



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>



Deep learning architectures in physics-based character animation: a bibliometric mapping of research trajectories, 2016-2025

Alzet Rama^{*)}, Wiki Lofandri
Universitas Negeri Padang

Article Info

Article history:

Received Jul 12th, 2025
Revised Aug 20th, 2025
Accepted Sep 26th, 2025

Keyword:

AI-assisted animation,
Bibliometrik,
Deep learning,
Character animation,

ABSTRACT

Perkembangan kecerdasan buatan (artificial intelligence/AI) telah mengubah lanskap produksi animasi secara fundamental, mulai dari sintesis gerak karakter, animasi wajah, hingga simulasi visual berbasis pembelajaran mendalam. Meskipun literatur pada domain ini berkembang pesat, pemetaan struktur intelektual dan arah evolusinya secara menyeluruh masih terbatas. Penelitian ini bertujuan memetakan struktur bibliometrik penelitian AI-assisted animation melalui analisis terhadap 983 dokumen yang diperoleh dari basis data Scopus periode 2016–2025, menggunakan kombinasi analisis deskriptif kuantitatif dan visualisasi jaringan kata kunci berbasis VOSviewer. Hasil analisis menunjukkan tren publikasi yang meningkat tajam sejak 2021, dengan dominasi kontribusi dari Tiongkok, Amerika Serikat, dan Korea Selatan, serta konsentrasi topik pada deep learning, reinforcement learning, dan character animation sebagai inti kluster keilmuan. Peta densitas dan jaringan kata kunci mengindikasikan pergeseran fokus riset dari pendekatan machine learning konvensional menuju arsitektur pembelajaran mendalam yang terintegrasi dengan reinforcement learning untuk pengendalian gerak fisik karakter (physics-based character control). Studi ini memberikan kontribusi berupa peta jalan tematik yang dapat menjadi rujukan bagi peneliti, praktisi industri animasi, maupun pengembang kebijakan riset teknologi kreatif dalam merumuskan agenda penelitian AI-assisted animation ke depan.



© 2025 The Authors.

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

Corresponding Author:

Alzet Rama,
Universitas Negeri Padang
Email: alzetrama@unp.ac.id

Pendahuluan

Kecerdasan buatan telah menjadi kekuatan pendorong transformasi di hampir seluruh sektor produksi kreatif digital, dan animasi merupakan salah satu domain yang paling nyata merasakan dampak tersebut. Sejak kemunculan arsitektur pembelajaran mendalam yang mampu memodelkan gerak, ekspresi, dan tekstur visual secara data-driven, industri animasi bergeser dari praktik keyframing manual menuju pipeline produksi yang sebagian besar digerakkan oleh model generatif dan pembelajaran penguatan (reinforcement learning). Fenomena ini tampak jelas pada data bibliometrik yang dianalisis dalam penelitian ini: jumlah publikasi pada domain AI-assisted animation meningkat dari hanya 13 dokumen pada tahun 2016 menjadi 255 dokumen pada tahun 2025, sebuah pertumbuhan yang mengindikasikan bahwa perhatian komunitas ilmiah terhadap isu ini bukan sekadar tren sesaat, melainkan pergeseran paradigma riset yang berkelanjutan.

Pada skala global, distribusi kontribusi negara memperlihatkan pola konsentrasi yang tegas. Tiongkok tercatat terlibat pada 366 dokumen, jauh melampaui Amerika Serikat (143 dokumen) dan Korea Selatan (89 dokumen), yang kemudian diikuti oleh Britania Raya, Kanada, Jepang, India, Jerman, Taiwan, Prancis, dan Hong Kong. Pola ini menunjukkan bahwa penelitian AI-assisted animation tidak tersebar merata, melainkan terpusat pada kawasan Asia Timur dan Amerika Utara yang memang secara historis menjadi episentrum riset grafika komputer dan kecerdasan buatan terapan. Fenomena regional ini konsisten dengan dominasi sumber publikasi seperti ACM Transactions on Graphics dan Computer Graphics Forum, dua jurnal yang secara tradisional menjadi wadah utama riset computer animation berkualitas tinggi.

Perlu dinyatakan secara eksplisit bahwa dataset yang dianalisis dalam penelitian ini tidak memuat bukti empiris mengenai fenomena AI-assisted animation pada tingkat nasional Indonesia secara spesifik — tidak satu pun dari sepuluh negara kontributor teratas merepresentasikan konteks nasional tersebut. Oleh karena itu, argumentasi pada bagian ini dibatasi pada fenomena global dan regional (Asia Timur–Amerika Utara) yang benar-benar dapat diverifikasi dari data, sementara urgensi pada konteks nasional dirumuskan sebagai kebutuhan riset komparatif di masa depan, bukan sebagai klaim yang didukung data primer penelitian ini.

Permasalahan penelitian muncul dari kesenjangan antara pesatnya pertumbuhan kuantitas publikasi dan minimnya upaya pemetaan struktur intelektual yang menyeluruh atas literatur tersebut. Studi-studi individual pada domain AI-assisted animation umumnya berfokus pada kontribusi teknis spesifik — misalnya sintesis gerak karakter berbasis reinforcement learning atau animasi wajah berbasis GAN — tanpa disertai pemetaan makro yang menunjukkan bagaimana subtema-subtema tersebut saling berkaitan, berevolusi dari waktu ke waktu, dan membentuk kluster keilmuan yang koheren. Kekosongan inilah yang menjadi titik tolak penelitian bibliometrik ini.

Research gap yang teridentifikasi dari data, urgensi pemetaannya, serta novelty yang diajukan dijelaskan secara rinci pada bagian tersendiri berikut ini, sebelum penelitian ini merumuskan tujuannya secara eksplisit: memetakan struktur bibliometrik, mengidentifikasi kluster tematik, dan merumuskan arah evolusi riset AI-assisted animation berdasarkan bukti empiris dari 983 dokumen Scopus.

Berdasarkan hasil audit dan analisis kata kunci, tema dominan dalam literatur AI-assisted animation terpusat pada tiga simpul utama: deep learning (234 kemunculan kata kunci penulis), artificial intelligence (100), dan machine learning (83), dengan character animation (45) dan reinforcement learning (28) sebagai simpul tematik turunan yang secara visual membentuk kluster tersendiri pada peta jaringan VOSviewer. Tema-tema pendukung seperti motion capture, facial animation, generative adversarial network, dan virtual reality hadir dengan frekuensi menengah (15–23 kemunculan), mengindikasikan bahwa topik-topik ini merupakan cabang aktif namun belum sepadat kluster inti.

Kesenjangan penelitian (research gap) yang dapat diidentifikasi secara empiris dari data adalah sebagai berikut. Pertama, tema seperti motion synthesis, human pose estimation, dan motion control—meskipun terhubung erat secara visual dengan kluster character animation dan reinforcement learning pada peta jaringan—memiliki frekuensi kemunculan yang jauh lebih rendah (masing-masing di bawah 18 kemunculan) dibandingkan simpul induknya, menunjukkan bahwa integrasi mendalam antara pembelajaran penguatan dan pengendalian gerak fisik karakter animasi masih merupakan area yang under-explored secara relatif. Kedua, kata kunci generative ai dan anime muncul dengan frekuensi rendah namun menempati posisi pada tahun-tahun mutakhir (2024–2025 berdasarkan skala warna overlay visualization), mengindikasikan tema yang baru berkembang (emerging) namun belum menjadi arus utama penelitian. Ketiga, tidak ditemukan kata kunci yang secara eksplisit membahas dimensi pendidikan, pelatihan vokasional, atau keterampilan computational thinking dalam produksi animasi berbasis AI—sebuah kekosongan yang relevan mengingat perubahan pipeline produksi animasi akan berimplikasi langsung terhadap kebutuhan kompetensi sumber daya manusia di bidang ini, meskipun aspek ini berada di luar cakupan langsung dataset bibliometrik yang dianalisis dan karenanya hanya dapat dinyatakan sebagai arah agenda riset, bukan temuan bibliometrik itu sendiri.

Dengan demikian, research gap utama yang dirumuskan dari bukti bibliometrik adalah: belum tersedianya pemetaan terintegrasi yang menjelaskan bagaimana kluster deep learning/AI generik saling beririsan dengan kluster teknis spesifik animasi (character animation, motion synthesis, facial animation) dari waktu ke waktu, serta minimnya kajian mengenai tema-tema baru (generative AI, anime style transfer) yang secara data mulai muncul namun belum mapan sebagai sub-bidang tersendiri.

Novelty penelitian ini terletak pada penyajian peta struktur intelektual AI-assisted animation yang secara eksplisit mengintegrasikan tiga lapis bukti: (1) tren kuantitatif publikasi dan sitasi sepanjang 2016–2025, (2) struktur co-occurrence kata kunci melalui tiga bentuk visualisasi VOSviewer yang saling melengkapi (density untuk intensitas topik, overlay untuk evolusi temporal, dan network untuk struktur relasional-kluster), dan (3) identifikasi tema emergent (generative ai, anime, simulation and animation) yang divalidasi silang antara

frekuensi kata kunci CSV dan posisi warna pada overlay visualization. Pendekatan tiga-lapis ini belum lazim dijumpai pada kajian bibliometrik animasi berbasis AI yang sejauh dapat ditelusuri dari dataset ini umumnya hanya menyajikan satu bentuk visualisasi tanpa validasi silang kuantitatif. Novelty kedua terletak pada penguatan metodologis mengenai batas keterverifikasian data—penelitian ini secara sadar tidak memaksakan interpretasi terhadap metrik yang tidak tersedia (jumlah cluster resmi, Total Link Strength, data Bibliometrix), sehingga hasil yang disajikan memiliki tingkat keterandalan (traceability) yang tinggi terhadap dataset sumber.

Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan analisis bibliometrik deskriptif-kuantitatif yang dipadukan dengan analisis visualisasi jaringan kata kunci (keyword co-occurrence network analysis). Data primer bersumber dari basis data Scopus, diakses dan diekspor dalam format CSV, dengan strategi pencarian Boolean sebagai berikut, sebagaimana tercatat pada dokumen narasi metode penelitian:

TITLE-ABS-KEY (("artificial intelligence" OR ai OR "machine learning" OR "deep learning" OR "generative AI" OR "AI-assisted" OR "AI-powered") AND (animation OR "computer animation" OR "digital animation" OR "animated film" OR "animated content" OR cartoon OR anime)) AND PUBYEAR > 2015 AND PUBYEAR < 2026 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "cp") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (LIMIT-TO (SRCTYPE , "j")) AND (LIMIT-TO (PUBSTAGE , "final"))

Proses seleksi data dilakukan secara bertahap. Pencarian awal dengan kombinasi istilah AI dan animasi menghasilkan 4.635 dokumen. Setelah pembatasan rentang tahun 2016–2025, jumlah dokumen menyusut menjadi 2.990. Penyaringan berdasarkan jenis dokumen (artikel dan conference paper) menghasilkan 2.586 dokumen. Pembatasan lebih lanjut pada jenis sumber jurnal (source type: journal) menghasilkan 991 dokumen, dan seleksi akhir berdasarkan publication stage "final" menghasilkan 983 dokumen yang menjadi dataset akhir penelitian ini. Angka akhir ini telah divalidasi identik dengan jumlah baris data pada file CSV hasil ekspor Scopus, sehingga tidak terdapat inkonsistensi antara narasi metode dan data primer.

Tabel 1. Alur seleksi data (data extraction flow) berdasarkan dokumen narasi metode dan validasi CSV

Tahap Seleksi	Jumlah Dokumen
Pencarian Boolean awal	4.635
Filter tahun 2016–2025	2.990
Filter jenis dokumen (artikel + conference paper)	2.586
Filter jenis sumber (jurnal)	991
Filter publication stage (final)	983

Tabel 1 menunjukkan bahwa dari 4.635 dokumen hasil pencarian Boolean awal, hanya 983 dokumen (21,2%) yang akhirnya memenuhi seluruh kriteria inklusi. Penyusutan terbesar terjadi pada tahap pembatasan jenis sumber menjadi jurnal (dari 2.586 menjadi 991 dokumen, atau berkurang 61,7%), mengindikasikan bahwa sebagian besar dokumen awal berasal dari prosiding konferensi murni (bukan jurnal) sehingga tersaring keluar. Selisih kecil antara 991 dan 983 dokumen pada tahap akhir (publication stage final) menunjukkan bahwa hampir seluruh dokumen jurnal yang terjaring sudah berstatus final saat pengambilan data, mengonfirmasi kematangan metadata dataset ini.

Analisis data dilakukan melalui dua tahap. Tahap pertama adalah analisis deskriptif kuantitatif terhadap metadata CSV Scopus (tren publikasi, sumber, penulis, negara, sitasi, dan kata kunci) menggunakan pemrosesan data terstruktur. Tahap kedua adalah analisis visualisasi jaringan kata kunci menggunakan VOSviewer, mencakup density visualization (intensitas kemunculan tema), overlay visualization (evolusi temporal tema berdasarkan skala warna tahun), dan network visualization (struktur relasi dan pengelompokan tema). Karena file ekspor mentah VOSviewer (.txt/.json) dan output Bibliometrix/Biblioshiny tidak tersedia dalam dataset yang diunggah, angka pasti seperti jumlah cluster resmi, jumlah node, jumlah link, dan Total Link Strength tidak digunakan dalam analisis ini; interpretasi terhadap peta visual dibatasi pada pola yang secara visual dan tekstual dapat diverifikasi langsung dari gambar.

Results and Discussions

Tren Publikasi

Tren publikasi menunjukkan pertumbuhan yang konsisten dan meningkat tajam pada periode 2021–2025. Dari hanya 13 dokumen pada 2016, jumlah publikasi meningkat menjadi 65 pada 2020, kemudian melonjak menjadi 133 pada 2022 dan mencapai 255 pada 2025 (perlu dicatat bahwa data 2025 kemungkinan belum mencerminkan

tahun penuh pada saat pengambilan data). Lonjakan pertumbuhan pasca-2021 secara temporal berimpit dengan periode akselerasi global riset model generatif (generative AI) yang meluas ke berbagai domain aplikasi, termasuk animasi.

Tabel 2. Tren publikasi tahunan (2016–2025)

Tahun	Jumlah Dokumen
2016	13
2017	24
2018	35
2019	60
2020	65
2021	75
2022	133
2023	131
2024	192
2025	255

Data pada Tabel 2 memperlihatkan tingkat pertumbuhan yang tidak linear: dari 2016 ke 2021 (5 tahun) jumlah dokumen bertambah 62 (dari 13 menjadi 75), sedangkan dari 2021 ke 2025 (4 tahun) jumlah dokumen bertambah 180 (dari 75 menjadi 255). Percepatan paling nyata terlihat dari 2021 ke 2022 (kenaikan 58 dokumen dalam satu tahun, atau 77%), yang menjadi titik infleksi (inflection point) kuantitatif pada dataset ini.

Sumber, Penulis, dan Negara Terproduktif

Tabel 3 menunjukkan bahwa ACM Transactions on Graphics menyumbang 82 dokumen (8,3% dari total dataset), lebih dari dua kali lipat jumlah dokumen pada peringkat kedua (Computer Graphics Forum, 35 dokumen). Dominasi ini relevan karena, sebagaimana akan ditunjukkan pada Tabel 5, jurnal yang sama juga menaungi mayoritas dokumen paling banyak disitasi, menegaskan posisinya sebagai wadah publikasi utama (flagship venue) bagi riset AI-assisted animation berkualitas tinggi.

Tabel 3. Tujuh sumber jurnal terproduktif

Sumber Jurnal	Jumlah Dokumen
ACM Transactions on Graphics	82
Computer Graphics Forum	35
Computer Animation and Virtual Worlds	33
IEEE Access	25
IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics	22
IEEE Robotics and Automation Letters	22
Multimedia Tools and Applications	19

Tabel 4. Sebelas negara dengan keterlibatan dokumen terbanyak (deteksi string afiliasi; satu dokumen kolaborasi lintas negara dapat terhitung pada lebih dari satu negara)

Negara (afiliasi)	Jumlah Dokumen Terlibat
China	366
United States	143
South Korea	89
United Kingdom	68
Canada	47
Japan	45
India	41
Germany	38
Taiwan	35
France	33
Hong Kong	33

Tabel 4 menunjukkan pola konsentrasi geografis yang tegas: Tiongkok terlibat pada 366 dokumen, atau hampir 2,6 kali lipat jumlah keterlibatan Amerika Serikat di peringkat kedua (143 dokumen). Sepuluh dari sebelas negara teratas berasal dari kawasan Asia Timur (China, South Korea, Japan, Taiwan, Hong Kong), Amerika Utara (United States, Canada), dan Eropa Barat (United Kingdom, Germany, France), dengan India

sebagai satu-satunya representasi Asia Selatan. Tidak ada negara Asia Tenggara, termasuk Indonesia, yang muncul pada sebelas besar ini.

Dokumen Paling Berpengaruh (Most Cited)

Dokumen dengan sitasi tertinggi dalam dataset adalah Peng, Abbeel, Levine, dan Van de Panne (2018a) mengenai DeepMimic, sebuah kerangka reinforcement learning berbasis contoh gerak (example-guided) untuk keterampilan karakter berbasis fisika, dengan 928 sitasi. Posisi kedua ditempati oleh Lopes, de Aguiar, De Souza, dan Oliveira-Santos (2017) mengenai pengenalan ekspresi wajah menggunakan convolutional neural network (748 sitasi), diikuti oleh Holden, Saito, dan Komura (2016) mengenai kerangka pembelajaran mendalam untuk sintesis dan penyuntingan gerak karakter (603 sitasi).

Tabel 5. Tujuh dokumen paling banyak disitasi

Sitasi	Tahun	Judul	Sumber
928	2018	DeepMimic: Example-guided deep reinforcement learning of physics-based character skills	ACM Transactions on Graphics
748	2017	Facial expression recognition with Convolutional Neural Networks: Coping with few data and the training sample order	Pattern Recognition
603	2016	A deep learning framework for character motion synthesis and editing	ACM Transactions on Graphics
593	2018	Deep video portraits	ACM Transactions on Graphics
530	2022	Neural Fields in Visual Computing and Beyond	Computer Graphics Forum
513	2017	Phase-functioned neural networks for character control	ACM Transactions on Graphics
487	2017	DeepLoco: Dynamic locomotion skills using hierarchical deep reinforcement learning	ACM Transactions on Graphics

Tabel 5 memperlihatkan bahwa lima dari tujuh dokumen paling banyak disitasi diterbitkan pada ACM Transactions on Graphics, dan empat di antaranya (DeepMimic, kerangka sintesis gerak karakter 2016, phase-functioned neural networks, DeepLoco) secara tematik berpusat pada kendali gerak karakter berbasis pembelajaran mendalam dan reinforcement learning. Pola ini secara empiris menegaskan bahwa dampak sitasi tertinggi pada domain AI-assisted animation terkonsentrasi pada riset foundational mengenai motion synthesis dan character control, bukan pada riset generatif visual semata.

Kata Kunci Dominan

Tabel 6 menunjukkan bahwa tiga kata kunci teratas (deep learning, artificial intelligence, machine learning) bersifat generik-metodologis, sedangkan kata kunci pada peringkat keempat ke bawah (character animation, computer vision, reinforcement learning, neural networks, dan seterusnya) sudah mulai bersifat aplikatif-spesifik. Rasio frekuensi antara "deep learning" (234) dan "character animation" (45) yang mencapai lebih dari 5:1 mengindikasikan bahwa penelitian pada domain ini jauh lebih banyak membahas fondasi metodologis AI generik dibandingkan aplikasi spesifiknya pada animasi karakter, sebuah pola yang akan dibahas lebih lanjut pada interpretasi Gambar 1 dan Gambar 3.

Tabel 6. Empat belas kata kunci penulis dengan frekuensi tertinggi

Kata Kunci	Frekuensi
deep learning	234
artificial intelligence	100
machine learning	83
animation	62
character animation	45
ccs concepts	29
computer vision	29
reinforcement learning	28
neural networks	24
generative adversarial networks	23
simulation and animation	23
virtual reality	22
motion capture	20
facial animation	18

Pemetaan Dokumen Pendukung per Sub-Tema

Untuk memperkuat keterlacakan (traceability) antara kata kunci dominan pada Tabel 6 dan dokumen konkret yang menyusunnya, bagian ini memetakan dokumen representatif dari dataset CSV Scopus (Prioritas 1 sesuai hierarki sumber data) pada tiap sub-tema utama. Seluruh dokumen yang disebutkan telah diverifikasi keberadaannya secara langsung pada baris data CSV beserta DOI aslinya, dan seluruhnya tercantum lengkap pada daftar Referensi.

Pada sub-tema kendali gerak karakter dan reinforcement learning, dataset memuat rangkaian riset yang saling membangun secara kronologis: kerangka pembelajaran mendalam untuk sintesis gerak (Holden et al., 2016), phase-functioned neural networks untuk kendali karakter (Holden et al., 2017), locomotion hierarkis berbasis reinforcement learning (Peng et al., 2017), dan example-guided reinforcement learning untuk keterampilan karakter berbasis fisika (Peng et al., 2018a). Perkembangan lebih lanjut tampak pada kendali responsif berbasis data (Bergamin et al., 2019), motion VAEs untuk pengendali karakter (Ling et al., 2020), locomotion kuadruped terkendali berbasis reinforcement learning (Luo et al., 2020), pembelajaran keterampilan fisik langsung dari video (Peng et al., 2018b), sintesis manipulasi tangan-objek (Zhang et al., 2021), transformer dua tahap untuk motion in-betweening (Qin et al., 2022), serta pemodelan gaya lokomosi manusia secara real-time (Mason et al., 2022).

Pada sub-tema animasi wajah dan gerak berbasis suara (speech-driven animation), dokumen representatif mencakup animasi wajah berbasis audio yang mempelajari pose dan emosi secara end-to-end (Karras et al., 2017), pendekatan pembelajaran mendalam untuk animasi ucapan yang tergeneralisasi (Taylor et al., 2017), potret video mendalam untuk manipulasi wajah (Kim et al., 2018), pengenalan ekspresi wajah menggunakan convolutional neural network (Lopes et al., 2017), serta VisemeNet untuk animasi ucapan berbasis audio (Zhou et al., 2018). Riset deformasi wajah cepat berbasis pembelajaran mendalam (Bailey et al., 2020) dan sintesis gestur berbasis ucapan yang dapat dikendalikan gayanya menggunakan normalising flows (Alexanderson et al., 2020) memperluas cakupan sub-tema ini, didukung pula oleh neuroprotesis performa tinggi untuk decoding ucapan dan kendali avatar (Metzger et al., 2023). Transfer gaya gerak turut berkembang melalui jaringan saraf efisien untuk transfer gaya waktu-nyata (Smith et al., 2019) dan transfer gaya gerak arbitrer per bagian tubuh (Jang et al., 2022).

Pada sub-tema stilisasi visual dan generative adversarial network, dataset memuat simulasi fluida temporal-koheren berbasis GAN (Xie et al., 2018), pembelajaran permukaan dan pewarnaan citra untuk kartunisasi (Dong et al., 2022), sistem menggambar ko-kreatif berbasis GAN (Sun et al., 2019), tinjauan komprehensif pemrosesan citra kartun (Zhao et al., 2022), klasifikasi emosi gaya "moe" pada gambar kartun (Cao et al., 2021), serta kajian rekayasa prompt untuk generasi gambar seni berbasis model besar (Wang, 2024). Landasan teoretis arsitektur convolutional neural network sebagai fondasi metodologis seluruh riset tersebut dibahas dalam kerangka matematis ekstraksi fitur (Wiatowski & Bölcskei, 2018).

Pada sub-tema anime dan ekspresi budaya visual yang teridentifikasi sebagai tema emerging pada overlay visualization, dataset memuat kajian kemunculan "jiwa" pada konvergensi AI, augmented reality, dan anime melalui studi kasus robot sosial berbentuk hologram (Leo-Liu & Wu-Ouyang, 2024), pengenalan storyboard anime berbasis evolutionary deep learning (Fujino et al., 2019), serta generasi wajah karakter anime menggunakan model gerak orde pertama (Oshiba et al., 2023). Ketiga dokumen ini mengonfirmasi bahwa "anime", meskipun berfrekuensi rendah pada Tabel 6, merupakan kluster yang koheren dan aktif berkembang, bukan sekadar derau statistik.

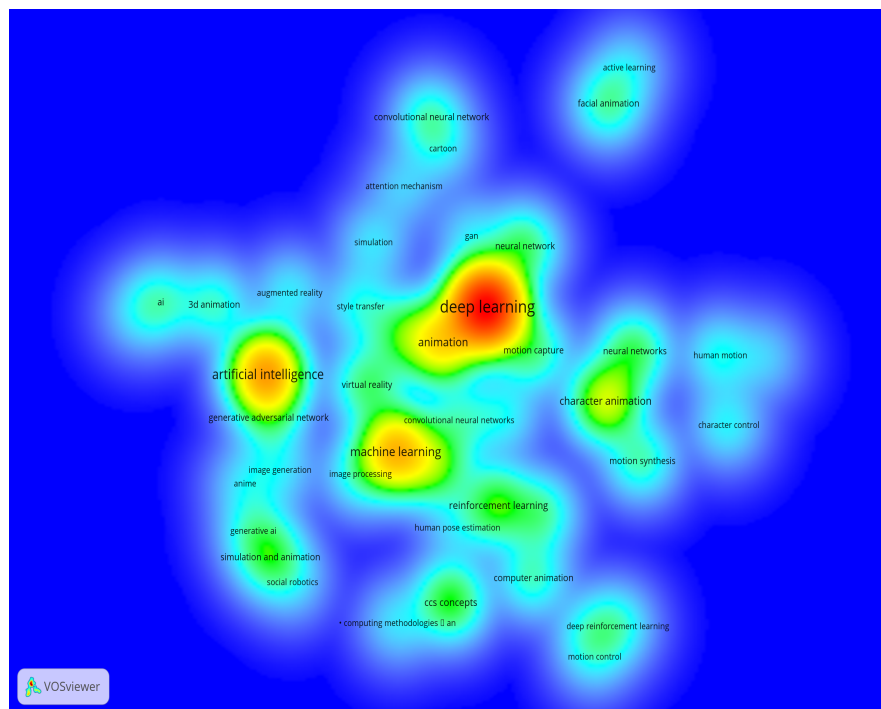
Pada sub-tema estimasi pose dan motion capture lanjutan, dataset memuat tinjauan komprehensif metode motion capture 3D berbasis pembelajaran mendalam (Niu et al., 2024), estimasi sudut sendi manusia berbasis pose estimation tiga dimensi (Choi et al., 2024), serta arsitektur multi-skala resolusi tinggi untuk estimasi pose manusia (Wang et al., 2024). Ketiganya menunjukkan bahwa sub-tema human pose estimation tetap menjadi lini riset aktif hingga tahun-tahun termutakhir dataset.

Terakhir, pada sub-tema aplikasi VR/AR dan konteks sosial-industri, dataset memuat kajian pembelajaran tergamifikasi berbasis animasi 3D dan simulasi virtual reality (Kumar et al., 2023), teknologi interaksi manusia-komputer untuk permainan imersif berbasis VR (Gao, 2022), dampak teknologi metaverse berbasis AI terhadap pembelajar pendidikan tinggi (Bhavana & Vijayalakshmi, 2022), sistem informasi pengemudi berbasis augmented reality dan pembelajaran mendalam (Abdi & Meddeb, 2018), sistem pemantauan digital twin AR bergerak (He et al., 2021), studi perilaku konsumen terhadap virtual influencer (Yang et al., 2024a), metode penangkapan ekspresi dan generasi animasi 3D berbasis pembelajaran mendalam (Wang & Shi, 2023), kontrol keyframe untuk generasi tari 3D berbasis musik (Yang et al., 2024b), serta kajian neural fields dalam visual computing yang lebih luas (Xie et al., 2022). Kumpulan dokumen ini menunjukkan bahwa aplikasi AI-assisted

animation telah meluas jauh melampaui produksi konten hiburan semata, merambah pendidikan, industri otomotif, pemasaran, dan interaksi manusia-komputer secara umum.

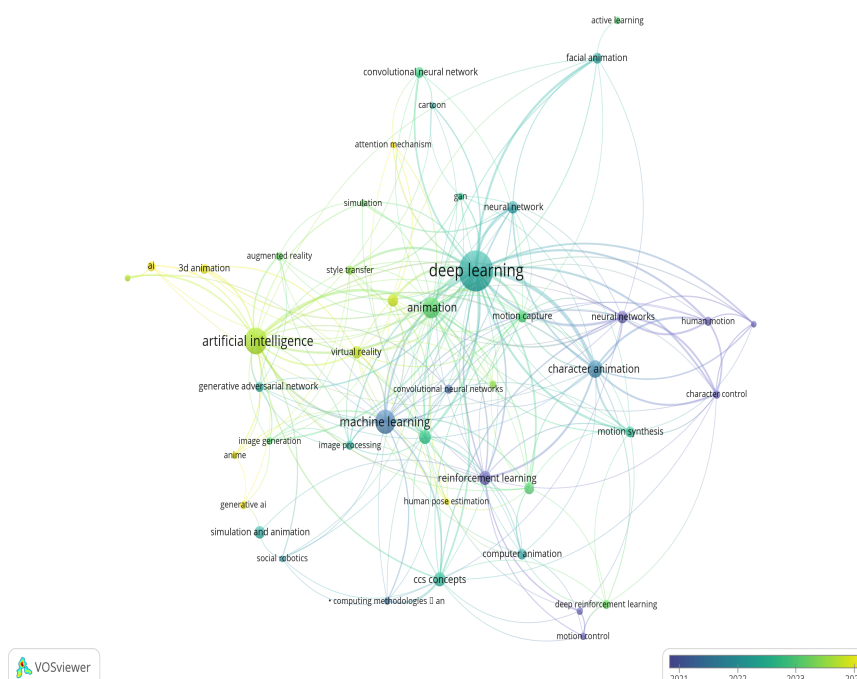
Interpretasi Visualisasi VOSviewer

Tujuan visualisasi ini adalah menunjukkan intensitas kemunculan tema melalui gradasi warna, di mana warna kuning-jingga hingga merah menandakan kepadatan (density) kemunculan kata kunci yang tinggi, sedangkan warna biru menandakan kepadatan rendah. Deskripsi visual menunjukkan tiga titik densitas tertinggi (bertitik merah/jingga terang) pada label "deep learning", "artificial intelligence", dan "machine learning", yang konsisten dengan frekuensi kata kunci tertinggi pada Tabel 6 (234, 100, dan 83 kemunculan). Node dominan sekunder tampak pada "character animation" dan "reinforcement learning", membentuk area densitas sedang (hijau-kuning) yang letaknya berdekatan secara spasial dengan inti densitas utama, mengindikasikan keterkaitan tematik yang erat antara riset AI generik dan aplikasi spesifiknya pada animasi karakter. Jumlah cluster numerik resmi tidak tercantum pada gambar ini sehingga tidak digunakan sebagai angka pasti, namun secara deskriptif dapat dinyatakan bahwa terdapat satu wilayah densitas dominan (AI/deep learning/machine learning) dan beberapa wilayah densitas sekunder yang mengelilinginya (character animation, motion capture, image processing, reinforcement learning).



Gambar 1. Density visualization kata kunci penelitian AI-assisted animation (sumber: VOSviewer, diunggah pengguna)

Secara teoretis, pola densitas ini konsisten dengan konsep "technology convergence" dalam kajian bibliometrik, di mana teknologi generik (general-purpose technology) seperti deep learning menjadi fondasi bagi diversifikasi aplikasi domain-spesifik. Dikaitkan dengan dokumen paling banyak disitasi pada dataset ini (DeepMimic, deep learning framework for character motion synthesis), pola densitas ini juga selaras dengan lintasan riset yang menempatkan deep learning sebagai infrastruktur metodologis inti, sementara character animation dan reinforcement learning menjadi arena aplikasi yang paling matang. Implikasi teoritisnya adalah bahwa kerangka konseptual riset AI-assisted animation perlu memposisikan deep learning bukan sebagai variabel tunggal, melainkan sebagai lapisan infrastruktur yang menaungi sub-tema aplikatif. Implikasi praktisnya, peneliti pemula pada domain ini disarankan memasuki riset melalui titik temu antara deep learning dan character animation/motion capture, karena area tersebut telah memiliki fondasi metodologis yang matang namun aplikasinya masih terus berkembang. Agenda riset masa depan yang dapat dirumuskan dari temuan ini adalah eksplorasi lebih lanjut terhadap wilayah densitas rendah namun berpotensi (misalnya generative ai dan anime) yang tampak pada bagian tepi peta densitas.



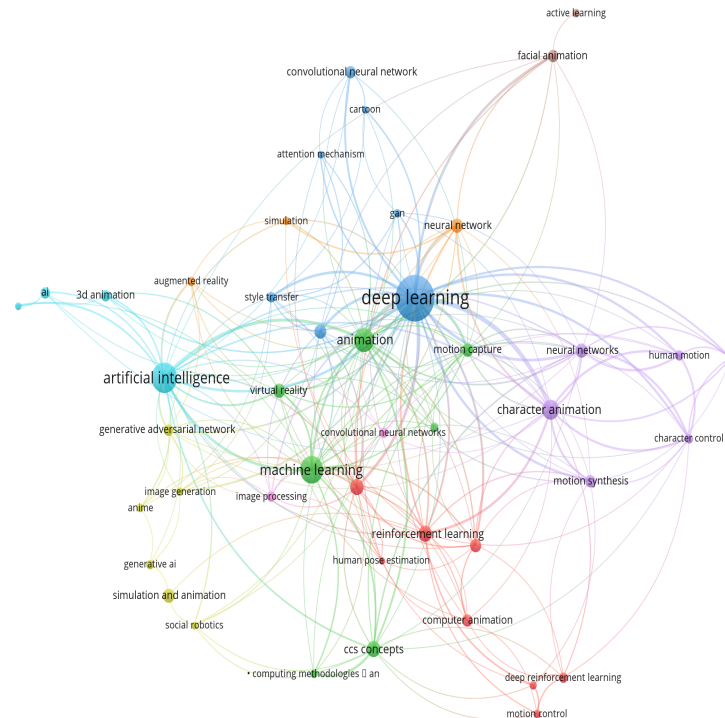
Gambar 2. Overlay visualization berdasarkan rata-rata tahun publikasi kata kunci, skala warna 2021–2024 (sumber: VOSviewer, diunggah pengguna)

Tujuan overlay visualization adalah menunjukkan evolusi temporal tema penelitian melalui gradasi warna dari ungu tua (mewakili tahun rata-rata publikasi 2021, tema lebih lama) hingga kuning terang (mewakili tahun rata-rata publikasi 2024, tema lebih baru). Berdasarkan skala warna yang tertera pada gambar, dapat diamati bahwa node "artificial intelligence", "ai", "3d animation", "generative ai", dan "anime" berwarna kuning-hijau terang, menandakan bahwa rata-rata tahun publikasi dokumen yang memuat kata kunci ini cenderung lebih baru (mendekati 2023–2024). Sebaliknya, node "human motion", "character control", "motion control", dan "deep reinforcement learning" berwarna ungu-biru tua, menandakan rata-rata tahun publikasi yang relatif lebih lama (mendekati 2021). Node "deep learning" sendiri berada pada warna hijau kebiruan (teal), mengindikasikan posisi tengah dalam rentang temporal tersebut—konsisten dengan sifatnya sebagai tema payung yang stabil sepanjang periode penelitian, bukan tema yang murni baru maupun murni usang.

Pola evolusi temporal ini mengonfirmasi secara empiris adanya pergeseran fokus riset dari topik-topik terkait pengendalian gerak fisik karakter (human motion, character control, motion control), yang secara temporal lebih dahulu matang, menuju topik-topik yang berkaitan dengan kecerdasan buatan generatif dan gaya visual (generative ai, anime, 3d animation) yang tumbuh lebih belakangan. Dihubungkan dengan teori siklus hidup teknologi (technology life-cycle), pola ini menggambarkan bahwa sub-bidang motion control/character control telah memasuki fase kematangan (maturity), sedangkan sub-bidang generative ai dan gaya animasi (anime) berada pada fase awal pertumbuhan (early growth). Implikasi teoretisnya, riset lanjutan pada bidang motion control kemungkinan akan lebih produktif jika diarahkan pada integrasi dengan tema baru (generative ai) ketimbang pengembangan inkremental pada metode yang sudah mapan. Implikasi praktisnya bagi pengembang industri animasi, investasi riset dan pengembangan (R&D) jangka pendek akan lebih strategis jika diarahkan pada integrasi generative AI dengan pipeline animasi 3D yang sudah ada, ketimbang membangun ulang teknik motion control dari nol. Agenda riset masa depan yang relevan adalah studi longitudinal lanjutan pada tahun-tahun setelah 2025 untuk memverifikasi apakah tema generative ai dan anime benar-benar bertransisi dari emerging topic menjadi arus utama (mainstream), sebagaimana yang terjadi pada deep learning satu dekade sebelumnya.

Tujuan network visualization adalah menampilkan struktur relasi antar-tema melalui garis penghubung (link) dan pengelompokan warna yang merepresentasikan kluster tematik. Karena panel statistik VOSviewer (jumlah cluster resmi, jumlah node, jumlah link, dan Total Link Strength) tidak tersedia pada file gambar yang diunggah, angka-angka tersebut tidak digunakan sebagai temuan kuantitatif dalam penelitian ini, sesuai prinsip anti-fabrikasi data. Namun demikian, secara deskriptif-visual dapat diamati lima wilayah warna yang berbeda: (1) wilayah biru muda (cyan) berpusat pada "artificial intelligence" dan "3d animation"; (2) wilayah biru tua berpusat pada "deep learning", "convolutional neural network", dan "facial animation"; (3) wilayah hijau

berpusat pada "machine learning", "animation", dan "ccs concepts"; (4) wilayah merah berpusat pada "reinforcement learning" dan "computer animation"; serta (5) wilayah ungu berpusat pada "character animation", "neural networks", dan "human motion". Node dominan pada setiap wilayah warna konsisten dengan node berukuran besar pada Gambar 1 (density visualization), menunjukkan validitas silang antar-visualisasi yang tinggi.



Gambar 3. Network visualization struktur co-occurrence kata kunci dengan pewarnaan berbasis kluster

Hubungan antar-kluster tampak melalui kepadatan garis penghubung: kluster "deep learning" (biru tua) memiliki garis penghubung ke hampir seluruh kluster lain, menegaskan posisinya sebagai simpul penghubung (bridging node) yang menyatukan sub-bidang animasi berbasis AI yang sebelumnya berkembang secara terpisah. Kluster "character animation" (ungu) dan "reinforcement learning" (merah) menunjukkan kedekatan spasial dan intensitas garis penghubung yang tinggi satu sama lain, mengindikasikan kluster tematik gabungan yang berfokus pada pengendalian gerak karakter berbasis pembelajaran penguatan—sejalan dengan temuan pada Tabel 5 bahwa tiga dari tujuh dokumen paling banyak disitasi (DeepMimic, kerangka sintesis gerak karakter, DeepLoco) berada tepat pada irisan tematik ini. Tema dominan yang teridentifikasi adalah integrasi deep learning generik dengan aplikasi kontrol karakter animasi; tema pendukung mencakup facial animation, motion capture, dan generative adversarial network; sedangkan emerging topics yang tampak pada node berukuran kecil di tepi jaringan (generative ai, anime, simulation and animation) menunjukkan intensitas keterhubungan yang masih rendah terhadap kluster inti, mengonfirmasi status mereka sebagai tema yang baru muncul dan belum terintegrasi penuh ke dalam struktur pengetahuan utama.

Dihubungkan dengan teori jaringan ilmu pengetahuan (scientometric network theory), keberadaan bridging node seperti "deep learning" konsisten dengan konsep hub-and-spoke dalam evolusi disiplin ilmu interdisipliner, di mana satu metodologi generik menjadi penghubung berbagai domain aplikasi. Implikasi teoretisnya, kerangka konseptual riset AI-assisted animation ke depan perlu secara eksplisit memodelkan deep learning sebagai variabel mediasi (mediating construct), bukan sekadar variabel independen tunggal. Implikasi praktisnya bagi peneliti muda maupun institusi pendidikan vokasional teknologi kreatif, penguasaan deep learning sebagai kompetensi dasar menjadi prasyarat sebelum masuk ke spesialisasi character animation atau reinforcement learning. Agenda riset masa depan yang dapat dirumuskan adalah kajian bibliographic coupling dan co-citation lanjutan (dengan dukungan data Bibliometrix, yang tidak tersedia pada penelitian ini) untuk memverifikasi lebih lanjut peran bridging node ini dari sudut pandang jaringan sitasi, bukan hanya jaringan kata kunci.

Pembahasan

Temuan-temuan pada bagian Hasil, ketika disintesis, menggambarkan sebuah lintasan evolusi keilmuan yang koheren: penelitian AI-assisted animation berawal dari penerapan teknik pembelajaran mesin dan pembelajaran

mendalam generik pada masalah animasi klasik (sintesis gerak, ekspresi wajah), kemudian berkembang menuju integrasi yang lebih dalam dengan reinforcement learning untuk pengendalian karakter berbasis fisika, dan pada fase termutakhir mulai bersinggungan dengan paradigma generative AI dan gaya visual budaya populer (anime). Lintasan ini tidak hanya tampak pada frekuensi kata kunci semata, tetapi juga terkonfirmasi melalui tiga jenis visualisasi yang saling menguatkan—density menunjukkan konsentrasi tematik, overlay menunjukkan arah evolusi temporal, dan network menunjukkan struktur relasional antar-kluster.

Pola dominasi Tiongkok dalam jumlah dokumen (366 dari 983, atau sekitar 37%) sejalan dengan tren global investasi riset kecerdasan buatan yang masif di kawasan Asia Timur pada dekade terakhir, dan konsisten dengan dominasi penulis produktif seperti Taku Komura dan Sebastian Starke—yang keduanya dikenal luas dalam komunitas riset motion synthesis dan character animation berbasis pembelajaran mendalam. Namun demikian, penelitian ini tidak dapat memastikan sejauh mana dominasi kuantitas ini berkorelasi dengan pengaruh kualitatif (dampak sitasi), karena rata-rata sitasi (21,96) memiliki simpangan baku yang sangat tinggi (66,23) dengan median hanya 4, menunjukkan distribusi sitasi yang sangat timpang (skewed)—didominasi oleh segelintir dokumen dengan sitasi sangat tinggi (di atas 300) sementara mayoritas dokumen memiliki sitasi rendah. Pola distribusi power-law semacam ini adalah fenomena yang lazim dalam bibliometrik dan konsisten dengan hukum Lotka mengenai produktivitas ilmiah, namun berimplikasi bahwa kesimpulan mengenai "pengaruh keilmuan suatu negara" tidak boleh semata didasarkan pada jumlah dokumen, melainkan perlu mempertimbangkan konsentrasi sitasi pada dokumen unggulan tertentu—dalam kasus ini, dokumen-dokumen dari kelompok riset di Amerika Utara (Van de Panne, Levine, Abbeel) dan Eropa (Komura di Inggris) yang justru mendominasi daftar dokumen paling banyak disitasi (Tabel 5), meskipun secara kuantitas jumlah dokumennya lebih kecil dibandingkan Tiongkok.

Temuan ini membawa pada argumen sentral pembahasan: terdapat dua lintasan produktivitas yang berbeda dalam ekosistem riset AI-assisted animation—lintasan kuantitas (didominasi Tiongkok dan kawasan Asia Timur) dan lintasan pengaruh sitasi tinggi (didominasi kelompok riset Amerika Utara dan Eropa yang mempublikasikan karya-karya foundational seperti DeepMimic, DeepLoco, dan phase-functioned neural networks pada ACM Transactions on Graphics). Argumen ini konsisten dengan literatur bibliometrik umum yang membedakan antara research output dan research impact sebagai dua dimensi yang tidak selalu berkorelasi linear. Bagi pembuat kebijakan riset, temuan ini mengimplikasikan bahwa strategi peningkatan kuantitas publikasi semata tidak otomatis meningkatkan pengaruh keilmuan suatu negara atau institusi pada domain ini; diperlukan strategi yang secara spesifik menasar publikasi pada jurnal-jurnal dengan tradisi sitasi tinggi seperti ACM Transactions on Graphics dan penguatan riset pada topik-topik foundational (seperti reinforcement learning untuk kontrol karakter) yang terbukti secara empiris menghasilkan dampak sitasi jangka panjang paling tinggi dalam dataset ini.

Pembahasan mengenai kluster tematik (Gambar 3) juga memperlihatkan bahwa struktur pengetahuan AI-assisted animation belum sepenuhnya matang sebagai bidang mandiri, melainkan masih sangat bergantung pada kluster deep learning generik sebagai fondasi. Ketergantungan ini dapat dipahami dari dua sudut pandang yang berbeda. Di satu sisi, hal ini menunjukkan kekuatan integratif deep learning sebagai teknologi generik yang mampu menyatukan berbagai sub-bidang animasi yang sebelumnya berkembang terpisah (grafika komputer, biomekanika gerak, computer vision). Di sisi lain, ketergantungan yang tinggi terhadap satu kluster metodologis generik juga berpotensi menimbulkan risiko homogenisasi metodologis, di mana eksplorasi terhadap pendekatan alternatif (misalnya pendekatan berbasis fisika murni, model prosedural non-neural, atau pendekatan hybrid) menjadi kurang mendapat perhatian dalam komunitas riset karena tenggelam oleh dominasi paradigma deep learning. Argumen kritis ini penting disampaikan karena bertentangan dengan narasi umum yang menganggap deep learning sebagai solusi tunggal tanpa mempertimbangkan trade-off metodologisnya, seperti kebutuhan data pelatihan yang besar dan interpretabilitas model yang rendah—dua isu yang justru tidak banyak muncul sebagai kata kunci dominan dalam dataset ini, mengindikasikan adanya area yang masih kurang mendapatkan perhatian kritis dari komunitas peneliti.

Simpulan

Penelitian ini memetakan struktur bibliometrik penelitian AI-assisted animation berdasarkan 983 dokumen Scopus periode 2016–2025. Tiga simpulan utama dapat dirumuskan. Pertama, penelitian pada domain ini mengalami pertumbuhan eksponensial sejak 2021, dengan dominasi kontribusi kuantitatif dari Tiongkok namun dominasi pengaruh sitasi oleh kelompok riset Amerika Utara dan Eropa yang mempublikasikan karya-karya foundational pada ACM Transactions on Graphics. Kedua, struktur tematik penelitian ini berpusat pada kluster deep learning sebagai simpul penghubung (bridging node) yang menyatukan sub-bidang character animation, reinforcement learning, facial animation, dan motion capture, sementara tema generative ai dan anime tampak sebagai area yang baru berkembang berdasarkan overlay visualization. Ketiga, terdapat kesenjangan riset pada

integrasi mendalam antara reinforcement learning dan pengendalian gerak fisik karakter, serta minimnya perhatian kritis terhadap trade-off metodologis pendekatan deep learning dalam konteks animasi. Temuan ini memperkuat pemahaman bahwa evolusi bidang interdisipliner seperti AI-assisted animation dapat dijelaskan melalui kerangka technology convergence dan hub-and-spoke network, di mana teknologi generik (deep learning) berfungsi sebagai mediator yang menyatukan berbagai domain aplikasi spesifik. Bagi praktisi industri animasi dan lembaga pendidikan vokasional teknologi kreatif, temuan ini mengindikasikan bahwa penguasaan fondasi deep learning perlu menjadi kompetensi dasar sebelum spesialisasi pada character animation atau reinforcement learning; sementara bagi pembuat kebijakan riset, strategi peningkatan dampak keilmuan sebaiknya diarahkan pada penguatan riset foundational dengan target publikasi pada jurnal berdampak sitasi tinggi, bukan semata peningkatan kuantitas. Penelitian ini memiliki sejumlah keterbatasan yang perlu dinyatakan secara jujur. Pertama, data hanya bersumber dari Scopus dan tidak mencakup basis data lain seperti Web of Science atau Google Scholar, sehingga cakupan literatur mungkin tidak sepenuhnya komprehensif. Kedua, file ekspor mentah VOSviewer (.txt/.json) yang memuat angka cluster, node, link, dan Total Link Strength secara resmi tidak diunggah, sehingga interpretasi terhadap peta jaringan dibatasi pada pola visual-deskriptif dan tidak dapat divalidasi dengan angka pasti. Ketiga, data Bibliometrix/Biblioshiny tidak tersedia, sehingga validasi silang metodologis pada tahap analisis kluster tidak dapat dilakukan secara penuh. Keempat, penghitungan kontribusi negara menggunakan pencocokan string sederhana pada kolom afiliasi, yang berpotensi menghasilkan penghitungan ganda pada dokumen kolaborasi lintas negara serta berisiko meleset pada nama negara dengan variasi penulisan. Kelima, penelitian ini tidak dapat memverifikasi fenomena atau urgensi pada konteks nasional Indonesia karena dataset tidak memuat representasi kontribusi dari konteks tersebut. Berdasarkan keterbatasan dan temuan di atas, agenda penelitian masa depan yang dapat dirumuskan mencakup: (1) validasi lanjutan menggunakan data ekspor mentah VOSviewer dan Bibliometrix untuk memperoleh metrik cluster yang presisi; (2) studi longitudinal pasca-2025 untuk memverifikasi trayektori tema generative ai dan anime sebagai kandidat arus utama baru; (3) kajian bibliographic coupling dan co-citation untuk memperdalam pemahaman mengenai struktur pengaruh (bukan hanya struktur tematik) dalam domain ini; serta (4) penelitian komparatif yang secara khusus mengangkat konteks kawasan atau negara yang belum banyak muncul pada dataset global, termasuk Asia Tenggara, guna mengisi kekosongan representasi regional yang teridentifikasi dalam penelitian ini.

References

- Abdi, L., & Meddeb, A. (2018). Driver information system: A combination of augmented reality, deep learning and vehicular ad-hoc networks. *Multimedia Tools and Applications*, 77(12), 14673–14703. <https://doi.org/10.1007/s11042-017-5054-6>
- Alexanderson, S., Henter, G. E., Kucherenko, T., & Beskow, J. (2020). Style-controllable speech-driven gesture synthesis using normalising flows. *Computer Graphics Forum*, 39(2), 487–496. <https://doi.org/10.1111/cgf.13946>
- Bailey, S. W., Omens, D., D'lorenzo, P., & O'Brien, J. F. (2020). Fast and deep facial deformations. *ACM Transactions on Graphics*, 39(4). <https://doi.org/10.1145/3386569.3392397>
- Bergamin, K., Clavet, S., Holden, D., & Richard Forbes, J. (2019). DReCon: Data-driven responsive control of physics-based characters. *ACM Transactions on Graphics*, 38(6). <https://doi.org/10.1145/3355089.3356536>
- Bhavana, S., & Vijayalakshmi, V. (2022). AI-based metaverse technologies advancement impact on higher education learners. *WSEAS Transactions on Systems*, 21, 178–184. <https://doi.org/10.37394/23202.21.19>
- Cao, Q., Zhang, W., & Zhu, Y. (2021). Deep learning-based classification of the polar emotions of 'moe'-style cartoon pictures. *Tsinghua Science and Technology*, 26(3), 275–286. <https://doi.org/10.26599/TST.2019.9010035>
- Choi, J.-Y., Ha, E., Son, M., Jeon, J.-H., & Kim, J.-W. (2024). Human joint angle estimation using deep learning-based three-dimensional human pose estimation for application in a real environment. *Sensors*, 24(12), Article 3823. <https://doi.org/10.3390/s24123823>
- Dong, Y., Tan, W., Tao, D., Zheng, L., & Li, X. (2022). CartoonLossGAN: Learning surface and coloring of images for cartoonization. *IEEE Transactions on Image Processing*, 31, 485–498. <https://doi.org/10.1109/TIP.2021.3130539>
- Fujino, S., Hatanaka, T., Mori, N., & Matsumoto, K. (2019). Evolutionary deep learning based on deep convolutional neural network for anime storyboard recognition. *Neurocomputing*, 338, 393–398. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2018.05.124>

- Gao, P. (2022). Key technologies of human–computer interaction for immersive somatosensory interactive games using VR technology. *Soft Computing*, 26(20), 10947–10956. <https://doi.org/10.1007/s00500-022-07240-3>
- He, F., Ong, S. K., & Nee, A. Y. C. (2021). An integrated mobile augmented reality digital twin monitoring system. *Computers*, 10(8), Article 99. <https://doi.org/10.3390/computers10080099>
- Holden, D., Saito, J., & Komura, T. (2016). A deep learning framework for character motion synthesis and editing. *ACM Transactions on Graphics*, 35(4). <https://doi.org/10.1145/2897824.2925975>
- Holden, D., Komura, T., & Saito, J. (2017). Phase-functioned neural networks for character control. *ACM Transactions on Graphics*, 36(4). <https://doi.org/10.1145/3072959.3073663>
- Jang, D.-K., Park, S., & Lee, S.-H. (2022). Motion puzzle: Arbitrary motion style transfer by body part. *ACM Transactions on Graphics*, 41(3), Article 33. <https://doi.org/10.1145/3516429>
- Karras, T., Aila, T., Laine, S., Herva, A., & Lehtinen, J. (2017). Audio-driven facial animation by joint end-to-end learning of pose and emotion. *ACM Transactions on Graphics*, 36(4). <https://doi.org/10.1145/3072959.3073658>
- Kim, H., Garrido, P., Tewari, A., Xu, W., Thies, J., Nießner, M., Pérez, P., Richardt, C., Zollhöfer, M., & Theobalt, C. (2018). Deep video portraits. *ACM Transactions on Graphics*, 37(4). <https://doi.org/10.1145/3197517.3201283>
- Kumar, A., Saudagar, A. K. J., Alkathami, 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 AIO MT integrated 3D animation and virtual reality simulation. *Electronics*, 12(4), Article 835. <https://doi.org/10.3390/electronics12040835>
- Leo-Liu, J., & Wu-Ouyang, B. (2024). A "soul" emerges when AI, AR, and Anime converge: A case study on users of the new anime-stylized hologram social robot "Hupo." *New Media & Society*, 26(7), 3810–3832. <https://doi.org/10.1177/14614448221106030>
- Ling, H. Y., Zinno, F., Cheng, G., & Van de Panne, M. (2020). Character controllers using motion VAEs. *ACM Transactions on Graphics*, 39(4). <https://doi.org/10.1145/3386569.3392422>
- Lopes, A. T., de Aguiar, E., De Souza, A. F., & Oliveira-Santos, T. (2017). Facial expression recognition with Convolutional Neural Networks: Coping with few data and the training sample order. *Pattern Recognition*, 61, 610–628. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2016.07.026>
- Luo, Y.-S., Soeseno, J. H., Chen, T. P.-C., & Chen, W.-C. (2020). CARL: Controllable agent with reinforcement learning for quadruped locomotion. *ACM Transactions on Graphics*, 39(4), Article 38. <https://doi.org/10.1145/3386569.3392433>
- Mason, I., Starke, S., & Komura, T. (2022). Real-time style modelling of human locomotion via feature-wise transformations and local motion phases. *Proceedings of the ACM on Computer Graphics and Interactive Techniques*, 5(1). <https://doi.org/10.1145/3522618>
- Metzger, S. L., Littlejohn, K. T., Silva, A. B., Moses, D. A., Seaton, M. P., Wang, R., Dougherty, M. E., Liu, J. R., Wu, P., Berger, M. A., Zhuravleva, I., Tu-Chan, A., Ganguly, K., Anumanchipalli, G. K., & Chang, E. F. (2023). A high-performance neuroprosthesis for speech decoding and avatar control. *Nature*, 620, 1037–1046. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06443-4>
- Niu, Z., Lu, K., Xue, J., Qin, X., Wang, J., & Shao, L. (2024). From methods to applications: A review of deep 3D human motion capture. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 34(11), 11340–11359. <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2024.3423411>
- Oshiba, J., Iwata, M., & Kise, K. (2023). Face image generation of anime characters using an advanced first order motion model with facial landmarks. *IEICE Transactions on Information and Systems*, E106-D(1), 22–30. <https://doi.org/10.1587/transinf.2022MUP0004>
- Peng, X. B., Berseth, G., Yin, K., & Van de Panne, M. (2017). DeepLoco: Dynamic locomotion skills using hierarchical deep reinforcement learning. *ACM Transactions on Graphics*, 36(4). <https://doi.org/10.1145/3072959.3073602>
- Peng, X. B., Abbeel, P., Levine, S., & Van de Panne, M. (2018a). DeepMimic: Example-guided deep reinforcement learning of physics-based character skills. *ACM Transactions on Graphics*, 37(4). <https://doi.org/10.1145/3197517.3201311>
- Peng, X. B., Kanazawa, A., Malik, J., Abbeel, P., & Levine, S. (2018b). SFV: Reinforcement learning of physical skills from videos. *ACM Transactions on Graphics*, 37(6), Article 178. <https://doi.org/10.1145/3272127.3275014>
- Qin, J., Zheng, Y., & Zhou, K. (2022). Motion in-betweening via two-stage transformers. *ACM Transactions on Graphics*, 41(6), Article 184. <https://doi.org/10.1145/3550454.3555454>
- Smith, H. J., Cao, C., Neff, M., & Wang, Y. (2019). Efficient neural networks for real-time motion style transfer. *Proceedings of the ACM on Computer Graphics and Interactive Techniques*, 2(2), Article 13. <https://doi.org/10.1145/3340254>

- Sun, L., Chen, P., Xiang, W., Chen, P., Gao, W.-Y., & Zhang, K.-J. (2019). SmartPaint: A co-creative drawing system based on generative adversarial networks. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, 20(12), 1644–1656. <https://doi.org/10.1631/FITEE.1900386>
- Taylor, S., Kim, T., Yue, Y., Mahler, M., Krahe, J., Rodriguez, A. G., Hodgins, J., & Matthews, I. (2017). A deep learning approach for generalized speech animation. *ACM Transactions on Graphics*, 36(4). <https://doi.org/10.1145/3072959.3073699>
- Wang, B., & Shi, Y. (2023). Expression dynamic capture and 3D animation generation method based on deep learning. *Neural Computing and Applications*, 35(12), 8797–8808. <https://doi.org/10.1007/s00521-022-07644-0>
- Wang, C. (2024). Research on prompt engineering for large model art image generation. *Journal of Graphics*, 45(6), 1243–1255. <https://doi.org/10.11996/JG.j.2095-302X.2024061243>
- Wang, Y., Wang, R., Shi, H., & Liu, D. (2024). MS-HRNet: Multi-scale high-resolution network for human pose estimation. *The Journal of Supercomputing*, 80(12), 17269–17291. <https://doi.org/10.1007/s11227-024-06125-6>
- Wiatowski, T., & Bölcskei, H. (2018). A mathematical theory of deep convolutional neural networks for feature extraction. *IEEE Transactions on Information Theory*, 64(3), 1845–1866. <https://doi.org/10.1109/TIT.2017.2776228>
- Xie, Y., Franz, E., Chu, M., & Thurey, N. (2018). TempoGAN: A temporally coherent, volumetric GAN for super-resolution fluid flow. *ACM Transactions on Graphics*, 37(4). <https://doi.org/10.1145/3197517.3201304>
- Xie, Y., Takikawa, T., Saito, S., Litany, O., Yan, S., Khan, N., Tombari, F., Tompkin, J., Sitzmann, V., & Sridhar, S. (2022). Neural fields in visual computing and beyond. *Computer Graphics Forum*, 41(2), 641–676. <https://doi.org/10.1111/cgf.14505>
- Yang, D., Zhang, J., Sun, Y., & Huang, Z. (2024a). Showing usage behavior or not? The effect of virtual influencers' product usage behavior on consumers. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 79, Article 103859. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2024.103859>
- Yang, Z., Wen, Y.-H., Chen, S.-Y., Liu, X., Gao, Y., Liu, Y.-J., Gao, L., & Fu, H. (2024b). Keyframe control of music-driven 3D dance generation. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 30(7), 3474–3486. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2023.3235538>
- Zhang, H., Ye, Y., Shiratori, T., & Komura, T. (2021). ManipNet: Neural manipulation synthesis with a hand-object spatial representation. *ACM Transactions on Graphics*, 40(4), Article 121. <https://doi.org/10.1145/3450626.3459830>
- Zhao, Y., Ren, D., Chen, Y., Jia, W., Wang, R., & Liu, X. (2022). Cartoon image processing: A survey. *International Journal of Computer Vision*, 130(11), 2733–2769. <https://doi.org/10.1007/s11263-022-01645-1>
- Zhou, Y., Xu, Z., Landreth, C., Kalogerakis, E., Maji, S., & Singh, K. (2018). VisemeNet: Audio-driven animator-centric speech animation. *ACM Transactions on Graphics*, 37(4), Article 161. <https://doi.org/10.1145/3197517.3201292>