yang cenderung berdiri sendiri, tidak banyak berinteraksi dengan tema substantif lain pada peta.

SIMPULAN

Analisis bibliometrik terhadap 220 artikel Scopus periode 2016–2025 menunjukkan bahwa riset pada persimpangan extended reality dan produksi animasi digital berada pada fase pertumbuhan yang aktif namun belum matang, dengan Computer Animation and Virtual Worlds sebagai jurnal inti dominan, Tiongkok dan Amerika Serikat sebagai kontributor dan simpul kolaborasi utama, serta struktur tematik yang terpusat pada klaster virtual reality-animasi karakter sebagai motor themes. Tema augmented reality untuk pendidikan, alih-alih menjadi arus utama, justru berada pada posisi pinggiran struktur intelektual bidang ini. Ketimpangan representasi kolaborasi internasional, dengan negara-negara Asia Tenggara termasuk Indonesia yang berkontribusi dari sisi volume namun minim dari sisi sentralitas jaringan, menjadi temuan yang perlu menjadi perhatian bagi pengembangan agenda riset dan kebijakan vokasi ke depan.

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. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09880-2>
- Ali, G., Lee, M., & Hwang J.-I. (2020). Automatic text-to-gesture rule generation for embodied conversational agents. *Computer Animation and Virtual Worlds*, 31. <https://doi.org/10.1002/cav.1944>
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Ayala García, A., Galván Bobadilla, I., Arroyo Figueroa, G., Pérez Ramírez, M., & Muñoz Román, J. (2016). Virtual reality training system for maintenance and operation of high-voltage overhead power lines. *Virtual Reality*, 20. <https://doi.org/10.1007/s10055-015-0280-6>
- Cannavo, A., Demartini, C., Morra, L., & Lamberti, F. (2019). Immersive Virtual Reality-Based Interfaces for Character Animation. *IEEE Access*, 7. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2939427>
- Chouinard-Thuly, L., Gierszewski, S., Rosenthal, G.G., Reader, S.M., Rieucan, G., Woo, K.L., Gerlai, R., Tedore, C., Ingley, S.J., Stowers, J.R., Frommen, J.G., Dolins, F.L., & Witte, K. (2017). Technical and conceptual considerations for using animated stimuli in studies of animal behavior. *Current Zoology*, 63. <https://doi.org/10.1093/cz/zow104>
- Dai, Z., & MacDorman, K.F. (2018). The doctor's digital double: How warmth, competence, and animation promote adherence intention. *PeerJ Computer Science*, 2018. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.168>
- 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>

- Falomo Bernarduzzi, L., Bernardi, E.M., Ferrari, A., Garbarino, M.C., & Vai, A. (2021). Augmented Reality Application for Handheld Devices: How to Make It hAPPen at the Pavia University History Museum. *Science and Education*, 30. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00197-z>
- Ferstl, Y., Neff, M., & McDonnell, R. (2021). ExpressGesture: Expressive gesture generation from speech through database matching. *Computer Animation and Virtual Worlds*, 32. <https://doi.org/10.1002/cav.2016>
- Gan, B., Zhang, C., Chen, Y., & Chen Y.-C. (2021). Research on role modeling and behavior control of virtual reality animation interactive system in Internet of Things. *Journal of Real-Time Image Processing*, 18. <https://doi.org/10.1007/s11554-020-01046-y>
- Gnidovec, T., Žemlja, M., Dolenec, A., & Torkar, G. (2020). Using Augmented Reality and the Structure–Behavior–Function Model to Teach Lower Secondary School Students about the Human Circulatory System. *Journal of Science Education and Technology*, 29. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09850-8>
- Gulec, U., Yilmaz, M., Isler, V., O'Connor, R.V., & Clarke, P.M. (2019). A 3D virtual environment for training soccer referees. *Computer Standards and Interfaces*, 64. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2018.11.004>
- Ho L.-H., Sun, H., & Tsai T.-H. (2019). Research on 3D painting in virtual reality to improve students' motivation of 3D animation learning. *Sustainability (Switzerland)*, 11. <https://doi.org/10.3390/su11061605>
- Jiang, H., Wang, B., Wang, X., Christie, M., & Chen, B. (2020). Example-driven virtual cinematography by learning camera behaviors. *ACM Transactions on Graphics*, 39. <https://doi.org/10.1145/3386569.3392427>
- Jing, Y., & Song, Y. (2020). Application of 3d reality technology combined with cad in animation modeling design. *Computer-Aided Design and Applications*, 18. <https://doi.org/10.14733/cadaps.2021.S3.164-175>
- 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. <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. <https://doi.org/10.3390/electronics12040835>
- Kumar, A., Srinivasan, B., Saudagar, A.K.J., AlTameem, A., Alkhathami, M., Alsamani, B., Khan, M.B., Ahmed, Z.H., Kumar, A., & Singh, K.U. (2023). Next-Gen Mulsemmedia: Virtual Reality Haptic Simulator's Impact on Medical Practitioner for Higher Education Institutions. *Electronics (Switzerland)*, 12. <https://doi.org/10.3390/electronics12020356>
- Lamberti, F., Paravati, G., Gatteschi, V., Cannavo, A., & Montuschi, P. (2018). Virtual Character Animation Based on Affordable Motion Capture and Reconfigurable Tangible Interfaces. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 24. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2017.2690433>
- Lee I.-J. (2019). Augmented reality coloring book: An interactive strategy for teaching children with autism to focus on specific nonverbal social cues to promote their social skills. *Interaction Studies*, 20. <https://doi.org/10.1075/is.18004.lee>
- Li, J., & Wang, J. (2023). Digital animation multimedia information synthesis based on mixed reality framework with specialized analysis on speech data. *International Journal of Speech Technology*, 26. <https://doi.org/10.1007/s10772-021-09940-x>
- Li, L., & Li, T. (2022). Animation of virtual medical system under the background of virtual reality technology. *Computational Intelligence*, 38. <https://doi.org/10.1111/coin.12446>

- Lindner, C., Rienow, A., & Jürgens, C. (2019). Augmented Reality applications as digital experiments for education – An example in the Earth-Moon System. *Acta Astronautica*, 161. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2019.05.025>
- Lindquist, M., Maxim, B., Proctor, J., & Dolins, F. (2020). The effect of audio fidelity and virtual reality on the perception of virtual greenspace. *Landscape and Urban Planning*, 202. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103884>
- Liu, K., Wang, J., Zhu, C., & Hong, Y. (2016). Development of upper cycling clothes using 3D-to-2D flattening technology and evaluation of dynamic wear comfort from the aspect of clothing pressure. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 28. <https://doi.org/10.1108/IJCST-02-2016-0016>
- McKemmish, S., Chandler, T., & Faulkhead, S. (2019). Imagine: a living archive of people and place “somewhere beyond custody”. *Archival Science*, 19. <https://doi.org/10.1007/s10502-019-09320-0>
- Murcia-López, M., & Steed, A. (2018). A comparison of virtual and physical training transfer of bimanual assembly tasks. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 24. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2018.2793638>
- 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. <https://doi.org/10.1111/cgf.14776>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Palfinger, W. (2022). Continuous remeshing for inverse rendering. *Computer Animation and Virtual Worlds*, 33. <https://doi.org/10.1002/cav.2101>
- Patotskaya, Y., Hoyet, L., Olivier A.-H., Pettré, J., & Zibrek, K. (2023). Avoiding virtual humans in a constrained environment: Exploration of novel behavioural measures. *Computers and Graphics (Pergamon)*, 110. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2023.01.001>
- Rapprich, V., Lisec, M., Fiferna, P., & Závada, P. (2017). Application of Modern Technologies in Popularization of the Czech Volcanic Geoheritage. *Geoheritage*, 9. <https://doi.org/10.1007/s12371-016-0208-x>
- Rubio, R.R., Shehata, J., Kournoutas, I., Chae, R., Vigo, V., Wang, M., El-Sayed, I., & Abba, A.A. (2019). Construction of Neuroanatomical Volumetric Models Using 3-Dimensional Scanning Techniques: Technical Note and Applications. *World Neurosurgery*, 126. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.03.099>
- Shin, D., & Park, S. (2019). 3D learning spaces and activities fostering users' learning, acceptance, and creativity. *Journal of Computing in Higher Education*, 31. <https://doi.org/10.1007/s12528-019-09205-2>
- Stark, L. (2018). Facial recognition, emotion and race in animated social media. *First Monday*, 23. <https://doi.org/10.5210/fm.v23i9.9406>
- Tai N.-C. (2023). Applications of augmented reality and virtual reality on computer-assisted teaching for analytical sketching of architectural scene and construction. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 22. <https://doi.org/10.1080/13467581.2022.2097241>
- Tauscher J.-P., Witt, A., Bosse, S., Schottky, F.W., Grogork, S., Castillo, S., & Magnor, M. (2020). Exploring neural and peripheral physiological correlates of simulator sickness. *Computer Animation and Virtual Worlds*, 31. <https://doi.org/10.1002/cav.1953>
- Tedore, C., & Johnsen, S. (2017). Using RGB displays to portray color realistic imagery to animal eyes. *Current Zoology*, 63. <https://doi.org/10.1093/cz/zow076>
- Turnwald, A., & Wollherr, D. (2019). Human-Like Motion Planning Based on Game Theoretic Decision Making. *International Journal of Social Robotics*, 11. <https://doi.org/10.1007/s12369-018-0487-2>

- Vagg, T., Balta, J.Y., Bolger, A., & Lone, M. (2020). Multimedia in Education: What do the Students Think?. *Health Professions Education*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.hpe.2020.04.011>
- 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>
- Xu, H., & Barbic, J. (2017). 6-DoF Haptic Rendering Using Continuous Collision Detection between Points and Signed Distance Fields. *IEEE Transactions on Haptics*, 10. <https://doi.org/10.1109/TOH.2016.2613872>
- Yildirim Ç., Bostan, B., & Berkman M.İ. (2019). Impact of different immersive techniques on the perceived sense of presence measured via subjective scales. *Entertainment Computing*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.entcom.2019.100308>
- Zhang, L. (2019). Application Research of Automatic Generation Technology for 3D Animation Based on UE4 Engine in Marine Animation. *Journal of Coastal Research*, 93. <https://doi.org/10.2112/SI93-088.1>
- Zhang, X., & Liu, S. (2017). SPH haptic interaction with multiple-fluid simulation. *Virtual Reality*, 21. <https://doi.org/10.1007/s10055-017-0308-1>
- Zhao, J., & Zhao, X. (2022). Computer-aided graphic design for virtual reality-oriented 3d animation scenes. *Computer-Aided Design and Applications*, 19. <https://doi.org/10.14733/CADAPS.2022.S5.65-76>
- Zhou, K., Cai, R., Ma, Y., Tan, Q., Wang, X., Li, J., Shum, H.P.H., Li, F.W.B., Jin, S., & Liang, X. (2023). A Video-Based Augmented Reality System for Human-in-the-Loop Muscle Strength Assessment of Juvenile Dermatomyositis. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 29. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2023.3247092>
- Zilverschoon, M., Vincken, K.L., & Bleys, R.L.A.W. (2017). The virtual dissecting room: Creating highly detailed anatomy models for educational purposes. *Journal of Biomedical Informatics*, 65. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2016.11.005>
- Zupic, I., & Čater, T. (2015). Bibliometric methods in management and organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429–472. <https://doi.org/10.1177/1094428114562629>