



Potensi Antibakteri Serat Nano dari Ekstrak Tanaman Obat Indonesia: Tinjauan Fitokimia dan Teknologi Elektrospinning

Putri Kartiwi, Jiani Fahera, Atina*

Program Studi Fisika Fisika, F.SAINTEK Universitas PGRI Palembang,
30251, Indonesia

*e-mail: atina.salsabila@gmail.com

Received: 05 11 2024. Accepted: 02 02 2025. Published: 02 2025

Abstrak

Pengembangan serat nano berbasis tanaman obat melalui teknologi elektrospinning telah menarik minat besar dalam penelitian antibakteri karena karakteristik fisika unik dari serat nano, seperti luas permukaan yang tinggi dan porositas yang dapat disesuaikan. Artikel ini membahas potensi antibakteri serat nano yang dihasilkan dari ekstrak tanaman obat asli Indonesia, dengan fokus pada tinjauan skrining fitokimia dan teknik elektrospinning. Metabolit sekunder seperti flavonoid, alkaloid, tanin, dan saponin yang terkandung dalam tanaman obat Indonesia diketahui memiliki aktivitas antibakteri. Proses elektrospinning memungkinkan pembuatan serat nano dengan diameter submikron hingga nanometer, yang dapat meningkatkan efektivitas antibakteri melalui distribusi yang merata dari komponen bioaktif. Artikel ini juga mengulas prinsip fisika yang mendasari proses elektrospinning, termasuk pengaruh parameter tegangan, jarak nozzle-kolektor, dan viskositas larutan terhadap morfologi serat. Tantangan utama yang dihadapi dalam produksi serat nano berbasis tanaman obat meliputi homogenisasi ekstrak dalam matriks polimer dan optimisasi parameter fisik untuk menghasilkan serat yang stabil dan fungsional. Di samping itu, tinjauan ini juga membahas potensi aplikasi serat nano dalam bidang medis, seperti wound dressing dan pembalut antimikroba, serta implikasi fisika dari interaksi serat nano dengan permukaan bakteri. Kesimpulannya, meskipun penelitian ini menjanjikan, diperlukan pengembangan lebih lanjut untuk memaksimalkan efektivitas antibakteri serat nano melalui pendekatan interdisipliner yang mencakup aspek fitokimia dan fisika.

Kata Kunci: serat nano, elektrospinning, antibakteri, skrining fitokimia, tanaman obat Indonesia

Exploration of Antibacterial Potential of Nano-Fiber from Indonesian Medicinal Plant Extracts: A Review of Phytochemistry and Electrospinning Technology

Abstract

The development of medicinal plant-based nanofibers through electrospinning technology has attracted great interest in antibacterial research due to the unique physical characteristics of nanofibers, such as high surface area and tunable porosity. This article explores the antibacterial potential of nanofibers produced from extracts of native Indonesian medicinal plants, focusing on a review of phytochemical screening and electrospinning techniques. Secondary metabolites such as flavonoids, alkaloids, tannins, and saponins contained in Indonesian medicinal plants are known to have antibacterial activity. The electrospinning process enables the fabrication of nanofibers with submicron to nanometer diameters, which can enhance antibacterial effectiveness through even distribution of bioactive components. This article also reviews the physical principles underlying the electrospinning process, including the influence of voltage parameters, nozzle-collector distance, and solution viscosity on fiber morphology. The main challenges faced in the production of medicinal plant-based nanofibers include homogenization of extracts in the polymer matrix and optimization of physical parameters to produce stable and functional fibers. In addition, this review also discusses the



potential applications of nanofibers in the medical field, such as wound dressings and antimicrobial dressings, as well as the physical implications of nanofiber interactions with bacterial surfaces. In conclusion, despite the promise of this research, further development is required.

Keywords: *one or more word(s) or phrase(s), that it's important, specific, or representative for the article.*

PENDAHULUAN

Perkembangan resistensi bakteri terhadap antibiotik konvensional telah menjadi masalah global yang signifikan (Azad, 2024) mendorong pencarian alternatif alami untuk agen antibakteri. Tanaman obat dikenal kaya akan metabolit sekunder (Kurniati et al., 2024) seperti flavonoid (Lu, 2023), alkaloid (Dhyani et al., 2022), tanin (Soraya, 2023), dan saponin (Triwahyuni et al., 2019), yang telah terbukti memiliki aktivitas antibakteri (Kurniati et al., 2024). Indonesia, sebagai salah satu negara dengan keanekaragaman hayati terbesar di dunia, memiliki potensi besar dalam pengembangan bahan antibakteri alami berbasis tanaman obat (Kaempe et al., 2023).

Beberapa tanaman obat Indonesia yang telah diidentifikasi memiliki potensi antibakteri meliputi sambiloto (*Andrographis paniculata*): mengandung andrographolide yang memiliki aktivitas antimikroba terhadap berbagai bakteri patogen (Septiani et al., 2021), daun Sirih (*Piper betle*): kaya akan eugenol dan chavicol, yang dikenal memiliki aktivitas antibakteri dan antijamur (Aulia et al., 2023), temulawak (*Curcuma xanthorrhiza*): mengandung kurkuminoid dan xanthorrhizol yang menunjukkan aktivitas melawan bakteri Gram-positif dan Gram-negatif (Rahmat et al., 2021), kayu secang (*Caesalpinia sappan*): mengandung brazilin dan brazilin yang berfungsi sebagai agen antibakteri dan antioksidan (Pattananandecha et al., 2022), lidah buaya (*Aloe vera*): Diketahui memiliki polisakarida dan antrakuinon

dengan sifat antibakteri dan penyembuhan luka (Gunarti et al., 2022).

Namun, efektivitas ekstrak tanaman obat ini dalam aplikasinya sebagai antibakteri sering kali terbatas oleh stabilitasnya dan kemampuan untuk mencapai target sel bakteri secara efisien (Rasheed et al., 2024). Untuk mengatasi tantangan ini, pengembangan serat nano berbasis tanaman obat melalui teknologi elektrospinning telah diusulkan (Rubiano-Navarrete et al., 2024) sebagai solusi inovatif. Serat nano memiliki karakteristik fisika yang unik, seperti rasio luas permukaan terhadap volume yang tinggi dan kemampuan porositas yang dapat disesuaikan (Jiang et al., 2023). Karakteristik ini memungkinkan peningkatan kontak dengan bakteri serta distribusi yang lebih baik dari metabolit aktif dalam matriks serat (Condren et al., 2020).

Dalam konteks fisika, proses elektrospinning bergantung pada pengaturan parameter fisik (Al-Okaidy & Waisi, 2023) seperti tegangan listrik, viskositas larutan, dan jarak nozzle-kolektor, yang mempengaruhi pembentukan morfologi serat nano (Abdillah et al., 2022). Elektrospinning bekerja berdasarkan prinsip tarikan elektrostatis antara fluida dan medan listrik, yang memaksakan larutan polimer untuk membentuk serat nano saat fluida ditarik dari nozzle menuju kolektor (Kusumaatmaja et al., 2023). Parameter fisika seperti tegangan listrik tinggi memungkinkan pembentukan jet cairan yang ditarik menjadi serat nano tipis, sedangkan viskositas larutan menentukan keseragaman dan kestabilan serat (Liu et al., 2019). Oleh karena itu, pengaruh dari

parameter ini terhadap ukuran dan distribusi serat sangat penting dalam menentukan efektivitas antibakterinya (Korniienko et al., 2022). Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa ukuran serat nano yang lebih kecil memiliki kemampuan lebih baik untuk berinteraksi dengan bakteri, meningkatkan efek penghambatan (Ruhil & Kataria, 2021).

Artikel review ini bertujuan untuk meninjau potensi antibakteri dari serat nano berbasis ekstrak tanaman obat Indonesia, dengan fokus pada tinjauan skrining fitokimia dan teknologi elektrospinning. Selain itu, artikel ini akan membahas prinsip-prinsip fisika yang mendasari proses pembuatan serat nano serta implikasinya terhadap efektivitas antibakteri. Diharapkan tinjauan ini dapat memberikan pemahaman mendalam tentang tantangan dan peluang dalam pengembangan serat nano berbahan dasar tanaman obat untuk aplikasi medis dan antimikroba di masa depan.

BAHAN DAN METODE

Pencarian Literatur

Proses pencarian literatur dilakukan melalui basis data ilmiah terkemuka, termasuk *PubMed*, *ScienceDirect*, *Google Scholar*, dan *Web of Science*. Kata kunci utama yang digunakan dalam pencarian meliputi "serat nano", "elektrospinning", "antibakteri", "skrining fitokimia", "tanaman obat Indonesia", dan "metabolit sekunder". Penelitian yang dipublikasikan dalam dekade terakhir (2014–2024) diprioritaskan, meskipun beberapa literatur klasik juga dimasukkan untuk memberikan landasan teoritis.

Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Artikel yang disertakan dalam tinjauan ini memenuhi kriteria berikut:

- Studi harus melibatkan skrining fitokimia tanaman obat asal Indonesia

atau tanaman obat yang umum ditemukan di Indonesia.

- Penelitian yang mempelajari potensi antibakteri baik secara *in vitro* maupun *in vivo* dari ekstrak tanaman obat.
- Artikel yang melibatkan pembuatan dan karakterisasi serat nano menggunakan teknologi elektrospinning.
- Studi yang mengaitkan parameter fisika dalam elektrospinning (seperti tegangan input, viskositas, laju aliran fluida, dan jarak nozzle-kolektor) dengan morfologi dan ukuran serat serta efeknya terhadap aktivitas antibakteri.

Artikel yang tidak memenuhi salah satu dari kriteria ini atau yang tidak relevan dengan fokus utama (tanaman obat Indonesia atau proses elektrospinning) dikecualikan dari analisis lebih lanjut.

Analisis Data

Artikel yang memenuhi kriteria inklusi dianalisis secara kritis untuk mengevaluasi hasil-hasil utama mereka terkait:

- Profil fitokimia tanaman obat (jenis metabolit sekunder seperti flavonoid, alkaloid, tanin, saponin).
- Pengaruh parameter fisik dalam proses elektrospinning terhadap karakteristik serat nano yang dihasilkan (ukuran, morfologi, dan distribusi serat).
- Efektivitas antibakteri dari serat nano yang dihasilkan, dengan perbandingan terhadap bahan konvensional.

Data yang terkumpul dari setiap studi diorganisir ke dalam tabel perbandingan untuk memberikan ringkasan mengenai tanaman obat, metode pembuatan serat, parameter fisik elektrospinning, dan hasil pengujian antibakteri.

Pendekatan Interdisipliner

Dalam rangka memastikan cakupan fisika dan biologi secara seimbang, tinjauan ini menggunakan

pendekatan interdisipliner yang melibatkan prinsip-prinsip fisika, khususnya yang berkaitan dengan fenomena fisik pada proses elektrospinning, serta aspek kimia dan biologi dalam skrining fitokimia dan pengujian antibakteri. Dengan demikian, artikel ini diharapkan dapat menjembatani ilmu fisika dan biologi dalam konteks teknologi material berbasis tanaman obat.

Validasi Temuan

Sebagai bagian dari penulisan review, tinjauan kritis terhadap literatur juga dilakukan dengan membandingkan hasil antar studi yang terkait, serta memvalidasi hipotesis umum tentang hubungan antara komponen fitokimia dalam serat nano dan efeknya terhadap bakteri patogen. Pembahasan juga melibatkan analisis dari berbagai pendekatan teknologi elektrospinning yang telah dilaporkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Skrining Fitokimia Tanaman Obat Indonesia

Berdasarkan tinjauan literatur yang dilakukan, beberapa tanaman obat di Indonesia terbukti memiliki potensi antibakteri yang signifikan melalui kandungan metabolit sekunder seperti flavonoid, alkaloid, tanin, dan saponin (Sianipar, 2021). Misalnya, Sambiloto (*Andrographis paniculata*) mengandung andrographolide, senyawa diterpenoid yang terbukti efektif melawan bakteri patogen seperti *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli* (Septiani et al., 2021). Daun Sirih (*Piper betle*) mengandung senyawa fenolik seperti eugenol yang menunjukkan aktivitas antibakteri kuat terhadap bakteri Gram-positif dan Gram-negatif (Sianipar, 2021). Selain itu, temulawak (*Curcuma xanthorrhiza*), Kayu Secang (*Caesalpinia sappan*), dan Lidah Buaya (*Aloe vera*)

juga menunjukkan aktivitas antibakteri yang beragam melalui kandungan fitokimia masing-masing. Studi-studi ini secara konsisten menunjukkan bahwa metabolit sekunder dari tanaman obat Indonesia mampu menghambat pertumbuhan bakteri melalui berbagai mekanisme, seperti gangguan membran sel, penghambatan enzim, dan oksidasi DNA bakteri (Khafid et al., 2023).

Pembahasan Fitokimia

Aktivitas antibakteri yang dihasilkan oleh metabolit sekunder tanaman obat dipengaruhi oleh struktur kimia dari senyawa-senyawa tersebut (Karim et al., 2022). Misalnya, senyawa flavonoid diketahui dapat membentuk ikatan hidrogen dengan enzim atau protein bakteri, sehingga mengganggu proses metabolisme sel bakteri (Permatasari et al., 2022). Senyawa tanin mampu merusak membran sel bakteri melalui interaksi dengan lipid membran (Sekowski et al., 2023), sedangkan alkaloid bekerja melalui mekanisme penghambatan enzim vital bagi bakteri (Ruhul & Kataria, 2021). Penggunaan skrining fitokimia membantu mengidentifikasi senyawa-senyawa ini dan menjadi landasan penting untuk pengembangan agen antibakteri berbasis serat nano (Tahir et al., 2022). Namun, meskipun potensi fitokimia tinggi, terdapat keterbatasan dalam aplikasi klinis langsung akibat rendahnya bioavailabilitas dan ketidakstabilan senyawa tersebut (Tallam et al., 2023).

Pengaruh Parameter Fisika dalam Proses Elektrospinning

Elektrospinning memungkinkan pembuatan serat nano dengan morfologi yang sangat bervariasi, tergantung pada parameter fisika yang diterapkan selama proses produksi (Barabás & Vészi, 2024). Hasil dari tinjauan literatur menunjukkan bahwa parameter utama seperti tegangan input, viskositas larutan, laju aliran fluida, dan jarak antara nozzle-kolektor

sangat mempengaruhi morfologi serat yang dihasilkan (Cao et al., 2020).

Tegangan Input: Tegangan tinggi yang diterapkan dalam proses elektrospinning menyebabkan tarikan elektrostatis yang menarik larutan polimer keluar dari nozzle, membentuk serat (Médici & Otero, 2023). Hasil literatur menunjukkan bahwa peningkatan tegangan input cenderung menghasilkan serat dengan diameter yang lebih kecil, meningkatkan rasio luas permukaan terhadap volume, yang ideal untuk aplikasi antibakteri (Tan, C. J., et al (2019).

Viskositas Larutan: Viskositas larutan polimer juga merupakan faktor kritis (Dou et al., 2022). Larutan dengan viskositas rendah menghasilkan serat tipis, tetapi rentan terhadap pembentukan tetesan atau beads (Eren Böncü, 2023). Sebaliknya, larutan dengan viskositas tinggi menghasilkan serat yang lebih seragam namun berdiameter lebih besar (Castellanos et al., 2022). Penelitian menunjukkan bahwa larutan dengan viskositas optimal dapat menghasilkan serat nano yang homogen, yang mampu mendistribusikan ekstrak tanaman obat secara lebih merata dalam matriks seratreferensi.

Jarak Nozzle-Kolektor: Jarak antara nozzle dan kolektor menentukan waktu pengeringan serat sebelum

mencapai kolektor (Akan & Özkan, 2018). Studi menunjukkan bahwa jarak yang terlalu pendek dapat menyebabkan serat tidak mengering sempurna, sedangkan jarak yang terlalu jauh dapat menyebabkan serat terurai sebelum mencapai kolektor (Tumpu et al., 2022). Pemilihan jarak yang tepat sangat penting untuk mendapatkan serat nano yang kuat dan fungsional (Chen et al., 2022).

Serat Nano dalam Sudut Pandang Fisika (Langwald et al., 2023):

Dari sudut pandang fisika, proses elektrospinning mengandalkan prinsip tarikan elektrostatis untuk memproduksi serat dengan diameter submikron hingga nanometer (Guo et al., 2022). Hasil penelitian menunjukkan bahwa serat nano yang lebih kecil dan seragam memiliki aktivitas antibakteri yang lebih tinggi (Novarini et al., 2021), karena rasio luas permukaan yang besar memungkinkan kontak lebih efektif dengan bakteri. Selain itu, serat nano berdiameter kecil dapat menembus biofilm bakteri, lapisan pelindung yang sulit ditembus oleh agen antibakteri konvensional (Karnwal et al., 2023). Oleh karena itu, mengontrol parameter fisika dalam elektrospinning menjadi kunci untuk meningkatkan efisiensi antibakteri serat nano yang dihasilkan.

Tabel 1. Sintesis serat nano antibakteri

No	Material Sintesis	Aplikasi	Referensi
1	Kitosan + Heparin	Membran Penyembuh luka	(Shahzadi et al., 2022)
2	Ekstrak basella rubra linn + PVP	Pembalut luka alternatif berbasis serat nano	(Dewi et al., 2021)
3	Polyvinylpyrrolidon (PVP) + daun binahong	PVP/BDE pada bidang farmasi	(Srilistari et al., 2021)
4	Nano fiber PVA + kunyit + madu	Pembalut luka	(Wahdania & Kusumawati, 2023)
5	Ekstrak daun pepaya carica	Luka bakar terinfeksi	(Niza et al., 2020)
6	Ekstrak Daun sirsak	Penutup luka	(Rohma & Kusumawati, 2024)

7	Ekstrak daun nangka	Wound dressing	(Nur & Kusumawati, 2023)
8	Nano fiber PVA/Kitosan	Wound dressing	(Supriyanto et al., 2018)
9	Nanofiber PVA/ gelatin	Penutup luka	(Mutia et al., 2020)(Herliana et al., 2024)
10	Kitosan + alginat, + kolagen	Pembalut luka	(Suryati et al., 2021)
11	Kitosan + pati jagung + asam sitrat + pektin	Pembalut luka primer	(Rafly et al., 2023)

Aktivitas Antibakteri Serat Nano Berbasis Tanaman Obat

Studi literatur mengungkapkan bahwa serat nano yang dihasilkan dari ekstrak tanaman obat menunjukkan aktivitas antibakteri yang lebih baik dibandingkan dengan ekstrak murni atau serat tanpa bahan aktif (Azarmi et al., 2022). Hal ini disebabkan oleh kemampuan serat nano untuk mendistribusikan senyawa aktif secara merata di permukaan, yang meningkatkan efektivitas interaksi antara serat dan bakteri (Khanzada & Kumpikaité, 2024). Beberapa studi melaporkan bahwa serat nano berbasis ekstrak Sambiloto dan Daun Sirih mampu menghambat pertumbuhan bakteri Gram-positif dan Gram-negatif secara signifikan.

Mekanisme antibakteri dari serat nano ini melibatkan pelepasan lambat senyawa bioaktif dari serat, yang memungkinkan penghambatan pertumbuhan bakteri dalam waktu yang lebih lama (Umayah, 2022). Serat nano juga berperan sebagai pembawa yang memfasilitasi kontak fisik antara senyawa aktif dan sel bakteri, yang meningkatkan kerusakan membran bakteri (Novarini et al., 2021). Selain itu, peningkatan porositas serat nano mempengaruhi difusi senyawa aktif, yang memaksimalkan penetrasi ke dalam sel bakteri.

Meskipun hasil ini menjanjikan, masih ada tantangan dalam mengoptimalkan serat nano berbasis tanaman obat, terutama dalam hal

kestabilan senyawa aktif selama proses elektrospinning dan pemanfaatan pada aplikasi klinis (Anaya-Mancipe et al., 2023). Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengatasi keterbatasan ini dan memastikan bahwa serat nano dapat diproduksi secara komersial dengan kualitas yang konsisten.

KESIMPULAN

Serat nano berbasis ekstrak tanaman obat Indonesia menunjukkan potensi besar sebagai agen antibakteri alami yang inovatif, terutama dalam menghadapi tantangan resistensi bakteri terhadap antibiotik konvensional. Hasil dari berbagai studi literatur menunjukkan bahwa tanaman obat seperti Sambiloto (*Andrographis paniculata*), Daun Sirih (*Piper betle*), Temulawak (*Curcuma xanthorrhiza*), Kayu Secang (*Caesalpinia sappan*), dan Lidah Buaya (*Aloe vera*) memiliki kandungan fitokimia yang berperan penting dalam aktivitas antibakteri. Metabolit sekunder seperti flavonoid, alkaloid, tanin, dan saponin memberikan kontribusi signifikan dalam menghambat pertumbuhan bakteri patogen melalui berbagai mekanisme. Teknologi elektrospinning memungkinkan pengembangan serat nano dengan sifat fisik yang unggul, seperti luas permukaan yang besar dan kemampuan porositas yang dapat diatur, yang secara signifikan meningkatkan efektivitas antibakteri. Proses ini sangat bergantung pada parameter fisika seperti

tegangan input, viskositas larutan, laju aliran fluida, dan jarak antara nozzle-kolektor, yang mempengaruhi morfologi dan ukuran serat nano. Pengaturan parameter ini memungkinkan produksi serat nano dengan diameter yang lebih kecil dan distribusi yang lebih merata dari senyawa bioaktif, sehingga meningkatkan interaksi antara serat dan sel bakteri. Meskipun potensi antibakteri serat nano berbasis tanaman obat sangat menjanjikan, tantangan tetap ada, terutama terkait dengan kestabilan senyawa bioaktif selama proses electrospinning dan aplikasi klinis. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengoptimalkan proses produksi, meningkatkan efisiensi serat nano dalam konteks medis, dan mengeksplorasi lebih banyak tanaman obat yang belum diinvestigasi secara menyeluruh. Dengan demikian, integrasi antara ilmu fitokimia dan fisika dalam pengembangan serat nano berbasis tanaman obat Indonesia membuka peluang baru untuk aplikasi medis dan antimikroba, yang dapat menjadi solusi potensial dalam menghadapi krisis resistensi antibiotik di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, U., Yazid, H., Ahmad, S., Makhtar, N., Zaubidah, S., Shan Chen, R., & Hadifah Syifa, N. (2022). The effect of various electrospinning parameter and sol-gel concentration on morphology of silica and titania nanofibers. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1231(1), 012012. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1231/1/012012>
- Akan, A. E., & Özkan, D. B. (2018). Determination of drying behaviour in industrial type convectional dryer and mathematical modelling. *Thermal Science*, 2018(3), 1935–1950. <https://doi.org/10.2298/TSC180315244A>
- Al-Okaidy, H. S., & Waisi, B. I. (2023). The Effect of Electrospinning Parameters on Morphological and Mechanical Properties of PAN-based Nanofibers Membrane. *Baghdad Science Journal*, 20(4), 1433–1441. <https://doi.org/10.21123/bsj.2023.7309>
- Anaya-Mancipe, J. M., Queiroz, V. M., dos Santos, R. F., Castro, R. N., Cardoso, V. S., Vermelho, A. B., Dias, M. L., & Thiré, R. M. S. M. (2023). Electrospun Nanofibers Loaded with Plantago major L. Extract for Potential Use in Cutaneous Wound Healing. *Pharmaceutics*, 15(4). <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15041047>
- Aulia, H. R., Wienaldi, W., & Fioni, F. (2023). Effectiveness of green betel leaf extract cream in healing cut wounds. *Jurnal Prima Medika Sains*, 5(2), 187–195. <https://doi.org/10.34012/jpms.v5i2.4399>
- Azad, M. A. K. (2024). Antimicrobial resistance: Real threat for the clinician. *Bangladesh Journal of Medicine*, 35(2), 131. <https://doi.org/10.3329/bjm.v35i20.73370>
- Azarmi, R., Ashjarian, A., Nourbakhsh, S., & Talebian, A. (2022). Plant extract delivery and antibacterial properties of nano bacterial cellulose in the presence of dendrimer, chitosan, and herbal materials. *Journal of Industrial Textiles*, 52, 1–23. <https://doi.org/10.1177/15280837221121977>
- Barabás, R., & Vészi, A. (2024). Comparative Study of Electrospinning Parameters for Production of Polylactic Acid and Polycaprolactone Nanofibers Based

- on Design of Experiment. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 68(2), 265–275. <https://doi.org/10.3311/PPch.22814>
- Cao, K., Zhang, F., & Chang, R. C. (2020). A charge-based mechanistic study into the effects of process parameters on fiber accumulating geometry for a melt electrohydrodynamic process. *Processes*, 8(11), 1–11. <https://doi.org/10.3390/pr8111440>
- Castellanos, D., Martin, P., McCourt, M., Kearns, M., Butterfield, J., & Cassidy, P. (2022). Role of Viscosity on Optimum Polymer-Fibre Interaction during Rotational Moulding Sintering. *Key Engineering Materials*, 926 KEM, 1874–1881. <https://doi.org/10.4028/p-c0a229>
- Chen, X., Cao, H., He, Y., Zhou, Q., Li, Z., Wang, W., He, Y., Tao, G., & Hou, C. (2022). Advanced functional nanofibers: strategies to improve performance and expand functions. *Frontiers of Optoelectronics*, 15(1), 1–19. <https://doi.org/10.1007/s12200-022-00051-2>
- Condren, A. R., Costa, M. S., Sanchez, N. R., Konkapaka, S., Gallik, K. L., Saxena, A., Murphy, B. T., & Sanchez, L. M. (2020). Addition of insoluble fiber to isolation media allows for increased metabolite diversity of lab-cultivable microbes derived from zebrafish gut samples. *Gut Microbes*, 11(4), 1064–1076. <https://doi.org/10.1080/19490976.2020.1740073>
- Dewi, W. K., Indahsari, D. N., Prastuti, O. P., & Septiani, E. L. (2021). Sintesis Nanofiber PVP dengan Ekstrak *Basella rubra* Linn. Menggunakan Metode Elektrosinning. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, 5(1), 55–60. <https://doi.org/10.33795/jtkl.v5i1.20>
- Dhyani, P., Quispe, C., Sharma, E., Bahukhandi, A., Sati, P., Attri, D. C., Szopa, A., Sharifi-Rad, J., Docea, A. O., Mardare, I., Calina, D., & Cho, W. C. (2022). Anticancer potential of alkaloids: a key emphasis to colchicine, vinblastine, vincristine, vindesine, vinorelbine and vincamine. *Cancer Cell International*, 22(1), 1–20. <https://doi.org/10.1186/s12935-022-02624-9>
- Dou, X., Wang, A., Wang, S., Shao, D., Xing, G., & Qian, K. (2022). Study on the Viscosity Optimization of Polymer Solutions in a Heavy Oil Reservoir Based on Process Simulation. *Energies*, 15(24). <https://doi.org/10.3390/en15249473>
- Eren Böncü, T. (2023). Fabrication and Controlling Morphology of Polyethylene Oxide/Sodium Alginate Beads and/or Fibers: Effect of Viscosity and Conductivity in Electrospinning. *Ankara Universitesi Eczacilik Fakultesi Dergisi*, 47(2), 420–429. <https://doi.org/10.33483/jfpau.1216758>
- Gunarti, N., Yuniarsih, N., Toni, S. R. M., Khoerunnisa, R., Allahuddin, A., Anggraeni, F., & Ruhdiana, T. (2022). Artikel Review: Kandungan Senyawa Aktif Tanaman Untuk Kesehatan Kulit. *JFIONline | Print ISSN 1412-1107 | e-ISSN 2355-696X*, 14(2), 190–195. <https://doi.org/10.35617/jfionline.v14i2.86>
- Guo, Y., Wang, X., Shen, Y., Dong, K., Shen, L., & Alzalab, A. A. A. (2022). Research progress, models and simulation of electrospinning technology: a review. *Journal of Materials Science*, 57(1), 58–104. <https://doi.org/10.1007/s10853-021-06575-w>
- Herliana, H., Yusuf, H. Y., Laviana, A., Wandawa, G., & Abbas, B. (2024).

- In Vitro Hemostatic Activity of Novel Fish Gelatin–Alginate Sponge (FGAS) Prototype. *Polymers*, 16(2047). <https://doi.org/10.3390/polym16142047>
- Jiang, Z., Zheng, Z., Yu, S., Gao, Y., Ma, J., Huang, L., & Yang, L. (2023). Nanofiber Scaffolds as Drug Delivery Systems Promoting Wound Healing. In *Pharmaceutics* (Vol. 15, Issue 7). <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15071829>
- Kaempe, H. S., Komansilan, S., Rumondor, R., & Maliangkay, H. P. (2023). Skrining Fitokimia Ekstrak Kulit Buah Alpukat (*Persea americana* Mill) Sebagai Obat Tradisional. *Pharmacon*, 12(2), 223–228.
- Karim, M. B., Kanaya, S., & Altaf-Ul-Amin, M. (2022). Antibacterial Activity Prediction of Plant Secondary Metabolites Based on a Combined Approach of Graph Clustering and Deep Neural Network. *Molecular Informatics*, 41(7), 1–11. <https://doi.org/10.1002/minf.202100247>
- Karnwal, A., Kumar, G., Pant, G., Hossain, K., Ahmad, A., & Alshammari, M. B. (2023). Perspectives on Usage of Functional Nanomaterials in Antimicrobial Therapy for Antibiotic-Resistant Bacterial Infections. *ACS Omega*, 8(15), 13492–13508. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c00110>
- Khafid, A., Wiraputra, M. D., Putra, A. C., Khoirunnisa, N., Putri, A. A. K., Suedy, S. W. A., & Nurchayati, Y. (2023). Uji Kualitatif Metabolit Sekunder pada Beberapa Tanaman yang Berkhasiat sebagai Obat Tradisional. *Buletin Anatomi Dan Fisiologi*, 8(1), 61–70. <https://doi.org/10.14710/baf.8.1.2023.61-70>
- 3.61-70
- Khanzada, H., & Kumpikaitè, E. (2024). Anti-bacterial nanofibers and their biomedical applications—a review. *Journal of the Textile Institute*, April(0), 1–19. <https://doi.org/10.1080/00405000.2024.2332851>
- Korniienko, V., Husak, Y., Radwan-Pragłowska, J., Holubnycha, V., Samokhin, Y., Yanovska, A., Varava, J., Diedkova, K., Janus, Ł., & Pogorielov, M. (2022). Impact of Electrospinning Parameters and Post-Treatment Method on Antibacterial and Antibiofilm Activity of Chitosan Nanofibers. *Molecules*, 27(10). <https://doi.org/10.3390/molecules27103343>
- Kurniati, N., Zaini, W. S., Hamtini, H., Pratama, M. R. T., & Ridwanulloh, M. (2024). Pemanfaatan Ekstrak Daun Pepaya (*Carica papaya* L), Sambiloto (*Andrographis paniculata*), Miana (*Coleus scutellarioides* L) Sebagai Antibakteri (Studi Literatur Review). *Journal of Medical Laboratory Research*, 2(2), 39–42. <https://doi.org/10.36743/jomlr.v2i2.746>
- Kusumaatmaja, A., Manaf, M. N., Hidayat, S. N., Triyana, K., Rahma, F., Kadja, G. T. M., & Yunus, M. (2023). The Spatial Arrangement of The Electric Field in the Needle-Plate Electrospinning. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 13(2), 201. <https://doi.org/10.13057/ijap.v13i2.67191>
- Langwald, S. V., Ehrmann, A., & Sabantina, L. (2023). Measuring Physical Properties of Electrospun Nanofiber Mats for Different Biomedical Applications. *Membranes*, 13(5), 20–24. <https://doi.org/10.3390/membranes13050488>

- Liu, Z., Ju, K., Wang, Z., Li, W., Ke, H., & He, J. (2019). Electrospun Jets Number and Nanofiber Morphology Effected by Voltage Value: Numerical Simulation and Experimental Verification. *Nanoscale Research Letters*, *14*(1). <https://doi.org/10.1186/s11671-019-3148-y>
- Lu, P. (2023). Application of Flavonoids in Anti-Aging and Neuroprotection. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, *80*, 272–279. <https://doi.org/10.54097/reykbe53>
- Médici, E. F., & Otero, A. D. (2023). Album of Porous Media: Structure and Dynamics. *Album of Porous Media: Structure and Dynamics*, 1–146. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-23800-0>
- Mutia, T., Novarini, E., & Gustiani, R. S. (2020). Preparasi Dan Karakterisasi Membran Serat Nano Polivinil Alkohol/Gelatin Dengan Antibiotika Topikal Menggunakan Metode Electrospinning. *Arena Tekstil*, *35*(2), 95. <https://doi.org/10.31266/at.v35i2.5867>
- Niza, S., Khumala, I. P., Herdiyani, D. A., & Pramuningtyas, R. (2020). Efektifitas Ekstrak Daun Pepaya (Carica Papaya) Terhadap Luka Bakar Terinfeksi. *Universitas Muhammadiyah Surakarta*, 178–191. <https://publikasiilmiah.ums.ac.id/xmlui/handle/11617/12440>
[https://publikasiilmiah.ums.ac.id/xmlui/bitstream/handle/11617/12440/16.Solikhatin Niza.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://publikasiilmiah.ums.ac.id/xmlui/bitstream/handle/11617/12440/16.Solikhatin%20Niza.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Novarini, E., Mutia, T., & Gustiani, R. S. (2021). Aktivitas Antibakteri Dan Uji Efikasi in Vivo Membran Serat Nano Polivinil Alkohol/Gelatin Dengan Antibiotika Topikal Untuk Tekstil Medis Pembalut Luka. *Arena Tekstil*, *36*(1), 7–16. <https://doi.org/10.31266/at.v36i1.67>
- Nur, A. F. F., & Kusumawati, D. H. (2023). Karakteristik Porositas dan Antibakteri Wound Dressing Nanofiber PVA-Pare (*Momordica charantia*). *Sains Dan Matematika*, *8*(2), 32–40. <https://doi.org/10.26740/sainsmat.v8n2.p32-40>
- Pattananandecha, T., Apichai, S., Julsrigival, J., Ogata, F., Kawasaki, N., & Saenjum, C. (2022). Antibacterial Activity against Foodborne Pathogens and Inhibitory Effect on Anti-Inflammatory Mediators' Production of Brazilin-Enriched Extract from *Caesalpinia sappan* Linn. *Plants*, *11*(13), 2–10. <https://doi.org/10.3390/plants11131698>
- Permatasari, N. D., Witoyo, J. E., Masruri, Yuwono, S. S., & Widjanarko, S. B. (2022). In Silico Screening of *Syzygium myrtifolium* Flavonoid Compounds as AntiBacterial Activity. *Journal of Tropical Life Science*, *12*(3), 299–306. <https://doi.org/10.11594/jtls.12.03.02>
- Rafly, W., Suryati, S., Masrullita, M., Nurlaila, R., & Sulhatun, S. (2023). Modifikasi Biokomposit Kitosan-Pati Jagung Untuk Pembalut Luka Primer Dengan Asam Sitrat Dan Pektin. *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, *3*(6), 769. <https://doi.org/10.29103/cejs.v3i6.1473>
- Rahmat, E., Lee, J., & Kang, Y. (2021). Javanese Turmeric (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb.): Ethnobotany, Phytochemistry, Biotechnology, and Pharmacological Activities. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, *2021*(4747), 1–15. <https://doi.org/10.1155/2021/9960813>
- Rasheed, H. A., Rehman, A., Karim, A.,

- Al-Asmari, F., Cui, H., & Lin, L. (2024). A comprehensive insight into plant-derived extracts/bioactives: Exploring their antimicrobial mechanisms and potential for high-performance food applications. *Food Bioscience*, 59(April), 104035. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104035>
- Rohma, L. Y., & Kusumawati, D. H. (2024). Efektivitas Antibakteri PVA-Ekstrak Daun Sirsak Sebagai Penutup Luka. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, 13(1), 14–20.
- Rubiano-Navarrete, A. F., Rosas Cuesta, R. A., Torres Perez, Y., & Gómez Pachón, E. Y. (2024). From fibers electrospun with honey to the healing of wounds: a review. *Ingeniería y Competitividad*, 26(2), 1–40. <https://doi.org/10.25100/iyc.v26i2.12811>
- Ruhal, R., & Kataria, R. (2021). Biofilm patterns in gram-positive and gram-negative bacteria. *Microbiological Research*, 251(March), 126829. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126829>
- Sekowski, S., Naziris, N., Chountoulesi, M., Olchowik-Grabarek, E., Czerkas, K., Veiko, A., Abdulladjanova, N., Demetzos, C., & Zamaraeva, M. (2023). Interaction of Rhus typhina Tannin with Lipid Nanoparticles: Implication for the Formulation of a Tannin-Liposome Hybrid Biomaterial with Antibacterial Activity. *Journal of Functional Biomaterials*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/jfb14060296>
- Septiani, D. A., Hakim, A., Patech, L. R., Zulhalifah, Z., & Siswadi, S. (2021). Isolation and Identification of Andrographolide Compounds from the Leaves of Sambiloto Plant (*Andrographis paniculata* Ness). *Acta Chimica Asiana*, 4(1), 108–113. <https://doi.org/10.29303/aca.v4i1.65>
- Shahzadi, L., Ramzan, A., Anjum, A., Jabbar, F., Khan, A. F., Manzoor, F., Shahzad, S. A., Chaudhry, A. A., Rehman, I. ur, & Yar, M. (2022). An efficient new method for electrospinning chitosan and heparin for the preparation of pro-angiogenic nanofibrous membranes for wound healing applications. *Journal of Applied Polymer Science*, 139(48), 1–14. <https://doi.org/10.1002/app.53212>
- Sianipar, E. A. (2021). The Potential of Indonesian Traditional Herbal Medicine as Immunomodulatory Agents: A Review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 12(10), 5229–5237. [https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.12\(10\).5229-37](https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.12(10).5229-37)
- Soraya, S. (2023). Uji Kandungan Tanin Daun Salam (*Silygium Polyanthum*) Menggunakan Berbagai Konsentrasi Etanol. *Jurnal Skala Kesehatan*, 14(2), 129–135. <https://doi.org/10.31964/jsk.v14i2.417>
- Srilistari, Almafie, M. R., Marlina, L., Jauhari, J., & Sriyanti, I. (2021). Pemintalan Elektrik dan Karakterisasi Naopartikel-Nanofiber dari Polyvinylpyrrolidone/Ekstrak Daun Binahong (PVP/BDE). *Jurnal Inovasi Dan Pembelajaran Fisika*, 08(2), 155–167.
- Supriyanto, A., Murni, M. L., Marlina, F., & Pangga, D. (2018). Uji Biokompatibilitas Nanofiber Komposit Kitosan/PVA Sebagai Pembalut Luka. *Lensa: Jurnal Kependidikan Fisika*, 6(1), 37. <https://doi.org/10.33394/j-lkf.v6i1.934>
- Suryati, Azhari, & Pasaribu, D. L. (2021). Pembuatan Biokomposit Kitosan / Alginat / Kolagen Untuk Aplikasi. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 1(Mei), 48–60.

- Tahir, M. F., Khan, M. Z., Attacha, S., Asim, N., Tayyab, M., Ali, A., Militky, J., & Tomková, B. (2022). The Comparative Performance of Phytochemicals, Green Synthesised Silver Nanoparticles, and Green Synthesised Copper Nanoparticles-Loaded Textiles to Avoid Nosocomial Infections. *Nanomaterials*, 12(20). <https://doi.org/10.3390/nano12203629>
- Tallam, A. K., Sahithi, A., & Nuli, M. V. (2023). A review on phytosomes as innovative delivery systems for phytochemicals. *International Journal of Pharmacognosy and Chemistry*, 4(1), 1–8. <https://doi.org/10.46796/ijpc.v4i1.416>
- Triwahyuni, T., Rusmini, H., & Yuansah, R. (2019). Pengaruh Pemberian Senyawa Saponin dalam Ekstrak Mentimun (*Cucumis sativus*) Terhadap Penurunan Berat Badan Mencit (*Mus musculus* L). *Jurnal Analis Farmasi*, 4(1), 59–65.
- Tumpu, M., Lopian, F. E., Mansyur, Pasanda, O. S., Muliawan, I. W., Indrayani, P., & Yasa, I. G. M. (2022). Energi Hijau. In *Penambahan Natrium Benzoat Dan Kalium Sorbat (Antiinversi) Dan Kecepatan Pengadukan Sebagai Upaya Penghambatan Reaksi Inversi Pada Nira Tebu*.
- Umayah, S. (2022). Nanoenkapsulasi Minyak Atsiri Jahe Emprit (*zingiber officinale roscoe*) dan bunga cengkeh sebagai antibakteri *Klebsiella pneumoniae* dan *Micrococcus luteus*. In *Universitas Islam Indonesia*.
- Wahdania, A., & Kusumawati, D. H. (2023). Karakteristik Morfologi Nanofiber Pva-Madu-Kunyit Sebagai Wound Dressing. *Inovasi Fisika Indonesia*, 12(3), 129–135.