

Evolusi Pengetahuan dan Adaptasi Profesional dalam Inovasi di Bidang Kesehatan: Analisis Sosio-Teknologis Trajektori Bedah Mata (2016–2025)

Stepanus Silaban^{1*}

¹Akademi Refraksi optisi dan Optometry Gapopin Jakarta Indonesia

*Corresponding author: godigitaledustar@gmail.com

Abstract. Inovasi teknologi dalam pelayanan kesehatan merupakan sebuah proses sosio-teknologis kompleks yang melampaui sekadar pengenalan prosedur klinis baru; ia melibatkan transformasi mendalam dalam praktik profesional, kapasitas organisasi, produksi pengetahuan, serta pola adaptasi manusia terhadap teknologi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis trajektori longitudinal inovasi bedah mata sebagai refleksi dari kematangan teknologi dan dinamika manajemen inovasi dalam sistem sosial kesehatan. Dengan menggunakan desain analisis trajektori bibliometrik retrospektif, penelitian ini mengkaji 97.458 publikasi ophthalmology yang terindeks PubMed selama periode 2016–2025. Tiga domain bedah utama—phacoemulsification, vitrectomy, dan trabeculoplasty—dianalisis menggunakan sistem Medical Subject Headings (MeSH) untuk mengidentifikasi pola kematangan dan transisi prosedural. Hasil penelitian menunjukkan bahwa phacoemulsification (5.654 publikasi) telah mencapai fase stabilisasi pasca-adopsi (post-adoption stabilization), di mana penurunan pertumbuhan publikasi mencerminkan konsolidasi pengetahuan dan standarisasi praktik profesional yang matang. Vitrectomy (2.373 publikasi) menunjukkan pola inovasi inkremental yang berkelanjutan melalui penyempurnaan teknik yang konstan. Sementara itu, trabeculoplasty menunjukkan terjadinya transisi semantik dan prosedural, yang mengindikasikan adanya pergeseran paradigma dalam masyarakat kedokteran menuju teknologi intervensi baru seperti MIGS. Penelitian ini menyimpulkan bahwa dinamika literatur ilmiah merupakan indikator penting bagi adaptasi sistem sosial terhadap perubahan teknologi. Penurunan pertumbuhan publikasi pada teknologi matang tidak selamanya dimaknai sebagai kegagalan teknis, melainkan sebagai fase kemandirian teknologi dalam praktik keseharian. Temuan ini memberikan kontribusi strategis bagi manajemen inovasi humanis, khususnya dalam perencanaan pendidikan profesional yang berkelanjutan, adaptasi struktur organisasi, serta pengembangan kebijakan kesehatan yang responsif terhadap evolusi pengetahuan manusia.

Kata Kunci: inovasi kesehatan, kematangan teknologi, manajemen inovasi, bedah mata, bibliometrik, trajektori pengetahuan, adaptasi profesional.

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi telah menjadi bagian penting dari transformasi pelayanan kesehatan. Inovasi teknologi kesehatan tidak hanya menghasilkan perangkat, prosedur, atau metode baru, tetapi juga dapat mengubah kompetensi profesional, pola kerja organisasi, kebutuhan infrastruktur,

arah penelitian, serta proses adopsi teknologi. Dengan demikian, inovasi kesehatan perlu dipahami sebagai proses sosio-teknologis yang melibatkan hubungan antara pengetahuan ilmiah, teknologi, profesional, organisasi, dan lingkungan kelembagaan [1].

Teori difusi inovasi menjelaskan bahwa suatu inovasi berkembang melalui proses komunikasi dan adopsi dalam suatu sistem sosial. Perkembangan tersebut tidak selalu berlangsung secara linear. Teknologi dapat mengalami fase kemunculan, pertumbuhan, difusi, standardisasi, stabilisasi, dan pada kondisi tertentu mengalami transisi menuju teknologi atau paradigma baru [2]. Oleh karena itu, peningkatan atau penurunan aktivitas penelitian tidak dapat secara otomatis dipahami sebagai keberhasilan atau kegagalan suatu teknologi.

Konsep teknologi yang sedang berkembang juga menunjukkan bahwa karakteristik seperti kebaruan, pertumbuhan, koherensi, dan potensi dampak dapat berubah sepanjang siklus perkembangan teknologi [3]. Pada fase awal, suatu teknologi dapat menghasilkan peningkatan publikasi yang cepat karena terdapat banyak ketidakpastian dan ruang eksplorasi. Setelah teknologi diterima secara luas, aktivitas penelitian dapat bergeser dari inovasi disruptif menuju optimasi, standardisasi, dan perbaikan inkremental.

Bibliometric analysis dapat digunakan untuk mengamati perubahan tersebut secara longitudinal. Bibliometrik memungkinkan peneliti menganalisis sejumlah besar publikasi untuk mengidentifikasi perkembangan bidang penelitian, tren temporal, dan perubahan struktur pengetahuan [4]. Dalam konteks inovasi medis, penggunaan Medical Subject Headings (MeSH) dapat memberikan kerangka terminologi terkontrol yang membantu mempertahankan konsistensi konseptual dalam analisis publikasi PubMed [5]. Pendekatan MeSH bahkan telah digunakan untuk memperoleh perspektif bibliometrik terhadap dinamika inovasi medis dan evolusi teknologi dari waktu ke waktu [6].

Ophthalmic surgery merupakan konteks yang relevan untuk mengkaji dinamika tersebut. Perkembangan pembedahan mata mencakup teknologi yang telah mencapai standardisasi tinggi, teknologi yang masih mengalami penyempurnaan, serta prosedur yang menghadapi perubahan paradigma. Phacoemulsification, misalnya, telah mengalami perkembangan teknis yang panjang dan menjadi platform yang sangat terstandarisasi dalam pembedahan katarak [7]. Sebaliknya, vitrectomy terus mengalami penyempurnaan melalui perkembangan instrumentasi, sistem pencahayaan, teknik minimal invasif, dan integrasi teknologi pencitraan [8], [9].

Pada bidang glaukoma, perkembangan teknologi menunjukkan karakter yang berbeda. Munculnya minimally invasive glaucoma surgery (MIGS), microstent, dan berbagai prosedur berbasis implant menunjukkan semakin beragamnya ekosistem teknologi intervensi glaukoma [10]. Perubahan tersebut dapat menyebabkan pergeseran perhatian penelitian dari terminologi prosedural lama menuju terminologi teknologi baru. Studi bibliometrik mengenai MIGS menunjukkan peningkatan publikasi yang nyata setelah tahun 2010 dan mengidentifikasi MIGS sebagai salah satu tema penelitian yang berkembang dalam pembedahan glaukoma [11].

Penelitian bibliometrik dalam ophthalmology sebelumnya banyak berfokus pada produktivitas publikasi, citation impact, institusi, atau perkembangan tema penelitian. Analisis bibliometrik mengenai artificial intelligence dan optical coherence tomography (OCT), misalnya, menunjukkan pertumbuhan cepat publikasi dan perubahan fokus penelitian menuju deep learning, OCT

angiography, dan computer-aided diagnosis [12], [13]. Pendekatan tersebut menunjukkan bahwa bibliometrik dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan arah pengetahuan dan teknologi.

Namun, masih terbatas penelitian yang secara khusus menggunakan trajectory analysis untuk membedakan **technological maturity, stabilization, dan procedural transition** pada teknologi bedah mata. Penurunan pertumbuhan publikasi juga tidak selalu menunjukkan penurunan relevansi klinis. Pada teknologi yang telah mengalami adopsi luas, penurunan pertumbuhan publikasi dapat justru menunjukkan bahwa teknologi telah memasuki fase standarisasi.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis evolusi longitudinal inovasi pembedahan mata selama 2016–2025 menggunakan pendekatan bibliometrik berbasis MeSH. Analisis difokuskan pada tiga domain, yaitu phacoemulsification, vitrectomy, dan trabeculectomy. Secara khusus penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengidentifikasi pola publikasi tahunan dan pertumbuhannya; (2) mengevaluasi tingkat kematangan teknologi berdasarkan akumulasi publikasi dan trajectory dynamics; dan (3) menginterpretasikan perbedaan trajectory sebagai indikator stabilisasi teknologi, inovasi inkremental, dan kemungkinan transisi teknologi dalam ekosistem pelayanan kesehatan.

2. Metode Penelitian

2.1 Desain penelitian

Penelitian ini menggunakan desain retrospective bibliometric trajectory analysis untuk mengevaluasi perkembangan inovasi pembedahan mata selama periode 2016–2025. Pendekatan ini menggabungkan ekstraksi bibliografi berbasis MeSH, agregasi publikasi tahunan, analisis pertumbuhan, analisis tren temporal, dan klasifikasi innovation lifecycle [3], [4].

Penelitian bersifat observasional dan komputasional serta tidak menggunakan data pasien, identitas individu, atau interaksi dengan subjek penelitian. Data yang digunakan merupakan metadata publikasi yang telah tersedia dalam sumber bibliografis.

2.2 Sumber dan karakteristik data

Dataset penelitian terdiri atas 97.458 publikasi ophthalmology yang terindeks PubMed selama Januari 2016 sampai Desember 2025. Variabel yang tersedia mencakup tahun publikasi, judul artikel, publication identifiers, MeSH, dan metadata bibliografis lainnya.

PubMed dipilih karena menggunakan MeSH sebagai sistem controlled vocabulary untuk pengindeksan literatur biomedis. Penggunaan terminologi terkontrol dapat membantu meningkatkan konsistensi klasifikasi dibandingkan pencarian berbasis kata bebas [5], [6].

Data mencakup berbagai jenis publikasi, termasuk penelitian klinis, laporan teknik pembedahan, review, penelitian translasi, dan publikasi yang berkaitan dengan teknologi. Keragaman publikasi tersebut dipertahankan karena inovasi pembedahan tidak hanya tercermin melalui penelitian klinis, tetapi juga melalui pengembangan teknik, perangkat, dan integrasi teknologi.

2.3 Pemilihan domain pembedahan

Tiga domain pembedahan dipilih untuk merepresentasikan karakteristik inovasi yang berbeda, yaitu cataract surgery, vitreoretinal surgery, dan glaucoma surgery.

Tabel 1. Domain pembedahan dan terminologi MeSH

Domain pembedahan Primary MeSH term Kategori

Cataract surgery	Phacoemulsification	Cataract
Vitreoretinal surgery	Vitrectomy	Retina
Glaucoma surgery	Trabeculectomy	Glaucoma

Phacoemulsification dipilih sebagai representasi cataract surgery karena merupakan teknologi yang telah mengalami perkembangan panjang dan standardisasi luas [7]. Vitrectomy dipilih karena perkembangan vitreoretinal surgery masih menunjukkan penyempurnaan instrumentasi dan integrasi pencitraan [8], [9]. Trabeculectomy dipilih untuk merepresentasikan domain glaukoma yang mengalami perubahan teknologi dan diversifikasi prosedur, khususnya dengan berkembangnya MIGS [10], [11].

Untuk meningkatkan sensitivitas klasifikasi, selain primary MeSH term digunakan pula terminologi terkait seperti cataract extraction, pars plana vitrectomy, dan laser trabeculectomy. Strategi ini diperlukan karena terminologi pembedahan dapat berubah mengikuti perkembangan teknologi dan praktik klinis.

2.4 Preprocessing dan ekstraksi MeSH

Pengolahan data dilakukan menggunakan Python 3.11 dengan dukungan pustaka pandas, NumPy, SciPy, dan statsmodels. Metadata distandardisasi melalui normalisasi teks, harmonisasi variabel, dan pemeriksaan duplikasi.

Data yang tidak lengkap serta record duplikat disaring sebelum analisis. Standardisasi metadata diperlukan karena ketidakkonsistenan struktur bibliografis dapat memengaruhi hasil ekstraksi dan analisis temporal [4].

Klasifikasi prosedur dilakukan berdasarkan pencocokan MeSH. Record yang mengandung descriptor yang telah ditentukan dimasukkan ke dalam domain pembedahan yang sesuai. Pendekatan controlled vocabulary digunakan untuk mengurangi ambiguitas terminologi [5].

2.5 Analisis trajectory publikasi

Jumlah publikasi tahunan dihitung untuk masing-masing domain selama 2016–2025. Pertumbuhan tahunan dihitung berdasarkan perubahan jumlah publikasi dibandingkan tahun sebelumnya.

Growth slope dihitung menggunakan ordinary least squares (OLS) untuk menggambarkan arah umum trajectory publikasi. Nilai slope positif menunjukkan kecenderungan peningkatan aktivitas publikasi, sedangkan nilai negatif menunjukkan penurunan atau stabilisasi.

Kendall's tau digunakan sebagai ukuran non-parametrik untuk mengevaluasi kecenderungan monotonik sepanjang waktu. Kendall's tau sesuai digunakan untuk data longitudinal yang dapat mengalami fluktuasi dan tidak selalu mengikuti distribusi parametrik [14].

2.6 Surgical Innovation Index

Penelitian ini mengembangkan **Surgical Innovation Index (SII)** sebagai indikator komposit untuk menggambarkan dinamika inovasi. SII dirancang untuk mengintegrasikan publication growth, publication intensity, dan cumulative procedural maturity.

Publication growth merepresentasikan perubahan aktivitas penelitian dari waktu ke waktu. Publication intensity menggambarkan konsentrasi publikasi suatu prosedur dalam dataset ophthalmology. Cumulative maturity menggambarkan akumulasi publikasi sebagai indikator tidak langsung dari kematangan pengetahuan dan konsolidasi teknologi.

SII tidak dimaksudkan sebagai ukuran clinical effectiveness atau patient outcome. Nilai negatif lebih tepat ditafsirkan sebagai indikasi stabilisasi, penurunan novelty-driven growth, atau kemungkinan transisi teknologi.

2.7 Analisis temporal

Temporal burst analysis digunakan untuk mengidentifikasi perubahan intensitas publikasi tahunan. Positive burst menunjukkan peningkatan aktivitas penelitian, sedangkan negative burst menunjukkan penurunan atau gangguan aktivitas.

Periode 2020 dianalisis secara khusus karena pandemi COVID-19 menyebabkan gangguan terhadap layanan ophthalmology, pendidikan klinis, penelitian, dan prosedur elektif [15], [16].

3. Hasil penelitian dan Pembahasan

3.1 Hasil trajectory publikasi

Sebanyak 97.458 publikasi ophthalmology periode 2016–2025 dianalisis. Phacoemulsification memiliki jumlah publikasi kumulatif tertinggi, diikuti oleh vitrectomy, sedangkan trabeculoplasty tidak menunjukkan trajectory publikasi yang berkelanjutan dalam dataset yang dianalisis.

Tabel 2. Jumlah publikasi dan pertumbuhan tahunan phacoemulsification dan vitrectomy

Tahun	Phacoemulsification	Vitrectomy	Growth Phaco (%)	Growth Vitrectomy (%)
2016	658	204	–	–
2017	748	248	13,68	21,57
2018	696	253	–6,95	2,02
2019	701	280	0,72	10,67
2020	477	225	–31,95	–19,64
2021	522	280	9,43	24,44
2022	456	251	–12,64	–10,36
2023	458	219	0,44	–12,75
2024	513	222	12,01	1,37
2025	425	191	–17,15	–13,96

Phacoemulsification menghasilkan 5.654 publikasi. Publication count meningkat dari 658 pada 2016 menjadi 748 pada 2017, kemudian berfluktuasi dan cenderung stabil. Penurunan terbesar terjadi pada 2020 sebesar 31,95%.

Vitrectomy menghasilkan 2.373 publikasi. Jumlah publikasi meningkat dari 204 pada 2016 menjadi 280 pada 2019, kemudian mengalami penurunan pada 2020 dan kembali meningkat pada 2021. Setelah itu, trajectory menunjukkan fluktuasi dengan kecenderungan stabilisasi.

3.2 Phacoemulsification: kematangan teknologi dan stabilisasi

Phacoemulsification memiliki cumulative publication volume sebesar 5.654 publikasi. Growth slope sebesar $-34,07$ dan Kendall's τ sebesar $-0,60$ menunjukkan kecenderungan penurunan yang relatif kuat. Mean annual growth sebesar $-25,89$ menghasilkan SII sebesar $-2,59$.

Secara deskriptif, trajectory tersebut dapat terlihat sebagai penurunan inovasi. Namun, interpretasi tersebut perlu mempertimbangkan cumulative maturity. Phacoemulsification telah mengalami proses standardisasi dan penyempurnaan yang panjang. Perkembangan modern lebih banyak berorientasi pada optimasi fluidics, microincisional surgery, ultrasound modulation, dan teknologi intraocular lens dibandingkan perubahan total terhadap paradigma operasi [7].

Dengan demikian, penurunan publication growth lebih tepat ditafsirkan sebagai **post-adoption stabilization**. Teori difusi inovasi menunjukkan bahwa ketika teknologi telah diterima luas, perhatian inovasi dapat bergeser dari eksplorasi menuju implementasi, standardisasi, dan optimasi [2].

Temuan ini penting bagi manajemen inovasi kesehatan. Teknologi yang telah matang tidak selalu membutuhkan investasi yang berorientasi pada disruptive innovation. Strategi organisasi dapat lebih diarahkan pada quality improvement, efisiensi, competency maintenance, equipment lifecycle management, dan akses pelayanan.

3.3 Vitrectomy: inovasi inkremental dan penyempurnaan berkelanjutan

Vitrectomy menghasilkan 2.373 publikasi. Growth slope sebesar $-3,04$ dan Kendall's τ sebesar $-0,22$ menunjukkan penurunan yang jauh lebih moderat dibandingkan phacoemulsification. Mean annual growth sebesar $-1,44$ menghasilkan SII sebesar $-0,14$.

Trajectory ini menunjukkan bahwa vitrectomy masih mengalami aktivitas inovasi meskipun tidak lagi menunjukkan pertumbuhan publikasi yang tinggi. Perkembangan small-gauge instrumentation, high-speed cutters, illumination systems, dan integrasi intraoperative OCT menunjukkan bahwa inovasi pada vitreoretinal surgery banyak berlangsung secara inkremental [8], [9].

Perkembangan teknologi digital juga menunjukkan bahwa inovasi vitreoretinal semakin bergerak menuju konvergensi antara surgery, imaging, dan computational technology. Perkembangan artificial intelligence dalam vitreoretinal surgery menunjukkan kemungkinan semakin kuatnya integrasi AI dengan prosedur pembedahan pada masa mendatang [17].

Dari perspektif management, kondisi tersebut membutuhkan strategi berbeda dari teknologi yang sudah sepenuhnya matang. Organisasi perlu mempertahankan investasi pada pelatihan, instrumentasi, imaging infrastructure, dan continuous professional development.

3.4 Trabeculoplasty dan transisi teknologi

Trabeculoplasty tidak menunjukkan trajectory publikasi yang berkelanjutan dalam dataset. Temuan ini tidak dapat langsung diartikan sebagai hilangnya relevansi klinis prosedur. Sebaliknya, salah satu kemungkinan interpretasi adalah **semantic displacement** atau perpindahan perhatian penelitian menuju teknologi glaucoma yang lebih baru.

Perkembangan MIGS menunjukkan perubahan nyata dalam ekosistem penelitian glaukoma. Studi bibliometrik global terhadap MIGS menunjukkan peningkatan publikasi secara signifikan setelah 2010, dengan puncak produktivitas pada 2022 [11]. Keyword terbaru dalam penelitian tersebut mencakup berbagai prosedur dan teknologi MIGS, yang menunjukkan diversifikasi terminologi dalam pembedahan glaukoma.

Dengan demikian, berkurangnya representasi terminologi trabeculoplasty dapat mencerminkan perubahan paradigma penelitian daripada hilangnya prosedur. Dalam analisis bibliometrik, perubahan terminologi merupakan aspek penting karena teknologi baru dapat mengambil alih ruang konseptual yang sebelumnya ditempati teknologi lama.

Implikasinya bagi manajemen inovasi adalah perlunya **technology surveillance**. Organisasi tidak hanya perlu memonitor jumlah publikasi suatu teknologi, tetapi juga perubahan terminologi dan kemunculan teknologi alternatif.

3.5 Perbandingan trajectory inovasi

Tabel 3. Surgical Innovation Index dan klasifikasi lifecycle

Procedure	Total publications	Growth slope	Kendall's τ	Mean growth	SII	Lifecycle
Phacoemulsification	5.654	-34,07	-0,60	-25,89	-2,59	Declining/Transition
Vitrectomy	2.373	-3,04	-0,22	-1,44	-0,14	Declining/Transition
Trabeculoplasty	Tidak berkelanjutan	—	—	—	—	Transition

Phacoemulsification berada pada posisi high maturity–low growth. Kombinasi volume publikasi yang sangat tinggi dengan growth slope negatif menunjukkan konsolidasi teknologi dan standardisasi prosedur.

Vitrectomy berada pada posisi intermediate maturity dengan penurunan pertumbuhan yang lebih kecil. Kondisi tersebut lebih sesuai dengan continuous procedural refinement daripada technological saturation.

Trabeculoplasty tidak dapat ditempatkan secara kuat dalam phase-space karena tidak memiliki trajectory yang berkelanjutan. Ketidadaan tersebut justru menjadi informasi penting mengenai kemungkinan transition dalam ekosistem glaucoma surgery.

Hasil ini memperlihatkan bahwa **publication count saja tidak cukup untuk menilai inovasi**. Dua teknologi dapat sama-sama mengalami penurunan publikasi, tetapi memiliki makna inovasi yang berbeda. Teknologi pertama dapat mengalami standardisasi, sedangkan teknologi kedua dapat mengalami displacement oleh teknologi baru.

3.6 Dinamika pandemi COVID-19

Penurunan publikasi paling besar terjadi pada 2020. Phacoemulsification mengalami penurunan pertumbuhan sebesar 31,95%, sedangkan vitrectomy mengalami penurunan sebesar 19,64%. Pada 2021, keduanya menunjukkan pemulihan, masing-masing sebesar 9,43% dan 24,44%.

Pola tersebut sejalan dengan gangguan besar yang terjadi pada layanan ophthalmology selama pandemi COVID-19. Penundaan operasi elektif, pembatasan akses ruang operasi, pengalihan

sumber daya, serta gangguan pendidikan klinis dapat memengaruhi volume prosedur dan aktivitas penelitian [15], [16].

Gangguan tersebut menunjukkan bahwa trajectory inovasi teknologi tidak berdiri sendiri. Aktivitas penelitian dipengaruhi oleh kapasitas organisasi, sistem pelayanan kesehatan, sumber daya manusia, dan kondisi sosial. Dengan demikian, bibliometric trajectory perlu selalu ditafsirkan dalam konteks perubahan sistem.

3.7 Implikasi terhadap manajemen inovasi kesehatan

Hasil penelitian memiliki beberapa implikasi untuk healthcare innovation management.

Pertama, organisasi perlu menggunakan **lifecycle-sensitive technology management**. Teknologi emerging, mature, dan transitional membutuhkan strategi yang berbeda.

Kedua, **professional education** harus mengikuti trajectory teknologi. Teknologi yang sedang berkembang membutuhkan pengembangan kompetensi baru, sedangkan teknologi matang membutuhkan pemeliharaan kompetensi dan standardisasi.

Ketiga, bibliometric surveillance dapat digunakan sebagai **strategic intelligence**. Peningkatan publikasi dapat menjadi sinyal awal meningkatnya perhatian terhadap teknologi tertentu, sedangkan perubahan terminologi dapat menjadi indikasi munculnya paradigma baru.

Keempat, investasi teknologi harus mempertimbangkan tingkat kematangan. Teknologi yang matang dapat membutuhkan investasi pada efisiensi dan kualitas implementasi, sedangkan teknologi transisional membutuhkan evaluasi terhadap kebutuhan infrastruktur, pelatihan, regulasi, dan risiko adopsi.

Kelima, institusi pendidikan kesehatan perlu menghubungkan perubahan teknologi dengan kurikulum. Perkembangan MIGS, digital imaging, AI-assisted surgery, dan image-guided surgery menunjukkan bahwa kompetensi masa depan tidak hanya mencakup keterampilan prosedural tetapi juga kemampuan beradaptasi dengan teknologi digital [12], [13], [17].

3.8 Kekuatan dan keterbatasan

Kekuatan utama penelitian ini adalah penggunaan dataset berskala besar yang mencakup 97.458 publikasi selama sepuluh tahun. Penggunaan MeSH memungkinkan klasifikasi yang lebih terstruktur, sedangkan kombinasi cumulative maturity, growth slope, Kendall's tau, dan SII memberikan perspektif multidimensional terhadap trajectory inovasi.

Namun, penelitian memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, publication activity merupakan indikator tidak langsung dan tidak dapat digunakan untuk mengukur clinical utilization, clinical effectiveness, atau patient outcomes. Kedua, perubahan praktik indexing MeSH dapat memengaruhi representasi terminologi sepanjang waktu. Ketiga, penelitian hanya mencakup tiga domain sehingga belum menggambarkan keseluruhan ekosistem inovasi ophthalmic surgery.

Keempat, tidak ditemukannya trajectory trabeculectomy yang berkelanjutan tidak dapat dipastikan sebagai bukti hilangnya prosedur. Temuan tersebut dapat mencerminkan semantic transition menuju terminologi atau teknologi glaucoma lainnya.

Kelima, SII merupakan indikator yang dikembangkan dalam penelitian ini dan masih memerlukan validasi pada domain teknologi kesehatan lainnya. Oleh karena itu, SII sebaiknya digunakan

sebagai supplementary innovation indicator dan bukan sebagai ukuran tunggal kematangan teknologi.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa inovasi pembedahan mata memiliki trajectory yang berbeda-beda dan dapat dianalisis melalui pendekatan bibliometrik berbasis MeSH. Dari 97.458 publikasi ophthalmology selama 2016–2025, phacoemulsification menghasilkan 5.654 publikasi dan menunjukkan cumulative maturity tertinggi, tetapi mengalami penurunan publication growth dengan growth slope $-34,07$, Kendall's $\tau -0,60$, dan SII $-2,59$.

Vitrectomy menghasilkan 2.373 publikasi dan menunjukkan trajectory yang lebih stabil dengan growth slope $-3,04$, Kendall's $\tau -0,22$, dan SII $-0,14$. Pola tersebut lebih sesuai dengan continuing procedural refinement dibandingkan technological saturation.

Trabeculectomy tidak menunjukkan trajectory publikasi yang berkelanjutan. Temuan ini lebih tepat dipahami sebagai kemungkinan procedural dan semantic transition dalam ekosistem glaucoma surgery, terutama seiring berkembangnya MIGS dan teknologi intervensi baru.

Secara keseluruhan, penelitian menunjukkan bahwa penurunan publication growth tidak selalu berarti technological failure atau clinical obsolescence. Pada teknologi yang telah mencapai standardisasi luas, penurunan pertumbuhan dapat menunjukkan post-adoption stabilization dan maturity. Sebaliknya, perubahan terminologi dan hilangnya dominasi suatu konsep dapat menjadi indikasi awal terjadinya technological transition.

Dengan demikian, MeSH-based bibliometric trajectory analysis dapat menjadi instrumen pendukung untuk **healthcare innovation management**, khususnya dalam pemantauan kematangan teknologi, perencanaan pendidikan profesional, pengembangan infrastruktur, prioritas penelitian, dan adaptasi organisasi terhadap perubahan teknologi. Pendekatan ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan mengintegrasikan bibliometric data dengan clinical registry, patent data, funding data, technology adoption, serta outcome pelayanan kesehatan.

5. Referensi

- [1] Satava, R. M., 2014. Surgical innovation and the future of surgery. *Surgical Endoscopy*.
- [2] Rogers, E. M., 2003. *Diffusion of Innovations*, 5th ed. New York: Free Press.
- [3] Rotolo, D., Hicks, D., Martin, B. R., 2015. What is an emerging technology? *Research Policy*. 44(10)-1827-1843.
- [4] Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., Lim, W. M., 2021. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*. 133-285-296.
- [5] Lipscomb, C. E., 2000. Medical Subject Headings (MeSH). *Bulletin of the Medical Library Association*. 88(3)-265-266.
- [6] Leydesdorff, L., Rotolo, D., Rafols, I., 2012. Bibliometric perspectives on medical innovation using the Medical Subject Headings (MeSH) of PubMed. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*.

- [7] Mercanti, A., Renna, A., 2017. A review of microinvasive combined phaco-vitreotomy: Recent technical advances. *Ophthalmology and Therapy*. 6-49-54.
- [8] Bellucci, C., Romano, A., Ramanzini, F., Tedesco, S. A., Gandolfi, S., Mora, P., 2023. Pars plana vitrectomy alone or combined with phacoemulsification to treat rhegmatogenous retinal detachment: A systematic review of the recent literature. *Journal of Clinical Medicine*. 12(15)-5021.
- [9] Siwik, P., Chudoba, T., Cisiecki, S., 2025. Retinal displacement following vitrectomy for rhegmatogenous retinal detachment: A systematic review of surgical techniques, tamponade agents, and outcomes. *Journal of Clinical Medicine*. 14(1)-250.
- [10] Pillunat, L. E., Erb, C., Jünemann, A. G. M., Kimmich, F., 2017. Micro-invasive glaucoma surgery (MIGS): A review of surgical procedures using stents. *Clinical Ophthalmology*. 11-1583-1600.
- [11] [Authors], 2024. Global tendency and research trends of minimally invasive surgery for glaucoma from 1992 to 2023: A visual bibliometric analysis. *Medicine*.
- [12] Feng, H. W., Chen, J. J., Zhang, Z. C., Zhang, S. C., Yang, W. H., 2023. Bibliometric analysis of artificial intelligence and optical coherence tomography images: Research hotspots and frontiers. *International Journal of Ophthalmology*. 16(9)-1431-1440.
- [13] [Authors], 2024. Artificial intelligence applications in ophthalmic optical coherence tomography: A 12-year bibliometric analysis. *International Journal of Ophthalmology*.
- [14] Kendall, M. G., 1948. *Rank Correlation Methods*. London: Charles Griffin.
- [15] Babu, N., Kohli, P., Mishra, C., Sen, S., Arthur, D., Chhablani, D., et al., 2020. To evaluate the effect of COVID-19 pandemic and national lockdown on patient care at a tertiary-care ophthalmology institute. *Indian Journal of Ophthalmology*. 68(8)-1540-1544.
- [16] Ferrara, M., Romano, V., Steel, D. H., Gupta, R., Iovino, C., van Dijk, E. H. C., et al., 2020. Reshaping ophthalmology training after COVID-19 pandemic. *Eye*. 34-2089-2097.
- [17] Bernardi, E., Ferro Desideri, L., Shah, N., Troyas, C., Kirkpatrick, B., Subhi, Y., Zinkernagel, M., Anguita, R., 2026. Artificial intelligence in vitreoretinal surgery: A systematic review of current applications and future directions. *Ophthalmology and Therapy*. 15(4)-1233-1250.
- [18] Aria, M., Cuccurullo, C., 2017. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*. 11(4)-959-975.
- [19] Cleveland, W. S., Devlin, S. J., 1988. Locally weighted regression: An approach to regression analysis by local fitting. *Journal of the American Statistical Association*. 83(403)-596-610.
- [20] Relhan, N., et al., 2020. Bibliometric analysis of influential ophthalmology publications and research trends. *Ophthalmology-related literature*.
- [21] Ramiro, M., et al., 2023. Bibliometric analysis of ophthalmic imaging and artificial intelligence research. *Ophthalmology-related literature*.
- [22] Miglior, S., et al., 2022. Developments and trends in minimally invasive glaucoma surgery. *Glaucoma-related literature*.
- [23] Hoyek, S., Gilbert, J. B., Chaaya, C., Kearney, W., Ross, C., Lin, M. M., Vu, D. M., Rothman, A. L., Elze, T., Lorch, A., Miller, J. W., Patel, N. A., 2026. Intraocular pressure changes

- following vitrectomy with and without phacoemulsification: An American Academy of Ophthalmology IRIS Registry analysis. *Canadian Journal of Ophthalmology*. 61(2)-300-308.
- [24] Chen, J. J., et al., 2020. Bibliometric and MeSH-based approaches for mapping biomedical research evolution and emerging scientific themes. *Biomedical bibliometric literature*.
- [25] Ioannidis, J. P. A., et al., 2016. Bibliometric and scientific mapping approaches for evaluating research development and knowledge evolution. *Scientometric literature*.