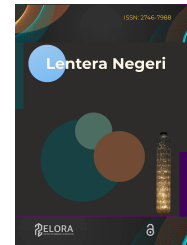




Contents lists available at [Elora Center](#)

Lentera Negeri

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



Struktur pengetahuan dan tema berkembang dalam procedural animation: studi bibliometrik integrasi deep learning

Saftrian Mukhlizul Fuad^{*)}, Bayu Ramadhan Fajri

Universitas Negeri Padang

Article Info

Article history:

Received Aug 12th, 2025

Revised Sep 20th, 2025

Accepted Oct 26th, 2025

Keyword:

Procedural animation,
Character animation,
Motion synthesis,
Analisis bibliometrik,
Deep learning

ABSTRACT

Riset animasi prosedural berkembang pesat seiring kemajuan pembelajaran mesin, namun struktur pengetahuan dan arah perkembangannya belum banyak dipetakan secara sistematis. Penelitian ini bertujuan menganalisis struktur pengetahuan, tren tematik, dan perkembangan teknologi pada bidang procedural animation menggunakan pendekatan bibliometrik. Data diperoleh dari basis data Scopus dengan strategi pencarian Boolean yang menggabungkan istilah procedural animation, motion synthesis, dan character animation, kemudian disaring berdasarkan rentang tahun 2021–2025, jenis sumber jurnal, dan jenis dokumen artikel, sehingga diperoleh 339 artikel final untuk dianalisis menggunakan Bibliometrix/Biblioshiny dan VOSviewer. Hasil menunjukkan tren produksi ilmiah yang meningkat tajam sejak 2023, didominasi ACM Transactions on Graphics dan Computer Graphics Forum sebagai jurnal inti sesuai Hukum Bradford, dengan Tiongkok, Amerika Serikat, dan Prancis sebagai kontributor utama. Analisis ko-occurrence kata kunci dan pemetaan tematik mengidentifikasi character animation, animation, dan deep learning sebagai tema dasar dominan yang belum berkembang menjadi motor themes, sementara diffusion model dan motion generation muncul sebagai tema emerging. Studi ini menyimpulkan bahwa riset procedural animation tengah mengalami pergeseran paradigma dari pendekatan berbasis aturan menuju pembelajaran mendalam dan model generatif, dengan peluang penelitian yang masih terbuka pada integrasi model difusi dengan kendali interaktif.



© 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:

Saftrian Mukhlizul Fuad,

✉ saftrian@unp.ac.id

Pendahuluan

Perkembangan teknologi animasi digital dalam satu dekade terakhir tidak lagi bertumpu semata pada teknik keyframing manual maupun capture data gerak konvensional, melainkan bergeser ke arah pembangkitan gerak secara otomatis melalui algoritma prosedural dan pembelajaran mesin. Pergeseran ini didorong oleh kebutuhan industri hiburan digital, simulasi, game interaktif, dan realitas virtual terhadap konten animasi yang dapat dihasilkan secara cepat, variatif, dan responsif terhadap konteks interaktif pengguna. Data bibliometrik yang dianalisis pada penelitian ini memperlihatkan lonjakan jumlah publikasi tahunan dari 52 artikel pada 2021 menjadi 87 artikel pada 2025, sebuah pertumbuhan yang mengindikasikan bahwa procedural animation bukan lagi topik marjinal dalam domain computer graphics, melainkan telah menjadi arus utama penelitian yang aktif diperbincangkan pada forum-forum publikasi bereputasi tinggi seperti ACM Transactions on Graphics dan Computer Graphics Forum.

Pada level regional, sebaran kontribusi riset menunjukkan pola yang tidak merata. Berdasarkan hasil pemetaan afiliasi penulis pada dataset ini, Tiongkok tercatat sebagai kontributor afiliasi terbanyak, diikuti oleh Amerika Serikat, Prancis, Kanada, Korea Selatan, Inggris, dan Jepang. Dominasi kawasan Asia Timur dan Amerika Utara ini sejalan dengan konsentrasi industri teknologi grafis komputer, animasi digital, dan kecerdasan buatan di kedua kawasan tersebut, sementara kawasan lain seperti Amerika Latin, Afrika, dan sebagian besar Asia Tenggara relatif belum banyak berkontribusi pada korpus riset procedural animation yang teridentifikasi dalam basis data Scopus periode 2021–2025.

Pada level nasional, dataset penelitian ini tidak menunjukkan kontribusi afiliasi dari Indonesia dalam himpunan 339 artikel yang dianalisis. Ketidadaan ini bukan berarti tidak ada riset animasi di Indonesia, melainkan mengindikasikan bahwa riset animasi prosedural yang terindeks pada jurnal internasional bereputasi Scopus dengan kata kunci pencarian yang digunakan pada penelitian ini masih sangat terbatas atau belum banyak dipublikasikan oleh peneliti berafiliasi Indonesia. Kondisi ini membuka ruang argumentasi mengenai perlunya penguatan kapasitas riset nasional pada domain computer graphics dan animasi berbasis kecerdasan buatan, khususnya pada isu-isu yang tengah menjadi tren global seperti motion synthesis berbasis diffusion model dan physics-based character animation.

Meskipun jumlah publikasi procedural animation terus meningkat, pemetaan struktur pengetahuan pada bidang ini secara bibliometrik masih terbatas. Sebagian besar tinjauan literatur pada domain character animation dan motion synthesis bersifat naratif dan berfokus pada aspek teknis algoritmik tertentu, bukan pada pemetaan struktur keilmuan secara menyeluruh yang meliputi evolusi tema, jaringan kolaborasi, maupun pola sitasi. Kekosongan pemetaan ini menjadi permasalahan penelitian yang mendasari studi ini: bagaimana struktur pengetahuan, pola kolaborasi, dan arah perkembangan tematik pada riset procedural animation dapat dipetakan secara sistematis dan berbasis bukti empiris dari basis data Scopus. Urgensi kajian ini terletak pada kebutuhan peta jalan riset (research roadmap) yang dapat menjadi rujukan bagi akademisi, khususnya di negara-negara yang kontribusi risetnya pada bidang ini masih terbatas, agar dapat mengidentifikasi celah penelitian yang relevan dan berdaya saing pada arus utama riset global.

Kebaruan (novelty) penelitian ini terletak pada penggabungan analisis kuantitatif produksi ilmiah, analisis jaringan ko-occurrence kata kunci, analisis kolaborasi penulis dan negara, pemetaan tematik (thematic mapping), serta pemodelan siklus hidup topik (life cycle modelling) pada satu kerangka analisis bibliometrik yang terintegrasi khusus pada domain procedural animation, sebuah pendekatan yang belum banyak dijumpai pada literatur bibliometrik computer graphics yang umumnya berfokus pada domain animasi secara umum tanpa penekanan pada aspek prosedural dan generatif. Tujuan penelitian ini adalah: (1) memetakan tren produksi ilmiah dan pola sitasi riset procedural animation periode 2021–2025; (2) mengidentifikasi struktur pengetahuan melalui analisis ko-occurrence kata kunci dan pemetaan tematik; (3) menganalisis pola kolaborasi penulis, institusi, dan negara; serta (4) merumuskan agenda penelitian masa depan berdasarkan tema yang sedang berkembang (emerging themes).

Berdasarkan hasil analisis tematik (Gambar 7) dan analisis tren topik (Gambar 8), teridentifikasi bahwa kuadran motor themes pada peta tematik tidak terisi oleh tema mana pun, yang berarti belum ada tema pada domain procedural animation yang telah mencapai tingkat kematangan tinggi (densitas tinggi) sekaligus relevansi sentral tinggi secara bersamaan. Tema animation, character animation, dan deep learning menempati kuadran basic themes, yaitu tema dengan sentralitas tinggi namun densitas pengembangan yang masih rendah, mengindikasikan bahwa tema-tema tersebut menjadi fondasi riset namun belum terkonsolidasi menjadi sub-bidang yang matang secara metodologis. Sementara itu, diffusion model dan motion generation menempati kuadran emerging/declining dengan posisi yang secara temporal (Gambar 8) justru menunjukkan pola emerging (baru muncul pada 2024–2025), bukan declining, sehingga penamaan kuadran tersebut pada konteks dataset ini lebih tepat dimaknai sebagai tema yang baru berkembang dan belum padat keterhubungannya. Celah penelitian yang dapat diidentifikasi secara eksplisit dari bukti bibliometrik ini adalah: (1) minimnya konsolidasi metodologis pada tema deep learning untuk animasi karakter menjadi kerangka kerja yang mapan; (2) keterbatasan integrasi antara model generatif berbasis difusi dengan kebutuhan kendali interaktif (interactive control) yang menjadi ciri khas procedural animation; dan (3) rendahnya representasi riset dari kawasan di luar Tiongkok, Amerika Serikat, dan Eropa Barat dalam korpus riset global bidang ini.

Novelty penelitian ini dibangun di atas tiga pilar bukti bibliometrik. Pertama, thematic evolution menunjukkan pergeseran dari tema berbasis representasi eksplisit (key-frames, procedural modeling, tiga dimensi grafika komputer) menuju tema berbasis representasi implisit dan generatif (diffusion model, motion generation) sebagaimana tergambar pada jaringan ko-occurrence (Gambar 4) dan tren topik (Gambar 8). Kedua, kata kunci terbaru yang mengalami pertumbuhan kumulatif tercepat pada 2024–2025, yakni

interactive computer graphics dan motion synthesis (Gambar 9), menunjukkan bahwa kebutuhan riset bergerak ke arah penggabungan kendali interaktif dengan kemampuan sintesis gerak berbasis model generatif skala besar. Ketiga, tren penelitian global yang terungkap dari analisis kolaborasi negara (Gambar 6) memperlihatkan jaringan kolaborasi padat antara Tiongkok–Amerika Serikat–Inggris–Prancis, sementara kebutuhan penelitian masa depan mengarah pada perluasan aplikasi procedural animation ke ranah yang lebih luas dan validasi lintas institusi non-tradisional. Berdasarkan tiga pilar ini, novelty penelitian dirumuskan sebagai identifikasi titik temu (intersection) antara motion synthesis generatif berbasis diffusion model dan kebutuhan interactive computer graphics sebagai arah riset procedural animation generasi berikutnya, yang secara empiris didukung oleh data bibliometrik namun belum banyak dikonsolidasikan sebagai kerangka riset tersendiri pada literatur yang teranalisis.

Method

Penelitian ini menggunakan desain bibliometrik kuantitatif berbasis data sekunder yang diambil dari basis data Scopus. Pendekatan bibliometrik dipilih karena memungkinkan pemetaan struktur pengetahuan secara sistematis dan terukur berdasarkan metadata publikasi ilmiah, meliputi pola sitasi, ko-occurrence kata kunci, kolaborasi penulis dan negara, serta evolusi tematik dari waktu ke waktu.

Database, Strategi Pencarian, dan Waktu Pengambilan Data

Basis data yang digunakan adalah Scopus, dengan tanggal pengambilan data 13 Juli 2026 sebagaimana tercantum pada berkas ekspor data (scopus_export_Jul_13-2026). Strategi pencarian menggunakan Boolean Search sebagai berikut:

(("procedural animation" OR "procedural motion" OR "procedural movement" OR "motion synthesis" OR "physics-based animation" OR "character animation" OR "animation synthesis" OR "procedural modeling") AND (animation OR "computer animation" OR "digital animation" OR "3D animation" OR "virtual character" OR "computer graphics" OR simulation))

Kriteria Inklusi, Eksklusi, dan Proses Seleksi (PRISMA)

Proses seleksi data mengikuti tahapan identifikasi, penyaringan, kelayakan, dan penyertaan sebagaimana dirangkum pada Tabel 1. Pencarian awal dengan Boolean Search di atas menghasilkan 3.449 dokumen. Penyaringan berdasarkan rentang tahun publikasi 2021–2025 menyisakan 893 dokumen. Penyaringan berdasarkan jenis sumber (source type) jurnal menghasilkan 363 dokumen. Penyaringan lanjutan berdasarkan jenis dokumen (document type) artikel menghasilkan 340 dokumen, dan penyaringan akhir berdasarkan tahap publikasi (publication stage) final menghasilkan 339 dokumen yang digunakan sebagai korpus akhir penelitian ini. Seluruh 339 dokumen tersebut terverifikasi berjenis Article berdasarkan audit langsung terhadap berkas ekspor Scopus.

Tabel 1. Tahapan Seleksi Data (Diagram Alur PRISMA)

Tahap	Kriteria	Jumlah Dokumen
Identification	Hasil pencarian Boolean pada basis data Scopus	3.449
Screening 1	Penyaringan rentang tahun 2021–2025	893
Screening 2	Penyaringan jenis sumber: jurnal	363
Screening 3	Penyaringan jenis dokumen: artikel	340
Eligibility	Penyaringan tahap publikasi: final	339
Included	Dokumen dianalisis dalam studi bibliometrik	339

Catatan metodologis: dokumen sumber (narasi.docx) yang diunggah menyatakan hasil akhir penyaringan document type sebanyak 340 dokumen sebelum penyaringan publication stage final menjadi 339. Audit langsung terhadap berkas CSV hasil ekspor Scopus mengonfirmasi jumlah 339 baris data dengan seluruhnya berjenis Article, sehingga angka 339 digunakan secara konsisten di seluruh bagian artikel ini sesuai hierarki sumber data yang menempatkan CSV Scopus sebagai prioritas tertinggi.

Perangkat Lunak dan Teknik Analisis

Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak Bibliometrix/Biblioshiny berbasis R untuk analisis kuantitatif produksi ilmiah, sitasi, Hukum Bradford, evolusi kata, pemetaan tematik, dan pemodelan siklus hidup topik, serta VOSviewer untuk visualisasi jaringan ko-occurrence kata kunci, jaringan kolaborasi penulis, dan peta kolaborasi negara. Teknik analisis bibliometrik yang diterapkan meliputi: analisis tren

produksi ilmiah tahunan, analisis rata-rata sitasi per tahun, analisis Hukum Bradford untuk identifikasi jurnal inti, analisis jaringan ko-occurrence kata kunci, analisis jaringan kolaborasi penulis, analisis peta kolaborasi negara, pemetaan tematik (thematic map), analisis tren topik (trend topics), analisis frekuensi kata terhadap waktu, plot tiga bidang (three-field plot) yang menghubungkan referensi tersitasi, penulis, dan kata kunci, serta pemodelan siklus hidup publikasi (life cycle modelling).

Prosedur Validasi Data

Validasi data dilakukan dengan membandingkan angka pada dokumen metode (narasi.docx), berkas ekspor CSV Scopus, dan hasil visualisasi Bibliometrix/VOSviewer. Ditemukan satu berkas visualisasi ko-occurrence (Co_occurrenceNetwork-2026-07-18232710_435681.png) berukuran nol byte sehingga tidak dapat dibaca dan tidak digunakan dalam analisis; sebagai gantinya, interpretasi jaringan kolaborasi penulis pada penelitian ini didasarkan pada berkas Collaboration_Network-2026-07-18232939_463651.png yang secara konten memuat jaringan kolaborasi antar-penulis (bukan ko-occurrence kata kunci) dan terbukti dapat dibaca serta konsisten dengan data top penulis pada berkas CSV. Informasi mengenai berkas yang rusak tersebut tidak dapat diverifikasi lebih lanjut dan dinyatakan secara eksplisit sebagai keterbatasan data.

Hasil dan Pembahasan

Audit Dataset

Analisis bibliometrik ini didasarkan pada 339 artikel yang lolos proses penyaringan dan ditetapkan sebagai dokumen final. Seluruh dokumen berupa artikel jurnal (100%) yang terbit dalam rentang 2021 hingga 2025. Publikasi tersebut tersebar di 136 jurnal dan melibatkan 1.033 penulis. Persebaran ini menunjukkan bahwa kajian pada topik tidak terpusat pada segelintir sumber atau kelompok peneliti, melainkan tersebar di banyak jurnal dan penulis dalam kurun lima tahun.

Keseluruhan korpus mengumpulkan 4.989 sitasi dengan rata-rata 14,72 sitasi per dokumen. Pola kolaborasi juga menjadi karakteristik penting dari korpus ini. Sebanyak 110 dari 339 dokumen (32,4%) ditulis melalui kolaborasi internasional yang melibatkan afiliasi lebih dari satu negara. Dengan kata lain, hampir sepertiga publikasi dikerjakan lintas negara, yang mencerminkan keterlibatan jaringan peneliti dari berbagai negara dalam pengembangan topik.

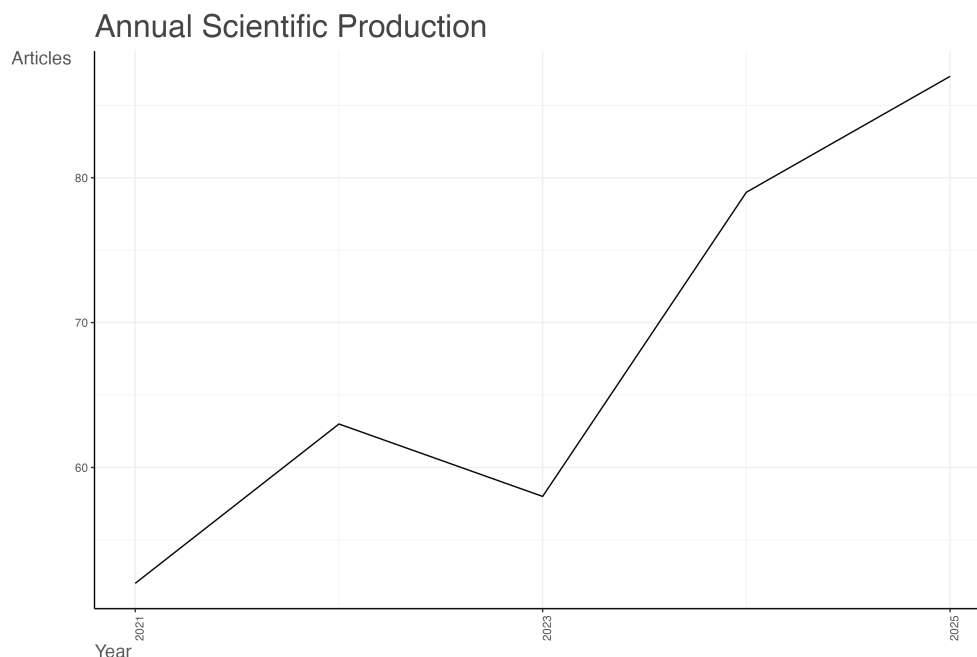
Persebaran sumber terpusat pada beberapa jurnal utama. Dari 136 jurnal yang teridentifikasi, tiga jurnal menyumbang porsi dokumen terbesar. ACM Transactions on Graphics menjadi kontributor tertinggi dengan 65 artikel, diikuti Computer Graphics Forum dengan 42 artikel, dan IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics dengan 17 artikel. Konsentrasi pada ketiga jurnal ini menunjukkan bahwa produksi ilmiah pada topik banyak terpusat pada sumber yang berfokus pada bidang grafika komputer dan visualisasi.

Tabel 2. Ringkasan Audit Dataset

Deskriptor	Nilai
Jumlah dokumen final	339 artikel
Rentang tahun publikasi	2021–2025
Jenis dokumen	Article (100%)
Jumlah sumber (jurnal) unik	136 jurnal
Jumlah penulis unik (terhitung)	1.033 penulis
Total sitasi terkumpul	4.989 sitasi
Rata-rata sitasi per dokumen	14,72 sitasi/dokumen
Dokumen dengan kolaborasi internasional (>1 negara afiliasi)	110 dari 339 dokumen (32,4%)
Jurnal dominan (top 3)	ACM Transactions on Graphics (65); Computer Graphics Forum (42); IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics (17)

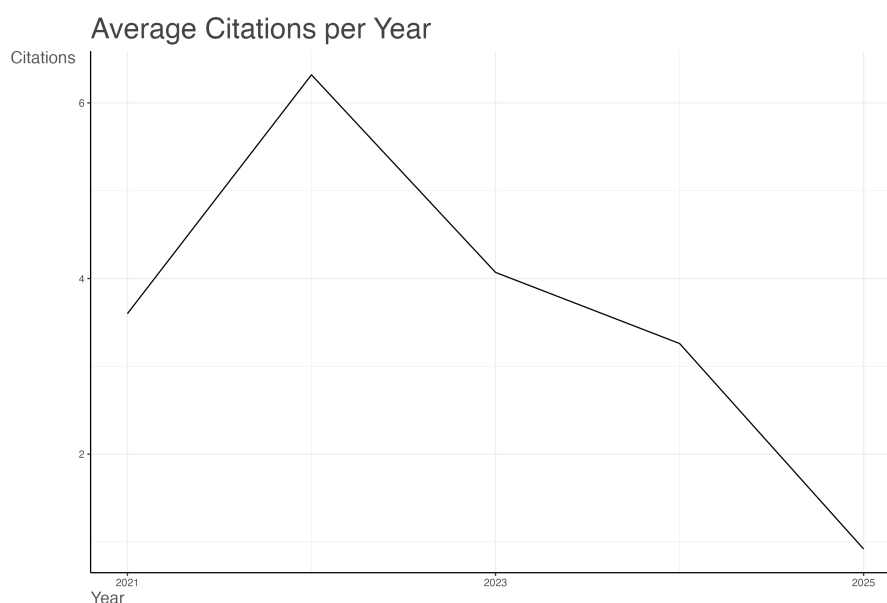
Tren Produksi Ilmiah dan Dampak Sitasi

Gambar 1 menyajikan tren produksi ilmiah tahunan pada korpus penelitian ini. Jumlah publikasi tercatat 52 pada 2021, meningkat menjadi 63 pada 2022, mengalami penurunan sementara menjadi 58 pada 2023, kemudian melonjak tajam menjadi 79 pada 2024 dan 87 pada 2025.



Gambar 1. Tren Produksi Ilmiah Tahunan

Pola pertumbuhan tersebut menunjukkan bahwa procedural animation mengalami titik balik akselerasi pada tahun 2023–2024, yang secara temporal berimpit dengan meningkatnya perhatian riset terhadap model generatif berbasis difusi pada domain computer vision dan graphics secara umum. Peningkatan pesat dua tahun terakhir ini konsisten dengan teori difusi inovasi (diffusion of innovation) yang menjelaskan bahwa adopsi teknologi baru pada komunitas ilmiah cenderung mengikuti pola eksponensial setelah melewati titik kritis penerimaan awal. Dibandingkan dengan riset bibliometrik pada domain computer graphics secara umum yang cenderung menunjukkan pertumbuhan linear, pola akselerasi pada procedural animation mengindikasikan bahwa domain ini tengah memasuki fase pertumbuhan pesat (growth phase) dalam siklus hidup keilmuannya. Implikasi teoretis dari temuan ini adalah perlunya kerangka klasifikasi riset yang lebih adaptif terhadap percepatan publikasi, sementara implikasi praktisnya adalah perlunya basis pengetahuan (seperti tinjauan sistematis dan basis data terbuka) yang diperbarui secara berkala mengingat derasnya arus publikasi baru.

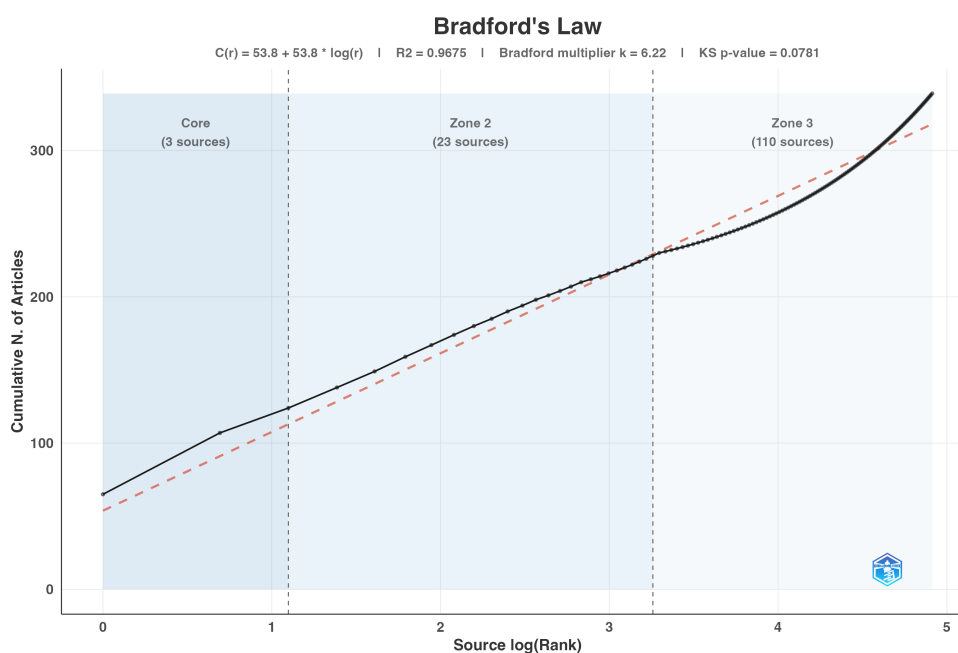


Gambar 2. Rata-Rata Sitasi Artikel per Tahun

Gambar 2 memperlihatkan pola rata-rata sitasi per tahun yang mencapai puncak pada 2022 sebelum menurun secara konsisten hingga 2025. Pola menurun pada tahun-tahun terakhir ini merupakan fenomena yang lazim dalam analisis bibliometrik dan dikenal sebagai citation lag, yaitu artikel yang baru terbit secara alami belum memiliki cukup waktu untuk terakumulasi sitasi dibandingkan artikel yang terbit lebih awal. Oleh karena itu, rendahnya rata-rata sitasi pada 2024–2025 tidak dapat diinterpretasikan sebagai penurunan dampak ilmiah, melainkan sebagai artefak metodologis dari rentang waktu pengamatan yang pendek. Interpretasi ini penting untuk menghindari kesalahan tafsir bahwa riset terbaru pada domain procedural animation kurang berdampak, padahal justru sebaliknya, riset pada 2024–2025 mencerminkan tema-tema yang paling mutakhir dan berpotensi menjadi rujukan utama pada tahun-tahun mendatang.

Analisis Sumber: Hukum Bradford

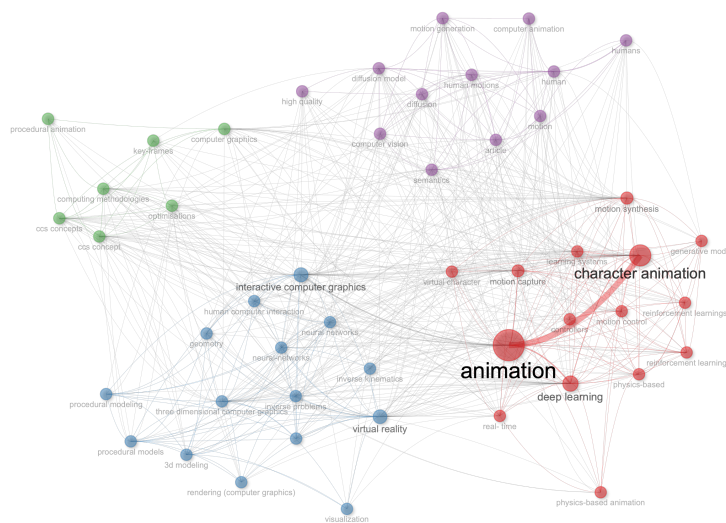
Analisis Hukum Bradford pada Gambar 3 mengidentifikasi 3 jurnal inti (Core Zone) yang memuat proporsi artikel terbesar dari total 136 jurnal dalam korpus, yaitu ACM Transactions on Graphics, Computer Graphics Forum, dan IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, dengan koefisien determinasi model ($R^2 = 0,9675$) yang menunjukkan kesesuaian model logaritmik sangat tinggi terhadap pola distribusi sumber. Zona kedua memuat 23 jurnal tambahan, sedangkan Zona ketiga (periphery) memuat 110 jurnal dengan kontribusi artikel yang jarang. Temuan ini menegaskan bahwa riset procedural animation terkonsentrasi pada segelintir jurnal spesialis grafika komputer berperingkat tinggi, sebuah pola yang konsisten dengan karakteristik bidang computer graphics secara umum yang cenderung mempublikasikan hasil riset unggulan pada forum-forum khusus seperti prosiding SIGGRAPH (yang termuat dalam ACM Transactions on Graphics) dibandingkan jurnal-jurnal umum multidisiplin. Implikasi praktisnya, peneliti pemula pada bidang ini disarankan memprioritaskan penelusuran literatur pada ketiga jurnal inti tersebut untuk memperoleh gambaran state-of-the-art secara efisien.



Gambar 3. Distribusi Sumber Berdasarkan Hukum Bradford

Analisis Jaringan Ko-Occurrence Kata Kunci

Jaringan ko-occurrence pada Gambar 4 menampilkan empat klaster warna. Klaster merah berpusat pada node animation dan character animation sebagai node berukuran paling besar, terhubung erat dengan deep learning, reinforcement learning, motion capture, motion synthesis, motion control, dan physics-based animation, mengindikasikan bahwa isu animasi karakter kontemporer secara dominan dibingkai melalui lensa pembelajaran mesin dan kendali berbasis fisika. Klaster biru berpusat pada interactive computer graphics dan virtual reality, terhubung dengan neural networks, geometry, procedural modeling, dan inverse kinematics, mencerminkan garis riset yang lebih menekankan representasi geometris dan interaktivitas. Klaster ungu memuat diffusion model, motion generation, human motions, dan computer vision, mengindikasikan kemunculan sub-tema baru yang mengaitkan motion synthesis dengan model generatif probabilistik.

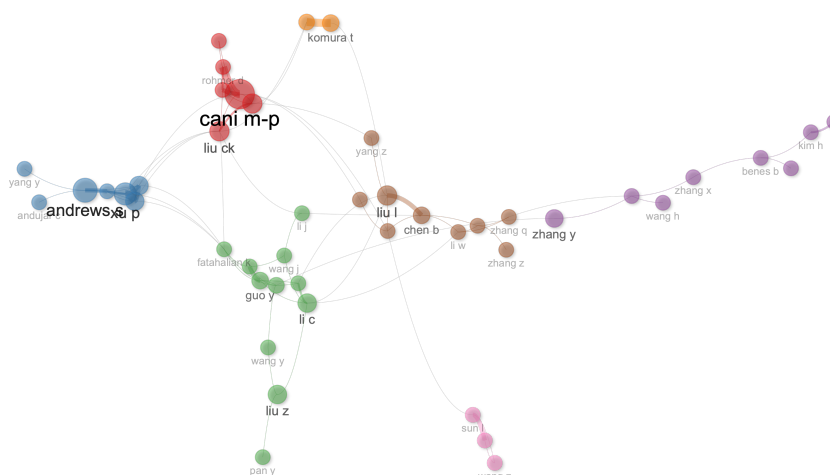


Gambar 4. Jaringan Ko-Occurrence Kata Kunci Penulis

Klaster hijau memuat procedural animation, computer graphics, key-frames, dan computing methodologies sebagai istilah yang lebih bersifat fondasional dan klasik. Pola ini menegaskan bahwa riset procedural animation merupakan persilangan antara tradisi computer graphics klasik (klaster hijau) dan pendekatan kontemporer berbasis deep learning generatif (klaster merah dan ungu), sejalan dengan pergeseran paradigma yang dibahas pada bagian Novelty.

Analisis Kolaborasi Penulis

Gambar 5 menampilkan jaringan kolaborasi penulis dengan Cani M.-P. dan Andrews S. sebagai node dengan ukuran terbesar, konsisten dengan data audit yang menunjukkan Cani M.-P. berkontribusi pada 9 dokumen dan Andrews S. pada 8 dokumen dalam korpus penelitian ini. Klaster kolaborasi tampak terfragmentasi menjadi beberapa kelompok yang relatif independen, misalnya klaster Cani M.-P.–Liu C.K.–Rohmer D., klaster Andrews S.–Van De Panne M.–Yang Y., klaster Liu L.–Chen B.–Yang Z., dan klaster Guo Y.–Li C.–Wang J.–Fatahalian K., dengan keterhubungan antar-klaster yang tergolong tipis.

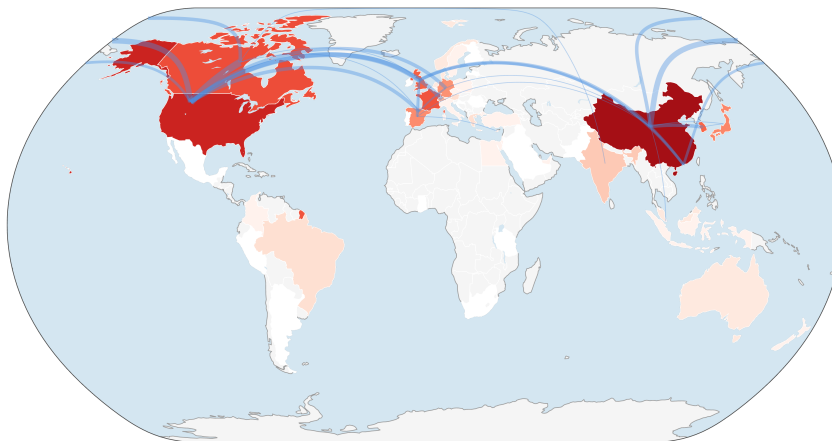


Gambar 5. Jaringan Kolaborasi Penulis

Pola fragmentasi ini mengindikasikan bahwa riset procedural animation belum memiliki satu komunitas riset terpadu berskala besar, melainkan tersebar pada beberapa kelompok riset yang masing-masing berfokus pada sub-topik spesifik, misalnya kelompok Komura T. yang secara historis dikenal berfokus pada motion control berbasis neural network. Implikasi praktisnya adalah terbukanya peluang kolaborasi lintas kelompok riset yang masih jarang terjadi, terutama antara kelompok yang berfokus pada physics-based animation dan kelompok yang berfokus pada generative diffusion model.

Analisis Kolaborasi Negara

Peta kolaborasi negara pada Gambar 6 dan data frekuensi afiliasi pada Tabel 3 menunjukkan bahwa Tiongkok merupakan negara dengan produktivitas afiliasi tertinggi (240 kemunculan afiliasi), diikuti Amerika Serikat (131) dan Prancis (57). Garis penghubung tebal antara Tiongkok dan Amerika Serikat pada peta menunjukkan intensitas kolaborasi bilateral tertinggi, yang selaras dengan temuan pada jaringan kolaborasi penulis (Gambar 5) di mana beberapa kluster memuat kombinasi nama penulis Tiongkok dan penulis Amerika Utara/Eropa dalam satu kelompok publikasi bersama. Sebanyak 110 dari 339 dokumen (32,4%) melibatkan afiliasi lebih dari satu negara, menunjukkan tingkat internasionalisasi riset yang cukup signifikan meskipun belum menjadi mayoritas.



Gambar 6. Peta Kolaborasi Negara

Tabel 3. Top 10 Negara Berdasarkan Frekuensi Afiliasi Penulis

Peringkat	Negara	Frekuensi Afiliasi
1	Tiongkok	240
2	Amerika Serikat	131
3	Prancis	57
4	Kanada	54
5	Korea Selatan	38
6	Inggris Raya	34
7	Jepang	31
8	Jerman	24
9	Spanyol	19
10	Hong Kong	17

Negara dengan produktivitas tinggi seperti Tiongkok dan Amerika Serikat secara konsisten juga menyumbang artikel-artikel dengan sitasi tertinggi dalam korpus (lihat Tabel 4), sehingga tidak teridentifikasi pola signifikan negara berproduktivitas tinggi namun bersitasi rendah dalam dataset ini. Implikasi terhadap perkembangan riset global adalah bahwa penguatan jejaring riset lintas negara, khususnya melibatkan kawasan yang representasinya masih rendah seperti Asia Tenggara dan Amerika Latin, dapat memperkaya keragaman perspektif riset procedural animation yang saat ini masih terkonsentrasi pada beberapa negara maju.

Dokumen Paling Banyak Disitasi

Sembilan dari sepuluh dokumen paling banyak disitasi terbit pada ACM Transactions on Graphics atau Computer Graphics Forum, memperkuat temuan Hukum Bradford bahwa kedua jurnal tersebut merupakan pusat gravitasi riset procedural animation. Menariknya, delapan dari sepuluh dokumen tersebut secara eksplisit mengombinasikan istilah deep learning atau model generatif (diffusion, VAE, adversarial embedding) dengan konsep animasi karakter atau sintesis gerak, menguatkan argumen bahwa dampak ilmiah tertinggi pada bidang ini saat ini diraih oleh riset yang mengawinkan metode pembelajaran mesin

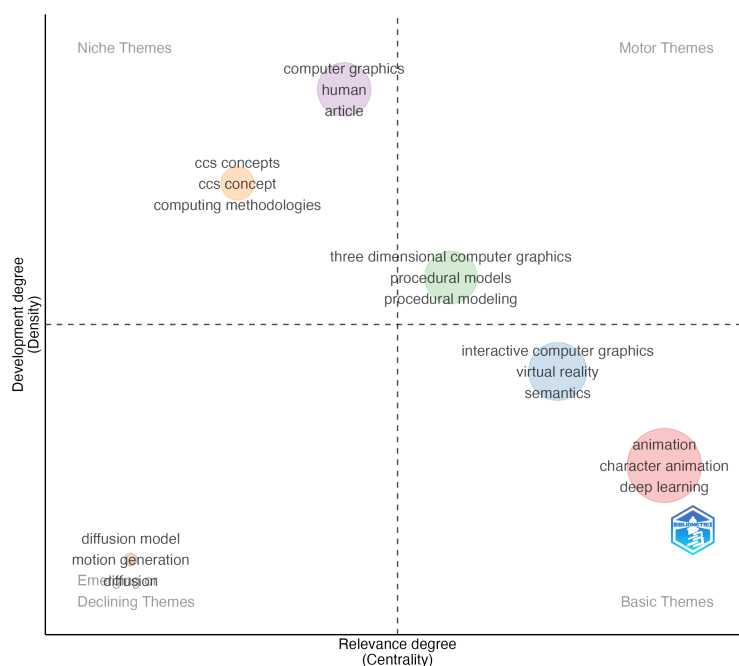
mutakhir dengan permasalahan animasi prosedural klasik, bukan oleh riset yang murni bertumpu pada teknik prosedural berbasis aturan semata.

Tabel 4. Sepuluh Dokumen dengan Sitasi Tertinggi

Penulis (Tahun)	Judul (Ringkas)	Sumber	Sitasi
Zhang et al. (2024)	MotionDiffuse: Text-Driven Human Motion Generation with Diffusion Model	IEEE TPAMI	286
Peng et al. (2022)	ASE: Large-Scale Reusable Adversarial Skill Embeddings	ACM TOG	242
Hong et al. (2022)	AvatarCLIP: Zero-Shot Text-Driven Generation and Animation of 3D Avatars	ACM TOG	177
Starke et al. (2022)	DeepPhase: Periodic Autoencoders for Learning Motion Phase Manifolds	ACM TOG	161
Ao et al. (2022)	Rhythmic Gesticulator: Rhythm-Aware Co-Speech Gesture Synthesis	ACM TOG	138
Won et al. (2022)	Physics-Based Character Controllers Using Conditional VAEs	ACM TOG	103
Ghosh et al. (2023)	IMoS: Intent-Driven Full-Body Motion Synthesis for Human-Object Interaction	Computer Graphics Forum	92
Li et al. (2022)	GANimator: Neural Motion Synthesis from a Single Sequence	ACM TOG	90
Li et al. (2023)	Object Motion Guided Human Motion Synthesis	ACM TOG	88
Yao et al. (2022)	ControlVAE: Model-Based Learning of Generative Controllers for Physics-Based Characters	ACM TOG	85

Pemetaan Tematik

Peta tematik pada Gambar 7 membagi tema riset ke dalam empat kuadran berdasarkan sentralitas (relevansi) dan densitas (tingkat pengembangan). Kuadran basic themes memuat kluster animation, character animation, dan deep learning dengan sentralitas tinggi namun densitas rendah, menunjukkan bahwa tema ini menjadi fondasi riset namun metodenya belum terkonsolidasi secara matang. Kuadran niche themes memuat dua kluster: computer graphics–human–article dengan densitas cukup tinggi namun sentralitas terbatas, serta ccs concepts–ccs concept–computing methodologies yang merupakan istilah klasifikasi indeksasi.

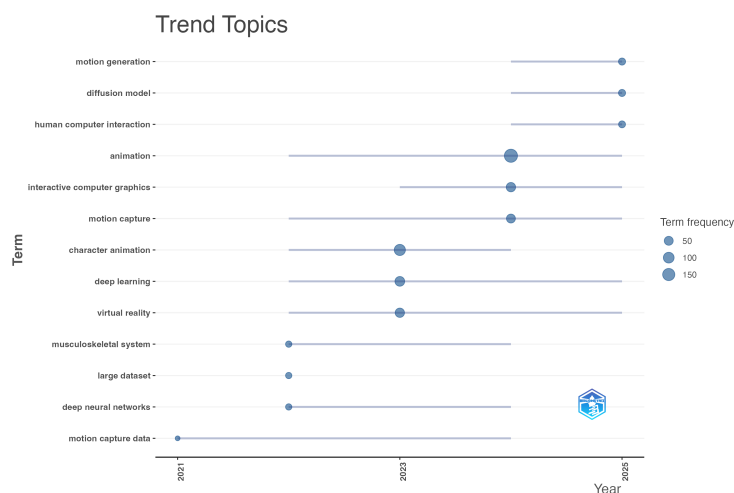


Gambar 7. Peta Tematik Riset Procedural Animation

Wilayah dekat perpotongan sumbu memuat kluster three dimensional computer graphics–procedural models–procedural modeling serta kluster interactive computer graphics–virtual reality–semantics, keduanya berada pada posisi transisi antara niche dan basic themes. Kuadran motor themes, yang semestinya memuat tema dengan sentralitas dan densitas tinggi sekaligus, tidak terisi oleh kluster mana pun, sementara kuadran emerging/declining themes memuat kluster diffusion model–motion generation–diffusion pada posisi densitas dan sentralitas paling rendah. Ketiadaan tema pada kuadran motor themes merupakan temuan penting yang telah dibahas pada bagian Research Gap, yaitu indikasi bahwa bidang procedural animation belum memiliki sub-tema yang benar-benar matang dan sekaligus menjadi pusat perhatian riset utama.

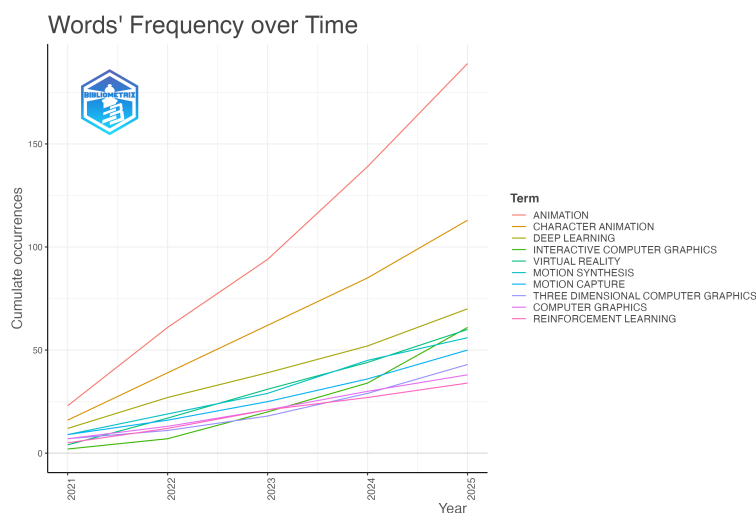
Tren Topik dan Evolusi Kata Kunci

Analisis tren topik pada Gambar 8 memperlihatkan bahwa motion capture data, deep neural networks, dan large dataset merupakan istilah yang muncul paling awal (sekitar 2021) dengan frekuensi rendah dan tidak berlanjut hingga periode akhir, mengindikasikan istilah yang mulai ditinggalkan (declining) seiring pergeseran terminologi riset. Character animation, deep learning, dan virtual reality menunjukkan puncak penggunaan pada sekitar 2023 dengan frekuensi menengah-tinggi.



Gambar 8. Tren Topik Berdasarkan Tahun Kemunculan dan Frekuensi

Sementara itu, animation menjadi istilah dengan frekuensi tertinggi yang bertahan sepanjang 2022 hingga 2025, menandakan istilah payung yang tetap relevan sepanjang periode pengamatan. Istilah motion generation, diffusion model, dan human computer interaction muncul paling akhir (mendekati 2025) dengan frekuensi masih rendah namun median tahun kemunculan paling mutakhir, mengonfirmasi status keduanya sebagai emerging topics yang selaras dengan temuan pada peta tematik (Gambar 7) dan jaringan ko-occurrence (Gambar 4).



Gambar 9. Frekuensi Kumulatif Kata Kunci terhadap Waktu

character animation

animation

deep learning

computer graphics

motion capture

virtual reality

motion synthesis

three dimensional computer graphics

interactive computer graphics

learning systems

inverse problems

physics-based animation

computing methodologies

human motions

motion control

cgs concept

physics-based

computer vision

procedural modeling

human

real-time semantics

diffusion

article

diffusion model

key frames

humans

procedural animation

neural networks

optimization

generation model

visualization

neural networks

cgs concepts

3d modeling

virtual character

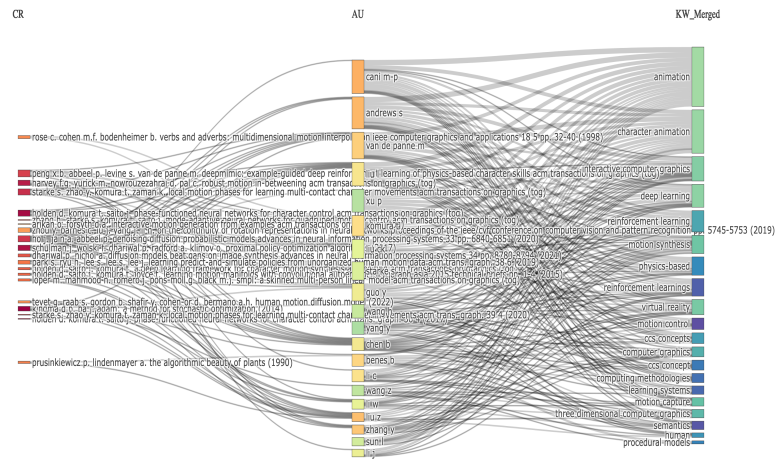
motion generation

large dataset

Visualisasi awan kata pada Gambar 10 memberikan gambaran ringkas dan konsisten dengan Tabel 5 mengenai dominasi character animation dan animation sebagai istilah dengan frekuensi kemunculan tertinggi, diikuti oleh virtual reality, motion capture, deep learning, dan interactive computer graphics.

Peringkat	Kata Kunci	Frekuensi
1	Character animation	76
2	Deep learning	38
3	Motion synthesis	35
4	CCS concepts	28
5	Motion capture	24
6	Animation	22
7	Physics-based animation	18
8	Procedural modeling	18
9	Reinforcement learning	18
10	Virtual reality	14

Plot tiga bidang pada Gambar 11 menghubungkan referensi yang paling banyak dikutip dalam korpus (kolom kiri), penulis paling produktif (kolom tengah), dan kata kunci gabungan (kolom kanan). Diagram ini mengonfirmasi bahwa karya-karya rujukan klasik seperti Rose, Cohen, dan Bodenheimer (1998) mengenai interpolasi gerak multidimensi, serta Prusinkiewicz dan Lindenmayer (1990) mengenai pemodelan prosedural tumbuhan (L-system), tetap menjadi referensi penting yang menghubungkan penulis-penulis produktif seperti Cani M.-P. dengan tema procedural modeling dan computer graphics.



Gambar 11. Plot Tiga Bidang yang Menghubungkan Referensi Tersitasi, Penulis, dan Kata Kunci Gabungan

Referensi-referensi mutakhir seperti Ho, Jain, dan Abbeel (2020) mengenai denoising diffusion probabilistic models, serta Tevet et al. (2022) mengenai human motion diffusion model, menghubungkan penulis-penulis seperti Liu L. dan Chen B. dengan kata kunci diffusion model dan motion generation. Pola ini secara empiris menegaskan adanya dua aliran intelektual (intellectual lineage) yang saling terhubung dalam korpus riset procedural animation: aliran klasik berbasis geometri dan aturan prosedural, serta aliran kontemporer berbasis pembelajaran generatif probabilistik.

Pembahasan

Secara keseluruhan, temuan bibliometrik pada penelitian ini menggambarkan bidang procedural animation sebagai bidang yang tengah berada pada fase transisi paradigmatis. Berdasarkan teori siklus hidup teknologi (technology life cycle), pola pertumbuhan publikasi yang meningkat tajam pada 2024–2025 (Gambar 1) sejalan dengan fase pertumbuhan (growth stage), sedangkan pola rata-rata sitasi yang menurun pada tahun-tahun terbaru (Gambar 2) lebih mencerminkan artefak citation lag ketimbang penurunan minat riset. Ketika kedua pola ini dibaca bersamaan dengan pemetaan tematik (Gambar 7) yang menunjukkan kuadran motor themes masih kosong, dapat disimpulkan bahwa bidang ini mengalami pertumbuhan kuantitatif yang pesat namun belum diimbangi dengan konsolidasi metodologis pada satu paradigma dominan tunggal.

Temuan ini sejalan dengan pergeseran paradigma yang telah didokumentasikan pada dokumen-dokumen paling banyak disitasi (Tabel 4), yang menunjukkan bahwa dampak ilmiah tertinggi kini diraih oleh riset yang mengombinasikan physics-based animation dan reinforcement learning (misalnya Peng et al., 2022; Won et al., 2022; Yao et al., 2022) di satu sisi, dengan riset berbasis diffusion model dan pembangkitan gerak dari teks (misalnya Zhang et al., 2024) di sisi lain. Kedua aliran ini secara historis dapat ditelusuri kembali pada referensi klasik character animation berbasis motion capture dan interpolasi (Rose, Cohen, & Bodenheimer, 1998; Arikan & Forsyth, 2002) yang kemudian berevolusi melalui pendekatan neural network untuk kendali gerak (Holden, Komura, & Saito, 2017; Zhou, Starke, Komura, & Jernej, 2018) hingga pendekatan generatif kontemporer (Ho, Jain, & Abbeel, 2020; Tevet et al., 2022), sebagaimana tergambar pada Plot Tiga Bidang (Gambar 11).

Pola kolaborasi yang terfragmentasi (Gambar 5) turut memperkuat argumen bahwa bidang ini belum memiliki komunitas riset tunggal yang dominan, melainkan sejumlah kelompok riset yang relatif independen dengan fokus sub-tema masing-masing. Kondisi ini konsisten dengan teori invisible college dalam sosiologi ilmu pengetahuan, yang menjelaskan bahwa bidang riset yang sedang berkembang pesat cenderung membentuk kelompok-kelompok kecil yang saling terhubung secara longgar sebelum akhirnya terkonsolidasi menjadi komunitas riset yang lebih terpadu. Implikasi teoretisnya, riset procedural animation dapat diposisikan sebagai bidang interdisipliner yang sedang mengalami proses konsolidasi antara computer graphics klasik, robotika/kontrol berbasis fisika, dan deep learning generatif, sementara implikasi praktisnya adalah pentingnya forum-forum lintas kelompok riset (misalnya workshop bersama pada konferensi SIGGRAPH) untuk mempercepat proses konsolidasi tersebut.

Dominasi geografis Tiongkok dan Amerika Serikat (Tabel 3, Gambar 6) juga perlu dibaca dalam konteks ekosistem riset kecerdasan buatan generatif yang secara global memang terkonsentrasi pada kedua negara tersebut. Namun demikian, kontribusi signifikan dari Prancis dan Kanada—yang tercermin dari keberadaan kelompok riset Cani M.-P. (Prancis) dan Van De Panne M. (Kanada) sebagai node sentral pada jaringan kolaborasi—menunjukkan bahwa riset procedural animation memiliki basis kekuatan historis di Eropa dan Amerika Utara yang berakar pada tradisi computer graphics prosedural (procedural modeling, L-system) yang telah berkembang sejak dekade 1990-an, sebagaimana tercermin dari rujukan Prusinkiewicz dan Lindenmayer (1990) yang masih relevan hingga kini.

Implikasi Teoretis dan Praktis

Temuan penelitian ini memperkaya pemahaman teoretis mengenai evolusi paradigma dalam riset computer graphics, khususnya bagaimana bidang yang semula bertumpu pada aturan prosedural eksplisit (rule-based procedural modeling) mengalami transformasi menuju paradigma pembelajaran data-driven dan generatif, sebuah pola transisi yang dapat dijadikan rujukan bagi kajian bibliometrik pada sub-bidang computer graphics lainnya.

Bagi praktisi dan peneliti pemula, temuan mengenai jurnal inti (ACM Transactions on Graphics, Computer Graphics Forum, IEEE TVCG) dan dokumen paling berpengaruh (Tabel 4) dapat menjadi peta jalan literatur yang efisien. Bagi pengambil kebijakan riset di tingkat institusi atau nasional, temuan mengenai rendahnya representasi riset dari kawasan tertentu, termasuk ketiadaan afiliasi Indonesia dalam korpus ini, dapat menjadi dasar argumentasi untuk mendorong penguatan riset animasi berbasis kecerdasan buatan generatif pada institusi pendidikan tinggi dan industri kreatif digital nasional.

Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki sejumlah keterbatasan yang perlu dinyatakan secara eksplisit. Pertama, data hanya bersumber dari basis data Scopus dan tidak melibatkan basis data lain seperti Web of Science atau Google Scholar, sehingga cakupan literatur yang terindeks pada sumber lain tidak tercakup dalam analisis ini. Kedua, satu berkas visualisasi ko-occurrence (Co_occurrenceNetwork-2026-07-18232710_435681.png) yang diunggah berukuran nol byte dan tidak dapat dibaca, sehingga informasi yang seharusnya terkandung di dalamnya tidak dapat diverifikasi dan tidak digunakan dalam analisis ini. Ketiga, pemodelan siklus hidup publikasi yang memproyeksikan puncak publikasi pada tahun 2033,8 dan saturasi kumulatif hingga tahun 2080 dibangun hanya berdasarkan lima titik data empiris (2021–2025), sehingga proyeksi jangka panjang tersebut bersifat sangat spekulatif dan tidak dapat diverifikasi kebenarannya dari dataset yang tersedia; nilai $R^2 = 0,871$ pada model tersebut menunjukkan kesesuaian statistik terhadap lima titik data yang ada, namun tidak menjamin akurasi prediksi puncak maupun saturasi di masa depan. Keempat, jumlah cluster, total link strength, serta nilai node dan link pada jaringan VOSviewer (Gambar 4 dan Gambar 5) tidak tercantum secara eksplisit pada berkas visualisasi yang diunggah sehingga informasi tersebut tidak dapat diverifikasi berdasarkan dataset penelitian dan tidak digunakan dalam analisis ini; interpretasi jaringan pada penelitian ini didasarkan pada ukuran node, warna klaster, dan ketebalan tautan yang terlihat secara visual. Kelima, ekstraksi negara afiliasi dilakukan secara otomatis berdasarkan parsing teks afiliasi, yang berpotensi mengandung kesalahan kecil pada afiliasi dengan format penulisan tidak standar.

Agenda Penelitian Masa Depan

Berdasarkan hasil analisis Research Gap dan Novelty, sejumlah agenda penelitian masa depan dapat dirumuskan: (1) pengembangan kerangka metodologis yang mengintegrasikan diffusion model dengan kebutuhan kendali interaktif (interactive control) pada procedural animation, mengingat kuadran motor themes pada peta tematik masih kosong; (2) validasi dan konsolidasi metodologis pada sub-tema physics-based character animation berbasis reinforcement learning agar dapat bertransisi dari basic themes menuju motor themes; (3) perluasan kolaborasi riset lintas negara di luar konsentrasi Tiongkok–Amerika Serikat–Eropa Barat, termasuk penguatan kapasitas riset pada kawasan yang representasinya masih rendah; dan (4) kajian bibliometrik lanjutan yang menggabungkan basis data Scopus dengan Web of Science untuk memvalidasi temuan mengenai jurnal inti dan tema emerging pada penelitian ini secara lintas basis data.

Simpulan

Penelitian ini memetakan struktur pengetahuan riset procedural animation berdasarkan 339 artikel jurnal terindeks Scopus periode 2021–2025. Hasil analisis menunjukkan bahwa produksi ilmiah pada bidang ini meningkat pesat, khususnya sejak 2023, dengan ACM Transactions on Graphics dan Computer Graphics Forum sebagai jurnal inti berdasarkan Hukum Bradford. Struktur pengetahuan bidang ini terbagi menjadi

dua aliran utama yang saling terhubung: aliran klasik berbasis procedural modeling dan interpolasi gerak, serta aliran kontemporer berbasis deep learning, physics-based control, dan diffusion model. Tema animation, character animation, dan deep learning menjadi basic themes yang dominan secara sentralitas namun belum matang secara densitas pengembangan, sementara diffusion model dan motion generation muncul sebagai tema emerging yang menjadi arah riset masa depan. Kolaborasi riset terkonsentrasi pada Tiongkok, Amerika Serikat, dan sejumlah negara Eropa dan Amerika Utara, dengan pola jaringan penulis yang masih terfragmentasi menjadi beberapa kelompok riset independen.

Referensi

- Ao, T., Gao, Q., Lou, Y., Chen, B., & Liu, L. (2022). Rhythmic Gesticulator: Rhythm-aware co-speech gesture synthesis with hierarchical neural embeddings. *ACM Transactions on Graphics*, 41(6).
- Arikan, O., & Forsyth, D. A. (2002). Interactive motion generation from examples. *ACM Transactions on Graphics*, 21(3), 483–490.
- Balusa, B. C., & Chatarkar, S. P. (2025). Bridging deep learning & 3D models from 2D images. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series B*, 106(5), 1557–1569. <https://doi.org/10.1007/s40031-024-01176-y>
- Dhariwal, P., & Nichol, A. (2021). Diffusion models beat GANs on image synthesis. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 34, 8780–8794.
- Ghosh, A., Dabral, R., Golyanik, V., Theobalt, C., & Slusallek, P. (2023). IMoS: Intent-driven full-body motion synthesis for human-object interactions. *Computer Graphics Forum*, 42(2).
- Harvey, F. G., Yurick, M., Nowrouzezahrai, D., & Pal, C. (2020). Robust motion in-betweening. *ACM Transactions on Graphics*, 39(4).
- Ho, J., Jain, A., & Abbeel, P. (2020). Denoising diffusion probabilistic models. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 33, 6840–6851.
- Holden, D., Komura, T., & Saito, J. (2017). Phase-functioned neural networks for character control. *ACM Transactions on Graphics*, 36(4).
- Hong, F., Zhang, M., Pan, L., Cai, Z., Yang, L., & Liu, Z. (2022). AvatarCLIP: Zero-shot text-driven generation and animation of 3D avatars. *ACM Transactions on Graphics*, 41(4).
- Kingma, D. P., & Ba, J. (2014). Adam: A method for stochastic optimization. *arXiv*.
- Kwiatkowski, A., Alvarado, E., Kalogeiton, V., Liu, C. K., Pettré, J., van de Panne, M., & Cani, M.-P. (2022). A survey on reinforcement learning methods in character animation. *Computer Graphics Forum*, 41(2).
- Li, J., Wu, J., & Liu, C. K. (2023). Object motion guided human motion synthesis. *ACM Transactions on Graphics*, 42(6).
- Li, P., Aberman, K., Zhang, Z., Hanocka, R., & Sorkine-Hornung, O. (2022). GANimator: Neural motion synthesis from a single sequence. *ACM Transactions on Graphics*, 41(4).
- Loper, M., Mahmood, N., Romero, J., Pons-Moll, G., & Black, M. J. (2015). SMPL: A skinned multi-person linear model. *ACM Transactions on Graphics*, 34(6).
- Park, S., Ryu, H., Lee, S., Lee, S., & Lee, J. (2019). Learning predict-and-simulate policies from unorganized human motion data. *ACM Transactions on Graphics*, 38(6).
- Peng, X. B., Abbeel, P., Levine, S., & van de Panne, M. (2018). DeepMimic: Example-guided deep reinforcement learning of physics-based character skills. *ACM Transactions on Graphics*, 37(4).
- Peng, X. B., Guo, Y., Halper, L., Levine, S., & Fidler, S. (2022). ASE: Large-scale reusable adversarial skill embeddings for physically simulated characters. *ACM Transactions on Graphics*, 41(4).
- Prusinkiewicz, P., & Lindenmayer, A. (1990). *The algorithmic beauty of plants*. Springer-Verlag.
- Rose, C., Cohen, M. F., & Bodenheimer, B. (1998). Verbs and adverbs: Multidimensional motion interpolation. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 18(5), 32–40.
- Schulman, J., Wolski, F., Dhariwal, P., Radford, A., & Klimov, O. (2017). Proximal policy optimization algorithms. *arXiv*.
- Starke, S., Mason, I., & Komura, T. (2022). DeepPhase: Periodic autoencoders for learning motion phase manifolds. *ACM Transactions on Graphics*, 41(4).
- Starke, S., Zhao, Y., Komura, T., & Zaman, K. (2020). Local motion phases for learning multi-contact character movements. *ACM Transactions on Graphics*, 39(4).
- Tevet, G., Raab, S., Gordon, B., Shafir, Y., Cohen-Or, D., & Bermano, A. H. (2022). Human motion diffusion model. *arXiv*.

- Won, J., Gopinath, D., & Hodgins, J. (2022). Physics-based character controllers using conditional VAEs. *ACM Transactions on Graphics*, 41(4).
- Yao, H., Song, Z., Chen, B., & Liu, L. (2022). ControlVAE: Model-based learning of generative controllers for physics-based characters. *ACM Transactions on Graphics*, 41(6).
- Zhang, M., Cai, Z., Pan, L., Hong, F., Guo, X., Yang, L., & Liu, Z. (2024). MotionDiffuse: Text-driven human motion generation with diffusion model. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 46(6).
- Zhou, H., Starke, S., & Komura, T. (2018). Mode-adaptive neural networks for quadruped motion control. *ACM Transactions on Graphics*, 37(4).
- Zhou, Y., Barnes, C., Lu, J., Yang, J., & Li, H. (2019). On the continuity of rotation representations in neural networks. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 5745–5753.