

# **ANALISIS BIBLIOMETRIK PENELITIAN HIDROGEL KONDUKTIF SODIUM ALGINAT DENGAN VOSVIEWER**

**Tsalsa Romadona<sup>1</sup>, Siti Aisyah<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Kimia, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia, Jalan Dr. Setiabudhi 229, Bandung, 40154, Indonesia

\*E-mail : [siti.aisyah@upi.edu](mailto:siti.aisyah@upi.edu)

Riwayat Article

Received 19 February 2026; Received in Revision: 23 March 2026; Accepted: 29 March 2026

## **Abstract**

This study aims to analyze research trends and scientific developments in alginate-based conductive hydrogels and their applications in sensor technology using a bibliometric approach. Data were retrieved from the Scopus database for the period 2014–2026 using the keywords "alginate," "sodium alginate," "alginic acid," "hydrogel," and "sensor." A total of 281 publications were analyzed using VOSviewer to evaluate keyword co-occurrence, research clusters, and thematic evolution. The results show that "sodium alginate" and "hydrogel" are the main nodes in the research network, with strong linkages to topics such as biosensors, drug delivery, and wound healing. Cluster analysis identifies major research focuses, including conductive and flexible sensors, biomedical applications of alginate, and biopolymer-based sensing materials. In addition, publication trends indicate a significant increase in research output during the 2022–2024 period, reflecting growing scientific interest in this field. Overall, this study provides a comprehensive overview of the research landscape, highlighting key themes, collaboration patterns, and emerging trends in alginate-based conductive hydrogel research. These findings offer valuable insights for guiding future research directions based on observed publication trends.

**Keywords:** Alginate, Hydrogel, Sensor, Bibliometric Analysis, VOSviewer

## **Abstrak**

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tren penelitian dan perkembangan ilmiah terkait hidrogel konduktif berbasis alginat serta aplikasinya dalam teknologi sensor dengan menggunakan pendekatan bibliometrik. Data diperoleh dari basis data Scopus untuk periode 2014–2026 dengan menggunakan kata kunci "alginat," "sodium alginat," "asam alginat," "hidrogel," dan "sensor." Sebanyak 281 publikasi dianalisis menggunakan VOSviewer untuk mengevaluasi kemunculan bersama kata kunci, kluster penelitian, dan evolusi tematik. Hasil menunjukkan bahwa "sodium alginate" dan "hydrogel" merupakan simpul utama dalam jaringan penelitian, dengan hubungan yang kuat terhadap topik seperti biosensor, pengiriman obat, dan penyembuhan luka. Analisis kluster mengidentifikasi fokus penelitian utama, termasuk sensor konduktif dan fleksibel, aplikasi biomedis alginat, serta bahan sensor berbasis biopolimer. Selain itu, tren publikasi menunjukkan peningkatan signifikan dalam output penelitian selama periode 2022–2024, yang mencerminkan minat ilmiah yang semakin meningkat di bidang ini. Secara keseluruhan, studi ini memberikan gambaran komprehensif mengenai langkah penelitian, menyoroti tema-tema kunci, pola kolaborasi, dan tren yang muncul dalam penelitian hidrogel konduktif berbasis alginat. Temuan ini menawarkan wawasan berharga untuk mengarahkan arah penelitian di masa depan berdasarkan tren publikasi yang diamati.

**Keywords:** Alginat, Hidrogel, Sensor, Analisis Bibliometrik, VOSviewer

## **1. Introduction**

Kemajuan terkini dalam pengembangan material fungsional telah memicu inovasi signifikan di berbagai bidang, terutama pada bahan berbasis material polimer dan biopolimer. Material-material ini telah banyak dieksplorasi berkat fleksibilitasnya, kepadatan yang rendah, serta potensi besar untuk diintegrasikan ke dalam sistem teknologi modern. Di antara bahan-bahan tersebut, hidrogel berbasis biopolimer, terutama alginat, telah menarik perhatian yang cukup besar sebagai biomaterial yang menjanjikan berkat biokompatibilitasnya yang tinggi, kapasitas retensi air yang sangat baik, serta kemudahan modifikasi untuk berbagai aplikasi, terutama di bidang biomedis dan pertanian (Farshidfar et al., 2023). Seiring dengan kemajuan teknologi, kebutuhan akan perangkat elektronik fleksibel telah meningkat secara signifikan terutama untuk teknologi yang dapat dikenakan dan aplikasi pemantauan fisiologis. Dalam konteks ini, sensor regangan telah muncul sebagai teknologi penting yang terus dieksplorasi dan dikembangkan secara luas. Menurut penelitian

(Wang et al., 2025) sensor regangan (*strain sensor*) menjadi salah satu teknologi penting dalam bidang elektronik yang fleksibel serta menjadi sistem fisiologis berbasis teknologi terbaru. Dengan kemajuan di bidang material dan elektronik, sensor regangan fleksibel semakin banyak digunakan dalam elektronik yang dapat dikenakan karena bobotnya yang ringan, portabilitas, kinerja listrik yang sangat baik, dan integrasi yang tinggi.

Studi bibliometrik terkini menunjukkan adanya peningkatan yang signifikan dalam penelitian mengenai hidrogel konduktif, dengan jumlah publikasi yang mengalami pertumbuhan eksponensial dan tingkat pertumbuhan tahunan melebihi 30% dalam satu tahun terakhir. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan sistematis untuk mengkaji tren penelitian, mengidentifikasi tema-tema utama, dan mengevaluasi perkembangan bidang ini. Dalam hal ini, analisis bibliometrik berfungsi sebagai metode yang andal untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai langkah penelitian, termasuk pola kolaborasi, distribusi publikasi, serta perkembangan topik penelitian dari waktu ke waktu. Meskipun telah terjadi kemajuan pesat dalam pengembangan sensor regangan fleksibel, masih terdapat sejumlah tantangan yang belum sepenuhnya teratasi, terutama dalam pemilihan dan pengoptimalan material yang mampu secara simultan memberikan kinerja listrik yang tinggi dan stabilitas mekanik yang baik. Berbagai penelitian telah mengeksplorasi penggunaan hidrogel konduktif berbasis biopolimer, termasuk sodium alginat, sebagai solusi potensial. Sebagai contoh, (Li et al., 2021) membahas bahwa hidrogel konduktif berbasis biopolimer menunjukkan biokompatibilitas yang tinggi, kemampuan self-healing, serta fleksibilitas yang baik, sehingga menjadikannya kandidat yang menjanjikan untuk aplikasi sensor kulit elektronik (*e-skin*) dan sistem pemantauan kesehatan.

Sodium alginat sendiri merupakan salah satu biopolimer alami yang banyak dimanfaatkan sebagai matriks hidrogel konduktif karena sifatnya yang ramah lingkungan, biokompatibel, mudah dimodifikasi, serta mampu membentuk struktur gel yang stabil. Studi telah menunjukkan potensi material ini dalam pengembangan perangkat sensor fleksibel. Namun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada peningkatan performa material dan aplikasi secara eksperimental. Penelitian dari (Zhao et al., 2021) membahas hidrogel berbasis natrium alginat dengan kemampuan penyembuhan diri dan elastisitas yang ditingkatkan sedangkan penelitian dari (Cao et al., 2022) membahas peningkatan kekuatan mekanis dan sensitivitas untuk aplikasi sensor regangan fleksibel. Penelitian yang lebih baru juga menekankan strategi fabrikasi dan optimasi kinerja, seperti peningkatan konduktivitas, stabilitas, dan akurasi penginderaan di bawah kondisi yang berbeda. Meskipun penelitian mengenai hidrogel konduktif berbasis sodium alginat terus berkembang, kajian yang secara khusus memetakan tren penelitian, keterkaitan topik, serta perkembangan ilmiah menggunakan pendekatan bibliometrik masih sangat terbatas. Keterbatasan ini menunjukkan adanya kesenjangan penelitian yang penting, terutama dalam memahami langkah riset secara komprehensif, termasuk arah perkembangan dan peluang penelitian di masa depan.

Dalam konteks tersebut, analisis bibliometrik yang dikombinasikan dengan perangkat lunak VOSviewer memungkinkan visualisasi jaringan penelitian secara komprehensif, termasuk pemetaan kata kunci, kluster penelitian, serta arah perkembangan riset. Analisis ini mampu memberikan gambaran kuantitatif dan visual terhadap dinamika publikasi ilmiah, seperti pola sitasi, jaringan kolaborasi penulis, serta hubungan antar topik penelitian. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perkembangan publikasi ilmiah dan memetakan tren penelitian pada hidrogel konduktif berbasis sodium alginat menggunakan pendekatan bibliometrik berbasis VOSviewer.

## **2. Methodology**

### **2.1. Analisis Bibliometrik**

Dalam basis data Scopus. Basis data ini dipilih karena memiliki cakupan publikasi internasional yang luas serta menyediakan data yang terstandarisasi dan berkualitas tinggi. Studi bibliometrik terkini juga menekankan pentingnya penggunaan basis data terindeks internasional, khususnya Scopus, sebagai sumber utama dalam analisis tren penelitian, kolaborasi ilmiah, dan sitasi artikel (Iqbal Muhamad et al., 2025). Pengumpulan data dilakukan melalui strategi pencarian terstruktur pada basis data Scopus menggunakan query: TITLE-ABS-KEY ("alginate" OR "sodium alginate" OR "alginic acid") AND TITLE-ABS-KEY ("hydrogel" OR "conductive hydrogel") AND TITLE-ABS-KEY ("sensor" OR "strain sensor" OR "flexible sensor"). Pencarian dibatasi pada periode 2014–2026 dan difokuskan pada dokumen bertipe artikel dan review. Hasil pencarian kemudian diseleksi berdasarkan kesesuaian judul, abstrak, dan kata kunci, sehingga diperoleh 281 publikasi yang relevan untuk dianalisis. Analisis bibliometrik selanjutnya dilakukan menggunakan perangkat lunak VOSviewer

untuk memetakan keterkaitan kata kunci, pola kolaborasi, serta dinamika tren penelitian secara visual dan kuantitatif.

Untuk meningkatkan kualitas data, proses pembersihan dan normalisasi dilakukan menggunakan perangkat OpenRefine, khususnya pada atribut penulis dan kata kunci (Fidriyanto et al., 2024). Tahapan ini mencakup penghapusan duplikasi data, penyeragaman variasi penulisan nama penulis, standarisasi istilah kata kunci melalui metode clustering (key collision dan nearest neighbor), serta perbaikan inkonsistensi format data. Proses ini bertujuan untuk meminimalkan bias dan meningkatkan akurasi hasil analisis bibliometrik sebelum dilakukan tahap visualisasi. Dataset yang telah melalui proses penyaringan dan pembersihan kemudian disimpan dalam format CSV dan diimpor ke dalam VOSviewer untuk analisis lanjutan. Selain itu, data juga disimpan dalam format RIS untuk memastikan kompatibilitas dan keamanan penyimpanan. Meskipun pencarian awal mencakup periode 2014–2026, analisis difokuskan pada publikasi tahun 2021–2025 guna merepresentasikan perkembangan penelitian terkini (state-of-the-art), mengingat pada periode tersebut terjadi peningkatan signifikan dalam publikasi terkait hidrogel konduktif dan aplikasinya pada sensor fleksibel.

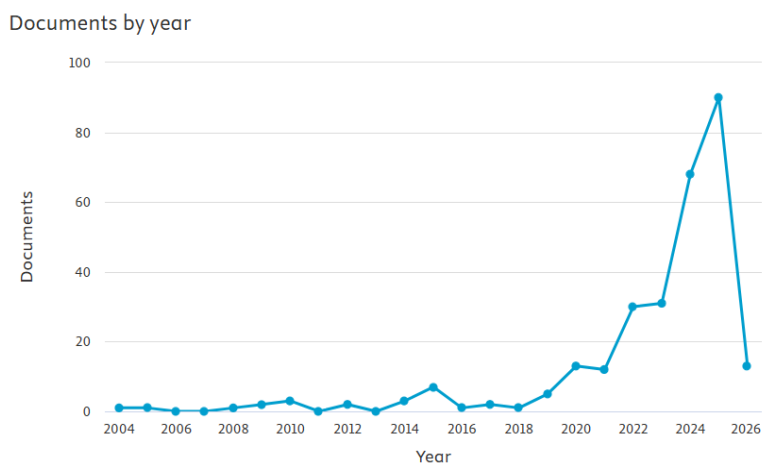
## 3.2. Metode Analisis Bibliometrik

Tahapan analisis dalam penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak VOSviewer untuk mengidentifikasi dan memvisualisasikan hubungan antar kata kunci dalam kumpulan data publikasi ilmiah. Analisis bibliometrik bertujuan untuk mengungkap tren penelitian, mengidentifikasi topik dominan, serta mengevaluasi keterkaitan tematik antar publikasi yang relevan. VOSviewer menghasilkan tiga jenis visualisasi utama, yaitu: (1) network visualization untuk menunjukkan hubungan dan keterkaitan antar kata kunci atau topik penelitian, (2) overlay visualization untuk menggambarkan distribusi temporal berdasarkan tahun publikasi atau perkembangan topik dari waktu ke waktu, serta (3) density visualization untuk mengidentifikasi area penelitian yang memiliki frekuensi kemunculan tinggi dan tingkat intensitas kajian yang dominan.

Pendekatan ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Gandasari et al., 2024), yang memanfaatkan data publikasi dari basis data Scopus dan menganalisisnya menggunakan VOSviewer melalui indikator bibliometrik seperti density dan overlay untuk mengidentifikasi tren penelitian serta klaster topik. Melalui pendekatan tersebut, analisis bibliometrik dalam penelitian ini diharapkan mampu mengungkap struktur pengetahuan dan perkembangan riset terkini terkait hidrogel berbasis alginat dan aplikasinya dalam sensor, serta memberikan gambaran komprehensif mengenai arah perkembangan penelitian dalam beberapa tahun terakhir.

## 3. Results and Discussion

Berdasarkan hasil analisis terhadap 281 publikasi yang diperoleh dari basis data *Scopus*, perkembangan jumlah publikasi tahunan terkait hidrogel konduktif berbasis sodium alginat menunjukkan tren yang meningkat secara signifikan, sebagaimana ditampilkan pada **Gambar 1**.



**Gambar 1.** Tren jumlah publikasi tahunan terkait hidrogel konduktif berbasis sodium alginat pada periode 2004–2026 berdasarkan data Scopus.

Selama periode awal (2004–2018), jumlah publikasi tetap relatif rendah dan menunjukkan tren stagnan, yang mengindikasikan bahwa topik ini belum muncul sebagai fokus utama dalam penelitian

bahan fungsional. Tren kenaikan yang lebih konsisten mulai terlihat setelah tahun 2019, diikuti oleh peningkatan yang signifikan selama periode 2023–2025, di mana jumlah publikasi mencapai puncaknya. Pertumbuhan yang mencolok ini mencerminkan meningkatnya minat penelitian terhadap bahan hidrogel berbasis biopolimer, khususnya alginat natrium, karena potensinya yang signifikan untuk aplikasi dalam sensor fleksibel dan teknologi yang dapat dikenakan. Selain itu, lonjakan aktivitas publikasi menunjukkan peralihan orientasi penelitian dari studi fundamental menuju pengembangan yang lebih terarah dan didorong oleh aplikasi, terutama di bidang sistem penginderaan regangan dan pemantauan kesehatan. Oleh karena itu, **Gambar 1**, yang menyajikan tren publikasi tahunan terkait hidrogel konduktif berbasis natrium alginat untuk periode 2004–2026 berdasarkan data Scopus, tidak hanya menunjukkan peningkatan volume publikasi tetapi juga menyoroti evolusi progresif arah penelitian menuju pendekatan yang lebih terapan dan interdisipliner.

Pada Tahap pengumpulan data, terdapat 286 artikel diperoleh dari basis data Scopus. Data tersebut kemudian disaring melalui proses penghapusan duplikat dan penyaringan relevansi berdasarkan judul, abstrak, dan kata kunci. Setelah proses ini, 281 publikasi memenuhi kriteria inklusi dan dipilih sebagai kumpulan data akhir untuk analisis bibliometrik. Langkah seleksi ini sangat penting untuk memastikan kualitas dan relevansi data, sehingga menghasilkan hasil yang lebih akurat dan representatif, seperti yang dilaporkan oleh (Donthu et al., 2021) yang menekankan bahwa penyaringan data berdasarkan relevansi dan penghapusan duplikasi merupakan langkah krusial dalam menghasilkan pemetaan ilmiah yang akurat. Selain itu, menurut (Aria & Cuccurullo, 2017) menyatakan bahwa proses normalisasi dan seleksi dataset merupakan tahapan penting dalam analisis bibliometrik untuk menghindari bias serta meningkatkan keandalan hasil visualisasi jaringan penelitian. Dengan demikian, dataset akhir yang terdiri dari 281 publikasi tidak hanya merepresentasikan jumlah data yang dianalisis, tetapi juga mencerminkan hasil dari proses seleksi yang sistematis dan terstandarisasi, sehingga mampu memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai tren dan perkembangan penelitian hidrogel konduktif berbasis sodium alginat.

Peningkatan jumlah publikasi menunjukkan bahwa fokus penelitian semakin mengarah pada pengembangan material berbasis biopolimer, khususnya untuk aplikasi sensor fleksibel. Tren ini mencerminkan tidak hanya kemajuan dalam pengembangan material, tetapi juga pergeseran menuju perangkat wearable dan sistem pemantauan fisiologis yang membutuhkan sifat fleksibel, biokompatibel, dan konduktif. Lonjakan publikasi pada periode 2022–2025 berkaitan dengan pesatnya perkembangan hidrogel konduktif, terutama yang berbasis sodium alginat sebagai matriks utama karena mendukung elastisitas dan konduktivitas. Studi oleh (Wang et al., 2025) menjelaskan bahwa hidrogel konduktif berbasis biopolimer memiliki sensitivitas dan fleksibilitas yang tinggi, sehingga potensial untuk aplikasi sensor regangan. Dengan demikian, tren pada Gambar 1 tidak hanya mencerminkan peningkatan kuantitatif, tetapi juga perkembangan arah penelitian yang semakin terintegrasi dengan inovasi teknologi sensor fleksibel.

Hasil distribusi bidang keilmuan menunjukkan bahwa penelitian hidrogel konduktif berbasis sodium alginat berkembang secara multidisiplin, dengan dominasi pada ilmu material, kimia, dan teknik, serta peningkatan kontribusi dari bidang biomedis. Hal ini mengindikasikan bahwa pengembangan tidak hanya berfokus pada sintesis material, tetapi juga pada integrasi aplikasinya dalam sensor fleksibel dan perangkat wearable. Keterkaitan antar disiplin tersebut mencerminkan struktur penelitian yang saling terintegrasi dalam mendorong inovasi material dan aplikasinya. Temuan ini didukung oleh Ananda et al. (2025) yang menyatakan bahwa penggunaan VOSviewer mampu mengidentifikasi keterkaitan kata kunci, kluster topik, dan struktur jaringan penelitian secara sistematis, sehingga memberikan gambaran komprehensif mengenai perkembangan dan arah riset.

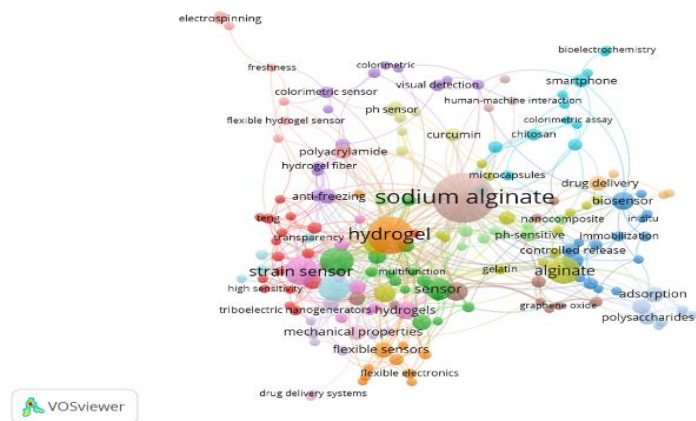
Setelah memahami tren pertumbuhan publikasi dan kecenderungan multidisiplin dalam penelitian hidrogel konduktif berbasis sodium alginat, analisis selanjutnya difokuskan pada distribusi publikasi berdasarkan bidang keilmuan secara lebih rinci. Hal ini bertujuan untuk mengidentifikasi bidang yang paling dominan serta kontribusi relatif masing-masing disiplin dalam perkembangan topik penelitian ini, sebagaimana disajikan pada **Gambar 2**.



Berdasarkan **Gambar 3**, terlihat bahwa penelitian hidrogel konduktif berbasis sodium alginat dan aplikasinya dalam sensor regangan membentuk beberapa kluster utama yang saling terhubung, menunjukkan adanya integrasi yang kuat antara pengembangan material dan aplikasi sensor fleksibel. Gambar tersebut menunjukkan visualisasi jaringan, dengan kata kunci yang menggambarkan keterkaitan antar topik dalam penelitian hidrogel konduktif berbasis sodium alginat dan aplikasinya dalam sensor regangan. Visualisasi ini memperlihatkan terbentuknya beberapa kluster utama yang saling terhubung, yang mencerminkan integrasi antara pengembangan material dan aplikasi sensor fleksibel. Setiap kluster merepresentasikan tema penelitian seperti conductive hydrogel, strain sensor, dan biopolymer yang memiliki hubungan kuat satu sama lain. Hal ini menunjukkan bahwa perkembangan penelitian bersifat terintegrasi dan berfokus pada peningkatan kinerja material untuk aplikasi sensor fleksibel. Temuan ini sejalan dengan (Rahma & Nandiyanto, 2024) yang menyatakan bahwa visualisasi jaringan kata kunci mampu mengungkap hubungan konseptual antar topik penelitian melalui pembentukan kluster yang saling terhubung.

Analisis menunjukkan bahwa kata kunci seperti alginate, conductive hydrogel, dan strain sensor membentuk kluster inti yang saling terhubung, mencerminkan hubungan antara pengembangan material dan aplikasi sensor fleksibel. Keterkaitan ini menunjukkan bahwa peningkatan sifat material secara langsung mendorong kinerja sensor. Selain itu, kluster flexible sensors, human motion monitoring, dan biocompatibility menunjukkan arah penelitian menuju aplikasi wearable dan pemantauan kesehatan. Perkembangan kedua bidang ini terjadi bersamaan karena kebutuhan sensor yang fleksibel, sensitif, dan aman digunakan pada tubuh manusia. Terdapat temuan dari (Mo et al., 2024) yang menyatakan bahwa hidrogel konduktif banyak digunakan dalam perangkat wearable karena sifat mekanik yang adaptif dan biokompatibilitasnya. Dengan demikian, keterkaitan antar kluster pada Gambar 3 tidak hanya menunjukkan hubungan antar topik penelitian, tetapi juga mencerminkan arah perkembangan riset yang semakin terintegrasi antara inovasi material hidrogel dan kebutuhan aplikasi sensor fleksibel, khususnya dalam bidang wearable dan pemantauan kesehatan.

Untuk memperoleh pemahaman yang lebih spesifik mengenai pola keterkaitan kata kunci utama, analisis selanjutnya difokuskan pada visualisasi jaringan yang menyoroti hubungan antara istilah yang berkaitan dengan alginat (alginate, sodium alginate, alginic acid) dan sensor (sensor, detector, transducer), sebagaimana disajikan pada **Gambar 4**.

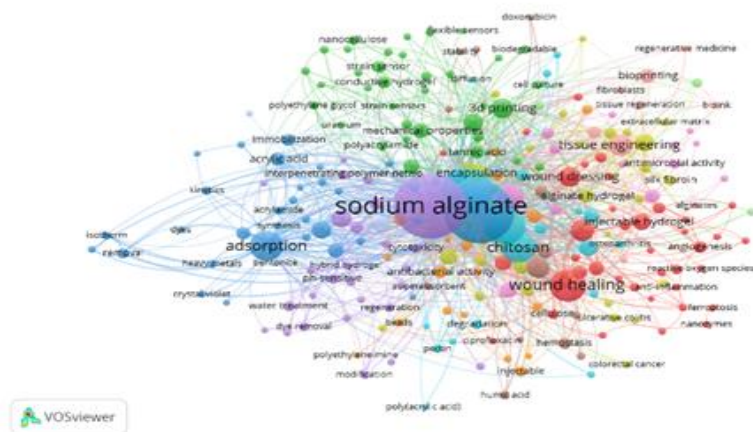


**Gambar 4.** Visualisasi jaringan pada kata kunci; Alginat OR Sodium alginate OR Alginic acid dan Sensor OR Detector OR Transducer

Analisis pada kluster ini berfokus pada kata kunci utama seperti alginate, sodium alginate, alginic acid, serta istilah terkait seperti sensor, detector, dan transducer yang membentuk jaringan visualisasi penelitian. Hasil visualisasi menunjukkan bahwa kata kunci tersebut saling berhubungan dan mencerminkan peran penting alginat sebagai material dasar dalam pengembangan berbagai jenis sensor, termasuk biosensor dan perangkat deteksi, yang banyak diaplikasikan dalam bidang biomedis dan teknologi cerdas. Kluster berwarna biru muda menunjukkan keterkaitan alginat dengan berbagai aplikasi seperti biosensor, drug delivery, dan adsorpsi yang menegakkan kontribusinya dalam bidang biomedis. Sementara itu, kluster ungu menggambarkan perkembangan sensor optik yang ditunjukkan melalui kata kunci seperti colorimetric sensor dan visual detection. Selain itu, penelitian dari (Lu et al., 2025) menunjukkan bahwa natrium alginat merupakan material penting dalam penelitian hidrogel konduktif dan biosensor.

Hal ini menunjukkan bahwa natrium alginat memiliki potensi luas sebagai material fungsional dalam pengembangan teknologi sensor modern. Biokompatibilitas, biodegradabilitas, serta kemampuan pembentukan gelnya menjadikan alginat sebagai kandidat unggul untuk aplikasi biosensor dan sistem pengiriman obat. Selain itu, interaksi alginat dengan berbagai komponen lain dalam jaringan penelitian mengindikasikan peluang inovasi pada pengembangan material cerdas yang responsif terhadap lingkungan. Dengan demikian, pemanfaatan alginat tidak terbatas pada bidang biomedis, melainkan dapat dikembangkan lebih lanjut dalam berbagai aplikasi teknologi lain yang mendukung kemajuan ilmu pengetahuan dan rekayasa material.

Selanjutnya analisis juga diperluas yang menampilkan visualisasi jaringan kata kunci yang berfokus pada kombinasi istilah alginate, sodium alginate, dan alginic acid dengan hydrogel, polymer hydrogel, serta conductive hydrogel. Sebagaimana disajikan pada **Gambar 5**.



**Gambar 5.** Visualisasi jaringan pada kata kunci; Alginat OR Sodium alginate OR Alginic acid dan Hydrogel OR polymer hydrogel OR Conductive hydrogel

Penetapan kata kunci seperti "alginate", "sodium alginate", dan "alginic acid" yang dikombinasikan dengan "hydrogel" serta "conductive hydrogel" menghasilkan visualisasi jaringan penelitian yang mengungkap beberapa kluster tematik utama (Gambar 5). Kluster-kluster tersebut merepresentasikan fokus riset yang terdiferensiasi ke dalam tema besar, mencakup pengembangan material hidrogel, aplikasi biomedis (seperti wound healing), serta sinergi dengan material lain untuk meningkatkan konduktivitas dan performa sensor. Secara keseluruhan, jaringan ini mengindikasikan keterkaitan erat antara penelitian sodium alginat dengan inovasi hidrogel konduktif serta aplikasinya di berbagai disiplin ilmu.

Visualisasi tersebut memposisikan sodium alginat sebagai nodus sentral dalam jaringan penelitian (Gambar 5), yang selaras dengan literatur yang menegaskan peran dominannya sebagai biopolimer utama dalam formulasi hidrogel untuk rekayasa material dan aplikasi biomedis (Lee & Mooney, 2012). Dominasi ini dapat dijelaskan oleh karakteristik superiornya, termasuk biokompatibilitas tinggi, pembentukan gel via ikatan ionik dengan kation divalen, serta fleksibilitas modifikasi struktural. Analisis kluster tematik mengidentifikasi kelompok biru yang menekankan adsorpsi dan biodegradasi; kluster hijau yang menghubungkan biopolimer, biosensor, dan sistem pengiriman obat; kluster merah yang berfokus pada wound healing, rekayasa jaringan, dan biokompatibilitas; serta kluster ungu yang menyoroti hidrogel konduktif, sensor fleksibel, dan sensor regangan. Integrasi antar-kluster ini mencerminkan evolusi multidisipliner penelitian sodium alginat, yang mengintegrasikan aspek material, biomedis, dan teknologi sensor dalam pengembangan hidrogel konduktif.

Untuk melengkapi analisis pada Gambar 5 yang berfokus pada peran sodium alginat dalam jaringan penelitian, dilakukan pemetaan lanjutan dengan menitikberatkan pada keterkaitan antara hidrogel dan aplikasi sensor. Seperti ditunjukkan pada Gambar 6, visualisasi jaringan kata kunci yang melibatkan istilah sensor, detector, dan transducer bersama dengan hidrogel menunjukkan penguatan hubungan antara pengembangan material hidrogel dan aplikasinya dalam teknologi sensor, khususnya sensor fleksibel dan sensor regangan.



- with Toughness as a Flexible Strain Sensor. *Biomacromolecules*, 23(6), 2603–2613. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.2c00329>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Marc, W. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133(April), 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Farshidfar, N., Irvani, S., & Varma, R. S. (2023). *Alginate-Based Biomaterials in Tissue Engineering and Regenerative Medicine*.
- Fidriyanto, R., Susilawati, I., & Yanza, Y. R. (2024). Analisis Bibliometrik Perkembangan Penelitian Kudzu Berbasis VOSviewer Universitas Padjajaran, Indonesia senyawa bioaktif, termasuk untuk biofuel. Produk isoflavon seperti puerarin telah dieksplorasi fungsional. Komponen aktif seperti isoflavon menunjang. 4(8), 2434–2450.
- Gandasari, D., Tjahjana, D., Dwidienawati, D., & Sugiarto, M. (2024). Bibliometric and visualized analysis of social network analysis research on Scopus databases and VOSviewer. *Cogent Business & Management*, 11(1). <https://doi.org/10.1080/23311975.2024.2376899>
- Lee, K. Y., & Mooney, D. J. (2012). Alginate: properties and biomedical applications. *Progress in Polymer Science*, 37(1), 106–126. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2011.06.003>
- Li, G., Li, C., Li, G., Yu, D., Song, Z., Wang, H., & Liu, X. (2021). Development of Conductive Hydrogels for Fabricating Flexible Strain Sensors. 2101518, 1–37. <https://doi.org/10.1002/sml.202101518>
- Lu, T., Han, X., Wang, H., & Liu, G. (2025). A flexible film sensor based on sodium alginate/silk nanofiber for real-time monitoring of the ambient temperature and personnel respiration in flame environment. *Carbohydrate Polymers*, 361, 123664. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2025.123664>
- Mo, F., Zhou, P., Lin, S., Zhong, J., & Wang, Y. (2024). A Review of Conductive Hydrogel-Based Wearable Temperature Sensors. *Advanced Healthcare Materials*, 13(26), e2401503. <https://doi.org/10.1002/adhm.202401503>
- Muhammad Iqbal, Edi Istiyono, Siti Nurjanah, Moh. Slamet Sutrimo, dan M. I. F. (2025). RESEARCH TRENDS IN SCIENCE PROCESS SKILLS IN EDUCATION: BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF SCOPUS PUBLICATIONS 2019-2024. 10(1), 181–195. <https://doi.org/10.59052/edufisika.v10i1.43514>
- Rahma, S. A., & Nandiyanto, A. B. D. (2024). Analisis Bibliometrik: Penggunaan Aplikasi VOSViewer Terhadap Perkembangan Publikasi Riset Nanopartikel Nikel Ferit (NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>). *Jedchem (Journal Education and Chemistry)*, 6(2), 41–51. <https://doi.org/10.36378/jedchem.v6i2.3634>
- Wang, X., Jin, C., & Bai, Z. (2025). Review of carbon nanotube-based flexible wearable strain sensors: From materials to applications for human body. *Sensors and Actuators A: Physical*, 395, 117071. <https://doi.org/10.1016/J.SNA.2025.117071>
- Zhao, L., Ren, Z., Liu, X., Ling, Q., Li, Z., & Gu, H. (2021). A Multifunctional, Self-Healing, Self-Adhesive, and Conductive Sodium Alginate / Poly ( vinyl alcohol ) Composite Hydrogel as a Flexible Strain Sensor. <https://doi.org/10.1021/acsami.1c01343>