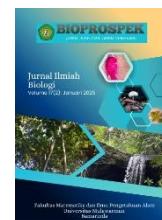




Bioprospek

<https://fmipa.unmul.ac.id/jurnal/index/Bioprospek>



DUA DEKADE NANOKITOSAN DI BIDANG KESEHATAN: SEBUAH KAJIAN BIBLIOMETRIK TAHUN 2004-2024

Rudianto Rudianto¹, Eko Kusumawati^{1*}

1. Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mulawarman, Jl. Barong Tongkok No 4, Kota Samarinda, Provinsi Kalimantan Timur, Indonesia – 75123.

INFO ARTIKEL

Disubmit 26 Oktober 2025
Diterima 25 November 2025
Terbit Online 4 Desember 2025

Kata kunci: Kesehatan, kitosan, nanokitosan, nanoteknologi

ABSTRAK

Berbagai kemajuan nanoteknologi dalam dua dekade terakhir telah mendorong lonjakan riset nanokitosan, bentuk nano dari kitosan yang biokompatibel, biodegradable, dan memiliki aktivitas antimikroba untuk keperluan biomedis dan farmasi. Studi ini menyajikan kajian bibliometrik 20 tahun terakhir mengenai nanokitosan di bidang kesehatan. Data bibliografis dikumpulkan dari basis data ilmiah internasional utama dan dianalisis menggunakan pendekatan bibliometrix serta pemetaan jaringan untuk mengeksplorasi dinamika publikasi, jenis dokumen, dokumen paling berpengaruh, serta peta kepadatan tema. Indikator yang dikaji meliputi jenis dokumen, tren publikasi tahunan, serta dokumen paling berpengaruh. Hasil menunjukkan peningkatan publikasi yang konsisten dengan fokus tema yang mengerucut pada sistem penghantaran obat (termasuk kemoterapi dan pengantaran mukosal), agen antimikroba dan antibiofilm, pembawa gen, serta aplikasi rekayasa jaringan dan perawatan luka. Dokumen paling sitasional umumnya mengulas modifikasi kimia/fisik, strategi enkapsulasi, serta efikasi-keamanan *in vitro/in vivo*. Temuan ini menyediakan peta komprehensif perkembangan ilmiah nanokitosan, mengidentifikasi area prioritas, dan memberi arah menuju implementasi klinis yang lebih aman, efektif, dan berkelanjutan.

*Email Corresponding Author: eko.kusumawati11@fmipa.unmul.ac.id

1. PENDAHULUAN

Penggunaan nanoteknologi dalam bidang kesehatan telah mengalami kemajuan pesat dalam beberapa dekade terakhir. Salah satu nanomaterial yang mendapatkan perhatian signifikan dari peneliti adalah nanokitosan, yaitu bentuk nano dari kitosan. Kitosan merupakan polimer alami yang diperoleh melalui proses deasetilasi kitin, yang banyak ditemukan pada eksoskeleton krustasea, serangga, serta dinding sel fungi. Kitosan memiliki sifat biokompatibel, biodegradable, dan aktivitas antimikroba, yang membuatnya sangat potensial untuk aplikasi di bidang biomedis dan farmasi. Seiring dengan perkembangan teknologi nanopartikel, nanokitosan menawarkan berbagai keunggulan dibandingkan dengan kitosan dalam bentuk konvensional. Partikel berukuran nano ini memiliki rasio luas permukaan terhadap volume yang lebih tinggi, sehingga memungkinkan peningkatan efisiensi dalam pengiriman obat, peningkatan bioaktivitas, serta pengurangan efek samping. Dengan sifat-sifat tersebut, nanokitosan telah menjadi subjek utama penelitian untuk berbagai aplikasi medis, termasuk dalam sistem penghantaran obat, agen antimikroba, pembawa gen, serta aplikasi dalam regenerasi jaringan dan perawatan luka (Malik *et al.*, 2023; Sharifi-Rad *et al.*, 2021).

Kemampuan nanokitosan dalam meningkatkan efisiensi sistem penghantaran obat menjadi salah satu aspek penting dalam berbagai studi terkait. Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa nanokitosan mampu meningkatkan stabilitas dan bioavailabilitas obat, terutama obat-obatan yang memiliki kelarutan rendah dalam air. Selain itu, nanokitosan memiliki afinitas yang tinggi terhadap sel tertentu, memungkinkan pengiriman obat secara spesifik ke sel target, sehingga meningkatkan efektivitas terapi sekaligus meminimalkan dampak negatif terhadap jaringan sehat. Hal ini sangat relevan dalam konteks terapi kanker, di mana selektivitas pengiriman obat menjadi faktor krusial untuk mengurangi efek samping (Dong *et al.*, 2024; Jafernik *et al.*, 2023; Mikušová & Mikuš, 2021). Nanokitosan juga menunjukkan potensi besar dalam aplikasi lain seperti antimikroba. Pada skala nano, sifat antimikroba kitosan diperkuat, membuatnya efektif sebagai bahan untuk pembalut luka dan implan medis. Mekanisme kerjanya melibatkan interaksi langsung dengan dinding sel mikroorganisme, yang menyebabkan kerusakan struktural dan akhirnya kematian mikroba. Aplikasi ini sangat penting dalam upaya pencegahan infeksi pada luka terbuka atau penggunaan implan medis (Chandrasekaran *et al.*, 2020; Divya *et al.*, 2017; Jha & Mayanovic, 2023).

Tidak hanya terbatas pada pengiriman obat konvensional, nanokitosan juga menunjukkan potensi besar dalam pengembangan sistem penghantaran vaksin yang lebih efisien. Dalam beberapa tahun terakhir, kemajuan dalam teknologi nano telah memungkinkan pengembangan formulasi obat dan vaksin yang lebih inovatif. Nanokitosan, dengan muatan positifnya, mampu berinteraksi dengan membran sel yang bermuatan negatif, sehingga meningkatkan efisiensi dalam pengiriman molekul obat atau gen ke dalam sel. Selain itu, nanopartikel kitosan juga memiliki kemampuan untuk melewati penghalang biologis, seperti barier darah otak atau *blood brain barrier* (BBB), yang merupakan tantangan utama dalam terapi penyakit neurodegeneratif (Alimardani *et al.*, 2023; Hou *et al.*, 2019; Kim *et al.*, 2021; Lu *et al.*, 2024). Hal ini menunjukkan bahwa aplikasi nanokitosan tidak hanya terbatas pada terapi kanker, tetapi juga dapat diterapkan pada berbagai kondisi penyakit lainnya. Selain untuk pengiriman obat, nanokitosan juga dapat digunakan sebagai zat tambahan dalam vaksin. Beberapa studi menunjukkan bahwa nanokitosan mampu meningkatkan respon imun tubuh terhadap antigen, sehingga memperkuat efektivitas vaksin. Aplikasi ini sangat relevan dalam pengembangan vaksin untuk penyakit menular, di mana respon imun yang kuat diperlukan untuk mencegah penyebaran penyakit (Cao *et al.*, 2024; Park *et al.*, 2023; Rana *et al.*, 2023; Sun *et al.*, 2024; Thakur *et al.*, 2020).

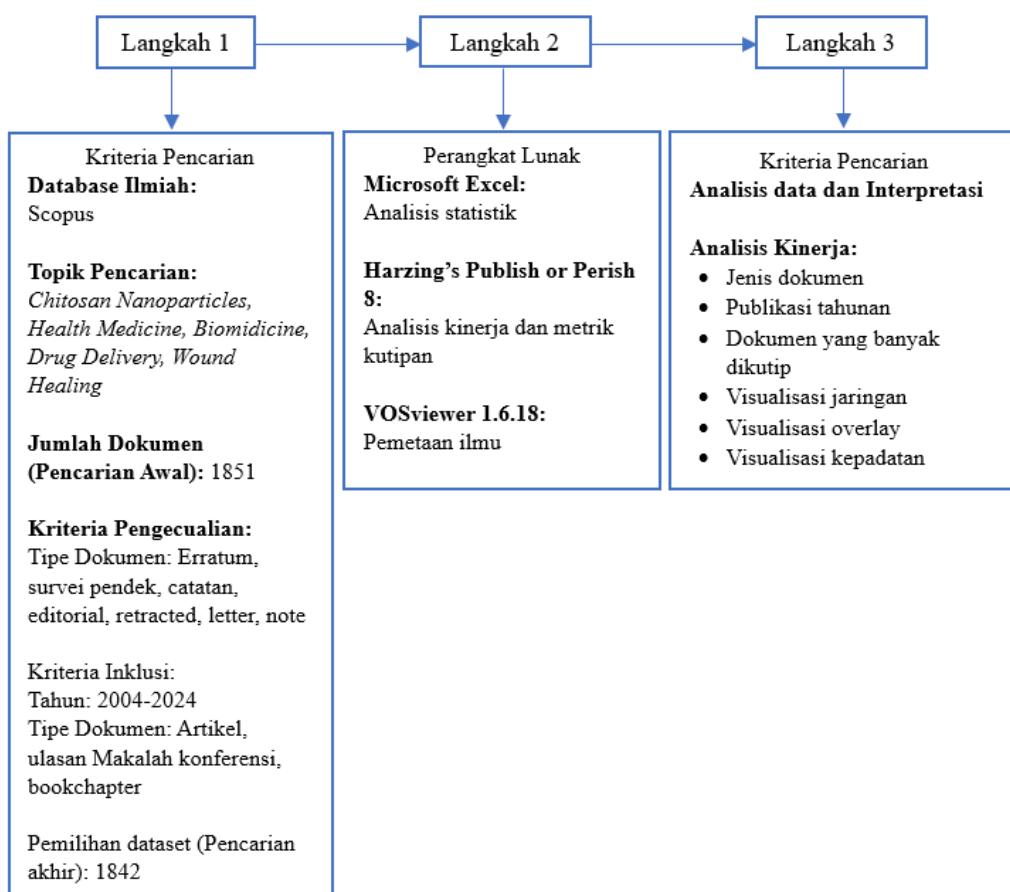
Meskipun berbagai keunggulan telah ditunjukkan oleh nanokitosan, terdapat beberapa tantangan signifikan yang perlu diatasi sebelum penggunaannya dapat diadopsi secara luas dalam praktik klinis. Salah satu tantangan utama adalah biaya produksi yang tinggi dan stabilitas nanopartikel dalam jangka panjang. Proses sintesis nanokitosan yang efisien, ekonomis, dan berkelanjutan menjadi fokus utama dalam penelitian terkini. Selain itu, stabilitas nanopartikel dalam lingkungan biologis juga menjadi perhatian penting, terutama dalam konteks keamanan dan efektivitasnya di dalam tubuh manusia. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengatasi masalah ini dan memastikan bahwa nanokitosan dapat diaplikasikan secara aman dalam terapi klinis (Baig *et al.*, 2021; Boominathan & Sivaramakrishna, 2021; Yu *et al.*, 2021). Terlepas dari tantangan tersebut, prospek nanokitosan di masa depan tetap sangat menjanjikan. Kombinasi nanokitosan dengan teknologi nano lainnya, seperti

nanopartikel logam atau nanotubes karbon, membuka berbagai kemungkinan baru dalam pengembangan terapi yang lebih canggih dan efektif. Oleh karena itu, inovasi dan penelitian yang terus berkembang di bidang ini akan memainkan peran penting dalam mewujudkan potensi penuh nanokitosan di sektor kesehatan (Murjani *et al.*, 2022; Patel *et al.*, 2024; Shahalaei *et al.*, 2024).

Oleh karena itu, nanokitosan memiliki potensi besar untuk merevolusi berbagai aspek di bidang kesehatan. Dengan adanya tinjauan bibliometrik, para peneliti dapat lebih memahami arah dan perkembangan penelitian di bidang ini, serta menemukan peluang untuk penelitian lebih lanjut. Meskipun berbagai tantangan masih ada, seperti biaya produksi dan stabilitas nanopartikel, penelitian yang terus berkembang diharapkan mampu mengatasi kendala ini dan membuka jalan bagi adopsi nanokitosan dalam aplikasi klinis. Dengan demikian, nanokitosan berpotensi menjadi inovasi kunci dalam pengembangan terapi medis yang lebih efektif dan aman di masa depan.

2. MATERI DAN METODE

Untuk melakukan analisis bibliometrik terkait nanokitosan di bidang kesehatan. Pencarian literatur ilmiah dilakukan menggunakan basis data Scopus, yang diakui secara global sebagai sumber terpercaya untuk materi-materi berkualitas tinggi yang telah melalui proses tinjauan sejawat. Basis data Scopus juga memiliki cakupan terluas serta catatan sitasi paling lengkap di antara seluruh basis data ilmiah. Gambar dibawah ini menggambarkan proses analisis bibliometrik nanokitosan dibidang kesehatan.



Gambar 1. Proses analisis bibliometrik nanokitosan di Bidang Kesehatan

Pada langkah pertama, data diperoleh dari basis data Scopus pada 27 September 2024. Kueri berikut diterapkan: TITLE-ABS-KEY ("chitosan nanoparticles" AND ("health" OR "medicine" OR "biomedicine" OR "drug delivery" OR "wound healing")). Dari tahun 2004 hingga 2024, sebanyak 1851 dokumen ditampilkan. Namun, erratum, survei pendek, catatan, editorial, dan dokumen yang ditarik kembali dikecualikan dari analisis ini. Sebanyak 1842 artikel, ulasan, makalah konferensi, *book chapter*, dan buku dimasukkan dalam analisis bibliometrik ini.

Pada langkah kedua, data diunduh dari basis data Scopus untuk analisis statistik indikator bibliometrik. Pada langkah ketiga, analisis bibliometrik lebih lanjut dilakukan dengan Harzing's Publish or Perish 8 dan VOSviewer versi 1.6.18. Harzing's Publish or Perish digunakan untuk analisis kinerja dengan metrik sitasi untuk jenis dokumen, publikasi tahunan dan dokumen yang paling sering disitas. VOSviewer digunakan untuk pemetaan ilmiah, yang memetakan visualisasi jaringan, visualisasi overlay dan visualisasi kepadatan berdasarkan kata kunci.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Jenis Dokumen

Tabel 1 menyajikan distribusi jenis dokumen yang dianalisis dalam kajian bibliometrik terkait nanokitosan di bidang kesehatan. Dari total 1842 dokumen yang dianalisis, artikel penelitian mendominasi dengan jumlah 1600 dokumen, yang mencakup 86,86% dari keseluruhan dokumen. Dominasi artikel penelitian ini menunjukkan bahwa sebagian besar penelitian tentang nanokitosan dipublikasikan dalam bentuk artikel jurnal, yang merupakan format utama untuk diseminasi hasil penelitian ilmiah. Artikel penelitian biasanya melalui proses tinjauan sejawat yang ketat, sehingga memberikan kredibilitas tinggi terhadap temuan yang dipublikasikan. Hal ini mencerminkan tingginya aktivitas penelitian dan diseminasi ilmu pengetahuan di bidang nanokitosan, serta pentingnya artikel jurnal sebagai media utama untuk berbagi hasil penelitian terbaru dan inovatif.

Tabel 1. Distribusi jenis dokumen yang dianalisis dalam kajian bibliometrik terkait nanokitosan di bidang kesehatan (Tahun 2004-2024)

Jenis Dokumen	Total Dokumen	Percentase (%)
Artikel	1600	86,86
Ulasan	190	10,31
Makalah konferensi	37	2,01
<i>Book chapter</i>	14	0,76
Buku	1	0,06
Total	1842	100

Selain artikel penelitian, ulasan juga memiliki kontribusi signifikan dengan jumlah 190 dokumen atau 10,31% dari total dokumen. Ulasan memberikan gambaran komprehensif tentang perkembangan terbaru dalam bidang nanokitosan dan sering kali menjadi referensi penting bagi peneliti baru yang ingin memahami tren dan temuan utama dalam bidang ini. Ulasan ini berfungsi sebagai sintesis dari berbagai penelitian yang ada, memberikan konteks dan analisis kritis yang membantu mengarahkan penelitian lebih lanjut.

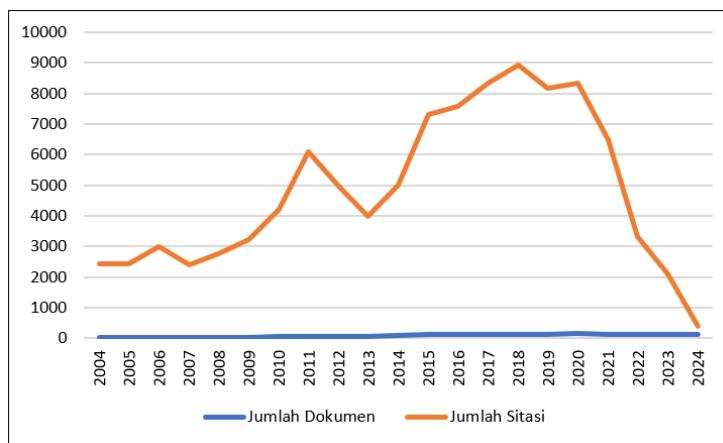
Makalah konferensi, meskipun jumlahnya lebih sedikit, yaitu 37 dokumen atau 2,01%, tetap penting karena sering kali menjadi tempat pertama kali hasil penelitian baru dipresentasikan dan didiskusikan di antara para ahli. Makalah konferensi memungkinkan peneliti untuk mendapatkan umpan balik awal dari komunitas ilmiah, yang dapat digunakan untuk memperbaiki dan memperkuat penelitian sebelum dipublikasikan dalam bentuk artikel jurnal.

Book chapter dan buku masing-masing menyumbang 14 dokumen (0,76%) dan 1 dokumen (0,06%). Meskipun kontribusinya kecil, *book chapter* dan buku sering kali memberikan pembahasan yang lebih mendalam dan komprehensif tentang topik tertentu, yang dapat menjadi sumber referensi yang berharga bagi peneliti dan praktisi di bidang kesehatan. Buku dan *book chapter* biasanya mencakup tinjauan literatur yang luas dan analisis mendalam, yang dapat membantu dalam pengembangan teori dan metodologi baru.

Secara keseluruhan, distribusi jenis dokumen ini mencerminkan diversifikasi format publikasi dalam penelitian nanokitosan, dengan artikel penelitian sebagai format dominan yang menunjukkan tingginya aktivitas penelitian dan diseminasi ilmu pengetahuan di bidang ini. Dominasi artikel penelitian dan ulasan menunjukkan bahwa komunitas ilmiah sangat aktif dalam mengeksplorasi dan mengembangkan aplikasi nanokitosan di bidang kesehatan, sementara makalah konferensi, *book chapter*, dan buku memberikan kontribusi penting dalam memperkaya literatur dan menyediakan platform untuk diskusi dan pengembangan lebih lanjut.

Publikasi Tahunan

Dari tahun 2004 hingga 2024, terdapat peningkatan yang signifikan dalam jumlah publikasi terkait nanokitosan di bidang kesehatan. Peningkatan ini mencerminkan minat yang semakin besar dari peneliti terhadap potensi aplikasi nanokitosan. Tahun 2020 menunjukkan jumlah publikasi tertinggi dengan 157 dokumen. Hal ini mungkin disebabkan oleh peningkatan penelitian terkait aplikasi nanoteknologi dalam respons terhadap pandemi COVID-19. Jumlah sitasi juga menunjukkan tren yang meningkat, dengan puncak pada tahun 2018 dan 2019. Ini menunjukkan bahwa penelitian terkait nanokitosan tidak hanya meningkat dalam jumlah tetapi juga dalam pengaruhnya terhadap peneliti.



Gambar 2. Total dokumen dan total sitasi dokumen publikasi yang dianalisis dalam kajian bibliometrik terkait nanokitosan di bidang kesehatan

Secara keseluruhan, data dari Gambar 2 menunjukkan bahwa penelitian tentang nanokitosan di bidang kesehatan telah berkembang pesat dalam dua dekade terakhir. Peningkatan jumlah publikasi dan sitasi mencerminkan tingginya aktivitas penelitian dan diseminasi ilmu pengetahuan di bidang ini. Tren ini menunjukkan bahwa nanokitosan telah menjadi fokus utama dalam penelitian nanoteknologi, dengan aplikasi yang luas dalam penghantaran obat, aplikasi antimikroba, dan pengembangan vaksin. Peningkatan ini juga mencerminkan kolaborasi yang semakin erat antara peneliti dan institusi di seluruh dunia, yang berkontribusi pada kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam bidang nanokitosan.

Dokumen yang Banyak Dikutip

Daftar dokumen yang paling banyak dikutip dalam penelitian terkait nanokitosan di bidang kesehatan disajikan pada Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Dokumen yang paling banyak dikutip dalam penelitian terkait nanokitosan di bidang kesehatan (Tahun 2004-2024)

Pengarang	Judul	Tahun	Kutipan
(Mohammed <i>et al.</i>)	An overview of chitosan nanoparticles and its application in non-parenteral drug delivery	2017	1005
(Cheung <i>et al.</i>)	Chitosan: An update on potential biomedical and pharmaceutical applications	2015	979
(Ali & Ahmed)	A review on chitosan and its nanocomposites in drug delivery	2018	857
(Gan <i>et al.</i>)	Modulation of surface charge, particle size and morphological properties of chitosan-TPP nanoparticles intended for gene delivery	2005	802
(Gan & Wang)	Chitosan nanoparticle as protein delivery carrier-Systematic examination of fabrication conditions for efficient loading and release	2007	620

Tabel 2 menunjukkan bahwa dokumen yang paling banyak dikutip adalah “An overview of chitosan nanoparticles and its application in non-parenteral drug delivery” oleh Mohammed *et al.* (2017), dengan 1005 kutipan. Artikel ini memberikan tinjauan komprehensif tentang aplikasi nanokitosan dalam penghantaran obat non-parenteral, yang mencakup berbagai aspek mulai dari sintesis hingga aplikasi klinis. Tingginya jumlah kutipan menunjukkan bahwa artikel ini sangat berpengaruh dan menjadi referensi utama bagi peneliti lain di bidang ini.

Dokumen kedua yang paling banyak dikutip adalah "Chitosan: An update on potential biomedical and pharmaceutical applications" oleh Cheung *et al.* (2015), dengan 979 kutipan. Artikel ini memberikan pembaruan tentang berbagai aplikasi biomedis dan farmasi dari kitosan, termasuk bentuk nanokitosan. Ulasan ini penting karena memberikan gambaran menyeluruh tentang perkembangan terbaru dan potensi aplikasi kitosan, yang menjadi dasar bagi penelitian lebih lanjut.

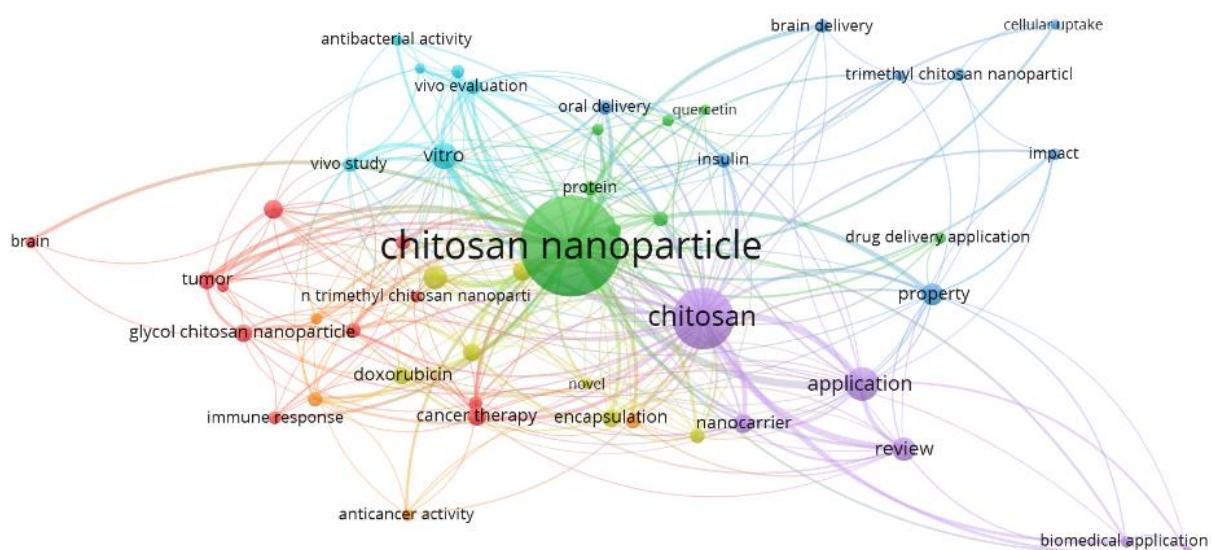
Artikel "A review on chitosan and its nanocomposites in drug delivery" oleh Ali dan Ahmed (2018) menempati posisi ketiga dengan 857 kutipan. Artikel ini meninjau penggunaan kitosan dan nanokompositnya dalam penghantaran obat, menyoroti keunggulan dan tantangan yang dihadapi dalam aplikasi klinis. Tingginya jumlah kutipan menunjukkan bahwa artikel ini memberikan kontribusi signifikan dalam memahami dan mengembangkan teknologi penghantaran obat berbasis kitosan.

Dokumen lain yang banyak dikutip termasuk "Modulation of surface charge, particle size and morphological properties of chitosan-TPP nanoparticles intended for gene delivery" oleh Gan *et al.* (2005) dengan 802 kutipan, dan "Chitosan nanoparticle as protein delivery carrier-Systematic examination of fabrication conditions for efficient loading and release" oleh Gan dan Wang (2007) dengan 620 kutipan. Kedua artikel ini berfokus pada aspek teknis dan metodologis dari sintesis dan karakterisasi nanopartikel kitosan, yang penting untuk aplikasi penghantaran gen dan protein.

Secara keseluruhan, dokumen-dokumen yang banyak dikutip ini mencerminkan topik-topik utama dalam penelitian nanokitosan, termasuk penghantaran obat, aplikasi biomedis, dan sintesis serta karakterisasi nanopartikel. Tingginya jumlah kutipan menunjukkan bahwa penelitian ini memiliki dampak besar dan menjadi dasar bagi banyak penelitian lanjutan di bidang nanokitosan. Analisis ini juga menunjukkan pentingnya ulasan komprehensif dan artikel teknis dalam mengarahkan dan memperkaya literatur ilmiah di bidang ini.

Visualisasi Jaringan

Visualisasi jaringan publikasi terkait nanokitosan di bidang kesehatan (Gambar 3) menunjukkan kelompok kata kunci yang terhubung erat seperti yang ditampilkan oleh warna merah (aplikasi kanker), hijau (pengiriman obat), dan ungu (aplikasi biomedis) menggambarkan fokus utama penelitian pada penggunaan nanopartikel kitosan di bidang biomedis. Di satu sisi, kata kunci seperti "anticancer activity", "doxorubicin", dan "tumor" menekankan pentingnya nanopartikel kitosan dalam terapi kanker. Di sisi lain, adanya keterkaitan dengan kata kunci seperti "encapsulation", "protein", dan "antibacterial activity" menunjukkan bahwa nanopartikel kitosan juga digunakan dalam sistem pengiriman obat dan pengembangan agen antibakteri. Keterkaitan erat antara kata kunci-kata kunci ini mencerminkan bahwa nanopartikel kitosan tidak hanya berfungsi sebagai agen pengobatan, tetapi juga sebagai platform multifungsi dalam biomedis, menjadikannya salah satu topik penelitian yang sangat berkembang dalam sektor kesehatan.

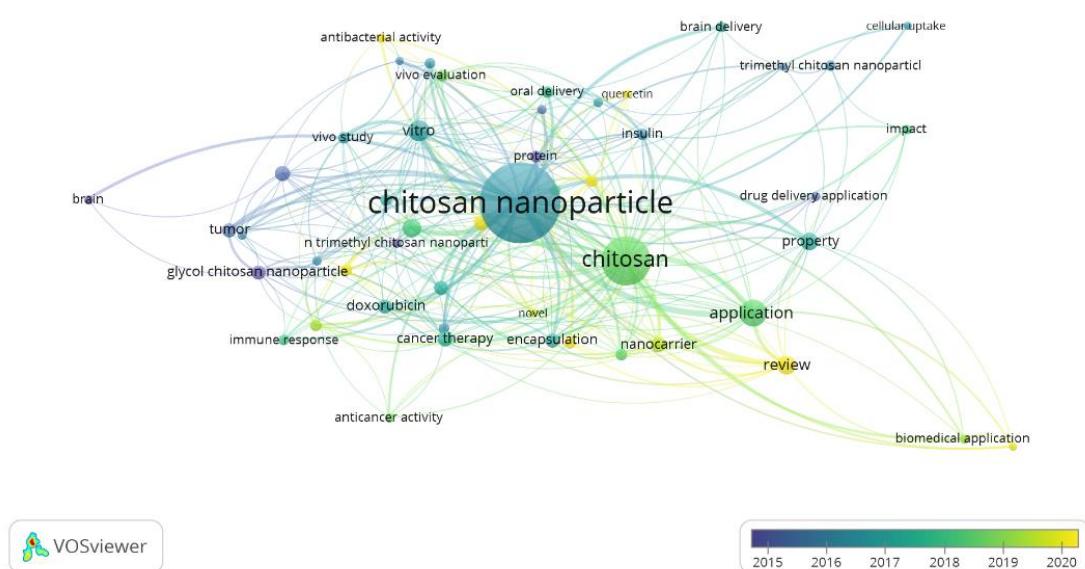


Gambar 3. Visualisasi jaringan publikasi terkait nanokitosan di bidang kesehatan

Visualisasi ini dengan jelas memperlihatkan peta penelitian yang terfokus pada potensi besar nanopartikel kitosan di berbagai aplikasi medis, memberikan wawasan bahwa penelitian masa depan mungkin akan terus memperluas penggunaannya, terutama dalam pengobatan penyakit serius seperti kanker dan infeksi bakteri.

Visualisasi Overlay

Penelitian tentang nanokitosan di bidang kesehatan telah menunjukkan perkembangan yang signifikan dari tahun 2004 hingga 2024. Pada periode awal (2004-2010), penelitian masih dalam tahap eksplorasi dasar, dengan fokus utama pada karakterisasi nanokitosan dan potensi aplikasinya dalam bidang kesehatan. Jumlah publikasi pada periode ini relatif rendah, mencerminkan tahap awal pengembangan teknologi ini. Namun, seiring dengan meningkatnya pemahaman tentang sifat-sifat unik nanokitosan, jumlah publikasi mulai meningkat pada periode menengah (2011-2015). Pada periode ini, topik-topik seperti penghantaran obat dan aplikasi antimikroba mulai mendapatkan perhatian lebih. Penelitian menunjukkan bahwa nanokitosan dapat meningkatkan stabilitas dan bioavailabilitas obat, serta memiliki sifat antimikroba yang kuat, menjadikannya bahan yang potensial untuk pembalut luka dan implan medis (Mawazi *et al.*, 2024; Rizeq *et al.*, 2019; Sharifi-Rad *et al.*, 2021).



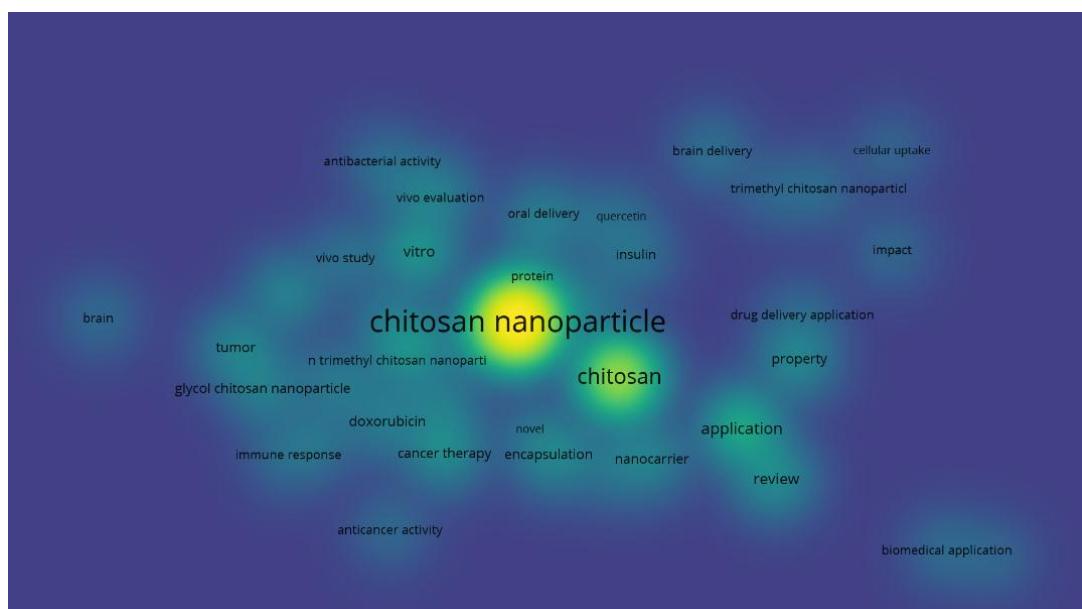
Gambar 4. Visualisasi overlay publikasi terkait nanokitosan di bidang kesehatan

Pada periode terbaru (2016-2024), penelitian tentang nanokitosan berkembang pesat, dengan peningkatan signifikan dalam jumlah publikasi dan sitasi. Topik-topik baru seperti aplikasi dalam terapi kanker, penghantaran gen, dan pengembangan vaksin mulai mendominasi. Penelitian menunjukkan bahwa nanokitosan dapat digunakan untuk penghantaran obat kemoterapi yang lebih spesifik dan efektif, serta untuk penghantaran gen dalam terapi genetik (Imran *et al.*, 2023; Iqbal *et al.*, 2023; Zhang *et al.*, 2023). Selain itu, nanokitosan juga menunjukkan potensi besar dalam pengembangan vaksin yang lebih efisien, dengan kemampuan untuk meningkatkan respon imun tubuh terhadap antigen (Cao *et al.*, 2024; Sun *et al.*, 2024). Visualisasi overlay menunjukkan bahwa tren ini terus berkembang, dengan semakin banyak penelitian yang berfokus pada aplikasi klinis nanokitosan.

Secara keseluruhan, analisis overlay visualisasi menunjukkan bahwa penelitian tentang nanokitosan di bidang kesehatan telah berkembang pesat dalam dua dekade terakhir. Topik-topik seperti penghantaran obat, aplikasi antimikroba, dan pengembangan vaksin menjadi fokus utama, dengan tren baru seperti aplikasi dalam terapi kanker dan penghantaran gen menunjukkan potensi besar untuk penelitian lebih lanjut dan pengembangan aplikasi klinis. Kolaborasi antar peneliti dan inovasi dalam teknologi nano memainkan peran penting dalam perkembangan penelitian nanokitosan, membuka jalan bagi adopsi nanokitosan dalam aplikasi klinis yang lebih luas dan efektif di masa depan.

Visualisasi Kepadatan

Visualisasi kepadatan dari data bibliometrik menunjukkan area dengan konsentrasi tinggi dari penelitian tentang nanokitosan di bidang kesehatan. Salah satu topik utama yang muncul adalah penghantaran obat, yang menunjukkan kepadatan tinggi dalam peta visualisasi. Penelitian pada topik ini telah menunjukkan bahwa nanokitosan dapat meningkatkan stabilitas dan bioavailabilitas obat, serta memungkinkan penghantaran obat yang lebih spesifik ke sel target, sehingga meningkatkan efektivitas terapi dan mengurangi efek samping (Imran *et al.*, 2023). Selain itu, aplikasi antimikroba dari nanokitosan juga menunjukkan kepadatan tinggi, mencerminkan minat yang besar dalam penggunaan nanokitosan sebagai bahan untuk pembalut luka dan implan medis. Sifat antimikroba yang kuat dari nanokitosan membuatnya efektif dalam mencegah infeksi pada luka terbuka atau penggunaan implan medis (Mawazi *et al.*, 2024; Sharifi-Rad *et al.*, 2021).



Gambar 5. Visualisasi kepadatan publikasi terkait nanokitosan di bidang kesehatan

Dalam beberapa tahun terakhir, topik pengembangan vaksin menggunakan nanokitosan juga menunjukkan peningkatan kepadatan. Penelitian menunjukkan bahwa nanokitosan dapat meningkatkan respon imun tubuh terhadap antigen, sehingga memperkuat efektivitas vaksin. Hal ini sangat relevan dalam pengembangan vaksin untuk penyakit menular, di mana respon imun yang kuat diperlukan untuk mencegah penyebaran penyakit (Prakash, 2023; Zhang *et al.*, 2024). Visualisasi kepadatan juga membantu mengidentifikasi topik yang kurang diteliti. Misalnya, aplikasi nanokitosan dalam terapi penyakit neurodegeneratif atau kombinasi nanokitosan dengan teknologi nano lainnya mungkin masih kurang diteliti, menunjukkan kebutuhan untuk penelitian lebih lanjut di area ini (Kowkabany & Bao, 2024; Mistretta *et al.*, 2023; Wareham *et al.*, 2022).

Secara keseluruhan, analisis visualisasi kepadatan menunjukkan bahwa penelitian tentang nanokitosan di bidang kesehatan telah berkembang pesat, dengan fokus utama pada penghantaran obat, aplikasi antimikroba, dan pengembangan vaksin. Tren baru seperti aplikasi dalam terapi kanker dan penghantaran gen menunjukkan potensi besar untuk penelitian lebih lanjut dan pengembangan aplikasi klinis. Identifikasi kesenjangan penelitian membantu mengarahkan penelitian di masa depan dan memastikan bahwa semua potensi aplikasi nanokitosan dieksplorasi secara menyeluruh. Kolaborasi antar peneliti dan inovasi dalam teknologi nano memainkan peran penting dalam perkembangan penelitian nanokitosan, membuka jalan bagi adopsi nanokitosan dalam aplikasi klinis yang lebih luas dan efektif di masa depan.

4. KESIMPULAN

Nanokitosan memiliki potensi besar untuk merevolusi berbagai aspek di bidang kesehatan. Analisis bibliometrik menunjukkan peningkatan signifikan dalam jumlah publikasi dan sitasi terkait

nanokitosan, mencerminkan minat yang semakin besar dari peneliti terhadap potensi aplikasinya. Meskipun terdapat tantangan seperti biaya produksi dan stabilitas nanopartikel, penelitian yang terus berkembang diharapkan mampu mengatasi kendala ini dan membuka jalan bagi adopsi nanokitosan dalam aplikasi klinis. Kombinasi nanokitosan dengan teknologi nano lainnya membuka berbagai kemungkinan baru dalam pengembangan terapi yang lebih canggih dan efektif. Dengan demikian, nanokitosan berpotensi menjadi inovasi kunci dalam pengembangan terapi medis yang lebih efektif dan aman di masa depan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penelitian ini, terutama kepada para peneliti dan institusi yang telah menyediakan data dan literatur yang digunakan dalam analisis ini. Dukungan dan kerjasama dari berbagai pihak sangat berarti dalam penyelesaian penelitian ini.

KEPUSTAKAAN

- Ali, A., & Ahmed, S. (2018). A Review on Chitosan and its Nanocomposites in Drug Delivery. *International Journal of Biological Macromolecules*, 10(9), 273-286.
- Alimardani, V., Rahiminezhad, Z., DehghanKhold, M., Farahavar, G., Jafari, M., Abedi, M., Moradi, L., Niroumand, U., Ashfaq, M., & Abolmaali, S. S. (2023). Nanotechnology-Based Cell-Mediated Delivery Systems for Cancer Therapy and Diagnosis. *Drug Delivery and Translational Research*, 13(1), 189-221.
- Baig, N., Kammakakam, I., & Falath, W. (2021). Nanomaterials: A Review of Synthesis Methods, Properties, Recent Progress, and Challenges. *Materials Advances*, 2(6), 1821-1871.
- Boominathan, T., & Sivaramakrishna, A. (2021). Recent Advances in The Synthesis, Properties, and Applications of Modified Chitosan Derivatives: Challenges and Opportunities. *Topics in Current Chemistry*, 37(9), 1-57.
- Cao, L.-M., Yu, Y.-F., Li, Z.-Z., Zhong, N.-N., Wang, G.-R., Xiao, Y., Liu, B., Wu, Q.-J., Feng, C., & Bu, L.-L. (2024). Adjuvants for Cancer Mrna Vaccines in The Era of Nanotechnology: Strategies, Applications, and Future Directions. *Journal of Nanobiotechnology*, 22(1), 308.
- Chandrasekaran, M., Kim, K. D., & Chun, S. C. (2020). Antibacterial Activity of Chitosan Nanoparticles: A Review. *Processes*, 8(9), 11-73.
- Cheung, R. C. F., Ng, T. B., Wong, J. H., & Chan, W. Y. (2015). Chitosan: An Update on Potential Biomedical and Pharmaceutical Applications. *Marine Drugs*, 13(8), 5156-5186.
- Divya, K., Vijayan, S., George, T. K., & Jisha, M. (2017). Antimicrobial Properties of Chitosan Nanoparticles: Mode of Action and Factors Affecting Activity. *Fibers and Polymers*, 18, 221-230.
- Dong, E., Huo, Q., Zhang, J., Han, H., Cai, T., & Liu, D. (2024). Advancements in Nanoscale Delivery Systems: Optimizing Intermolecular Interactions for Superior Drug Encapsulation and Precision Release. *Drug Delivery and Translational Research*, 1-19.
- Gan, Q., & Wang, T. (2007). Chitosan Nanoparticle As Protein Delivery Carrier—Systematic Examination of Fabrication Conditions for Efficient Loading and Release. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 59(1), 24-34.
- Gan, Q., Wang, T., Cochrane, C., & McCarron, P. (2005). Modulation of Surface Charge, Particle Size and Morphological Properties of Chitosan–TPP Nanoparticles Intended for Gene Delivery. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 44(2-3), 65-73.
- Hou, C., Yi, B., Jiang, J., Chang, Y.-F., & Yao, X. (2019). Up-to-date Vaccine Delivery Systems: Robust Immunity Elicited by Multifarious Nanomaterials Upon Administration Through Diverse Routes. *Biomaterials Science*, 7(3), 822-835.
- Imran, H., Tang, Y., Wang, S., Yan, X., Liu, C., Guo, L., Wang, E., & Xu, C. (2023). Optimized DOX Drug Deliveries via Chitosan-Mediated Nanoparticles and Stimuli Responses in Cancer Chemotherapy: A Review. *Molecules*, 29(1), 31.
- Iqbal, M. J., Javed, Z., Sadia, H., Mehmood, S., Akbar, A., Zahid, B., Nadeem, T., Roshan, S., Varoni, E. M., & Iriti, M. (2023). Targeted Therapy Using Nanocomposite Delivery Systems in Cancer

- Treatment: Highlighting Mir34a Regulation for Clinical Applications. *Cancer Cell International*, 23(1), 84.
- Jafernik, K., Ładniak, A., Blicharska, E., Czarnek, K., Ekiert, H., Wiącek, A. E., & Szopa, A. (2023). Chitosan-Based Nanoparticles as Effective Drug Delivery Systems—A Review. *Molecules*, 28(4), 1963.
- Jha, R., & Mayanovic, R. A. (2023). A Review of The Preparation, Characterization, and Applications of Chitosan Nanoparticles in Nanomedicine. *Nanomaterials*, 13(8), 1302.
- Kim, D., Wu, Y., Kim, Y. B., & Oh, Y.-K. (2021). Advances in Vaccine Delivery Systems Against Viral Infectious Diseases. *Drug Delivery and Translational Research*, 11, 1401-1419.
- Kowkabany, G., & Bao, Y. (2024). Nanoparticle Tracking Analysis: An Effective Tool to Characterize Extracellular Vesicles. *Molecules*, 29(19), 4672.
- Lu, B., Lim, J. M., Yu, B., Song, S., Neeli, P., Sobhani, N., K, P., Bonam, S. R., Kurapati, R., & Zheng, J. (2024). The Next-generation DNA Vaccine Platforms and Delivery Systems: Advances, Challenges and Prospects. *Frontiers in Immunology*, 15, 1332939.
- Malik, S., Muhammad, K., & Waheed, Y. (2023). Emerging Applications of Nanotechnology in Healthcare and Medicine. *Molecules*, 28(18), 66-24.
- Mawazi, S. M., Kumar, M., Ahmad, N., Ge, Y., & Mahmood, S. (2024). Recent Applications of Chitosan and Its Derivatives in Antibacterial, Anticancer, Wound Healing, and Tissue Engineering Fields. *Polymers*, 16(10), 13-51.
- Mikušová, V., & Mikuš, P. (2021). Advances in Chitosan-Based Nanoparticles for Drug Delivery. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(17), 9652.
- Mistretta, M., Farini, A., Torrente, Y., & Villa, C. (2023). Multifaceted Nanoparticles: Emerging Mechanisms and Therapies in Neurodegenerative Diseases. *Brain*, 146(6), 2227-2240.
- Mohammed, M. A., Syeda, J. T., Wasan, K. M., & Wasan, E. K. (2017). An Overview Of Chitosan Nanoparticles and Its Application in Non-Parenteral Drug Delivery. *Pharmaceutics*, 9(4), 53.
- Murjani, B. O., Kadu, P. S., Bansod, M., Vaidya, S. S., & Yadav, M. D. (2022). Carbon Nanotubes in Biomedical Applications: Current Status, Promises, and Challenges. *Carbon Letters*, 32(5), 1207-1226.
- Park, S. H., Eun, R., Heo, J., & Lim, Y. T. (2023). Nanoengineered Drug Delivery in Cancer Immunotherapy for Overcoming Immunosuppressive Tumor Microenvironment. *Drug Delivery and Translational Research*, 13(7), 2015-2031.
- Patel, J., Kumar, G. S., Roy, H., Maddiboyina, B., Leporatti, S., & Bohara, R. A. (2024). From Nature to Nanomedicine: Bioengineered Metallic Nanoparticles Bridge The Gap for Medical Applications. *Discover Nano*, 19(1), 1-24.
- Prakash, S. (2023). mRNA-based Nanomedicine: A New Strategy for Treating Infectious Diseases and Beyond. *European Journal of Drug Metabolism and Pharmacokinetics*, 48(5), 515-529.
- Rana, I., Oh, J., Baig, J., Moon, J. H., Son, S., & Nam, J. (2023). Nanocarriers for Cancer Nano-Immunotherapy. *Drug Delivery and Translational Research*, 13(7), 1936-1954.
- Rizeq, B. R., Younes, N. N., Rasool, K., & Nasrallah, G. K. (2019). Synthesis, Bioapplications, and Toxicity Evaluation of Chitosan-Based Nanoparticles. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(22), 5776.
- Shahalaei, M., Azad, A. K., Sulaiman, W. M. A. W., Derakhshani, A., Mofakham, E. B., Mallandrich, M., Kumarasamy, V., & Subramaniyan, V. (2024). A Review of Metallic Nanoparticles: Present Issues and Prospects Focused on The Preparation Methods, Characterization Techniques, and Their Theranostic Applications. *Frontiers in Chemistry*, 12, 139-8979.
- Sharifi-Rad, J., Quispe, C., Butnariu, M., Rotariu, L. S., Sytar, O., Sestito, S., Rapposelli, S., Akram, M., Iqbal, M., & Krishna, A. (2021). Chitosan Nanoparticles As A Promising Tool in Nanomedicine With Particular Emphasis On Oncological Treatment. *Cancer Cell International*, 21(1), 318.
- Sun, Z., Zhao, H., Ma, L., Shi, Y., Ji, M., Sun, X., Ma, D., Zhou, W., Huang, T., & Zhang, D. (2024). The Quest for Nanoparticle-Powered Vaccines in Cancer Immunotherapy. *Journal of Nanobiotechnology*, 22(1), 61.
- Thakur, N., Thakur, S., Chatterjee, S., Das, J., & Sil, P. C. (2020). Nanoparticles As Smart Carriers for Enhanced Cancer Immunotherapy. *Frontiers in Chemistry*, 8, 597806.

- Wareham, L. K., Liddelow, S. A., Temple, S., Benowitz, L. I., Di Polo, A., Wellington, C., Goldberg, J. L., He, Z., Duan, X., & Bu, G. (2022). Solving Neurodegeneration: Common Mechanisms and Strategies For New Treatments. *Molecular Neurodegeneration*, 17(1), 23.
- Yu, J., Wang, D., Geetha, N., Khawar, K. M., Jogaiah, S., & Mujtaba, M. (2021). Current Trends and Challenges in The Synthesis and Applications of Chitosan-Based Nanocomposites for Plants: A Review. *Carbohydrate Polymers*, 261, 117904.
- Zhang, Q., Kuang, G., Li, W., Wang, J., Ren, H., & Zhao, Y. (2023). Stimuli-responsive Gene Delivery Nanocarriers for Cancer Therapy. *Nano-Micro Letters*, 15(1), 44.
- Zhang, Y.-N., Auclair, S., & Zhu, J. (2024). Virus-like Nanoparticle Vaccines for Inducing Long-Lasting Immunity Against Infectious Diseases. *National Science Review*, 11(4), nwae032.