



Contents lists available at [Journal ELORA](#)

JRTI (Jurnal Riset Tindakan Indonesia)

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

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



Perkembangan dan struktur riset digital human technology berdasarkan publikasi terindeks

Wiki Lofandri^{*)}, Bayu Ramadhan Fajri, Mutia Ramdhatul Jannah

Universitas Negeri Padang

Article Info

Article history:

Received Jul 12th, 2025

Revised Aug 20th, 2025

Accepted Sep 26th, 2025

Keyword:

Digital human,
Virtual human,
Bibliometrik,
Bibliometrix,
Scopus,
Peta pengetahuan

ABSTRACT

Perkembangan digital human technology telah menjadi salah satu arus riset yang tumbuh pesat pada persimpangan ilmu komputer, interaksi manusia-komputer, dan ergonomi terapan, namun peta struktur pengetahuannya belum banyak dipetakan secara sistematis melalui pendekatan bibliometrik. Penelitian ini bertujuan memetakan struktur intelektual, sosial, dan konseptual dari 698 artikel jurnal terindeks Scopus periode 2021–2025 yang diperoleh melalui penerapan boolean search pada istilah digital human, virtual human, dan padanannya yang dikombinasikan dengan istilah teknologi. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak Bibliometrix dan Biblioshiny meliputi analisis tren produksi ilmiah tahunan, hukum Bradford untuk identifikasi sumber inti, hukum Lotka untuk produktivitas penulis, analisis kolaborasi negara, co-occurrence kata kunci, thematic mapping, dan analisis siklus hidup topik. Hasil audit menunjukkan produksi ilmiah meningkat dari 95 artikel pada 2021 menjadi 211 artikel pada 2025, dengan Tiongkok dan Amerika Serikat sebagai dua negara paling produktif dan paling banyak berkolaborasi lintas batas. Sebanyak 32 jurnal inti menurut hukum Bradford mendominasi distribusi publikasi, dipimpin oleh IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics dan ACM Transactions on Graphics. Analisis tematik mengidentifikasi virtual reality dan virtual humans sebagai tema motor sekaligus basis (motor/basic themes) yang menghubungkan kluster teknis rekonstruksi grafis komputer dengan kluster aplikatif ergonomi dan pemodelan tubuh manusia digital. Penelitian ini memberikan kontribusi berupa peta struktur pengetahuan digital human technology yang dapat menjadi rujukan bagi penentuan agenda riset lanjutan, sekaligus mengidentifikasi keterbatasan cakupan boolean search yang berpotensi menyertakan dokumen dengan relevansi tematik yang lebih longgar.



© 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:

Wiki Lofandri,
Universitas Negeri Padang
Email: wiloleaks@unp.ac.id

Pendahuluan

Transformasi digital pada dekade terakhir telah mendorong lahirnya representasi manusia dalam bentuk digital yang dikenal secara luas sebagai digital human atau virtual human, yaitu model komputasional yang meniru rupa, gerak, maupun perilaku manusia untuk berbagai keperluan simulasi, interaksi, dan visualisasi. Perkembangan ini tidak berdiri sendiri, melainkan ditopang oleh kemajuan paralel pada bidang grafika komputer, kecerdasan buatan, dan interaksi manusia-komputer yang secara bersama-sama memperluas kapabilitas teknis maupun jangkauan aplikasi dari teknologi tersebut. Fenomena ini terlihat pada meluasnya penggunaan digital human di sektor hiburan, ritel, kesehatan, pendidikan, dan industri manufaktur, yang

masing-masing memanfaatkan karakteristik representasi manusia digital secara berbeda sesuai kebutuhan fungsionalnya.

Pada tataran global, minat riset terhadap digital human technology tumbuh seiring dengan percepatan adopsi teknologi extended reality, kecerdasan buatan generatif, dan konsep metaverse yang menempatkan representasi manusia digital sebagai salah satu komponen inti antarmuka interaksi. Institusi riset di Amerika Serikat, Tiongkok, dan sejumlah negara Eropa secara aktif mengembangkan model digital human baik untuk keperluan akademik maupun komersial, sebagaimana tercermin dari intensitas publikasi ilmiah yang terus meningkat pada jurnal-jurnal rumpun ilmu komputer dan grafika komputer. Kondisi ini menunjukkan bahwa digital human technology bukan lagi sekadar topik niche, melainkan telah berkembang menjadi arus riset multidisiplin yang melibatkan bidang psikologi, ergonomi, pemasaran, dan kesehatan.

Pada tataran regional, kawasan Asia Timur khususnya Tiongkok dan Korea Selatan menunjukkan pertumbuhan kontribusi riset yang signifikan pada topik ini, sejalan dengan kebijakan nasional yang mendorong pengembangan industri kreatif digital dan teknologi kecerdasan buatan. Sementara itu, kawasan Eropa turut memberikan kontribusi melalui pendanaan riset lintas negara seperti Horizon 2020 yang mendukung pengembangan aplikasi digital human pada domain kesehatan dan rehabilitasi. Pola kontribusi regional yang tidak merata ini mengindikasikan adanya perbedaan prioritas riset antarwilayah yang perlu dipahami secara lebih mendalam melalui pemetaan bibliometrik yang sistematis.

Pada tataran nasional, Indonesia dan negara berkembang lainnya masih tercatat memiliki kontribusi yang relatif terbatas pada literatur digital human technology terindeks Scopus, sebagaimana terlihat dari minimnya representasi negara-negara tersebut pada peta kolaborasi internasional yang dihasilkan dari basis data penelitian ini. Kondisi ini menjadi perhatian tersendiri mengingat potensi penerapan digital human technology pada sektor pendidikan vokasi, pelatihan keterampilan, dan layanan publik di Indonesia sesungguhnya cukup besar, namun belum diimbangi dengan produktivitas riset yang setara pada level internasional.

Permasalahan penelitian muncul ketika volume publikasi mengenai digital human technology terus bertambah tanpa diimbangi oleh upaya pemetaan struktur pengetahuan yang memadai, sehingga peneliti baru maupun pembuat kebijakan riset kesulitan mengidentifikasi tema inti, tema pendukung, dan arah perkembangan topik secara komprehensif. Ketidadaan pemetaan semacam ini berisiko menimbulkan duplikasi riset pada tema yang sudah jenuh, sementara celah pada tema yang masih jarang diteliti justru luput dari perhatian. Selain itu, penggunaan istilah yang beragam seperti digital human, virtual human, dan digital human model dalam literatur turut menyulitkan proses sintesis pengetahuan apabila tidak dianalisis secara sistematis menggunakan pendekatan bibliometrik.

Tinjauan awal terhadap literatur bibliometrik yang tersedia menunjukkan bahwa sebagian besar kajian pemetaan pengetahuan yang telah dipublikasikan cenderung berfokus pada topik yang berdekatan namun tidak identik, misalnya metaverse secara umum, extended reality, atau digital twin pada konteks industri, sementara pemetaan yang secara spesifik menyoroti digital human technology sebagai unit analisis utama masih terbatas jumlahnya. Kesenjangan ini menjadi dasar bagi urgensi penelitian yang secara khusus memetakan struktur pengetahuan digital human technology menggunakan data terkini periode 2021 hingga 2025, mengingat rentang waktu tersebut mencakup periode akselerasi pascapandemi ketika adopsi teknologi digital pada berbagai sektor mengalami percepatan signifikan.

Urgensi penelitian ini semakin diperkuat oleh kebutuhan pemangku kepentingan riset, baik akademisi, pengelola jurnal, maupun perumus kebijakan pendanaan penelitian, untuk memiliki basis empiris yang dapat digunakan dalam menentukan prioritas riset lanjutan pada domain teknologi manusia digital. Tanpa pemetaan bibliometrik yang komprehensif, keputusan mengenai alokasi sumber daya riset maupun penentuan topik tesis dan disertasi berisiko didasarkan pada asumsi subjektif alih-alih bukti empiris mengenai tema yang sesungguhnya berkembang, stagnan, ataupun mulai ditinggalkan oleh komunitas ilmiah global.

Penelitian bibliometrik dipilih sebagai pendekatan karena kemampuannya dalam mengolah data metadata publikasi dalam jumlah besar secara kuantitatif dan objektif, sehingga menghasilkan gambaran struktur pengetahuan yang lebih representatif dibandingkan tinjauan literatur naratif konvensional. Melalui indikator seperti hukum Bradford, hukum Lotka, analisis co-occurrence kata kunci, dan thematic mapping, penelitian ini berupaya mengungkap pola konsentrasi sumber publikasi, produktivitas penulis, struktur konseptual, serta posisi tematik topik digital human technology dalam peta pengetahuan yang lebih luas.

Novelty penelitian ini terletak pada penggunaan strategi pencarian boolean yang secara spesifik menggabungkan istilah digital human dan variasinya dengan istilah teknologi digital, sehingga cakupan dokumen yang dianalisis lebih terfokus dibandingkan penelitian bibliometrik sejenis yang umumnya menggunakan istilah tunggal tanpa kombinasi kata kunci teknologi. Selain itu, penelitian ini turut

mengintegrasikan beberapa jenis visualisasi lanjutan yaitu thematic map berbasis density dan centrality, analisis siklus hidup publikasi tahunan, serta kurva pertumbuhan kumulatif, yang secara bersama-sama memberikan gambaran lebih menyeluruh mengenai tahap perkembangan topik ini dibandingkan kajian bibliometrik konvensional yang hanya menyajikan tren tahunan sederhana.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk memetakan struktur pengetahuan digital human technology melalui analisis bibliometrik terhadap 698 artikel jurnal terindeks Scopus periode 2021–2025, mengidentifikasi pola produktivitas sumber, penulis, dan negara, memetakan struktur konseptual berbasis kata kunci, serta merumuskan agenda penelitian masa depan berdasarkan celah riset yang teridentifikasi dari hasil analisis tematik. Tujuan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi baik pada tataran teoritis melalui pemetaan struktur pengetahuan, maupun pada tataran praktis melalui rekomendasi arah riset bagi peneliti dan pengelola kebijakan riset di bidang teknologi manusia digital.

Method

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain penelitian bibliometrik kuantitatif dengan pendekatan performance analysis dan science mapping. Performance analysis digunakan untuk mengukur produktivitas sumber, penulis, dan negara, sementara science mapping digunakan untuk memvisualisasikan struktur konseptual topik digital human technology melalui analisis co-occurrence kata kunci dan thematic mapping. Kedua pendekatan ini dipilih karena saling melengkapi, di mana performance analysis memberikan gambaran kuantitatif mengenai kontributor utama, sedangkan science mapping memberikan gambaran kualitatif mengenai relasi antartema.

Database, Waktu Pengambilan Data, dan Strategi Pencarian

Data penelitian bersumber dari basis data Scopus yang dipilih karena cakupan jurnal terindeksnya yang luas pada rumpun ilmu komputer, teknik, dan sains sosial yang relevan dengan topik digital human technology. Proses pengambilan data dilakukan menggunakan strategi boolean search dengan mengombinasikan istilah inti yang merujuk pada representasi manusia digital dengan istilah yang merujuk pada aspek teknologi, sebagaimana didokumentasikan pada narasi metode yang disertakan dalam berkas penelitian.

String pencarian yang digunakan adalah sebagai berikut:

(("digital human" OR "digital humans" OR "virtual human" OR "virtual humans" OR "digital human model*" OR "digital human representation*" OR "digital human technolog*") AND (technology OR technologies OR "digital technology" OR "digital technolog*" OR "virtual technology" OR "intelligent technolog*" OR "human-computer interaction" OR "human computer interaction" OR simulation OR visualization OR modeling OR "computer graphics")). Pencarian diterapkan pada field TITLE-ABS-KEY (judul, abstrak, dan kata kunci) sebagaimana tercatat pada berkas Scopus refine results values.

Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria inklusi yang diterapkan meliputi rentang tahun publikasi 2021 hingga 2025, jenis dokumen artikel (article), bahasa Inggris, jenis sumber jurnal (journal), dan tahap publikasi final. Kriteria eksklusi meliputi dokumen di luar rentang tahun tersebut, jenis dokumen selain artikel seperti prosiding konferensi, book chapter, dan review, dokumen berbahasa selain Inggris, sumber selain jurnal seperti buku dan prosiding, serta dokumen dengan tahap publikasi in press atau belum final.

Proses Seleksi Artikel

Proses seleksi artikel mengikuti tahapan filtering bertingkat sebagaimana didokumentasikan pada narasi metode penelitian. Pencarian awal dengan string boolean tanpa batasan tahun menghasilkan 5.603 dokumen. Penerapan batasan tahun 2021–2025 mereduksi jumlah dokumen menjadi 1.987. Penyaringan berdasarkan jenis dokumen artikel menghasilkan 801 dokumen, penyaringan bahasa Inggris menghasilkan 714 dokumen, penyaringan jenis sumber jurnal menghasilkan 712 dokumen, dan penyaringan tahap publikasi final menghasilkan 698 dokumen yang menjadi dataset akhir penelitian ini. Jumlah akhir 698 dokumen ini telah diverifikasi konsisten dengan jumlah baris pada berkas CSV hasil ekspor Scopus yang digunakan sebagai sumber data utama analisis.

Tabel 1. Tahapan Seleksi Artikel (Model Alur PRISMA)

Tahap	Kriteria/Proses	Jumlah Dokumen
Identification	Hasil pencarian awal boolean search pada basis data Scopus (tanpa batasan tambahan)	5.603
Screening 1	Pembatasan tahun publikasi 2021–2025	1.987
Screening 2	Pembatasan jenis dokumen: article	801
Screening 3	Pembatasan bahasa: English	714
Eligibility	Pembatasan jenis sumber: journal (source type)	712
Included	Pembatasan tahap publikasi: final (publication stage)	698

Informasi mengenai jumlah dokumen duplikat tidak tersedia secara eksplisit pada dokumen metode maupun berkas ekspor yang diunggah, sehingga tahap penghapusan duplikat pada model PRISMA di atas tidak dapat ditampilkan sebagai tahapan terpisah dan dinyatakan secara eksplisit bahwa informasi tersebut tidak dapat diverifikasi berdasarkan dataset penelitian sehingga tidak digunakan dalam analisis. Demikian pula, alasan spesifik pengeluaran setiap dokumen pada tahap eligibility di luar kriteria filter Scopus yang telah disebutkan tidak tersedia datanya, sehingga tabel di atas disusun berdasarkan tahapan filter yang benar-benar terdokumentasi.

Perangkat Lunak dan Teknik Analisis

Analisis bibliometrik pada penelitian ini dilakukan menggunakan Bibliometrix dan antarmuka Biblioshiny berbasis R, sebagaimana terlihat dari watermark Bibliometrix yang tercantum pada visualisasi hukum Bradford, hukum Lotka, dan thematic map yang dihasilkan. Teknik analisis yang diterapkan meliputi: (1) analisis tren produksi ilmiah tahunan (annual scientific production); (2) analisis rata-rata sitasi artikel per tahun (average article citations per year); (3) hukum Bradford untuk identifikasi zona inti, zona kedua, dan zona ketiga sumber publikasi; (4) hukum Lotka untuk analisis distribusi produktivitas penulis; (5) analisis kolaborasi negara melalui country collaboration map; (6) analisis co-occurrence kata kunci melalui jaringan network; (7) analisis word cloud berbasis frekuensi kata kunci indeks; (8) three-field plot yang menghubungkan istilah dominan pada abstrak, judul, dan kata kunci gabungan; (9) thematic mapping berdasarkan dimensi densitas dan sentralitas; serta (10) analisis siklus hidup topik melalui model annual publication life cycle dan cumulative growth curve.

Prosedur Validasi Data

Validasi data dilakukan dengan membandingkan konsistensi angka pada beberapa sumber, yaitu berkas CSV ekspor Scopus (datascopus13.csv), berkas nilai refine hasil pencarian Scopus (Scopus_exported_refine_values.csv), narasi metode penelitian (narasi13.docx), serta visualisasi yang dihasilkan Bibliometrix. Hasil validasi menunjukkan kesesuaian antara jumlah 698 dokumen pada ketiga sumber pertama. Jumlah total sumber (jurnal) unik pada berkas CSV tercatat sebanyak 412 judul, yang konsisten dengan penjumlahan tiga zona pada visualisasi hukum Bradford yaitu 32 sumber pada zona inti, 148 sumber pada zona kedua, dan 232 sumber pada zona ketiga, dengan total 412 sumber. Demikian pula, distribusi negara hasil ekstraksi afiliasi penulis pada berkas CSV utama menunjukkan pola yang konsisten dengan data pada berkas nilai refine Scopus, dengan Tiongkok dan Amerika Serikat secara konsisten menempati dua peringkat teratas pada kedua sumber data tersebut.

Satu perbedaan metrik ditemukan pada perhitungan rata-rata sitasi per tahun, di mana perhitungan rata-rata sederhana dari kolom Cited by pada berkas CSV menghasilkan pola nilai yang berbeda dari visualisasi Average Article Citations per Year yang dihasilkan Bibliometrix. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan definisi metrik, yaitu Bibliometrix menghitung citation velocity yang menormalkan jumlah sitasi terhadap usia dokumen sejak tahun terbit, sedangkan perhitungan sederhana pada penelitian ini hanya merata-ratakan jumlah sitasi mentah per tahun publikasi tanpa normalisasi usia dokumen. Mengikuti hierarki prioritas sumber data yang telah ditetapkan, penelitian ini menggunakan visualisasi Bibliometrix sebagai rujukan utama untuk metrik rata-rata sitasi per tahun, sementara berkas CSV digunakan sebagai rujukan utama untuk data deskriptif dan tabel most cited documents.

Hasil dan Pembahasan

Bagian ini menyajikan hasil analisis bibliometrik secara berurutan mulai dari analisis performa produksi ilmiah, analisis sumber dan penulis, analisis negara dan kolaborasi, analisis dokumen paling disitasi, hingga analisis

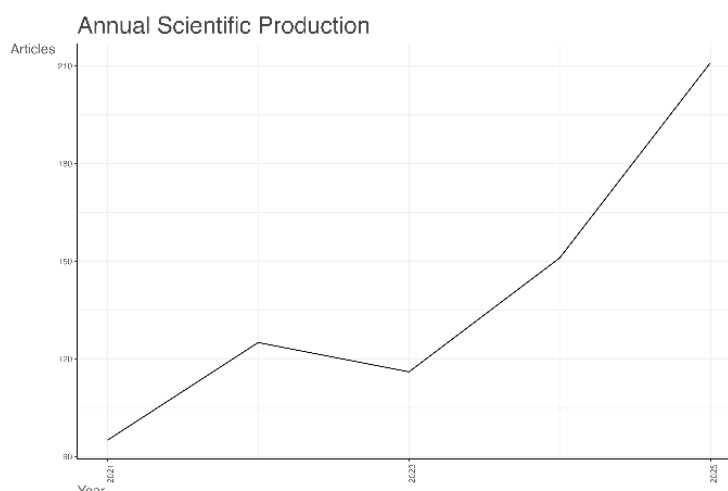
struktur konseptual berupa kata kunci, jaringan co-occurrence, dan pemetaan tematik. Setiap tabel dan gambar disertai pembahasan yang menghubungkan temuan empiris dengan interpretasi ilmiah, keterkaitan dengan hasil bibliometrik lain, serta implikasi teoretis dan praktis, sesuai dengan struktur temuan-bukti-interpretasi yang menjadi kerangka analisis penelitian ini.

Tren Produksi Ilmiah Tahunan

Tabel 2 menyajikan distribusi jumlah artikel berdasarkan tahun publikasi pada dataset penelitian ini, yang bertujuan memberikan gambaran kuantitatif mengenai perkembangan intensitas produksi ilmiah topik digital human technology sepanjang periode 2021 hingga 2025. Data pada tabel menunjukkan bahwa jumlah publikasi meningkat dari 95 artikel pada 2021 menjadi 211 artikel pada 2025, dengan sedikit fluktuasi pada 2023 yang mengalami penurunan menjadi 116 artikel dibandingkan 125 artikel pada tahun sebelumnya. Pola peningkatan ini juga tervisualisasikan pada Gambar 1 yang menampilkan kurva Annual Scientific Production hasil olahan Bibliometrix, yang secara konsisten menunjukkan tren naik meskipun terdapat cekungan pada 2023.

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

Tahun	Jumlah Artikel	Persentase (%)	Kumulatif
2021	95	13,61	95
2022	125	17,91	220
2023	116	16,62	336
2024	151	21,63	487
2025	211	30,23	698



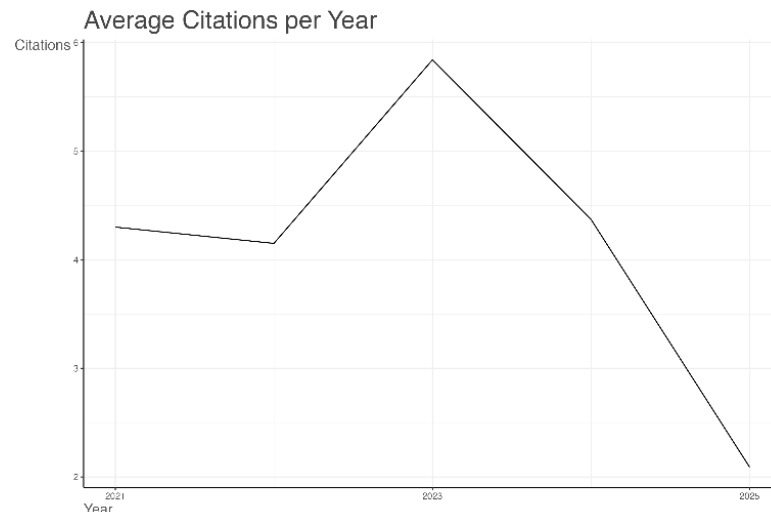
Gambar 1. Annual Scientific Production Topik Digital Human Technology (2021–2025)

Peningkatan jumlah publikasi yang cukup tajam pada 2024 dan 2025, dengan kenaikan sebesar 60 artikel dan 44,4 persen dari 2023 ke 2025, mengindikasikan bahwa topik digital human technology sedang berada pada fase pertumbuhan aktif dalam siklus hidup risetnya. Pola ini sejalan dengan meningkatnya perhatian global terhadap teknologi kecerdasan buatan generatif dan extended reality pascapandemi, yang turut mendorong riset pada representasi manusia digital sebagai salah satu komponen antarmuka interaksi manusia-mesin. Cekungan pada 2023 dapat diinterpretasikan sebagai variasi alami dalam siklus penerbitan jurnal alih-alih indikasi penurunan minat riset, mengingat tren keseluruhan tetap menunjukkan arah pertumbuhan positif pada tahun-tahun berikutnya.

Dari sudut pandang teori difusi inovasi, pola pertumbuhan jumlah publikasi yang belum menunjukkan tanda-tanda perlambatan hingga akhir periode observasi mengindikasikan bahwa digital human technology sebagai topik riset belum mencapai titik jenuh (saturation point), sehingga peluang kontribusi riset baru pada topik ini masih terbuka luas. Implikasi praktisnya, peneliti maupun institusi yang berencana memasuki bidang riset ini pada tahun-tahun mendatang masih memiliki ruang untuk memberikan kontribusi orisinal, sementara implikasi teoretisnya menegaskan relevansi penggunaan model siklus hidup publikasi yang akan dibahas lebih lanjut pada bagian analisis life cycle dan cumulative growth curve.

Rata-Rata Sitasi Artikel per Tahun

Gambar 2 menyajikan visualisasi rata-rata sitasi artikel per tahun yang telah dinormalisasi terhadap usia dokumen, dengan tujuan mengukur intensitas dampak ilmiah relatif dari artikel yang diterbitkan pada masing-masing tahun. Grafik menunjukkan pola naik dari sekitar 4,3 pada 2021 menjadi puncak sekitar 5,9 pada 2023, sebelum menurun secara konsisten hingga sekitar 2,1 pada 2025. Pola penurunan pada dua tahun terakhir ini merupakan fenomena yang lazim dalam bibliometrik dan dikenal sebagai citation lag, yaitu jeda waktu yang dibutuhkan suatu artikel untuk mulai disitasi secara luas oleh komunitas ilmiah.



Gambar 2. Average Article Citations per Year Topik Digital Human Technology

Puncak rata-rata sitasi pada 2023 mengindikasikan bahwa artikel-artikel yang diterbitkan pada tahun tersebut memiliki dampak ilmiah relatif lebih tinggi dibandingkan tahun lain dalam periode observasi, sebagaimana juga tercermin dari beberapa dokumen dengan sitasi tinggi pada Tabel 6 yang diterbitkan pada 2023. Sebaliknya, nilai rendah pada 2025 tidak dapat langsung diinterpretasikan sebagai penurunan kualitas atau relevansi artikel, melainkan lebih disebabkan oleh keterbatasan waktu yang tersedia bagi artikel-artikel tersebut untuk terakumulasi sitasinya sejak tanggal terbit hingga tanggal penarikan data penelitian ini.

Implikasi teoretis dari temuan ini adalah pentingnya membedakan antara volume produksi ilmiah dengan intensitas dampak sitasi ketika menilai perkembangan suatu bidang riset, mengingat kedua indikator tersebut tidak selalu bergerak searah, sebagaimana terlihat dari volume publikasi 2025 yang tertinggi namun rata-rata sitasinya justru terendah. Implikasi praktisnya, evaluasi terhadap produktivitas riset topik digital human technology pada tahun-tahun terbaru sebaiknya mempertimbangkan jeda waktu sitasi ini agar tidak keliru menyimpulkan penurunan relevansi topik hanya berdasarkan rendahnya rata-rata sitasi jangka pendek.

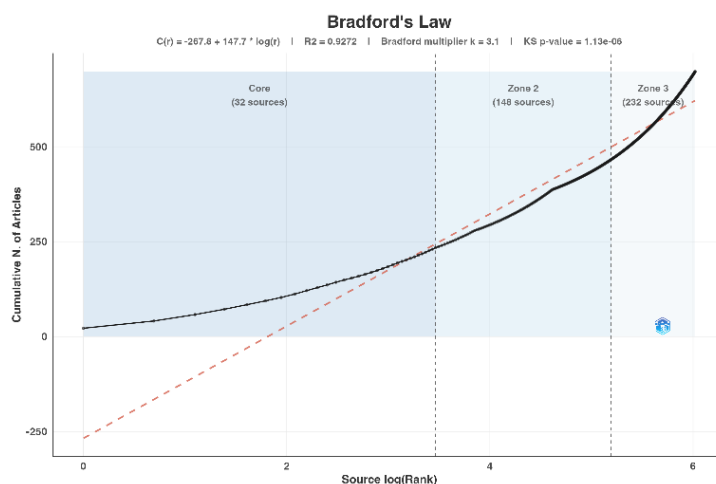
Analisis Sumber: Hukum Bradford dan Jurnal Paling Produktif

Tabel 3 menampilkan sepuluh jurnal dengan jumlah publikasi terbanyak pada dataset penelitian, yang bertujuan mengidentifikasi wadah publikasi utama tempat komunitas ilmiah mendiseminasikan riset digital human technology. Data menunjukkan bahwa IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics menempati posisi teratas dengan 22 artikel, diikuti oleh ACM Transactions on Graphics dengan 19 artikel dan Sensors dengan 17 artikel. Dominasi jurnal-jurnal berbasis IEEE dan ACM pada peringkat teratas mengindikasikan bahwa akar keilmuan digital human technology masih sangat kuat bertumpu pada rumpun ilmu komputer dan grafika komputer, meskipun jurnal seperti Applied Ergonomics dan Sustainability turut hadir pada sepuluh besar sebagai representasi dimensi aplikatif dan keberlanjutan dari topik ini.

Tabel 3. Sepuluh Jurnal Paling Produktif

Nama Jurnal	Jumlah Artikel
IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics	22
ACM Transactions on Graphics	19
Sensors	17
IEEE Access	14
Applied Sciences (Switzerland)	12

Nama Jurnal	Jumlah Artikel
Electronics (Switzerland)	10
Computer Graphics Forum	9
Sustainability (Switzerland)	9
Applied Ergonomics	9
Frontiers in Virtual Reality	8



Gambar 3. Kurva Hukum Bradford pada 412 Sumber Jurnal.

Gambar 3 menyajikan kurva hukum Bradford yang mengelompokkan 412 sumber jurnal unik pada dataset ke dalam tiga zona produktivitas, yaitu zona inti (core) yang berisi 32 sumber, zona kedua (Zone 2) yang berisi 148 sumber, dan zona ketiga (Zone 3) yang berisi 232 sumber, dengan koefisien determinasi R^2 sebesar 0,9272 yang mengindikasikan kesesuaian model yang cukup baik terhadap data empiris. Nilai Bradford multiplier k sebesar 3,1 menunjukkan bahwa setiap zona berikutnya membutuhkan jumlah sumber sekitar tiga kali lipat dari zona sebelumnya untuk menghasilkan jumlah artikel yang setara, sebuah pola konsentrasi yang khas pada distribusi literatur ilmiah menurut hukum Bradford klasik.

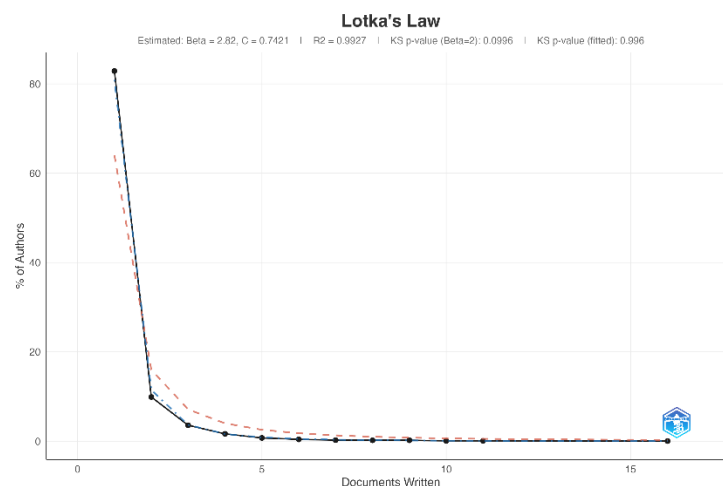
Konsentrasi publikasi pada 32 jurnal inti yang hanya mewakili 7,8 persen dari total 412 sumber namun berkontribusi signifikan terhadap total artikel mengindikasikan bahwa strategi pencarian literatur maupun pemantauan tren riset pada topik digital human technology dapat dilakukan secara efisien dengan berfokus pada jurnal-jurnal inti tersebut. Implikasi praktisnya, peneliti yang hendak mempublikasikan riset pada domain ini dapat mempertimbangkan jurnal inti seperti IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics maupun ACM Transactions on Graphics sebagai target utama, sementara implikasi teoretisnya menegaskan relevansi hukum Bradford klasik dalam menjelaskan pola distribusi literatur pada bidang riset teknologi yang relatif baru dan multidisiplin sekalipun.

Analisis Penulis: Hukum Lotka dan Penulis Paling Produktif

Tabel 4 menampilkan sepuluh penulis dengan jumlah dokumen terbanyak pada dataset penelitian berdasarkan data disambiguasi nama penulis dari Scopus, yang bertujuan mengidentifikasi kontributor utama pada perkembangan riset digital human technology. Data menunjukkan bahwa Broadbent, E. menempati peringkat teratas dengan delapan dokumen, diikuti oleh Lok, B. dan Partarakis, N. dengan masing-masing tujuh dokumen. Perlu dicatat bahwa perhitungan produktivitas penulis berdasarkan nama singkat pada berkas CSV utama menunjukkan angka yang berbeda untuk nama-nama seperti Wang Z. maupun Zhang Y. yang tercatat memiliki 16 dan 11 kemunculan, namun angka tersebut kemungkinan besar mencerminkan gabungan beberapa individu berbeda dengan nama keluarga dan inisial yang sama, suatu keterbatasan umum pada disambiguasi nama penulis Asia Timur dalam basis data bibliografi, sehingga Tabel 4 pada bagian ini menggunakan data AUTHOR NAME dari berkas refine Scopus yang telah melalui proses disambiguasi oleh sistem Scopus itu sendiri.

Tabel 4. Penulis dengan Jumlah Dokumen Terbanyak (Author Name, Scopus)

Nama Penulis	Jumlah Dokumen
Broadbent, E.	8
Lok, B.	7
Partarakis, N.	7
Högberg, D.	6
Loveys, K.	6
Whang, M.	6
Xu, L.	6
Yu, J.	6
Zabulis, X.	6
Botsch, M.	5

**Gambar 4.** Kurva Hukum Lotka Distribusi Produktivitas Penulis

Gambar 4 menyajikan kurva hukum Lotka yang menggambarkan distribusi persentase penulis terhadap jumlah dokumen yang mereka hasilkan, dengan nilai Beta terestimasi sebesar 2,82 dan konstanta C sebesar 0,7421, serta koefisien determinasi R^2 sebesar 0,9927 yang menunjukkan kesesuaian model empiris yang sangat baik. Nilai KS p-value untuk model dengan Beta terestimasi sebesar 0,996 jauh lebih tinggi dibandingkan KS p-value untuk model Beta=2 sebesar 0,0996, yang mengindikasikan bahwa distribusi produktivitas penulis pada dataset ini lebih mendekati model Lotka dengan eksponen 2,82 dibandingkan eksponen klasik sebesar 2. Grafik menunjukkan bahwa sekitar 83 persen penulis hanya berkontribusi pada satu dokumen, sementara proporsi penulis menurun tajam seiring bertambahnya jumlah dokumen yang dihasilkan.

Dominasi penulis dengan satu dokumen ini konsisten dengan pola umum produktivitas ilmiah pada bidang riset yang relatif baru dan masih berkembang, di mana sebagian besar kontributor bersifat sporadis sementara hanya sebagian kecil penulis yang secara konsisten aktif meneliti topik ini dalam jangka panjang. Implikasi teoretisnya, eksponen Beta yang lebih tinggi dari nilai klasik 2 menunjukkan bahwa konsentrasi produktivitas pada segelintir penulis inti pada topik digital human technology sedikit lebih tajam dibandingkan pola Lotka klasik, sementara implikasi praktisnya adalah pentingnya identifikasi dan kolaborasi dengan penulis-penulis produktif seperti yang tercantum pada Tabel 4 bagi peneliti baru yang hendak membangun jejaring riset pada topik ini.

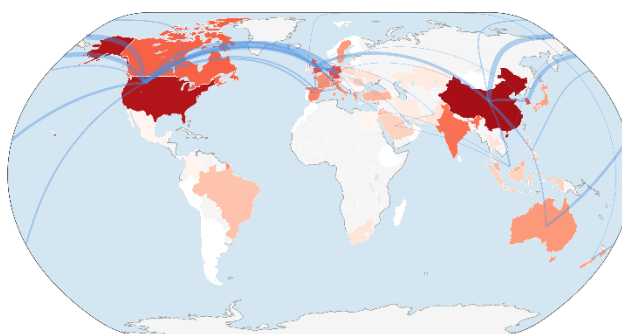
Analisis Negara dan Kolaborasi Internasional

Tabel 5 menyajikan sepuluh negara dengan jumlah dokumen terbanyak berdasarkan afiliasi penulis, yang bertujuan mengidentifikasi kontributor geografis utama pada perkembangan riset digital human technology. Data menunjukkan Tiongkok menempati posisi pertama dengan 199 dokumen, jauh melampaui Amerika Serikat pada posisi kedua dengan 166 dokumen, sementara Jerman dan Korea Selatan menempati posisi ketiga

dan keempat dengan masing-masing 50 dan 49 dokumen. Hasil analisis afiliasi penulis pada berkas CSV utama penelitian ini menunjukkan pola yang konsisten dengan data pada berkas nilai refine Scopus, sehingga memperkuat validitas temuan mengenai dominasi Tiongkok dan Amerika Serikat sebagai dua kekuatan riset utama pada topik ini

Tabel 5. Sepuluh Negara Paling Produktif

Negara	Jumlah Dokumen
Tiongkok	199
Amerika Serikat	166
Jerman	50
Korea Selatan	49
Inggris Raya	48
Kanada	35
India	28
Belanda	26
Spanyol	22
Swiss	21



Gambar 5. Peta Kolaborasi Negara pada Riset Digital Human Technology

Gambar 5 menyajikan peta kolaborasi negara yang menggambarkan intensitas kerja sama riset lintas batas melalui garis penghubung antarnegara, dengan intensitas warna gradasi merah pada peta menunjukkan volume dokumen per negara. Peta tersebut memperlihatkan bahwa jalur kolaborasi paling tebal terjalin antara Amerika Serikat dengan Tiongkok, serta antara Amerika Serikat dengan negara-negara Eropa Barat seperti Inggris Raya dan Jerman, sementara kolaborasi antarnegara Asia seperti Tiongkok dengan Korea Selatan dan Jepang juga tervisualisasikan meskipun dengan intensitas yang relatif lebih tipis. Berdasarkan hasil pengolahan data afiliasi penulis pada berkas CSV, tercatat sebanyak 167 dari 658 dokumen yang afliasinya dapat diklasifikasikan menunjukkan indikasi kolaborasi internasional atau sekitar 25,4 persen, sementara sisanya merupakan kolaborasi dalam satu negara yang sama.

Pola dominasi Tiongkok dan Amerika Serikat sebagai simpul kolaborasi utama sejalan dengan teori pusat-pinggiran (core-periphery) dalam sosiologi ilmu pengetahuan, di mana negara dengan kapasitas riset dan pendanaan besar cenderung menjadi episentrum jaringan kolaborasi global, sementara negara berkembang termasuk Indonesia berada pada posisi pinggiran dengan representasi yang sangat minim pada peta kolaborasi ini. Implikasi praktisnya, peneliti dari negara berkembang yang hendak memperluas jejaring risetnya pada topik digital human technology dapat mempertimbangkan kolaborasi dengan institusi di Tiongkok, Amerika Serikat, atau negara Eropa yang telah memiliki simpul kolaborasi kuat, sementara implikasi teoretisnya menegaskan perlunya kajian lanjutan mengenai faktor pendorong dan penghambat partisipasi negara berkembang dalam jaringan riset teknologi manusia digital global.

Dokumen Paling Banyak Disitasi

Tabel 6 menyajikan sepuluh dokumen dengan jumlah sitasi tertinggi pada dataset penelitian, yang bertujuan mengidentifikasi artikel paling berpengaruh dalam membentuk arah diskursus ilmiah topik digital human technology. Data menunjukkan bahwa artikel Diederich et al. (2022) mengenai perancangan dan interaksi dengan agen percakapan menempati posisi teratas dengan 369 sitasi, diikuti oleh Zhang dan Chen (2024) mengenai transformasi digital manajemen sumber daya manusia dengan 289 sitasi, serta Sindermann et al. (2021) mengenai pengukuran sikap terhadap kecerdasan buatan dengan 272 sitasi.

Tabel 6. Sepuluh Dokumen dengan Jumlah Sitasi Tertinggi

Tahun	Penulis (Utama)	Sumber	Sitasi
2022	Diederich, S. et al.	Journal of the Association for Information Systems	369
2024	Zhang, J.; Chen, Z.	Journal of the Knowledge Economy	289
2021	Sindermann, C. et al.	KI - Künstliche Intelligenz	272
2023	Gao, W.; Jiang, N.; Guo, Q.	Journal of Retailing and Consumer Services	242
2023	Dennis, A.R. et al.	Journal of Management Information Systems	204
2023	Al Rahamneh, A.A. et al.	Uncertain Supply Chain Management	179
2021	Silva, E.S.; Bonetti, F.	Journal of Retailing and Consumer Services	163
2023	Deng, F.; Jiang, X.	Journal of Retailing and Consumer Services	154
2021	Seymour, M. et al.	Journal of the Association for Information Systems	149
2025	Fei, B. et al.	IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics	143

Pencermatan lebih lanjut terhadap tema masing-masing dokumen pada Tabel 6 mengungkap temuan penting bagi validitas cakupan dataset, yaitu bahwa sebagian dokumen dengan sitasi tertinggi memiliki keterkaitan tematik yang tidak secara langsung membahas representasi atau pemodelan manusia digital, melainkan lebih berfokus pada topik kecerdasan buatan, transformasi digital organisasi, dan rantai pasok digital yang turut tersaring oleh kombinasi kata kunci teknologi pada strategi boolean search penelitian ini. Sebaliknya, dokumen seperti Silva dan Bonetti (2021) mengenai digital human pada industri fesyen, Deng dan Jiang (2023) mengenai pengaruh virtual human influencer, serta Seymour et al. (2021) mengenai uncanny valley pada digital human, secara eksplisit dan langsung membahas inti topik penelitian ini.

Temuan ini memperkuat catatan pada bagian research gap mengenai perlunya kehati-hatian dalam menginterpretasikan dokumen bersitasi tinggi sebagai representasi inti topik digital human technology, mengingat sebagian di antaranya sesungguhnya lebih dekat dengan topik kecerdasan buatan dan transformasi digital secara umum. Implikasi metodologisnya, penelitian bibliometrik lanjutan yang bertujuan memetakan literatur digital human technology secara lebih presisi disarankan untuk menerapkan penyaringan tambahan berbasis peninjauan abstrak secara manual atau pembobotan relevansi tematik, sementara implikasi teoretisnya adalah bahwa topik digital human technology pada dasarnya bersinggungan erat dan saling tumpang tindih dengan arus riset kecerdasan buatan serta transformasi digital organisasi yang lebih luas, sebuah pola yang juga akan terkonfirmasi pada analisis thematic map di bagian selanjutnya.

Analisis Kata Kunci Dominan

Tabel 7 menyajikan lima belas kata kunci indeks (index keywords) yang paling sering muncul pada dataset penelitian, yang bertujuan mengidentifikasi konsep dan istilah dominan yang membentuk struktur konseptual topik digital human technology. Data menunjukkan bahwa virtual reality menjadi kata kunci paling dominan dengan 229 kemunculan, diikuti oleh human dan humans yang secara gabungan mencerminkan fokus riset pada partisipan manusia sebagai subjek studi, serta virtual humans dan digital humans yang secara eksplisit merepresentasikan inti topik penelitian ini.

Tabel 7. Lima Belas Kata Kunci Indeks Paling Sering Muncul

Kata Kunci Indeks	Frekuensi
Virtual Reality	229
Human	186
Humans	151
Virtual Humans	99
Digital Humans	96
Female	116
Male	115
Ergonomics	99
Adult	93
Computer Simulation	62
Three Dimensional Computer Graphics	59
Human Computer Interaction	55
Deep Learning	52
Digital Human Models	47
Artificial Intelligence	56



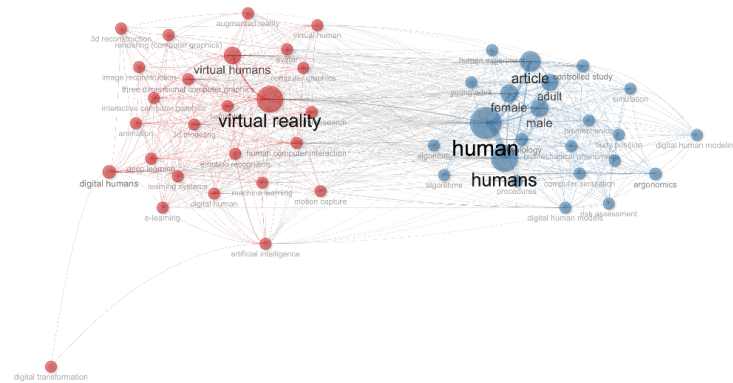
Gambar 6. Word Cloud Kata Kunci Indeks Topik Digital Human Technology

Gambar 6 menyajikan visualisasi word cloud yang menampilkan ukuran huruf proporsional terhadap frekuensi kemunculan kata kunci, dengan human, virtual reality, article, humans, digital humans, dan virtual humans tampil sebagai istilah berukuran terbesar sehingga secara visual mengonfirmasi dominasi tema tersebut sebagaimana juga tercermin pada Tabel 7. Kehadiran istilah seperti ergonomics, biomechanics, physiology, dan digital human models pada ukuran menengah mengindikasikan adanya kluster riset aplikatif yang berfokus pada pemodelan tubuh manusia untuk keperluan simulasi ergonomis, sementara istilah seperti artificial intelligence, deep learning, dan machine learning pada ukuran serupa mencerminkan keterkaitan topik ini dengan perkembangan teknik kecerdasan buatan kontemporer.

Koeksistensi antara istilah teknis grafika komputer seperti three dimensional computer graphics dan istilah medis-biomekanis seperti biomechanics serta physiology dalam satu peta kata kunci yang sama menunjukkan bahwa digital human technology merupakan bidang riset yang secara inheren multidisiplin, menggabungkan pendekatan komputasional dengan pemahaman anatomis dan fisiologis manusia. Implikasi teoretisnya, kerangka konseptual yang dibangun dari topik ini perlu mengakomodasi setidaknya dua dimensi utama yaitu dimensi representasi visual-komputasional dan dimensi validitas biomekanis-fisiologis, sementara implikasi praktisnya adalah peneliti pemula pada bidang ini disarankan memiliki pemahaman lintas disiplin antara ilmu komputer dan ilmu keolahragaan atau kedokteran agar dapat berkontribusi secara bermakna pada kedua dimensi tersebut.

Jaringan Co-occurrence Kata Kunci

Gambar 7 menyajikan jaringan co-occurrence kata kunci yang menggambarkan pola keterkaitan antaristilah berdasarkan kemunculan bersama dalam dokumen yang sama, dengan ukuran node merepresentasikan frekuensi kemunculan dan ketebalan garis merepresentasikan kekuatan keterkaitan antarnode. Jaringan tersebut menampilkan dua kluster besar yang saling terhubung, yaitu kluster berwarna merah yang berpusat pada virtual reality dan virtual humans dengan node pendukung seperti augmented reality, computer graphics, animation, dan artificial intelligence, serta kluster berwarna biru yang berpusat pada human dan humans dengan node pendukung seperti female, male, adult, ergonomics, dan biomechanics.



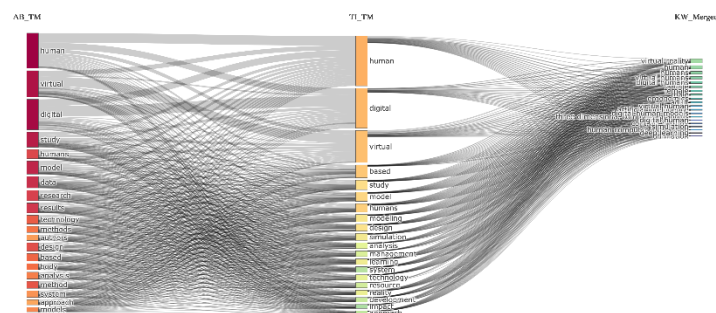
Gambar 7. Jaringan Co-occurrence Kata Kunci Indeks.

Posisi virtual reality dan human sebagai node dengan ukuran terbesar pada masing-masing kluster mengindikasikan kedua istilah tersebut berfungsi sebagai jembatan konseptual yang menghubungkan sisi teknis-komputasional (klaster merah) dengan sisi partisipan-biomedis (klaster biru) pada riset digital human technology. Node digital transformation yang tampak terisolasi pada bagian bawah jaringan dengan keterkaitan yang jauh lebih tipis dibandingkan node lain mengonfirmasi temuan pada bagian research gap bahwa irisan antara digital human technology dengan transformasi digital organisasi masih relatif marginal dalam struktur pengetahuan topik ini.

Keterhubungan erat antara node artificial intelligence, deep learning, dan machine learning dengan klaster virtual reality-virtual humans menegaskan bahwa perkembangan teknik pembelajaran mesin menjadi pendorong penting kemajuan teknis pada representasi manusia digital, sebagaimana juga tercermin pada beberapa dokumen bersitasi tinggi mengenai pemodelan wajah dan tubuh manusia berbasis deep learning. Implikasi teoretisnya, kerangka konseptual digital human technology sebaiknya secara eksplisit memosisikan kecerdasan buatan sebagai enabler teknologi lintas klaster, sementara implikasi praktisnya adalah kompetensi pada bidang deep learning dan machine learning menjadi kian relevan bagi peneliti yang berfokus pada pengembangan teknis digital human, tidak hanya bagi peneliti pada klaster aplikasi partisipan-biomedis.

Three-Field Plot: Keterkaitan Abstrak, Judul, dan Kata Kunci

Gambar 8 menyajikan visualisasi Sankey tiga bidang yang menghubungkan istilah dominan pada abstrak (AB_TM) di sisi kiri, istilah dominan pada judul (TI_TM) di tengah, dan kata kunci gabungan (KW_Merged) di sisi kanan, dengan lebar aliran (flow) merepresentasikan intensitas keterkaitan antaristilah pada ketiga bidang tersebut. Istilah human, virtual, dan digital tampak sebagai istilah abstrak dominan yang mengalir deras menuju istilah judul human, digital, dan virtual, yang pada akhirnya bermuara pada kata kunci gabungan seperti virtual reality, human, humans, virtual humans, dan digital humans di sisi kanan diagram.



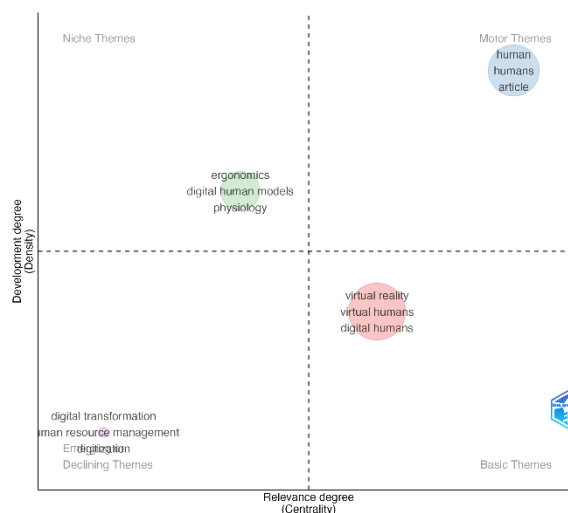
Gambar 8. Three-Field Plot antara Istilah Dominan Abstrak (AB_TM), Judul (TI_TM), dan Kata Kunci Gabungan (KW Merged)

Pola aliran yang menunjukkan bahwa istilah abstrak human, virtual, dan digital secara konsisten bermuara pada istilah judul yang identik mengindikasikan tingkat konsistensi terminologis yang tinggi antara isi abstrak dan judul artikel pada dataset ini, yang pada gilirannya juga konsisten dengan kata kunci indeks yang telah dibahas pada Tabel 7 dan Gambar 6. Kehadiran istilah study, model, data, research, dan technology sebagai istilah abstrak dengan volume besar namun tidak selalu bermuara pada kata kunci spesifik topik digital human turut mengonfirmasi temuan sebelumnya bahwa sebagian dokumen dalam dataset memiliki fokus tematik yang lebih umum pada riset teknologi dan pemodelan data ketimbang representasi manusia digital secara spesifik.

Implikasi teoretis dari pola three-field plot ini adalah bahwa struktur naratif artikel pada topik digital human technology cenderung mengikuti pola konvensional di mana istilah kunci pada abstrak diulang secara konsisten pada judul dan kata kunci, yang memudahkan proses temu kembali informasi (information retrieval) namun juga berisiko menghasilkan homogenitas framing riset. Implikasi praktisnya bagi penulis yang hendak mempublikasikan riset pada bidang ini, konsistensi penggunaan istilah kunci antara abstrak, judul, dan kata kunci sebagaimana teridentifikasi pada mayoritas dokumen dataset ini dapat menjadi praktik baik untuk meningkatkan visibilitas dan keterindeksan artikel pada basis data bibliografi seperti Scopus.

Pemetaan Tematik (Thematic Map)

Gambar 9 menyajikan pemetaan tematik dua dimensi yang mengklasifikasikan kluster kata kunci ke dalam empat kuadran berdasarkan tingkat sentralitas (relevance degree) pada sumbu horizontal dan tingkat densitas atau kematangan (development degree) pada sumbu vertikal. Kluster human, humans, dan article menempati kuadran motor themes di kanan atas yang mencirikan tema dengan sentralitas dan densitas tinggi, yang berarti tema tersebut telah berkembang matang sekaligus menjadi penghubung utama dengan tema-tema lain dalam jaringan pengetahuan topik ini. Kluster virtual reality, virtual humans, dan digital humans menempati kuadran basic themes di kanan bawah yang mencirikan tema dengan sentralitas tinggi namun densitas internal yang masih relatif terbuka untuk berkembang lebih lanjut.



Gambar 9. Thematic Map Topik Digital Human Technology Berdasarkan Densitas dan Sentralitas

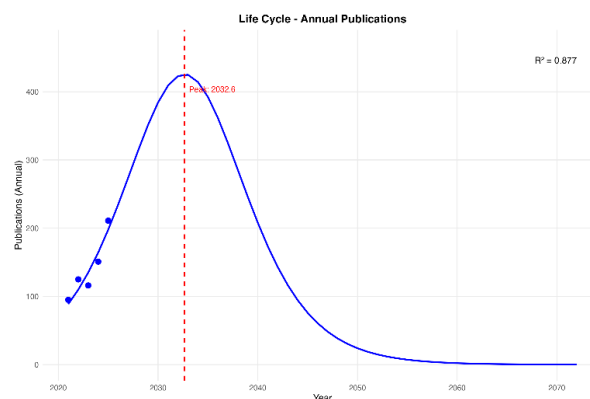
Kluster ergonomics, digital human models, dan physiology menempati kuadran niche themes di kiri atas yang mencirikan tema dengan densitas internal tinggi namun sentralitas rendah, mengindikasikan bahwa riset pada aspek ergonomis dan fisiologis representasi manusia digital telah berkembang cukup terspesialisasi namun keterkaitannya dengan arus riset utama masih terbatas. Sebaliknya, kluster digital transformation dan human resource management menempati kuadran declining themes di kiri bawah dengan sentralitas dan densitas paling rendah di antara seluruh kluster yang teridentifikasi, mengonfirmasi temuan pada bagian research gap dan jaringan co-occurrence bahwa irisan digital human technology dengan konteks transformasi organisasi masih berada pada tahap yang sangat awal dan terfragmentasi.

Posisi virtual reality dan virtual humans pada kuadran basic themes memiliki makna strategis, karena tema basic secara konseptual berfungsi sebagai fondasi yang menopang berkembangnya tema-tema lain termasuk tema niche seperti ergonomics dan digital human models, meskipun secara statistik densitas internalnya belum setinggi tema niche tersebut. Implikasi teoretisnya, riset lanjutan yang berupaya menjembatani kluster niche (ergonomics, physiology) dengan kluster motor (human, article) berpotensi menghasilkan kontribusi baru yang signifikan karena kedua kluster tersebut belum banyak beririsan secara langsung. Implikasi praktisnya, peneliti

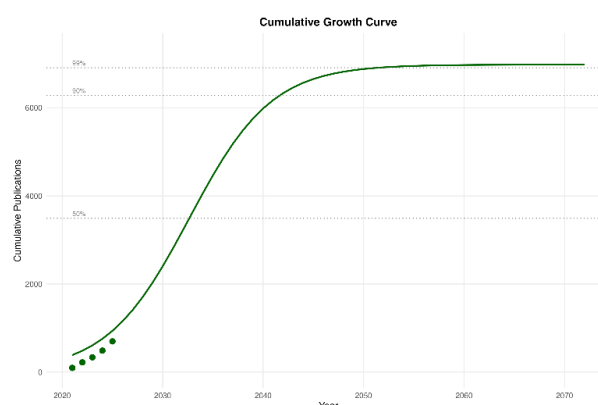
yang mencari topik riset dengan peluang kontribusi tinggi namun kompetisi belum terlalu ketat dapat mempertimbangkan tema pada kuadran declining themes sebagai emerging opportunity, mengingat rendahnya sentralitas dan densitas saat ini justru dapat diinterpretasikan sebagai celah riset yang belum tergarap secara maksimal alih-alih tema yang benar-benar ditinggalkan.

Analisis Siklus Hidup dan Kurva Pertumbuhan Kumulatif

Gambar 10 menyajikan model siklus hidup publikasi tahunan yang diestimasi dari lima titik data aktual periode 2021–2025 menggunakan pendekatan pemodelan kurva pertumbuhan-puncak-penurunan, dengan koefisien determinasi R^2 sebesar 0,877 yang menunjukkan kesesuaian model cukup baik terhadap pola data historis yang tersedia. Model tersebut memproyeksikan titik puncak produksi ilmiah tahunan pada sekitar tahun 2032,6, yang perlu ditegaskan secara eksplisit sebagai hasil ekstrapolasi matematis berdasarkan lima titik data historis dan bukan merupakan data aktual atau kepastian empiris mengenai perkembangan topik ini di masa mendatang.



Gambar 10. Model Siklus Hidup (Life Cycle) Publikasi Tahunan Topik Digital Human Technology.



Gambar 11. Kurva Pertumbuhan Kumulatif (Cumulative Growth Curve) Publikasi Topik Digital Human Technology

Gambar 11 menyajikan kurva pertumbuhan kumulatif yang memodelkan akumulasi jumlah publikasi dari waktu ke waktu mengikuti pola pertumbuhan logistik, dengan garis putus-putus horizontal menandai ambang 50 persen, 90 persen, dan 99 persen dari total pertumbuhan yang diproyeksikan. Berdasarkan model tersebut, garis kurva pada rentang data aktual 2021–2025 masih berada jauh di bawah ambang 50 persen, yang secara konsisten dengan model siklus hidup pada Gambar 10 mengindikasikan bahwa topik digital human technology, menurut hasil ekstrapolasi model, masih berada pada tahap pertumbuhan awal hingga menengah dan diproyeksikan terus tumbuh secara signifikan pada dekade mendatang sebelum mencapai fase kematangan. Kedua model proyeksi ini perlu diinterpretasikan secara hati-hati mengingat hanya didasarkan pada lima titik data historis (2021–2025), sehingga tingkat ketidakpastian pada estimasi titik puncak maupun laju pertumbuhan jangka panjang tergolong tinggi dan sangat sensitif terhadap perubahan tren pada tahun-tahun mendatang yang belum dapat diverifikasi dari dataset penelitian ini. Implikasi teoretisnya, kedua kurva ini sebaiknya diposisikan sebagai alat bantu heuristik untuk memahami arah kecenderungan pertumbuhan topik, bukan sebagai prediksi definitif. Implikasi praktisnya, indikasi bahwa topik ini secara model masih jauh dari titik jenuh dapat menjadi salah satu pertimbangan bagi peneliti maupun pengelola kebijakan pendanaan riset dalam menilai potensi keberlanjutan investasi riset pada domain digital human technology untuk periode menengah hingga panjang,

dengan tetap mempertimbangkan bahwa proyeksi ini bersifat indikatif dan perlu diperbarui seiring tersedianya data tahun-tahun berikutnya.

Simpulan

Penelitian ini telah memetakan struktur pengetahuan digital human technology melalui analisis bibliometrik terhadap 698 artikel jurnal terindeks Scopus periode 2021–2025. Hasil analisis menunjukkan bahwa produksi ilmiah pada topik ini mengalami tren peningkatan dari 95 artikel pada 2021 menjadi 211 artikel pada 2025, dengan Tiongkok dan Amerika Serikat sebagai dua negara paling produktif sekaligus paling aktif berkolaborasi lintas batas. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics dan ACM Transactions on Graphics menjadi dua jurnal paling produktif, sementara 32 jurnal inti menurut hukum Bradford mendominasi distribusi publikasi dari total 412 sumber yang teridentifikasi. Analisis tematik mengonfirmasi bahwa virtual reality dan virtual humans menempati posisi basic themes yang menjadi fondasi konseptual topik ini, sementara klaster human dan humans berfungsi sebagai motor themes yang matang dan tersentral, klaster ergonomics dan digital human models berfungsi sebagai niche themes yang terspesialisasi namun kurang tersentral, dan klaster digital transformation serta human resource management berada pada posisi declining themes dengan keterkaitan paling lemah terhadap inti topik. Pemodelan siklus hidup dan kurva pertumbuhan kumulatif mengindikasikan bahwa topik ini, berdasarkan ekstrapolasi dari data historis yang tersedia, secara model masih berada pada tahap pertumbuhan awal hingga menengah dan belum menunjukkan tanda-tanda kejenuhan. Penelitian ini turut mengidentifikasi keterbatasan metodologis penting, yaitu bahwa strategi boolean search yang mengombinasikan istilah representasi manusia digital dengan istilah teknologi secara luas berpotensi menjaring dokumen dengan relevansi tematik yang lebih longgar, sebagaimana teridentifikasi pada beberapa dokumen bersitasi tinggi dalam dataset yang secara substantif lebih dekat dengan topik kecerdasan buatan dan transformasi digital organisasi ketimbang representasi manusia digital itu sendiri. Temuan ini menjadi catatan penting bagi peneliti bibliometrik lanjutan yang hendak memetakan topik serupa dengan tingkat presisi tematik yang lebih tinggi.

References

- Aburumman, N., Gillies, M., Ward, J.A., & Hamilton, A.F.D.C. (2022). Nonverbal communication in virtual reality: Nodding as a social signal in virtual interactions. *International Journal of Human Computer Studies*, 164. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2022.102819>
- Al Rahamneh, A.A., Alrawashdeh, S.T., Bawaneh, A.A., Alatyat, Z., Mohammad, A., Mohammad, A.A.S., & Al-Hawary, S.I.S. (2023). The effect of digital supply chain on lean manufacturing: A structural equation modelling approach. *Uncertain Supply Chain Management*, 11(1), 391-402. <https://doi.org/10.5267/j.uscm.2022.9.003>
- Bao, L., Lin, X., Chen, Y., Zhang, H., Wang, S., Zhe, X., Kang, D., Huang, H., Jiang, X., Wang, J., Yu, D., & Zhang, Z. (2022). High-Fidelity 3D Digital Human Head Creation from RGB-D Selfies. *ACM Transactions on Graphics*, 41(1). <https://doi.org/10.1145/3472954>
- Bennett, E.E., & McWhorter, R.R. (2021). Virtual HRD's Role in Crisis and the Post Covid-19 Professional Lifeworld: Accelerating Skills for Digital Transformation. *Advances in Developing Human Resources*, 23(1), 5-25. <https://doi.org/10.1177/1523422320973288>
- Chen, X., Jiang, T., Song, J., Rietmann, M., Geiger, A., Black, M.J., & Hilliges, O. (2023). Fast-SNARF: A Fast Deformer for Articulated Neural Fields. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 45(10), 11796-11809. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2023.3271569>
- Cui, L., & Liu, J. (2023). Virtual Human: A Comprehensive Survey on Academic and Applications. *IEEE Access*, 11, 123830-123845. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3329573>
- Demirel, H.O., Ahmed, S., & Duffy, V.G. (2022). Digital Human Modeling: A Review and Reappraisal of Origins, Present, and Expected Future Methods for Representing Humans Computationally. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 38(10), 897-937. <https://doi.org/10.1080/10447318.2021.1976507>
- Demirel, H.O., Goldstein, M.H., Li, X., & Sha, Z. (2024). Human-Centered Generative Design Framework: An Early Design Framework to Support Concept Creation and Evaluation. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 40(4), 933-944. <https://doi.org/10.1080/10447318.2023.2171489>
- Deng, F., & Jiang, X. (2023). Effects of human versus virtual human influencers on the appearance anxiety of social media users. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 71. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2022.103233>
- Dennis, A.R., Lakhiwal, A., & Sachdeva, A. (2023). AI Agents as Team Members: Effects on Satisfaction, Conflict, Trustworthiness, and Willingness to Work With. *Journal of Management Information Systems*, 40(2), 307-337. <https://doi.org/10.1080/07421222.2023.2196773>

- Diederich, S., Brendel, A.B., Morana, S., & Kolbe, L. (2022). On the Design of and Interaction with Conversational Agents: An Organizing and Assessing Review of Human-Computer Interaction Research. *Journal of the Association for Information Systems*, 23(1), 96-138. <https://doi.org/10.17705/1jais.00724>
- Fei, B., Xu, J., Zhang, R., Zhou, Q., Yang, W., & He, Y. (2025). 3D Gaussian Splatting as a New Era: A Survey. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 31(8), 4429-4449. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2024.3397828>
- Feng, Y., Zhao, J., Hayati, H., Sperry, T., & Yi, H. (2021). Tutorial: Understanding the transport, deposition, and translocation of particles in human respiratory systems using Computational Fluid-Particle Dynamics and Physiologically Based Toxicokinetic models. *Journal of Aerosol Science*, 151. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2020.105672>
- Gao, W., Jiang, N., & Guo, Q. (2023). How do virtual streamers affect purchase intention in the live streaming context? A presence perspective. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 73. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2023.103356>
- Howell, H., & Mikeska, J.N. (2021). Approximations of practice as a framework for understanding authenticity in simulations of teaching. *Journal of Research on Technology in Education*, 53(1), 8-20. <https://doi.org/10.1080/15391523.2020.1809033>
- Jones, B., Zhang, Y., Wong, P.N.Y., & Rintel, S. (2021). Belonging There: VROOM-ing into the Uncanny Valley of XR Telepresence. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 5(CSCW1). <https://doi.org/10.1145/3449133>
- Karuzaki, E., Partarakis, N., Patsiouras, N., Zidianakis, E., Katzourakis, A., Pattakos, A., Kaplanidi, D., Baka, E., Cadi, N., Magnenat-Thalmann, N., Ringas, C., Tasiopoulou, E., & Zabulis, X. (2021). Realistic virtual humans for cultural heritage applications. *Heritage*, 4(4), 4148-4171. <https://doi.org/10.3390/heritage4040228>
- Keller, M., Werling, K., Shin, S., Delp, S., Pujades, S., Liu, C.K., & Black, M.J. (2023). From Skin to Skeleton: Towards Biomechanically Accurate 3D Digital Humans. *ACM Transactions on Graphics*, 42(6). <https://doi.org/10.1145/3618381>
- Li, J., Huang, J., & Li, Y. (2023). Examining the effects of authenticity fit and association fit: A digital human avatar endorsement model. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 71. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2022.103230>
- Li, J., Qin, R., & Wang, F.-Y. (2023). The Future of Management: DAO to Smart Organizations and Intelligent Operations. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 53(6), 3389-3399. <https://doi.org/10.1109/TSMC.2022.3226748>
- Liang, B., Wang, S., Shen, F., Liu, Q.H., Gong, Y., & Yao, J. (2021). Acoustic impact of the human skull on transcranial photoacoustic imaging. *Biomedical Optics Express*, 12(3), 1512-1528. <https://doi.org/10.1364/BOE.420084>
- Loveys, K., Hiko, C., Sagar, M., Zhang, X., & Broadbent, E. (2022). "I felt her company": A qualitative study on factors affecting closeness and emotional support seeking with an embodied conversational agent. *International Journal of Human Computer Studies*, 160. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2021.102771>
- Margara, F., Wang, Z.J., Levrero-Florencio, F., Santiago, A., Vázquez, M., Bueno-Orovio, A., & Rodriguez, B. (2021). In-silico human electro-mechanical ventricular modelling and simulation for drug-induced pro-arrhythmia and inotropic risk assessment. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 159, 58-74. <https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2020.06.007>
- Maruyama, T., Ueshiba, T., Tada, M., Toda, H., Endo, Y., Domae, Y., Nakabo, Y., Mori, T., & Suita, K. (2021). Digital twin-driven human robot collaboration using a digital human. *Sensors*, 21(24). <https://doi.org/10.3390/s21248266>
- Moore, S., Bulmer, S., & Elms, J. (2022). The social significance of AI in retail on customer experience and shopping practices. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 64. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2021.102755>
- Morais, C., Yung, K.L., Johnson, K., Moura, R., Beer, M., & Patelli, E. (2022). Identification of human errors and influencing factors: A machine learning approach. *Safety Science*, 146. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105528>
- Olugbade, T., He, L., Maiolino, P., Heylen, D., & Bianchi-Berthouze, N. (2023). Touch Technology in Affective Human-, Robot-, and Virtual-Human Interactions: A Survey. *Proceedings of the IEEE*, 111(10), 1333-1354. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2023.3272780>
- Park, S., & Whang, M. (2022). Empathy in Human-Robot Interaction: Designing for Social Robots. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3). <https://doi.org/10.3390/ijerph19031889>

- Park, S., Wei, X., & Lee, H. (2024). Revisiting the elaboration likelihood model in the context of a virtual influencer: A comparison between high- and low-involvement products. *Journal of Consumer Behaviour*, 23(4), 1638-1652. <https://doi.org/10.1002/cb.2290>
- Pauw, L.S., Sauter, D.A., van Kleef, G.A., Lucas, G.M., Gratch, J., & Fischer, A.H. (2022). The avatar will see you now: Support from a virtual human provides socio-emotional benefits. *Computers in Human Behavior*, 136. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107368>
- Qin, R., Ding, W., Li, J., Guan, S., Wang, G., Ren, Y., & Qu, Z. (2023). Web3-Based Decentralized Autonomous Organizations and Operations: Architectures, Models, and Mechanisms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 53(4), 2073-2082. <https://doi.org/10.1109/TSMC.2022.3228530>
- Sengan, S., Kumar, K., Subramaniaswamy, V., & Ravi, L. (2022). Cost-effective and efficient 3D human model creation and re-identification application for human digital twins. *Multimedia Tools and Applications*, 81(19), 26839-26856. <https://doi.org/10.1007/s11042-021-10842-y>
- Seymour, M., Yuan, L., Dennis, A.R., & Riemer, K. (2021). Have we crossed the uncanny valley? Understanding affinity, trustworthiness, and preference for realistic digital humans in immersive environments. *Journal of the Association for Information Systems*, 22(3), 591-617. <https://doi.org/10.17705/1jais.00674>
- Seymour, M., Yuan, L., Riemer, K., & Dennis, A.R. (2025). Less Artificial, More Intelligent: Understanding Affinity, Trustworthiness, and Preference for Digital Humans. *Information Systems Research*, 36(2), 1096-1128. <https://doi.org/10.1287/isre.2022.0203>
- Silva, E.S., & Bonetti, F. (2021). Digital humans in fashion: Will consumers interact?. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 60. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2020.102430>
- Sindermann, C., Sha, P., Zhou, M., Wernicke, J., Schmitt, H.S., Li, M., Sariyska, R., Stavrou, M., Becker, B., & Montag, C. (2021). Assessing the Attitude Towards Artificial Intelligence: Introduction of a Short Measure in German, Chinese, and English Language. *KI - Kunstliche Intelligenz*, 35(1), 109-118. <https://doi.org/10.1007/s13218-020-00689-0>
- Sung, E.C., Danny Han, D.-I., Bae, S., & Kwon, O. (2022). What drives technology-enhanced storytelling immersion? The role of digital humans. *Computers in Human Behavior*, 132. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107246>
- Thite, M. (2022). Digital human resource development: where are we? Where should we go and how do we go there?. *Human Resource Development International*, 25(1), 87-103. <https://doi.org/10.1080/13678868.2020.1842982>
- Viceconti, M., De Vos, M., Mellone, S., & Geris, L. (2024). Position Paper from the Digital Twins in Healthcare to the Virtual Human Twin: A Moon-Shot Project for Digital Health Research. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 28(1), 491-501. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2023.3323688>
- von Essen, E., Turnbull, J., Searle, A., Jørgensen, F.A., Hofmeester, T.R., & van der Wal, R. (2023). Wildlife in the Digital Anthropocene: Examining human-animal relations through surveillance technologies. *Environment and Planning E: Nature and Space*, 6(1), 679-699. <https://doi.org/10.1177/25148486211061704>
- Wang, L.J., Casto, B., Luh, J.Y., & Wang, S.J. (2022). Virtual Reality-Based Education for Patients Undergoing Radiation Therapy. *Journal of Cancer Education*, 37(3), 694-700. <https://doi.org/10.1007/s13187-020-01870-7>
- Wang, Y., Song, M., Guo, R., & Duan, Y. (2023). How about non-human tour guides? The influence of AI tour guides' dress and conversation style on the intention of consumers to continue using them. *Journal of Travel and Tourism Marketing*, 40(9), 849-862. <https://doi.org/10.1080/10548408.2023.2296638>
- Yu, F., Yu, C., Tian, Z., Liu, X., Cao, J., Liu, L., Du, C., & Jiang, M. (2024). Intelligent Wearable System With Motion and Emotion Recognition Based on Digital Twin Technology. *IEEE Internet of Things Journal*, 11(15), 26314-26328. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2024.3394244>
- Zhang, J., & Chen, Z. (2024). Exploring Human Resource Management Digital Transformation in the Digital Age. *Journal of the Knowledge Economy*, 15(1), 1482-1498. <https://doi.org/10.1007/s13132-023-01214-y>
- Zhang, Z., Zhou, Y., Teng, L., Sun, W., Li, C., Min, X., Zhang, X.-P., & Zhai, G. (2024). Quality-of-Experience Evaluation for Digital Twins in 6G Network Environments. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 70(3), 995-1007. <https://doi.org/10.1109/TBC.2023.3345656>
- Zhao, F., Jiang, Y., Yao, K., Zhang, J., Wang, L., Dai, H., Zhong, Y., Zhang, Y., Wu, M., Xu, L., & Yu, J. (2022). Human Performance Modeling and Rendering via Neural Animated Mesh. *ACM Transactions on Graphics*, 41(6). <https://doi.org/10.1145/3550454.3555451>