Sains Medisina
Vol. 5, No. 1, Hal. 20-37
Oktober 2026
ISSN 2964-1853 (online)
DOI: 10.63004/snsmed.v5i1.1361

Perkembangan Penelitian Nanoenkapsulasi Kurkumin sebagai Strategi Peningkatan Bioavailabilitas: Analisis Bibliometrik Database PubMed Tahun 2000–2025

Niko Utama[1*]
[1]Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia
*email korespondensi: nikoutama@student.ub.ac.id

ABSTRAK. Kurkumin merupakan senyawa golongan kurkuminoid yang banyak ditemukan pada berbagai spesies genus *Curcuma*, terutama kunyit (*Curcuma longa* L.), dan diketahui memiliki aktivitas farmakologis sebagai antioksidan, antiinflamasi, antikanker, serta hepatoprotektif. Meskipun demikian, pemanfaatan kurkumin masih terkendala oleh kelarutan dalam air dan bioavailabilitas yang rendah sehingga membatasi efektivitas terapeutiknya. Nanoenkapsulasi telah dikembangkan sebagai strategi untuk meningkatkan stabilitas, kelarutan, bioavailabilitas, dan efikasi biologis kurkumin. Penelitian ini bertujuan menganalisis perkembangan penelitian nanoenkapsulasi kurkumin melalui pendekatan bibliometrik berdasarkan publikasi yang terindeks dalam database PubMed periode 2000–2025. Data bibliografi diperoleh menggunakan kata kunci *("curcumin") AND ("nanoencapsulation" OR "nanoparticle" OR "nanocarrier")* dengan kriteria artikel berbahasa Inggris. Sebanyak 1.483 artikel yang memenuhi kriteria inklusi dianalisis menggunakan perangkat lunak VOSviewer dan Bibliometrix. Analisis meliputi karakteristik publikasi, tren perkembangan penelitian, distribusi negara produktif, serta pemetaan kata kunci melalui *network*, *overlay*, dan *density visualization*. Hasil menunjukkan bahwa penelitian nanoenkapsulasi kurkumin mengalami pertumbuhan pesat dengan laju pertumbuhan tahunan sebesar 17,38%. Sebanyak 1.483 artikel dipublikasikan dalam 402 jurnal dan melibatkan 6.344 penulis. Visualisasi kata kunci menunjukkan dominasi tema *curcumin*, *drug carriers*, *drug delivery systems*, *antineoplastic agents*, dan *chitosan*. Analisis *overlay* mengindikasikan pergeseran fokus penelitian menuju aplikasi antimikroba, biofilm, hidrogel, dan nanokomposit. Secara keseluruhan, penelitian nanoenkapsulasi kurkumin terus berkembang dan memiliki prospek yang menjanjikan dalam pengembangan sistem penghantaran senyawa bioaktif untuk aplikasi farmasi, biomedis, dan pangan fungsional.

Kata kunci: bibliometrik, bioavailabilitas, kurkumin, nanoenkapsulasi, PubMed, VOSviewer

ABSTRACT. *Curcumin is a curcuminoid compound widely found in several species of the Curcuma genus, particularly turmeric (Curcuma longa L.), and is recognized for its diverse pharmacological activities, including antioxidant, anti-inflammatory, anticancer, and hepatoprotective effects. However, poor aqueous solubility and low bioavailability limit its therapeutic effectiveness. Nanoencapsulation has emerged as a promising strategy to improve curcumin stability, solubility, bioavailability, and biological efficacy. This study aimed to analyze the development of curcumin nanoencapsulation research through a bibliometric approach based on publications indexed in the PubMed database from 2000 to 2025. Bibliographic data were retrieved using the search query ("curcumin") AND ("nanoencapsulation" OR "nanoparticle" OR "nanocarrier"), with only English-language articles included. A total of 1,483 articles meeting the inclusion criteria were analyzed using VOSviewer and Bibliometrix software. The analysis covered publication characteristics, research trends, productive countries, and keyword mapping through network, overlay, and density visualizations. The results revealed a rapid growth in curcumin nanoencapsulation research, with an annual growth rate of 17.38%. A total of 1,483 articles were published across 402 journals and involved 6,344 authors. Keyword visualization showed that the research landscape was dominated by themes related to curcumin, drug carriers, drug delivery systems, antineoplastic agents, and chitosan. Overlay visualization indicated a recent shift in research focus toward antimicrobial applications, biofilms, hydrogels, and nanocomposites. Overall, curcumin nanoencapsulation research continues to expand and demonstrates considerable potential for the development of bioactive compound delivery systems in pharmaceutical, biomedical, and functional food applications.*

Keywords: *bibliometric analysis, bioavailability, curcumin, nanoencapsulation, PubMed, VOSviewer*

This is an open access article distributed under the terms of CC BY-NC 4.0 license.

Vol. 5, No. 1, Oktober 2026
DOI: 10.63004/snsmed.v5i1.1361

PENDAHULUAN

Kurkumin (*1,7-bis(4-hidroksi-3-metoksifenil)-1,6-heptadiena-3,5-dion*) disebut juga diferuloimetana merupakan senyawa polifenol utama yang ditemukan dalam rimpang kunyit (*Curcuma longa L.)* dan pada spesies *Curcuma* lainnya. Senyawa ini diketahui memiliki berbagai aktivitas biologis, antara lain sebagai antioksidan, antiinflamasi, antimutagenik, antimikroba, antikanker, antidiabetes, dan hepatoprotektif (Hewlings *et al.*, 2017; Den Hartogh *et al*., 2020; Yaikwawong *et a*l., 2025). Berbagai penelitian *in vitro*, *in vivo*, maupun klinis menunjukkan bahwa kurkumin berpotensi digunakan dalam pencegahan dan terapi berbagai penyakit degeneratif yang berkaitan dengan stres oksidatif dan inflamasi kronis (Zafar *et al.*, 2025). Selain itu, kurkumin juga menjadi salah satu senyawa bioaktif yang paling banyak diteliti dalam bidang farmasi, biomedis, dan teknologi pangan karena profil keamanannya yang relatif baik serta spektrum aktivitas farmakologinya yang luas.

Meskipun memiliki berbagai manfaat biologis, pemanfaatan kurkumin masih menghadapi sejumlah keterbatasan. Kurkumin diketahui memiliki kelarutan yang rendah dalam air, stabilitas yang terbatas pada kondisi fisiologis, serta bioavailabilitas oral yang rendah akibat absorpsi yang kurang optimal, metabolisme yang cepat, dan eliminasi yang tinggi (Sohn *et al*., 2021). Faktor-faktor tersebut menyebabkan konsentrasi kurkumin yang mencapai sirkulasi sistemik relatif rendah sehingga dapat menurunkan efektivitas terapeutiknya (El-Saadony *et al*., 2025). Oleh karena itu, berbagai strategi formulasi terus dikembangkan untuk meningkatkan stabilitas dan bioavailabilitas kurkumin.

Salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan adalah nanoenkapsulasi. Nanoenkapsulasi merupakan teknik rekayasa untuk membungkus atau menyalut senyawa aktif menggunakan sistem pembawa berukuran nano (<100 nm) sehingga mampu melindungi senyawa dari degradasi serta meningkatkan stabilitas, kelarutan, bioavailabilitas, dan efektivitas terapeutiknya (Górnicka *et al*., 2023). Berbagai sistem nanoenkapsulasi telah diaplikasikan pada kurkumin, meliputi nanopartikel polimerik, nanomisel, nanoemulsi, nanopartikel lipid padat (*solid lipid nanoparticles*), *nanostructured lipid carriers*, nanogel, hidrogel, film mukoadhesif, serta nanosistem logam atau hibrida (Pitic *et al.*, 2026). Penggunaan sistem penghantaran berbasis nanoteknologi tersebut dilaporkan mampu meningkatkan stabilitas, bioavailabilitas, dan efektivitas biologis kurkumin dibandingkan bentuk konvensionalnya.

Perkembangan teknologi nanoenkapsulasi mendorong peningkatan jumlah publikasi ilmiah yang membahas formulasi dan aplikasi kurkumin dalam berbagai bidang kesehatan. Penelitian mengenai nanoenkapsulasi kurkumin tidak hanya berfokus pada peningkatan bioavailabilitas, tetapi juga mencakup pengembangan sistem penghantaran obat, terapi kanker, penyakit neurodegeneratif, penyakit metabolik, penyakit inflamasi serta aplikasi pada pangan fungsional dan nutraseutikal (Chen *et al*., 2020; Yan *et al*., 2025; Savall *et al*., 2024; Hafez Ghoran *et al.*, 2022; Luz *et al*., 2023). Peningkatan jumlah publikasi tersebut menunjukkan bahwa nanoenkapsulasi kurkumin telah menjadi salah satu topik penelitian yang berkembang pesat dalam dua dekade terakhir.

Untuk memahami perkembangan suatu bidang ilmu secara komprehensif, diperlukan pendekatan yang mampu memetakan tren penelitian, produktivitas ilmiah, pola kolaborasi, struktur pengetahuan, serta hubungan antar topik penelitian. Salah satu metode yang banyak digunakan untuk tujuan tersebut adalah analisis bibliometrik. Analisis bibliometrik merupakan pendekatan kuantitatif yang memanfaatkan data bibliografi untuk mengevaluasi, mengukur, dan memvisualisasikan karakteristik publikasi ilmiah (Sohail, 2026). Melalui analisis ini, peneliti dapat mengidentifikasi perkembangan suatu bidang penelitian, tema-tema yang dominan, pola kolaborasi ilmiah, struktur intelektual dan konseptual suatu disiplin ilmu, serta peluang dan arah penelitian di masa mendatang. Perkembangan basis data bibliografi dan perangkat lunak analisis seperti VOSviewer semakin meningkatkan kemampuan bibliometrik dalam memetakan jaringan penelitian dan mengungkap dinamika perkembangan ilmu pengetahuan secara lebih sistematis dan objektif (Hoang, 2025).

Meskipun penelitian mengenai nanoenkapsulasi kurkumin terus berkembang dan menghasilkan jumlah publikasi yang signifikan, pemetaan bibliometrik yang secara khusus mengevaluasi perkembangan penelitian nanoenkapsulasi kurkumin sebagai strategi peningkatan bioavailabilitas masih relatif terbatas. Informasi mengenai tren publikasi, pola sitasi, serta keterhubungan tema-tema penelitian diperlukan untuk mengidentifikasi arah perkembangan riset dan peluang eksplorasi ilmiah selanjutnya. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perkembangan penelitian nanoenkapsulasi kurkumin sebagai strategi

Vol. 5, No. 1, Oktober 2026
DOI: 10.63004/snsmed.v5i1.1361

peningkatan bioavailabilitas melalui pendekatan bibliometrik berdasarkan publikasi yang terindeks dalam database PubMed tahun 2000–2025. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran komprehensif mengenai lanskap penelitian nanoenkapsulasi kurkumin serta menjadi dasar dalam pengembangan penelitian pada bidang sistem penghantaran senyawa bioaktif berbasis nanoteknologi.

METODE

Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif dengan pendekatan bibliometrik yang bertujuan untuk menganalisis perkembangan publikasi ilmiah terkait nanoenkapsulasi kurkumin sebagai strategi peningkatan bioavailabilitas. Analisis bibliometrik digunakan untuk memetakan tren penelitian serta keterhubungan kata kunci berdasarkan data publikasi yang terindeks dalam database PubMed (Makkizadeh, *et al*., 2022; Yeh *et al*., 2021).

Alat dan Bahan

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah VOSviewer versi 1.6.20 untuk melakukan visualisasi dan analisis jaringan bibliometrik. Bahan yang digunakan berupa data sekunder yang diperoleh dari artikel ilmiah yang terindeks dalam database PubMed (https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/).

Pencarian Artikel

Data publikasi diperoleh melalui database PubMed pada tanggal 02 Juni 2026. Pencarian dilakukan menggunakan kombinasi kata kunci (“curcumin”) AND (“nanoencapsulation” OR “nanoparticle” OR “nanocarrier”). Penggunaan operator Boolean “AND” bertujuan untuk menghubungkan konsep utama penelitian, sedangkan operator “OR” digunakan untuk memperluas cakupan pencarian dengan memasukkan istilah-istilah yang berkaitan dengan nanoenkapsulasi kurkumin. Artikel yang digunakan merupakan artikel berbahasa Inggris dengan rentang tahun publikasi 2000–2025. Berdasarkan hasil pencarian diperoleh 1587 artikel. Setelah dilakukan penyaringan berdasarkan tahun publikasi dan bahasa artikel, diperoleh 1483 artikel yang memenuhi kriteria inklusi. Seluruh data yang memenuhi kriteria inklusi kemudian diunduh dari database PubMed dalam format PubMed (.txt) untuk dianalisis lebih lanjut menggunakan perangkat lunak VOSviewer.

Analisis Data

Data bibliografi yang diperoleh dianalisis menggunakan perangkat lunak VOSviewer versi 1.6.20. Analisis bibliometrik dilakukan menggunakan metode co-occurrence berdasarkan kemunculan kata kunci (keywords) untuk mengidentifikasi hubungan antarkata kunci, memetakan tema penelitian, serta menggambarkan perkembangan topik penelitian nanoenkapsulasi kurkumin. Visualisasi data dilakukan menggunakan tiga pendekatan utama, yaitu *network visualization*, *overlay visualization*, dan *density visualization*. *Network visualization* digunakan untuk memetakan hubungan dan kekuatan keterkaitan antaritem penelitian, *overlay visualization* digunakan untuk mengidentifikasi perkembangan tema penelitian berdasarkan waktu publikasi, sedangkan *density visualization* digunakan untuk menggambarkan tingkat kepadatan dan dominasi topik penelitian sehingga dapat mengidentifikasi area yang menjadi hotspot penelitian dalam bidang yang dikaji (Guo *et al*., 2025).

Analisis co-occurrence dilakukan menggunakan metode full counting dengan unit analisis all keywords. Batas minimum kemunculan kata kunci ditetapkan sebanyak 20 kali. Dari total 4.941 kata kunci yang teridentifikasi dalam dataset, sebanyak 131 kata kunci memenuhi ambang batas yang ditentukan dan seluruhnya digunakan dalam proses visualisasi serta analisis bibliometrik menggunakan VOSviewer.

HASIL

Pencarian Data Artikel

Hasil pencarian data artikel diperoleh melalui database PubMed menggunakan kombinasi kata kunci ("curcumin") AND ("nanoencapsulation" OR "nanoparticle" OR "nanocarrier"). Berdasarkan hasil pencarian awal, diperoleh sebanyak 496 artikel. Selanjutnya dilakukan proses penyaringan berdasarkan rentang tahun publikasi dan bahasa artikel.

Sebanyak 254 artikel dieksklusi karena tidak termasuk dalam rentang tahun publikasi 2000–2025 sehingga tersisa 4704 artikel. Pada tahap berikutnya dilakukan penyaringan berdasarkan bahasa publikasi dan diperoleh 4686 artikel berbahasa Inggris yang memenuhi kriteria inklusi. Artikel-artikel tersebut selanjutnya digunakan dalam analisis bibliometrik menggunakan perangkat lunak VOSviewer. Diagram alir proses pencarian dan penyaringan artikel dapat dilihat pada Gambar 1.

Strategi pencarian menggunakan operator Boolean “AND” dan “OR” bertujuan untuk

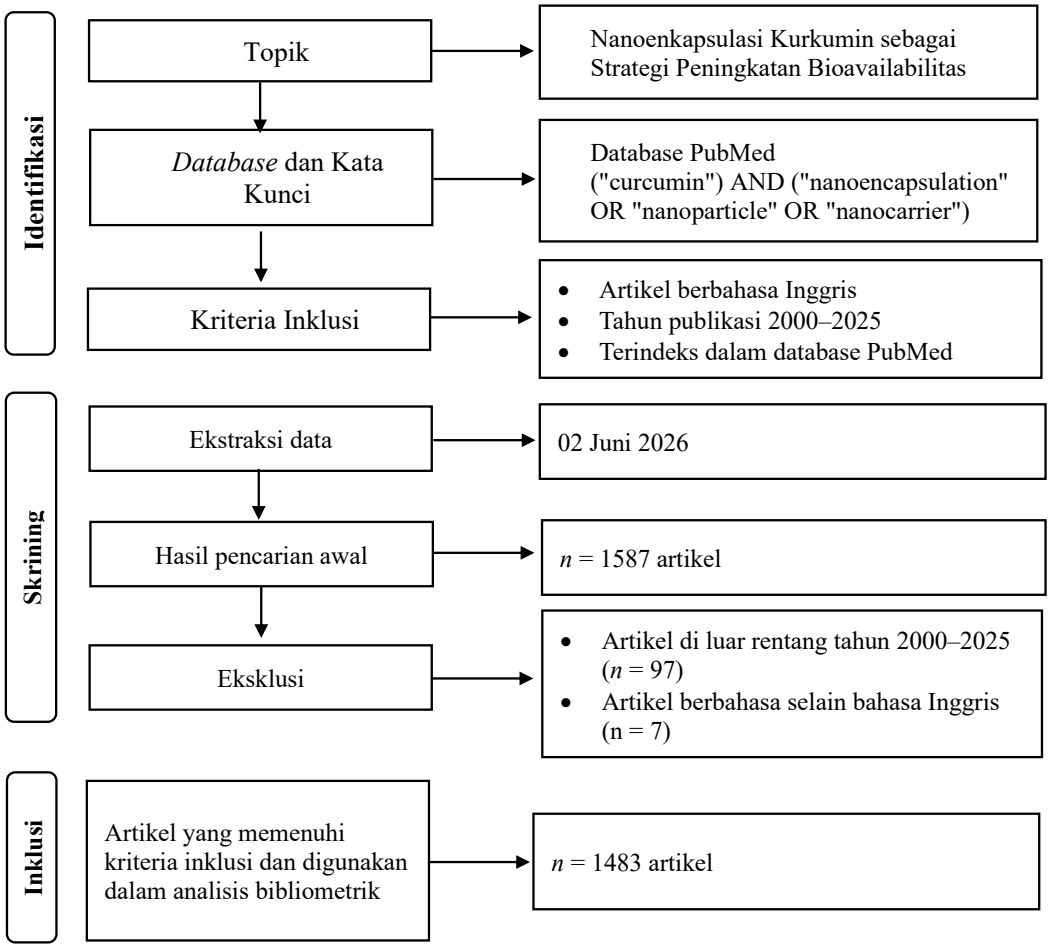
Vol. 5, No. 1, Oktober 2026
DOI: 10.63004/snsmed.v5i1.1361

memperoleh artikel yang relevan dengan topik nanoenkapsulasi kurkumin. Operator "AND" digunakan untuk menghubungkan konsep utama penelitian, sedangkan operator "OR" digunakan untuk memperluas cakupan pencarian dengan memasukkan beberapa istilah yang umum digunakan dalam penelitian nanoenkapsulasi seperti nanoparticle dan nanocarrier. Strategi tersebut memungkinkan diperolehnya artikel yang lebih representatif untuk menggambarkan perkembangan penelitian nanoenkapsulasi kurkumin selama periode pengamatan.

Tabel 1. Hasil Pencarian Artikel pada Database PubMed

Skrining Pencarian	Jumlah Artikel
Artikel yang ditemukan melalui pencarian awal	1587
Artikel di luar rentang tahun 2000–2025	97
Artikel dalam rentang tahun 2000–2025	1490
Artikel berbahasa selain bahasa Inggris	7
Artikel yang memenuhi kriteria inklusi dan digunakan dalam analisis bibliometrik	1483

Proses seleksi artikel dilakukan secara bertahap berdasarkan kriteria inklusi yang telah ditetapkan. Ringkasan hasil pencarian artikel disajikan pada Tabel 1, sementara tahapan identifikasi, skrining, dan inklusi artikel divisualisasikan dalam diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Proses Pencarian dan Penyaringan Artikel.

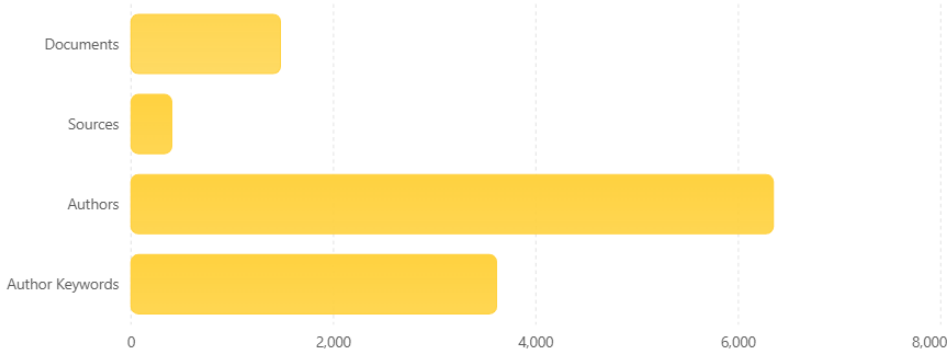
Sebanyak 4686 artikel yang memenuhi kriteria inklusi kemudian diunduh dalam format PubMed (.txt) dan digunakan sebagai data masukan pada perangkat lunak VOSviewer versi 1.6.20. Data tersebut selanjutnya dianalisis untuk memetakan hubungan antarkata kunci, tren penelitian, dan perkembangan tema penelitian nanoenkapsulasi kurkumin selama periode pengamatan.

Karakteristik Umum Publikasi

Sebelum dilakukan analisis lebih lanjut terhadap struktur dan perkembangan tema penelitian, perlu dilakukan identifikasi karakteristik

Vol. 5, No. 1, Oktober 2026
DOI: 10.63004/snsmed.v5i1.1361

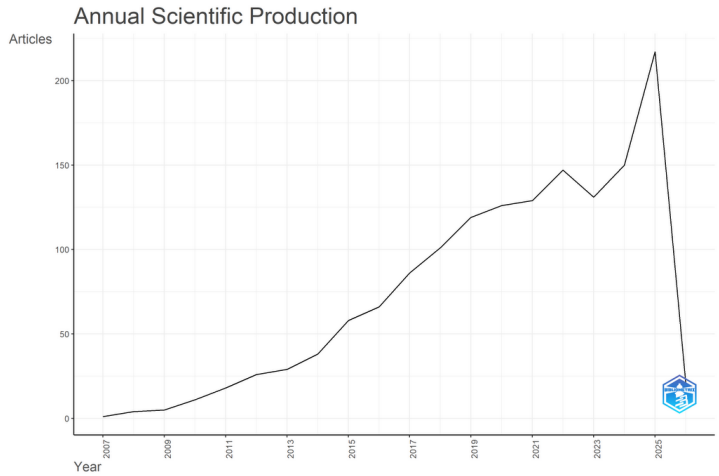
umum publikasi untuk memperoleh gambaran mengenai produktivitas, pola kolaborasi, dan dinamika perkembangan bidang nanoenkapsulasi kurkumin. Ringkasan indikator bibliometrik utama hasil analisis Bibliometrix disajikan pada Gambar 2



Gambar 2. Ringkasan Indikator Utama Penelitian Nanoenkapsulasi Kurkumin (PubMed 2000-2025).

Gambar 2 menyajikan ringkasan indikator utama penelitian nanoenkapsulasi kurkumin yang diperoleh dari analisis bibliometrik menggunakan database PubMed. Berdasarkan hasil pencarian dengan kata kunci *"curcumin" AND ("nanoencapsulation" OR "nanoparticle" OR "nanocarrier")*, diperoleh 1.483 artikel yang memenuhi kriteria inklusi berupa artikel berbahasa Inggris dan rentang publikasi tahun 2000–2025.

Sebanyak 1.483 artikel tersebut dipublikasikan dalam 402 jurnal yang berbeda dan ditulis oleh 6.344 penulis. Analisis kata kunci menunjukkan terdapat 3.611 *author's keywords* yang digunakan dalam publikasi yang dianalisis. Rata-rata jumlah penulis per artikel mencapai 6,47 orang dengan tingkat kolaborasi internasional sebesar 25,35%. Selain itu, laju pertumbuhan publikasi tahunan (*annual growth rate*) tercatat sebesar 17,38%, sedangkan rata-rata usia dokumen (*document average age*) adalah 5,69 tahun. Temuan ini menunjukkan bahwa sebagian besar publikasi yang teridentifikasi merupakan artikel yang relatif baru



Gambar 3. Tren Publikasi Tahunan Penelitian Nanoenkapsulasi Kurkumin Periode 2007–2025 Berdasarkan Data PubMed yang Dianalisis Menggunakan Bibliometrix.

Tren Publikasi Penelitian Nanoenkapsulasi Kurkumin

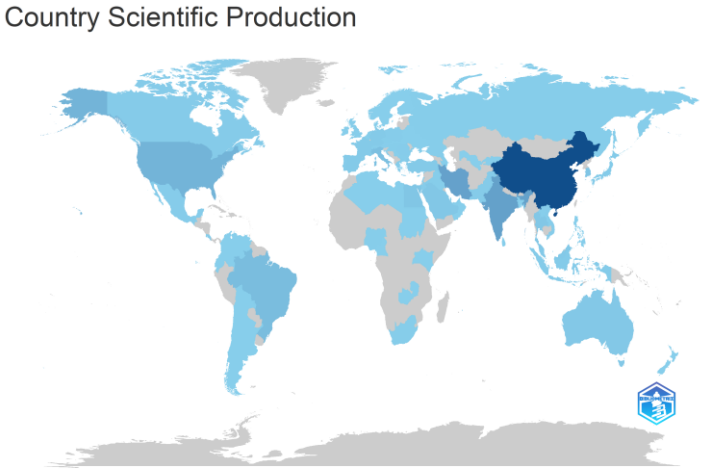
Berdasarkan analisis menggunakan Bibliometrix terhadap 1.483 artikel yang terindeks dalam PubMed, publikasi penelitian nanoenkapsulasi kurkumin menunjukkan tren peningkatan yang konsisten selama periode 2007–2025 (Gambar 3). Publikasi pertama yang teridentifikasi dalam dataset muncul pada tahun 2007 dengan jumlah artikel yang masih sangat terbatas. Setelah itu, jumlah publikasi meningkat secara bertahap dari tahun ke tahun. Peningkatan yang lebih nyata mulai terlihat sejak tahun 2014–2015, ketika jumlah publikasi tahunan meningkat

Vol. 5, No. 1, Oktober 2026
DOI: 10.63004/snsmed.v5i1.1361

dari sekitar 38 artikel menjadi lebih dari 50 artikel. Tren pertumbuhan terus berlanjut hingga mencapai lebih dari 100 artikel per tahun pada periode 2018–2019. Pada tahun-tahun berikutnya, jumlah publikasi tetap berada pada tingkat yang tinggi dan menunjukkan akselerasi yang semakin kuat. Puncak produktivitas publikasi terjadi pada tahun 2025 dengan jumlah lebih dari 200 artikel, yang menunjukkan bahwa penelitian nanoenkapsulasi kurkumin masih menjadi topik yang berkembang pesat dan menarik perhatian komunitas ilmiah internasional.

Produksi Ilmiah Berdasarkan Negara

Distribusi produksi ilmiah penelitian nanoenkapsulasi kurkumin berdasarkan negara disajikan pada Gambar 4. Sebanyak 71 negara teridentifikasi berkontribusi dalam publikasi bidang ini selama periode 2007–2026. China merupakan negara dengan produktivitas tertinggi (3395 publikasi), diikuti India (1132 publikasi), Iran (1118 publikasi), Amerika Serikat (643 publikasi), dan Brasil (433 publikasi). Indonesia menempati peringkat ke-18 dengan 84 publikasi. Dominasi negara-negara Asia menunjukkan bahwa kawasan ini menjadi pusat perkembangan penelitian nanoenkapsulasi kurkumin, terutama terkait pengembangan sistem penghantaran obat, peningkatan bioavailabilitas, dan aplikasi antikanker berbasis senyawa bioaktif alami.



Gambar 4. Distribusi Produksi Ilmiah Penelitian Nanoenkapsulasi Kurkumin Berdasarkan Negara (*Country Scientific Production*).

Tabel 2. Distribusi Produksi Ilmiah Penelitian Nanoenkapsulasi Kurkumin Berdasarkan Negara pada Periode 2007–2026

Peringkat	Negara	Frekuensi
1	China	3395
2	India	1132
3	Iran	1118
4	USA	643
5	Brazil	433
6	Iltaly	347
7	South Korea	216
8	Egypt	194
9	Saudi Arabia	168
10	Thailand	161

Berdasarkan analisis Bibliometrix, terdapat 71 negara yang berkontribusi dalam penelitian nanoenkapsulasi kurkumin periode 2007–2026. Untuk mengidentifikasi kontribusi geografis dalam perkembangan penelitian nanoenkapsulasi kurkumin, dilakukan analisis produksi ilmiah berdasarkan negara menggunakan perangkat lunak Bibliometrix. Analisis ini menunjukkan negara-negara yang paling aktif mempublikasikan penelitian pada bidang tersebut selama periode pengamatan. Hasil lengkap produksi ilmiah berdasarkan negara disajikan pada Tabel 2.

Analisis *Network Visualization*

Hasil analisis *co-occurrence* menggunakan VOSviewer menghasilkan 110 kata kunci yang terbagi ke dalam 5 klaster dengan 3.695 hubungan (*links*) dan total *link strength* sebesar 21.604. Visualisasi jaringan kata kunci ditampilkan pada Gambar 5, sedangkan distribusi klaster disajikan pada Tabel 3.

Klaster 1 terdiri atas 31 kata kunci yang didominasi oleh istilah seperti *curcumin, bioavailability, drug delivery systems, nanoencapsulation, nanocarriers, liposomes, oxidative stress, inflammation*, dan *neuroprotective agents*. Klaster ini menggambarkan fokus penelitian

Vol. 5, No. 1, Oktober 2026
DOI: 10.63004/snsmed.v5i1.1361

terhadap pemanfaatan nanoenkapsulasi kurkumin untuk meningkatkan bioavailabilitas serta mengeksplorasi berbagai aktivitas biologis dan farmakologisnya.

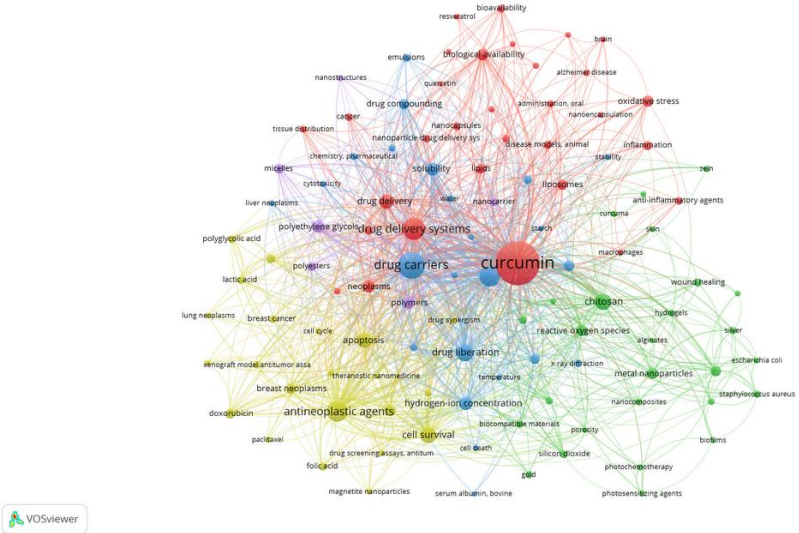
Klaster 2 terdiri atas 27 kata kunci yang berkaitan dengan material nano dan aplikasi biomedis, seperti *chitosan, hydrogels, hyaluronic acid, alginates, metal nanoparticles, nanocomposites, wound healing*, serta berbagai agen antibakteri. Klaster ini menunjukkan berkembangnya penelitian terkait penggunaan biomaterial sebagai sistem penghantaran kurkumin untuk aplikasi antimikroba dan penyembuhan luka.

Klaster 3 mencakup 24 kata kunci yang berhubungan dengan karakterisasi formulasi nanopartikel, antara lain *drug carriers, particle size, solubility, drug stability, polysaccharides, hydrophobic* and *hydrophilic interactions*, serta berbagai metode karakterisasi seperti *Fourier transform infrared spectroscopy* dan *X-ray diffraction*. Klaster ini menggambarkan pentingnya optimasi sifat fisikokimia dalam pengembangan nanoenkapsulasi kurkumin.

Klaster 4 terdiri atas 22 kata kunci yang berfokus pada aktivitas antikanker, seperti *antineoplastic agents, apoptosis, breast cancer, cell proliferation, doxorubicin, paclitaxel*, dan *theranostic nanomedicine*. Klaster ini menunjukkan bahwa aplikasi nanoenkapsulasi kurkumin dalam terapi kanker merupakan salah satu tema penelitian yang dominan.

Klaster 5 terdiri atas 6 kata kunci yang berkaitan dengan sistem pembawa berbasis polimer, meliputi *micelles, nanostructures, polyesters, polyethylene glycols,* dan *polymers*. Klaster ini menunjukkan peran penting polimer dalam meningkatkan stabilitas dan efektivitas sistem penghantaran kurkumin.

Berdasarkan ukuran node dan intensitas hubungan antarkata kunci pada Gambar 5, kata kunci *curcumin, drug carriers, drug delivery systems, antineoplastic agents*, dan *chitosan* merupakan kata kunci yang memiliki frekuensi kemunculan serta keterhubungan paling tinggi. Temuan ini menunjukkan bahwa penelitian nanoenkapsulasi kurkumin didominasi oleh pengembangan sistem penghantaran obat untuk meningkatkan bioavailabilitas dan efektivitas terapi, terutama pada bidang onkologi.



Gambar 5. *Network Visualization* Kata Kunci Penelitian Nanoenkapsulasi Kurkumin pada Database PubMed Tahun 2000–2025 Menggunakan VOSviewer

Untuk memudahkan identifikasi tema penelitian pada masing-masing kelompok kata kunci, distribusi klaster hasil analisis *co-occurrence* disajikan pada Tabel 3.

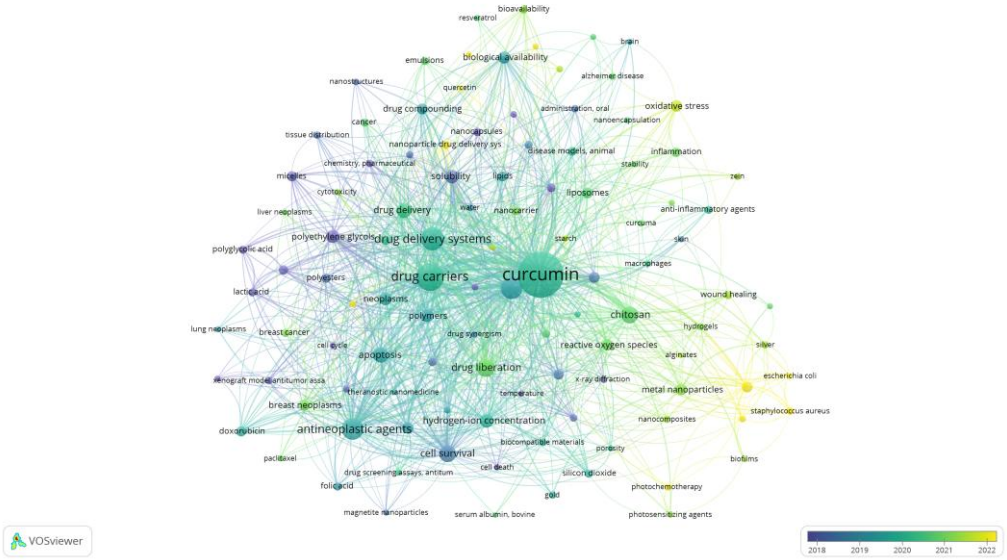
Tabel 3. Distribusi Klaster Kata Kunci Penelitian Nanoenkapsulasi Kurkumin

Klaster	Jumlah Item	Tema Utama
Klaster 1	31	Bioavailabilitas, penghantaran obat, dan aktivitas biologis kurkumin
Klaster 2	27	Material nano, antibakteri, dan penyembuhan luka
Klaster 3	24	Karakterisasi formulasi dan sifat fisikokimia nanopartikel
Klaster 4	22	Aktivitas antikanker dan terapi berbasis nanoenkapsulasi
Klaster 5	6	Polimer dan sistem pembawa nanopartikel

Vol. 5, No. 1, Oktober 2026
DOI: 10.63004/snsmed.v5i1.1361

Analisis *Overlay Visualization*

Analisis *overlay visualization* dilakukan untuk mengidentifikasi perkembangan topik penelitian nanoenkapsulasi kurkumin berdasarkan rata-rata tahun publikasi kata kunci yang muncul dalam jaringan bibliometrik. Hasil visualisasi ditunjukkan pada Gambar 6. Warna biru menunjukkan topik yang lebih awal diteliti, warna hijau menunjukkan topik yang berkembang pada periode menengah, sedangkan warna kuning menunjukkan topik yang relatif baru dan sedang berkembang.



Gambar 6. *Overlay Visualization* Kata Kunci Penelitian Nanoenkapsulasi Kurkumin pada Database PubMed Tahun 2000–2025 Menggunakan VOSviewer.

Hasil analisis *overlay visualization* menunjukkan perkembangan temporal penelitian nanoenkapsulasi kurkumin berdasarkan rata-rata tahun kemunculan kata kunci (*average publication year*). Warna biru menunjukkan topik yang relatif lebih lama, sedangkan warna hijau hingga kuning menunjukkan topik yang lebih baru dan berkembang pada periode terkini.

Berdasarkan Gambar 6, kata kunci yang muncul pada periode awal penelitian didominasi oleh *micelles*, *polyglycolic acid*, *polyethylene glycols*, *tissue distribution*, *doxorubicin*, *paclitaxel*, *xenograft model antitumor assay*, dan *cell survival*. Topik-topik tersebut menunjukkan bahwa penelitian awal nanoenkapsulasi kurkumin berfokus pada pengembangan sistem penghantaran obat berbasis polimer serta evaluasi aktivitas antikanker melalui model sel dan hewan.

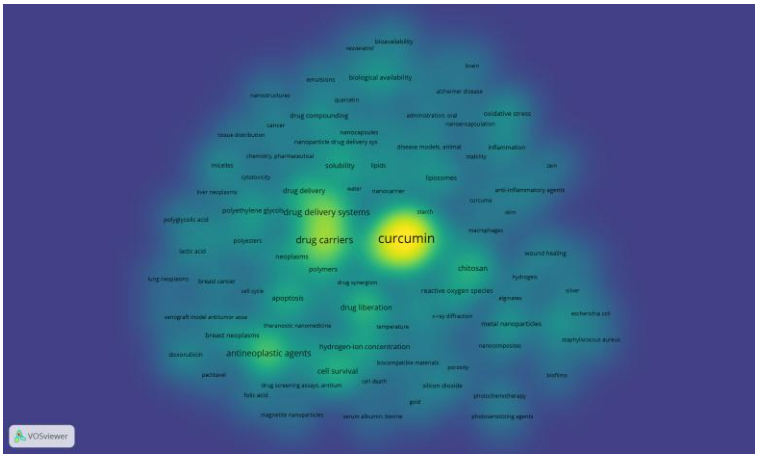
Pada periode selanjutnya, fokus penelitian berkembang ke arah optimasi sistem penghantaran obat yang ditunjukkan oleh dominasi kata kunci *drug carriers*, *drug delivery systems*, *drug liberation*, *curcumin*, *solubility*, *bioavailability*, *liposomes*, dan *nanocarrier*. Kata kunci tersebut berada di bagian sentral jaringan dan memiliki keterhubungan yang tinggi dengan berbagai tema penelitian lainnya.

Sementara itu, kata kunci yang muncul pada periode paling mutakhir ditunjukkan oleh warna hijau-kuning hingga kuning, antara lain *silver*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *biofilms*, *photochemotherapy*, *photosensitizing agents*, *metal nanoparticles*, *oxidative stress*, *wound healing*, *zein*, dan *anti-inflammatory agents*. Temuan ini menunjukkan bahwa penelitian terkini mulai mengarah pada aplikasi nanoenkapsulasi kurkumin dalam bidang antimikroba, terapi fotodinamik, penyembuhan luka, serta pengembangan material nano berbasis biopolimer.

Analisis *Density Visualization*

Analisis *density visualization* dilakukan untuk mengidentifikasi tingkat kepadatan kemunculan dan keterhubungan kata kunci dalam penelitian nanoenkapsulasi kurkumin. Hasil visualisasi ditunjukkan pada Gambar 7, dimana warna kuning menunjukkan kata kunci dengan frekuensi kemunculan dan tingkat keterhubungan yang tinggi, sedangkan warna hijau hingga biru menunjukkan kata kunci dengan frekuensi kemunculan dan keterhubungan yang lebih rendah.

Vol. 5, No. 1, Oktober 2026
DOI: 10.63004/snsmed.v5i1.1361



Gambar 7. *Density Visualization* Kata Kunci Penelitian Nanoenkapsulasi Kurkumin pada Database PubMed Tahun 2000–2025 Menggunakan VOSviewer.

Hasil analisis *density visualization* menunjukkan tingkat kepadatan kemunculan dan keterhubungan kata kunci dalam penelitian nanoenkapsulasi kurkumin. Pada visualisasi ini, warna kuning menunjukkan area dengan kepadatan tertinggi, warna hijau menunjukkan kepadatan sedang, sedangkan warna biru menunjukkan kepadatan rendah.

Berdasarkan Gambar 7, kata kunci curcumin merupakan area dengan kepadatan tertinggi yang ditunjukkan oleh warna kuning terang. Kata kunci tersebut berada pada pusat jaringan dan memiliki keterhubungan yang kuat dengan berbagai topik penelitian lainnya. Selain *curcumin*, kata kunci *drug carriers, drug delivery systems*, *antineoplastic agents, drug liberation, cell survival*, dan *chitosan* juga menunjukkan tingkat kepadatan yang relatif tinggi. Temuan ini mengindikasikan bahwa penelitian nanoenkapsulasi kurkumin didominasi oleh pengembangan sistem penghantaran obat dan aplikasi antikanker.

Sebaliknya, beberapa kata kunci seperti *biofilms, photochemotherapy, photosensitizing agents, gold, silver, Escherichia coli, Staphylococcus aureus, brain*, dan *Alzheimer disease* berada pada area dengan kepadatan yang lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa topik-topik tersebut masih relatif jarang diteliti dibandingkan tema-tema utama dalam bidang nanoenkapsulasi kurkumin.

Secara umum, visualisasi kepadatan menunjukkan bahwa penelitian nanoenkapsulasi kurkumin masih terpusat pada upaya peningkatan efektivitas penghantaran obat, bioavailabilitas, dan aktivitas antikanker, sementara aplikasi pada bidang antimikroba, neuroprotektif, dan terapi berbasis cahaya masih berkembang dalam skala yang lebih terbatas.

PEMBAHASAN

Karakteristik Umum Publikasi

Temuan ini menunjukkan bahwa penelitian nanoenkapsulasi kurkumin telah berkembang menjadi bidang riset yang cukup matang dan memiliki tingkat produktivitas ilmiah yang tinggi. Jumlah artikel yang mencapai 1.483 publikasi dalam kurun waktu sekitar dua dekade mengindikasikan meningkatnya perhatian komunitas ilmiah terhadap pemanfaatan teknologi nano untuk mengatasi keterbatasan bioavailabilitas kurkumin. Kurkumin diketahui memiliki berbagai aktivitas farmakologis, seperti antiproliferatif, antiinflamasi, antikanker, antidiabetes, hipokolesterolemik, antitrombotik, antihepatotoksik, antidiare, karminatif, diuretik, antirheumatik, hipotensif, antimikroba, antivirus, antioksidan, larvasida, insektisida, antivenom, dan efek antitirosinase (Sharifi-Rad *et al.*, 2020), namun aplikasinya sering terkendala oleh kelarutan yang rendah, stabilitas yang terbatas, serta bioavailabilitas oral yang buruk (Prasad *et al*., 2014). Kondisi tersebut mendorong berkembangnya berbagai pendekatan nanoenkapsulasi sebagai solusi teknologi penghantaran senyawa bioaktif.

Jumlah penulis yang mencapai 6.344 orang dengan rata-rata 6,47 penulis per artikel menunjukkan bahwa penelitian nanoenkapsulasi kurkumin bersifat multidisiplin dan membutuhkan kolaborasi lintas bidang keilmuan. Pengembangan sistem nanoenkapsulasi tidak hanya melibatkan ilmu farmasi dan nanoteknologi, tetapi juga kimia material, biologi molekuler, bioteknologi, ilmu pangan, hingga kedokteran. Tingginya jumlah kolaborator dalam setiap publikasi mencerminkan kompleksitas penelitian yang memerlukan integrasi berbagai metode karakterisasi fisikokimia,

Vol. 5, No. 1, Oktober 2026
DOI: 10.63004/snsmed.v5i1.1361

pengujian biologis, serta evaluasi efektivitas terapeutik.

Persentase kolaborasi internasional sebesar 25,35% menunjukkan bahwa seperempat publikasi yang teridentifikasi melibatkan kerja sama antarnegara. Nilai ini dapat dikategorikan cukup baik, namun masih menunjukkan bahwa sebagian besar penelitian dilakukan dalam lingkup nasional atau regional. Padahal, kolaborasi internasional umumnya berkontribusi terhadap peningkatan kualitas publikasi melalui pertukaran sumber daya, akses terhadap fasilitas penelitian yang lebih maju, serta peningkatan visibilitas ilmiah. Oleh karena itu, peningkatan jejaring kolaborasi global masih menjadi peluang penting untuk mempercepat pengembangan penelitian nanoenkapsulasi kurkumin.

Keberadaan 3.611 kata kunci penulis juga mengindikasikan tingginya keragaman topik penelitian dalam bidang ini. Variasi kata kunci tersebut menunjukkan bahwa penelitian nanoenkapsulasi kurkumin tidak lagi berfokus pada formulasi nanopartikel semata, tetapi telah berkembang ke berbagai aplikasi, seperti terapi kanker, penyakit neurodegeneratif, penyembuhan luka, penghantaran obat tertarget, hingga pengembangan bahan antimikroba. Diversifikasi topik ini mencerminkan semakin luasnya potensi aplikasi kurkumin yang didukung oleh kemajuan teknologi nanomaterial.

Laju pertumbuhan publikasi tahunan sebesar 17,38% merupakan indikator yang sangat signifikan karena menunjukkan peningkatan minat penelitian yang konsisten dan relatif cepat. Dalam konteks bibliometrik, nilai pertumbuhan tahunan di atas 10% umumnya mencerminkan bidang penelitian yang sedang berkembang pesat (*rapidly growing research field*). Fenomena ini kemungkinan dipengaruhi oleh meningkatnya kebutuhan terhadap senyawa bioaktif alami sebagai alternatif terapi yang lebih aman, sekaligus kemajuan teknologi nanomedis yang memungkinkan peningkatan efektivitas kurkumin melalui berbagai sistem penghantaran berbasis nanopartikel.

Sementara itu, rata-rata usia dokumen sebesar 5,69 tahun menunjukkan bahwa basis literatur yang dianalisis didominasi oleh publikasi terkini. Temuan ini mengindikasikan bahwa penelitian nanoenkapsulasi kurkumin merupakan bidang yang masih sangat aktif berkembang dan terus menghasilkan inovasi baru. Dominasi literatur terbaru juga memperlihatkan bahwa arah penelitian saat ini masih terus mengalami dinamika, terutama terkait pengembangan *nanocarrier* generasi baru, sistem penghantaran cerdas (*smart delivery systems*), serta aplikasi terapeutik yang lebih spesifik dan terpersonalisasi.

Dengan demikian, karakteristik umum publikasi menunjukkan bahwa penelitian nanoenkapsulasi kurkumin merupakan bidang riset yang berkembang pesat, bersifat multidisiplin, memiliki tingkat kolaborasi yang cukup tinggi, serta didukung oleh basis literatur yang relatif mutakhir. Kondisi ini mengindikasikan bahwa nanoenkapsulasi kurkumin masih menjadi salah satu topik yang prospektif untuk dikembangkan pada masa mendatang, baik dalam bidang farmasi, kesehatan, maupun pangan fungsional.

Tren Publikasi Penelitian Nanoenkapsulasi Kurkumin

Hasil analisis tren publikasi menunjukkan bahwa perkembangan penelitian nanoenkapsulasi kurkumin berlangsung dalam tiga fase utama.

Fase Awal (2007–2013)

Pada fase awal, jumlah publikasi masih relatif rendah. Kondisi ini menunjukkan bahwa penerapan teknologi nano pada senyawa kurkumin masih berada pada tahap eksplorasi. Pada periode tersebut, sebagian besar penelitian berfokus pada upaya mengatasi keterbatasan kurkumin, terutama kelarutan yang rendah, stabilitas yang buruk, dan bioavailabilitas yang rendah. Penelitian masih didominasi oleh pengembangan sistem penghantaran sederhana dan karakterisasi fisik nanopartikel.

Fase Pertumbuhan (2014–2019)

Periode 2014–2019 menunjukkan peningkatan publikasi yang cukup tajam. Fenomena ini kemungkinan berkaitan dengan berkembangnya bidang *nanomedicine* dan meningkatnya minat terhadap senyawa bioaktif alami sebagai kandidat terapi berbagai penyakit. Pada periode ini, penelitian tidak lagi hanya berfokus pada formulasi nanopartikel, tetapi mulai mengeksplorasi aplikasi terapeutik, termasuk aktivitas antikanker, antiinflamasi, antioksidan, dan sistem penghantaran obat bertarget.

Hasil *network visualization* yang telah dilakukan sebelumnya mendukung temuan tersebut, ditunjukkan oleh keterhubungan kuat antara kata kunci *curcumin*, *drug carriers*, *drug delivery systems*, *antineoplastic agents*, dan *apoptosis*.

Fase Ekspansi dan Diversifikasi (2020–2025)

Periode 2020–2025 menunjukkan percepatan pertumbuhan publikasi yang sangat signifikan. Selain meningkatnya jumlah penelitian, terjadi pula diversifikasi tema penelitian. Hal ini

Vol. 5, No. 1, Oktober 2026
DOI: 10.63004/snsmed.v5i1.1361

terlihat dari hasil *overlay visualization* yang menunjukkan kemunculan topik-topik baru seperti: *nanoencapsulation, bioavailability, oxidative stress, anti-inflammatory agents, hydrogels, biofilms, metal nanoparticles, wound healing, neuroprotective agents*. Perkembangan tersebut menunjukkan bahwa penelitian nanoenkapsulasi kurkumin telah bergeser dari sekadar optimasi formulasi menuju pengembangan aplikasi klinis dan translasional yang lebih luas.

Secara keseluruhan, tren publikasi yang terus meningkat hingga tahun 2025 menunjukkan bahwa nanoenkapsulasi kurkumin masih merupakan bidang penelitian yang aktif dan prospektif. Pertumbuhan tahunan sebesar 17,38% yang diperoleh dari analisis Bibliometrix semakin memperkuat indikasi bahwa topik ini memiliki relevansi ilmiah yang tinggi dan diperkirakan akan terus berkembang pada tahun-tahun mendatang.

Produksi Ilmiah Berdasarkan Negara

Hasil analisis menunjukkan bahwa penelitian nanoenkapsulasi kurkumin didominasi oleh negara-negara Asia, terutama China, India, dan Iran. Pola ini mengindikasikan bahwa perkembangan riset nanoenkapsulasi kurkumin tidak hanya dipengaruhi oleh kapasitas penelitian suatu negara, tetapi juga oleh ketersediaan sumber daya hayati, kebijakan pendanaan riset, prioritas pengembangan nanoteknologi, serta tingginya minat terhadap pemanfaatan senyawa bioaktif alami untuk aplikasi kesehatan dan farmasi. Temuan ini sejalan dengan tren global yang menunjukkan peningkatan perhatian terhadap pengembangan sistem penghantaran obat berbasis nanoteknologi untuk mengatasi keterbatasan bioavailabilitas senyawa fitokimia, termasuk kurkumin (Patra *et al.*, 2018; Sun *et al*., 2024).

China menempati posisi pertama sebagai negara paling produktif dalam penelitian nanoenkapsulasi kurkumin. Dominasi ini dapat dikaitkan dengan investasi jangka panjang pemerintah China dalam bidang nanoteknologi, bioteknologi, dan pengembangan obat berbasis bahan alam yang telah berlangsung selama lebih dari dua dekade (Lenoir, *et al*., 2009). Selain dukungan pendanaan yang besar, China juga memiliki ekosistem penelitian yang kuat melalui kolaborasi antara universitas, lembaga penelitian, rumah sakit, dan industri farmasi. Fasilitas penelitian yang memadai memungkinkan pengembangan berbagai sistem penghantaran kurkumin, seperti nanopartikel polimerik, nanopartikel lipid, liposom, nanogel, dan nanosistem multifungsi untuk aplikasi terapi kanker, penyakit inflamasi, dan penyakit neurodegeneratif (Yallapu *et al*., 2015; Smail *et al*., 2025). Tingginya produktivitas ilmiah China mencerminkan strategi nasional yang menempatkan *nanomedicine* sebagai salah satu bidang prioritas dalam inovasi kesehatan modern (Gao *et al*., 2016).

India berada pada posisi kedua, yang secara ilmiah dan historis sangat relevan mengingat kurkumin merupakan senyawa utama dari kunyit (*Curcuma longa* L.), tanaman yang telah lama digunakan dalam sistem pengobatan tradisional Ayurveda. Dalam Ayurveda, kunyit digunakan untuk mengatasi berbagai gangguan kesehatan, termasuk inflamasi, gangguan pencernaan, penyakit kulit, dan nyeri kronis (Wang *et al*., 2026). Kedekatan budaya dan ilmiah terhadap pemanfaatan kunyit mendorong tingginya minat penelitian terkait kurkumin di India. Namun demikian, fokus penelitian modern di India tidak lagi terbatas pada eksplorasi aktivitas biologis kurkumin, melainkan telah berkembang ke arah peningkatan efektivitas terapeutik melalui teknologi nanoenkapsulasi. Berbagai penelitian mengembangkan liposom, nanoemulsi, misel, nanopartikel polimerik, nanokapsul, dan *solid lipid nanoparticles* untuk meningkatkan kelarutan, stabilitas, dan bioavailabilitas kurkumin yang secara alami sangat rendah (Gupta *et al*., 2020; Yeo *et al*., 2022; Funghetto-Ribeiro *et al*., 2025).

Iran menempati posisi ketiga dan menunjukkan kontribusi yang sangat signifikan dalam bidang ini. Tingginya produktivitas ilmiah Iran mencerminkan perkembangan pesat penelitian nanomedicine dan *drug delivery system* dalam dua dekade terakhir. Iran merupakan salah satu negara yang sangat produktif dalam publikasi bidang nanomedicine dan bioteknologi kesehatan, termasuk penelitian terapi sel punca, yang mencerminkan pesatnya perkembangan kapasitas riset biomedis dan teknologi kesehatan di negara tersebut (Sedghi *et al.*, 2023). Penelitian yang dilakukan umumnya berfokus pada pengembangan nanopartikel untuk terapi kanker, penghantaran obat bertarget (*targeted drug delivery*), serta peningkatan efektivitas senyawa bioaktif alami. Tingginya kontribusi Iran menunjukkan bahwa penguasaan teknologi nano tidak selalu bergantung pada status negara maju, melainkan juga pada fokus strategis penelitian dan dukungan kebijakan nasional terhadap bidang-bidang prioritas.

Beberapa negara dengan kapasitas penelitian yang sangat kuat seperti Amerika Serikat, Jerman, Inggris, dan Jepang tidak menempati posisi teratas dalam jumlah publikasi. Kondisi ini menunjukkan bahwa produktivitas penelitian

Vol. 5, No. 1, Oktober 2026
DOI: 10.63004/snsmed.v5i1.1361

nanoenkapsulasi kurkumin tidak selalu sejalan dengan kapasitas riset nasional secara keseluruhan. Negara-negara tersebut cenderung memiliki cakupan penelitian farmasi dan nanomedicine yang lebih luas sehingga perhatian penelitian tersebar pada berbagai molekul bioaktif dan platform penghantaran obat lainnya. Sebaliknya, negara-negara Asia menunjukkan fokus yang lebih besar terhadap pemanfaatan senyawa alami dan fitofarmaka sebagai sumber inovasi terapi, sehingga menghasilkan jumlah publikasi yang lebih tinggi pada topik nanoenkapsulasi kurkumin.

Indonesia menempati peringkat ke-18 dengan total 84 publikasi. Posisi ini menunjukkan bahwa kontribusi Indonesia terhadap penelitian nanoenkapsulasi kurkumin masih relatif terbatas dibandingkan negara-negara Asia lainnya. Padahal, Indonesia merupakan salah satu negara megabiodiversitas yang memiliki ketersediaan bahan baku kunyit yang melimpah serta tradisi pemanfaatan tanaman obat yang kuat. Rendahnya produktivitas publikasi kemungkinan dipengaruhi oleh keterbatasan pendanaan riset, fasilitas karakterisasi nanopartikel yang belum merata, serta masih terbatasnya kolaborasi internasional dalam bidang nanomedicine. Penguatan kerja sama internasional, peningkatan investasi pada fasilitas riset nanoteknologi, serta integrasi penelitian bahan alam dengan teknologi penghantaran modern berpotensi meningkatkan kontribusi Indonesia dalam peta penelitian nanoenkapsulasi kurkumin global. Mengingat tren publikasi yang terus meningkat dan besarnya potensi sumber daya hayati nasional, Indonesia memiliki peluang untuk menjadi salah satu pusat pengembangan nanoenkapsulasi senyawa bioaktif berbasis tanaman tropis di kawasan Asia Tenggara.

Analisis *Network Visualization*

Network visualization digunakan untuk memvisualisasikan hubungan dan kekuatan keterkaitan antaritem penelitian serta mengidentifikasi klaster yang mencerminkan struktur konseptual suatu bidang penelitian (Badareu *et al*., 2025). Hasil analisis *network visualization* menunjukkan bahwa penelitian mengenai nanoenkapsulasi kurkumin berkembang secara multidisiplin dan membentuk lima klaster utama yang saling berhubungan. Keberadaan 110 kata kunci dengan total *link strength* sebesar 21.604 menunjukkan tingginya tingkat keterkaitan antartopik penelitian dalam bidang ini. Nilai total *link strength* yang relatif besar mengindikasikan bahwa penelitian nanoenkapsulasi kurkumin tidak berkembang sebagai tema yang terpisah-pisah, melainkan membentuk suatu jaringan pengetahuan yang terintegrasi antara aspek formulasi, karakterisasi, aktivitas biologis, hingga aplikasi terapeutik.

Kata kunci *curcumin* muncul sebagai simpul (*node*) terbesar dalam jaringan, yang menunjukkan bahwa senyawa tersebut menjadi pusat perhatian dalam berbagai bidang penelitian nanoteknologi farmasi. Posisi sentral kata kunci *curcumin* yang terhubung dengan *drug carriers*, *drug delivery systems*, *nanoparticles*, dan *antineoplastic agents* menunjukkan bahwa fokus utama penelitian selama dua dekade terakhir adalah upaya meningkatkan efektivitas terapeutik kurkumin melalui pengembangan sistem penghantaran obat berbasis nanopartikel. Temuan ini sejalan dengan karakteristik kurkumin yang diketahui memiliki aktivitas farmakologis luas tetapi dibatasi oleh kelarutan air yang rendah, stabilitas yang buruk, serta bioavailabilitas oral yang rendah (Alkhursani *et al*., 2025).

Klaster pertama memperlihatkan dominasi tema bioavailabilitas dan penghantaran obat. Munculnya kata kunci seperti *bioavailability*, *drug delivery systems*, *liposomes*, *nanoencapsulation*, dan *nanocarriers* menunjukkan bahwa peningkatan ketersediaan hayati masih menjadi tantangan utama dalam pengembangan kurkumin sebagai kandidat obat. Kondisi ini mengindikasikan bahwa sebagian besar penelitian belum berfokus pada eksplorasi aktivitas biologis baru, melainkan masih berupaya mengatasi keterbatasan farmakokinetik kurkumin. Dengan demikian, pengembangan sistem penghantaran yang lebih efisien masih menjadi kebutuhan penting dalam penelitian masa depan.

Klaster kedua didominasi oleh kata kunci yang berkaitan dengan biomaterial dan aktivitas antimikroba, seperti *chitosan*, *hydrogels*, *hyaluronic acid*, *metal nanoparticles*, *wound healing*, dan *anti-bacterial agents*. Temuan ini menunjukkan bahwa aplikasi nanoenkapsulasi kurkumin tidak lagi terbatas pada terapi sistemik, tetapi telah berkembang menuju aplikasi topikal dan rekayasa jaringan. Menariknya, keberadaan kata kunci *wound healing* dan *anti-bacterial agents* mengindikasikan adanya pergeseran fokus penelitian dari bidang onkologi menuju pengembangan biomaterial multifungsi yang mampu memberikan efek antiinflamasi, antioksidan, dan antimikroba secara simultan.

Klaster ketiga berisi kata kunci yang berkaitan dengan karakterisasi formulasi nanopartikel, seperti *particle size*, *solubility*, *drug stability*, *hydrophobic and hydrophilic interactions*, serta berbagai metode karakterisasi instrumental.

Vol. 5, No. 1, Oktober 2026
DOI: 10.63004/snsmed.v5i1.1361

Dominasi kata kunci tersebut menunjukkan bahwa penelitian nanoenkapsulasi kurkumin masih sangat dipengaruhi oleh pendekatan formulasi dan optimasi teknologi. Hal ini dapat dipahami karena karakteristik fisikokimia nanopartikel sangat menentukan keberhasilan penghantaran kurkumin ke target biologis. Namun demikian, banyaknya penelitian yang berfokus pada optimasi formulasi juga mengindikasikan bahwa sebagian besar penelitian masih berada pada tahap pra-klinis dan laboratorium.

Klaster keempat menunjukkan hubungan kuat antara nanoenkapsulasi kurkumin dan terapi kanker. Kata kunci seperti *antineoplastic agents*, *apoptosis*, *breast cancer*, *cell proliferation*, *doxorubicin*, dan *paclitaxel* menunjukkan bahwa kanker merupakan aplikasi terapeutik yang paling banyak diteliti. Hubungan antara kurkumin dengan obat kemoterapi konvensional menunjukkan bahwa banyak penelitian mengembangkan pendekatan kombinasi terapi untuk meningkatkan efektivitas pengobatan sekaligus menurunkan efek samping obat sitotoksik. Keberadaan kata kunci *theranostic nanomedicine* juga menunjukkan bahwa penelitian mulai bergerak menuju sistem nano yang tidak hanya berfungsi sebagai penghantar obat, tetapi juga sebagai alat diagnosis dan pemantauan terapi.

Klaster kelima merupakan klaster terkecil yang terdiri atas kata kunci terkait polimer, seperti *polyethylene glycols*, *polyesters*, *polymers*, dan *micelles*. Meskipun jumlah kata kuncinya relatif sedikit, klaster ini memiliki peran penting karena polimer merupakan komponen utama dalam banyak sistem nanoenkapsulasi modern. Ukuran klaster yang kecil kemungkinan menunjukkan bahwa penelitian terkait material polimer telah menjadi teknologi pendukung yang matang sehingga tidak lagi menjadi fokus utama publikasi dibandingkan aplikasi terapeutiknya.

Secara keseluruhan, hasil *network visualization* menunjukkan bahwa penelitian nanoenkapsulasi kurkumin berkembang dari fokus awal pada optimasi formulasi menuju aplikasi terapeutik yang lebih luas, khususnya pada kanker, inflamasi, infeksi, dan penyakit neurodegeneratif. Meskipun demikian, dominasi kata kunci yang berkaitan dengan bioavailabilitas, karakterisasi nanopartikel, dan model hewan menunjukkan bahwa masih terdapat kesenjangan antara penelitian laboratorium dan implementasi klinis. Oleh karena itu, penelitian di masa mendatang perlu diarahkan pada studi translasi, uji klinis, serta evaluasi keamanan jangka panjang untuk mempercepat pemanfaatan nanoenkapsulasi kurkumin dalam praktik medis dan farmasi.

Analisis *Overlay Visualization*

Overlay visualization digunakan untuk menggambarkan perkembangan dan kebaruan suatu topik penelitian berdasarkan rata-rata tahun publikasi, sehingga memungkinkan identifikasi tema-tema yang sedang berkembang, baru muncul, maupun yang telah lama menjadi fokus penelitian dalam suatu bidang ilmu (Galeano-Barrera *et al.*, 2022). Hasil visualisasi menunjukkan adanya transformasi fokus penelitian nanoenkapsulasi kurkumin dari pengembangan sistem penghantaran obat konvensional menuju aplikasi biomedis yang lebih kompleks, spesifik, dan multidisiplin.

Pada fase awal perkembangan penelitian, kata kunci seperti *micelles*, *polyethylene glycols*, *polyglycolic acid*, dan *tissue distribution* cenderung muncul lebih dahulu dibandingkan kata kunci lainnya. Temuan ini mengindikasikan bahwa penelitian awal lebih berfokus pada upaya mengatasi kelemahan utama kurkumin, yaitu kelarutan yang rendah, stabilitas yang buruk, dan bioavailabilitas yang terbatas. Pada periode tersebut, berbagai sistem penghantaran berbasis polimer dan nanopartikel mulai dikembangkan untuk meningkatkan absorpsi serta distribusi kurkumin dalam tubuh. Selain itu, kemunculan kata kunci *doxorubicin*, *paclitaxel*, dan *xenograft model antitumor assay* pada periode awal menunjukkan bahwa aplikasi antikanker merupakan salah satu fokus utama penelitian nanoenkapsulasi kurkumin sejak awal perkembangannya. Hal ini sejalan dengan laporan Hu *et al.*, (2018), yang menunjukkan kemampuan kurkumin dalam menghambat proliferasi sel kanker melalui regulasi apoptosis, siklus sel, dan berbagai jalur pensinyalan molekuler.

Pada fase berikutnya, fokus penelitian bergeser menuju optimasi karakteristik sistem penghantaran obat. Dominasi kata kunci *drug carriers*, *drug delivery systems*, *drug liberation*, *solubility*, *bioavailability*, dan *liposomes* menunjukkan bahwa perhatian peneliti tidak lagi hanya tertuju pada aktivitas biologis kurkumin, tetapi juga pada efisiensi penghantaran senyawa tersebut ke target biologis. Posisi sentral kata kunci *curcumin*, *drug carriers*, dan *drug delivery systems* mengindikasikan bahwa tema ini menjadi fondasi utama perkembangan penelitian nanoenkapsulasi kurkumin. Menariknya, hasil *overlay visualization* menunjukkan bahwa arah penelitian terbaru tidak lagi terpusat pada aspek bioavailabilitas semata. Kata kunci dengan warna paling terang, seperti *silver*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, dan *biofilms*, menunjukkan meningkatnya minat terhadap pemanfaatan nanopartikel kurkumin

Vol. 5, No. 1, Oktober 2026
DOI: 10.63004/snsmed.v5i1.1361

sebagai agen antimikroba. Pergeseran ini mengindikasikan bahwa penelitian mulai mengeksplorasi kemampuan nanoenkapsulasi kurkumin dalam mengatasi resistensi mikroba dan pembentukan biofilm yang menjadi tantangan utama dalam terapi infeksi modern.

Selain itu, munculnya kata kunci *photochemotherapy* dan *photosensitizing agents* menunjukkan berkembangnya pendekatan terapi berbasis cahaya yang memanfaatkan nanopartikel kurkumin sebagai fotosensitiser. Tren ini relatif baru dibandingkan fokus penelitian sebelumnya dan mencerminkan integrasi antara nanoteknologi, fotomedisin, dan terapi kanker presisi. Kehadiran kata kunci tersebut menunjukkan bahwa penelitian nanoenkapsulasi kurkumin telah berkembang dari sekadar sistem penghantaran obat menjadi platform terapi multifungsi (*multifunctional therapeutic platform*). Kemunculan kata kunci *zein*, *wound healing*, dan *metal nanoparticles* pada periode terbaru juga menunjukkan peningkatan perhatian terhadap penggunaan biomaterial alami dan sistem penghantaran yang lebih biokompatibel. Zein sebagai protein jagung banyak digunakan dalam formulasi nanopartikel karena sifat biodegradabilitas dan keamanannya. Sementara itu, kombinasi kurkumin dengan nanopartikel logam seperti perak (*silver nanoparticles*) membuka peluang pengembangan sistem terapeutik dengan aktivitas antimikroba dan antiinflamasi yang lebih kuat.

Secara keseluruhan, hasil *overlay visualization* menunjukkan bahwa evolusi penelitian nanoenkapsulasi kurkumin dapat dibagi menjadi tiga fase utama. Fase pertama berfokus pada peningkatan stabilitas dan bioavailabilitas kurkumin melalui sistem penghantaran berbasis polimer. Fase kedua menitikberatkan pada optimasi karakteristik nanopartikel dan efisiensi penghantaran obat. Fase ketiga, yang merupakan fase terkini, mengarah pada pengembangan aplikasi terapeutik yang lebih spesifik seperti terapi antimikroba, penyembuhan luka, terapi fotodinamik, dan penggunaan biomaterial alami. Pergeseran tersebut menunjukkan bahwa bidang nanoenkapsulasi kurkumin telah berkembang menuju tahap yang lebih matang dan aplikatif, serta memiliki potensi besar untuk diterjemahkan ke dalam pengembangan produk farmasi dan kesehatan di masa depan.

Analisis *Density Visualization*

Analisis *density visualization* memberikan gambaran mengenai tingkat kematangan (*research maturity*) dan intensitas penelitian suatu topik berdasarkan kepadatan kemunculan serta keterkaitan antarkata kunci dalam peta jaringan. Visualisasi ini menampilkan konsentrasi topik penelitian melalui gradasi warna, di mana area dengan warna yang lebih cerah menunjukkan topik yang lebih sering diteliti, memiliki keterhubungan yang kuat dengan topik lain, dan menjadi fokus utama dalam bidang yang dikaji. Sebaliknya, area dengan warna yang lebih redup menunjukkan topik yang relatif kurang dieksplorasi sehingga berpotensi menjadi peluang penelitian pada masa mendatang. Dengan demikian, *density visualization* membantu mengidentifikasi *hotspot* penelitian sekaligus mengungkap tema-tema yang masih memerlukan pengembangan lebih lanjut (Fidaroin *et al.*, 2025).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kata kunci curcumin menempati pusat area dengan kepadatan tertinggi. Temuan ini menunjukkan bahwa seluruh perkembangan penelitian masih berfokus pada eksplorasi kurkumin sebagai senyawa bioaktif utama. Dominasi kata kunci ini dapat dipahami karena kurkumin memiliki berbagai aktivitas biologis yang telah banyak dilaporkan, termasuk sebagai antioksidan, antiinflamasi, antikanker, antimikroba, dan neuroprotektif. Namun demikian, keterbatasan sifat fisikokimia kurkumin, terutama kelarutan yang rendah dan bioavailabilitas yang buruk, mendorong berkembangnya berbagai teknologi nanoenkapsulasi.

Selain *curcumin*, kata kunci *drug carriers* dan *drug delivery systems* juga berada pada area dengan kepadatan yang sangat tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa penelitian nanoenkapsulasi kurkumin masih didominasi oleh paradigma *drug delivery*. Dengan kata lain, sebagian besar penelitian berupaya menjawab pertanyaan bagaimana menghantarkan kurkumin secara lebih efektif menuju target biologis tertentu. Temuan ini sejalan dengan posisi kedua kata kunci tersebut yang juga menjadi simpul sentral pada analisis *network visualization*.

Kepadatan tinggi pada kata kunci *antineoplastic agents, apoptosis, cell survival*, dan *drug liberation* menunjukkan bahwa aplikasi antikanker merupakan salah satu tema utama dalam penelitian nanoenkapsulasi kurkumin. Banyak penelitian memanfaatkan sistem nanopartikel untuk meningkatkan akumulasi kurkumin pada jaringan tumor, memperpanjang waktu sirkulasi dalam tubuh, serta meningkatkan efisiensi induksi apoptosis pada sel kanker. Dominasi kelompok kata kunci ini menunjukkan bahwa bidang onkologi masih menjadi tujuan aplikasi yang paling banyak dieksplorasi. Menariknya, kata kunci *chitosan* juga

Vol. 5, No. 1, Oktober 2026
DOI: 10.63004/snsmed.v5i1.1361

berada pada area dengan kepadatan yang relatif tinggi. Temuan ini mengindikasikan bahwa kitosan merupakan salah satu material nanoenkapsulasi yang paling banyak digunakan dalam penelitian kurkumin. Popularitas kitosan kemungkinan disebabkan oleh sifatnya yang biokompatibel, biodegradable, tidak toksik, serta memiliki kemampuan meningkatkan permeabilitas mukosa dan stabilitas senyawa bioaktif (Ul-Islam *et al*., 2024). Oleh karena itu, kitosan dapat dianggap sebagai salah satu material inti dalam perkembangan teknologi nanoenkapsulasi kurkumin.

Sebaliknya, sejumlah kata kunci seperti *biofilms, photochemotherapy, photosensitizing agents, silver, gold, Escherichia coli*, dan *Staphylococcus aureus* berada pada area dengan kepadatan yang rendah. Secara bibliometrik, kondisi ini menunjukkan bahwa tema-tema tersebut masih belum menjadi arus utama (*mainstream topics*) dalam penelitian nanoenkapsulasi kurkumin. Namun, rendahnya kepadatan tidak selalu menunjukkan rendahnya pentingnya topik tersebut. Sebaliknya, area dengan kepadatan rendah sering kali merepresentasikan bidang penelitian yang masih baru (*emerging topics*) dan memiliki peluang pengembangan yang besar di masa depan (Guo *et al*., 2025).

Temuan ini menjadi semakin menarik apabila dibandingkan dengan hasil *overlay visualization*. Pada analisis *overlay* sebelumnya, kata kunci seperti *silver, biofilms, Escherichia coli, Staphylococcus aureus*, dan *photochemotherapy* justru termasuk kelompok kata kunci yang muncul pada periode penelitian yang lebih baru. Dengan demikian, kombinasi hasil *overlay visualization* dan *density visualization* menunjukkan bahwa topik-topik tersebut merupakan tren penelitian yang sedang berkembang tetapi belum banyak dieksplorasi. Dalam bibliometrik, kondisi seperti ini sering dianggap sebagai indikator adanya *research gap* dan peluang penelitian yang potensial (Güngör, *et al*., 2026).

Dari perspektif pengembangan ilmu, hasil *density visualization* menunjukkan bahwa bidang nanoenkapsulasi kurkumin saat ini telah mencapai tingkat kematangan yang tinggi pada aspek *drug delivery*, bioavailabilitas, dan terapi kanker. Sebaliknya, aplikasi yang berkaitan dengan antimikroba, penyembuhan luka, terapi fotodinamik, biofilm, serta nanopartikel logam masih berada pada tahap perkembangan awal. Oleh karena itu, penelitian di masa depan berpotensi lebih diarahkan pada integrasi sistem nanoenkapsulasi kurkumin dengan biomaterial fungsional, nanopartikel logam, maupun teknologi terapi presisi untuk menghasilkan platform terapeutik yang lebih efektif dan multifungsi.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Data bibliografi hanya diperoleh dari database PubMed sehingga publikasi yang terindeks pada Scopus, Web of Science, atau database lainnya tidak tercakup dalam analisis. Selain itu, hasil penelitian sangat dipengaruhi oleh strategi pencarian dan kata kunci yang digunakan sehingga kemungkinan masih terdapat publikasi relevan yang tidak teridentifikasi. Meskipun demikian, PubMed merupakan salah satu basis data utama di bidang biomedis dan kesehatan sehingga hasil penelitian ini tetap mampu memberikan gambaran umum mengenai perkembangan penelitian nanoenkapsulasi kurkumin.

SIMPULAN

Analisis bibliometrik terhadap 1.483 artikel yang terindeks dalam database PubMed periode 2000–2025 menunjukkan bahwa penelitian nanoenkapsulasi kurkumin berkembang pesat dengan laju pertumbuhan publikasi tahunan sebesar 17,38%. Produktivitas penelitian didominasi oleh negara-negara Asia, terutama China, India, dan Iran. Hasil *network visualization* menunjukkan bahwa tema utama penelitian berpusat pada *curcumin*, *drug carriers*, *drug delivery systems*, *antineoplastic agents*, dan *chitosan*, yang mencerminkan fokus pada peningkatan bioavailabilitas dan efektivitas terapeutik kurkumin.

Overlay visualization mengindikasikan adanya pergeseran fokus penelitian dari pengembangan sistem penghantaran dan peningkatan bioavailabilitas menuju aplikasi yang lebih spesifik, seperti antimikroba, biofilm, penyembuhan luka, terapi fotodinamik, biomaterial, dan nanopartikel logam. Sementara itu, *density visualization* menunjukkan bahwa topik *drug delivery*, bioavailabilitas, dan terapi kanker telah mencapai tingkat kematangan penelitian yang tinggi, sedangkan tema antimikroba, biofilm, *photochemotherapy*, dan nanopartikel logam masih memiliki peluang pengembangan yang besar.

Secara keseluruhan, nanoenkapsulasi merupakan strategi yang menjanjikan untuk meningkatkan pemanfaatan kurkumin dalam bidang farmasi, kesehatan, dan pangan fungsional, serta berpotensi mendukung pengembangan sistem penghantaran obat dan aplikasi biomedis yang lebih inovatif di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

Alkhursani, S. A., Darwesh, R., Madani, M.,

Mahmoud, S. A., Haque, M. A., Alharthi, S., Al-Shaalan, N. H., & Ghobashy, M. M. (2025). Enhancing the solubility and pH stability of curcumin through polyvinylpyrrolidone conjugation for improving their bioavailability and use in fruit preservation. *Food and Bioproducts Processing*, *154*. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2025.09.017

Badareu, G., Cârstina, S., Militaru, F., Siminică, M. I., & Cîrciumaru, D. (2025). What Is the Current Status of Research on the Impact of Digitalization in Medicine? A Bibliometric Analysis. *Healthcare (Switzerland)*, *13*(2). https://doi.org/10.3390/healthcare13020093

Chen, Y., Lu, Y., Lee, R. J., & Xiang, G. (2020). Nano encapsulated curcumin: And its potential for biomedical applications. In *International Journal of Nanomedicine* (Vol. 15). https://doi.org/10.2147/IJN.S210320

Den Hartogh, D. J., Gabriel, A., & Tsiani, E. (2020). Antidiabetic properties of curcumin ii: Evidence from in vivo studies. In *Nutrients* (Vol. 12, Issue 1). https://doi.org/10.3390/nu12010058

El-Saadony, M. T., Saad, A. M., Mohammed, D. M., Alkafaas, S. S., Ghosh, S., Negm, S. H., Salem, H. M., Fahmy, M. A., Mosa, W. F. A., Ibrahim, E. H., AbuQamar, S. F., & El-Tarabily, K. A. (2025). Curcumin, an active component of turmeric: biological activities, nutritional aspects, immunological, bioavailability, and human health benefits - a comprehensive review. In *Frontiers in Immunology* (Vol. 16). https://doi.org/10.3389/fimmu.2025.1603018

Fidaroin, A., Al, M., Analisis, M., Menggunakan, B., Ilm, E. J., Sains, M., Naja, A. F., & Farabi, M. Al. (2025). *REVIEW ARTICLE • OPEN ACCESS Tren Teknologi Digital pada Pendidikan Matematika : Analisis Bibliometrik Menggunakan VOSViewer Tren Teknologi Digital pada Pendidikan Matematika : Analisis Bibliometrik Menggunakan VOSViewer*. *13*(1), 60–67.

Funghetto-Ribeiro, A. P., Pacheco, C. de O., Teixeira, F. E. G., Ferreira, J., Fernandes, E., Guerra, G., Johansson Azeredo, F., & Haas, S. E. (2025). Improved exposure of curcumin-loaded nanocapsules: drug quantification in LPS-induced Drosophila melanogaster and pharmacokinetics in Wistar rats. *Frontiers in Pharmacology*, *16*. https://doi.org/10.3389/fphar.2025.1688992

Galeano-Barrera, C. J., Arango Ospina, M. E., Mendoza García, E. M., Rico-Bautista, D., & Romero-Riaño, E. (2022). Exploring the Evolution of the Topics and Research Fields of Territorial Development from a Comprehensive Bibliometric Analysis. In *Sustainability* (Vol. 14, Issue 11, p. 6515). https://doi.org/10.3390/su14116515

Gao, Y., Jin, B., Shen, W., Sinko, P. J., Xie, X., Zhang, H., & Jia, L. (2016). China and the United States-Global partners, competitors and collaborators in nanotechnology development. In *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine* (Vol. 12, Issue 1). https://doi.org/10.1016/j.nano.2015.09.007

Górnicka, J., Mika, M., Wróblewska, O., Siudem, P., & Paradowska, K. (2023). Methods to Improve the Solubility of Curcumin from Turmeric. In *Life* (Vol. 13, Issue 1). https://doi.org/10.3390/life13010207

Güngör, B., & Taşan, A. S. (2026). Sustainable Supply Chains: Bridging Theory and Practice Through Hybrid Analysis. In *Sustainability* (Vol. 18, Issue 11, p. 5735). https://doi.org/10.3390/su18115735

Guo, X., Lei, Q., Li, X., Chen, J., & Yi, C. (2025). A Visualized Analysis of Research Hotspots and Trends on the Ecological Impact of Volatile Organic Compounds. *Atmosphere*, *16*(8). https://doi.org/10.3390/atmos16080900

Gupta, T., Singh, J., Kaur, S., Sandhu, S., Singh, G., & Kaur, I. P. (2020). Enhancing Bioavailability and Stability of Curcumin Using Solid Lipid Nanoparticles (CLEN): A Covenant for Its Effectiveness. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, *8*. https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00879

Hafez Ghoran, S., Calcaterra, A., Abbasi, M., Taktaz, F., Nieselt, K., & Babaei, E. (2022). Curcumin-Based Nanoformulations: A Promising Adjuvant towards Cancer Treatment. In *Molecules* (Vol. 27, Issue 16). https://doi.org/10.3390/molecules27165236

Hewlings, S. J., & Kalman, D. S. (2017). Curcumin: A review of its effects on human health. In *Foods* (Vol. 6, Issue 10). https://doi.org/10.3390/foods6100092

Hoang, A. D. (2025). Evaluating Bibliometrics Reviews: A Practical Guide for Peer Review and Critical Reading. In *Evaluation Review* (Vol. 49, Issue 6). https://doi.org/10.1177/0193841X251336839

Hu, S., Xu, Y., Meng, L., Huang, L., & Sun, H. (2018). Curcumin inhibits proliferation and promotes apoptosis of breast cancer cells. *Experimental and Therapeutic Medicine*, *16*(2). https://doi.org/10.3892/etm.2018.6345

Lenoir, T., & Herron, P. (2009). Tracking the Current Rise of Chinese Pharmaceutical Bionanotechnology. *Journal of Biomedical Discovery and Collaboration*, *4*. https://doi.org/10.5210/disco.v4i0.2491

Luz, D. dos A. W., de Santi Rampazzo, A. P., Borges, S. C., Neves, C. Q., Santos, P. D. de F., Buttow, N. C., Pires, C., de Freitas, R. A., Amado, C. A. B., Gonçalves, O. H., & Natali, M. R. M. (2023). Nanoencapsulation of Curcuma longa L. extract for the treatment of experimental colitis. *Food Bioscience*, *55*. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103052

Makkizadeh, F., & Ebrahimi, F. (2022). Theme trends and knowledge structure on health communication: Bibliometric analysis in PubMed database. *Informatics in Medicine Unlocked*, *32*. https://doi.org/10.1016/j.imu.2022.101033

Patra, J. K., Das, G., Fraceto, L. F., Campos, E. V. R., Rodriguez-Torres, M. D. P., Acosta-Torres, L. S., Diaz-Torres, L. A., Grillo, R., Swamy, M. K., Sharma, S., Habtemariam, S., & Shin, H. S. (2018). Nano based drug delivery systems: Recent developments and future prospects. In *Journal of Nanobiotechnology* (Vol. 16, Issue 1). https://doi.org/10.1186/s12951-018-0392-8

Pitic, D. E., Popovici, R. A., Ille, C. E., Talpoş-Niculescu, I. C., Chevereşan, A., Pop, D., Dănilă, A. I., Muntean, E. D., Boantă, I. D., Kis, A., & Stroia, C. (2026). Curcumin-Based Nanoformulations for Oral Health: Mechanistic Insights, Antimicrobial Efficacy, and Future Clinical Perspectives. *Biomedicines*, *14*(4), 1–54. https://doi.org/10.3390/biomedicines14040815

Prasad, S., Tyagi, A. K., & Aggarwal, B. B. (2014). Recent developments in delivery, bioavailability, absorption and metabolism of curcumin: The golden pigment from golden spice. In *Cancer Research and Treatment* (Vol. 46, Issue 1). https://doi.org/10.4143/crt.2014.46.1.2

Savall, A. S. P., de Mello, J. D., Fidelis, E. M., Comis-Neto, A. A., Nepomuceno, M. R., Pacheco, C. de O., Haas, S. E., & Pinton, S. (2024). Nanoencapsulated Curcumin: Enhanced Efficacy in Reversing Memory Loss in An Alzheimer Disease Model. *Brain Sciences*, *14*(2). https://doi.org/10.3390/brainsci14020130

Sedghi, S., Heshajin, S. G., & Mousakhani, G. (2023). Citation Analysis and Mapping of Iranian's Stem Cell Research Output. *Medical Journal of the Islamic Republic of Iran*, *37*(1). https://doi.org/10.47176/mjiri.37.33

Sharifi-Rad, J., Rayess, Y. El, Rizk, A. A., Sadaka, C., Zgheib, R., Zam, W., Sestito, S., Rapposelli, S., Neffe-Skocińska, K., Zielińska, D., Salehi, B., Setzer, W. N., Dosoky, N. S., Taheri, Y., El Beyrouthy, M., Martorell, M., Ostrander, E. A., Suleria, H. A. R., Cho, W. C., … Martins, N. (2020). Turmeric and Its Major Compound Curcumin on Health: Bioactive Effects and Safety Profiles for Food, Pharmaceutical, Biotechnological and Medicinal Applications. In *Frontiers in Pharmacology* (Vol. 11). https://doi.org/10.3389/fphar.2020.01021

Smail, S. W., Bergsten, P., Taha, K. O., Yashooa, R. K., Hawezy, D. J., Abbas, M. A., & Shekha, M. S. (2025). Curcumin: biochemistry, pharmacology, advanced drug delivery systems, and its epigenetic role in combating cancer. *Frontiers in Pharmacology*, *16*, 1695200. https://doi.org/10.3389/fphar.2025.1695200

Sohail, A. (2026). Bibliometric analysis: a systematic review of methods, tools, and databases with a methodical approach and a case study on photovoltaic cooling research. *Energy Storage and Saving*. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enss.2025.06.009

Sohn, S.-I., Priya, A., Balasubramaniam, B., Muthuramalingam, P., Sivasankar, C., Selvaraj, A., Valliammai, A., Jothi, R., & Pandian, S. (2021). Biomedical applications and bioavailability of curcumin—an updated overview. *Pharmaceutics*, *13*(12). https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13122102

Sun, Q., Lv, M., & Li, Y. (2024). Nanotechnology-based drug delivery systems for curcumin and its derivatives in the treatment of cardiovascular diseases. In *Journal of Functional Foods* (Vol. 122). https://doi.org/10.1016/j.jff.2024.106476

Ul-Islam, M., Alabbosh, K. F., Manan, S., Khan, S., Ahmad, F., & Ullah, M. W. (2024). Chitosan-

based nanostructured biomaterials: Synthesis, properties, and biomedical applications. In *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research* (Vol. 7, Issue 1). https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2023.07.002

Wang, Z., Zhong, W., Zhao, W., Zhou, Q., Wang, Y., Zhang, B., & Lin, Z. (2026). *Turmeric : A Comprehensive Review of Its Botany , Traditional Uses , Phytochemistry , and Mechanisms as a Functional Food*. 1–30.

Yaikwawong, M., Jansarikit, L., Jirawatnotai, S., & Chuengsamarn, S. (2025). Curcumin for Inflammation Control in Individuals with Type 2 Diabetes Mellitus and Metabolic Dysfunction-Associated Steatotic Liver Disease: A Randomized Controlled Trial. *Nutrients* , *17*(12). https://doi.org/10.3390/nu17121972

Yallapu, M. M., Nagesh, P. K. B., Jaggi, M., & Chauhan, S. C. (2015). Therapeutic Applications of Curcumin Nanoformulations. *AAPS Journal*, *17*(6), 1341–1356. https://doi.org/10.1208/s12248-015-9811-z

Yan, Y., Kulsoom, Sun, Y., Li, Y., Wang, Z., Xue, L., & Wang, F. (2025). Advancing cancer therapy: Nanomaterial-based encapsulation strategies for enhanced delivery and efficacy of curcumin. In *Materials Today Bio* (Vol. 33). https://doi.org/10.1016/j.mtbio.2025.101963

Yeh, H. Y., Chang, H. T., Chen, T. J., Chou, L. F., & Hwang, S. J. (2021). Research on veterans: A PubMed-based bibliometric analysis from 1989 to 2018. *Journal of the Chinese Medical Association*, *84*(1). https://doi.org/10.1097/JCMA.0000000000000421

Yeo, S., Kim, M. J., Shim, Y. K., Yoon, I., & Lee, W. K. (2022). Solid Lipid Nanoparticles of Curcumin Designed for Enhanced Bioavailability and Anticancer Efficiency. *ACS Omega*, *7*(40). https://doi.org/10.1021/acsomega.2c04407

Zafar, A., Lahori, D., Namit, A. F., Paxton, Z., Ratna, N., Thornton, D., & Ramana, K. V. (2025). Curcumin in Inflammatory Complications: Therapeutic Applications and Clinical Evidence. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 26, Issue 19). https://doi.org/10.3390/ijms26199366