

Tinjauan Pustaka

Peluang dan Tantangan Inovasi Sediaan Herbal Menggunakan Nanoteknologi untuk Pengobatan Herbal Modern di Indonesia

Ni Putu Dita Pramesti Maheswari^{1*}

¹Program Studi Farmasi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Udayana Indonesia
ditapramesti23@gmail.com

*Penulis Korespondensi

Abstrak— Indonesia memiliki potensi besar dalam pengembangan obat berbasis bahan alam. Salah satu pendekatan inovatif yang dapat diambil untuk mengembangkan obat herbal berbasis ilmiah adalah dengan memanfaatkan nanoteknologi. Jurnal ini bertujuan untuk mengeksplorasi peluang dan tantangan dalam inovasi sediaan herbal dengan memanfaatkan nanoteknologi untuk pengobatan herbal modern di Indonesia. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi literatur, dengan mencari artikel menggunakan kata kunci ("*Nanotechnology*" OR "*Nano-herbal*") AND ("*Herbal Formulation*" OR "*Herbal Preparation*") AND "*Therapeutic*" melalui basis data seperti PubMed, Scopus dan ScienceDirect. Jurnal yang digunakan berasal dari publikasi tahun 2019-2024, baik nasional maupun internasional. Berdasarkan hasil pencarian artikel dari basis data, diperoleh sebanyak 78 artikel dengan 17 artikel yang memenuhi kriteria inklusi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nanoteknologi menawarkan berbagai keunggulan, seperti peningkatan bioavailabilitas, stabilitas sediaan, dan efikasi terapeutik, sehingga memungkinkan pengobatan yang lebih efektif dan aman. Namun, tantangan yang dihadapi dalam penerapan nanoteknologi di Indonesia meliputi keterbatasan anggaran untuk riset dan kecenderungan untuk menunggu hasil penelitian dari negara lain. Penggunaan nanoteknologi diharapkan dapat menghubungkan kearifan lokal dengan kemajuan ilmiah untuk menciptakan solusi kesehatan yang lebih baik di Indonesia.

Kata Kunci— Bioavailabilitas, herbal, nanoteknologi, sediaan, terapeutik.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang kaya akan keanekaragaman hayati, dengan ribuan spesies tumbuhan yang memiliki potensi sebagai sumber bahan obat. Pemanfaatan tumbuhan sebagai obat herbal telah menjadi bagian integral dari pengobatan tradisional di Indonesia sejak zaman dahulu (Husni dkk., 2022). Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, diperlukan pendekatan yang lebih modern dan ilmiah untuk meningkatkan efektivitas dan keamanan sediaan herbal. Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah nanoteknologi, yang memungkinkan modifikasi sifat fisikokimia bahan herbal sehingga dapat meningkatkan bioavailabilitas, stabilitas, dan target spesifik dalam tubuh (Nainggolan dkk., 2023). Dengan memanfaatkan nanoteknologi, sediaan herbal dapat dirancang dengan lebih presisi, memberikan peluang untuk meningkatkan efikasi dan mengurangi efek samping yang tidak diinginkan. Oleh karena itu, pengembangan obat herbal berbasis nanoteknologi merupakan langkah strategis yang dapat mendukung transformasi pengobatan tradisional menjadi pengobatan modern di Indonesia (Wijaya dkk., 2023).

Penerapan nanoteknologi dalam pengembangan sediaan herbal di Indonesia tidak hanya berpotensi meningkatkan kualitas obat, tetapi juga dapat memberikan nilai tambah pada produk herbal Indonesia di pasar global (Dewi *et al.*, 2022). Dalam konteks ini, nanoteknologi memungkinkan pengemasan bahan aktif herbal dalam ukuran nano, yang dapat meningkatkan

penyerapan dan distribusi zat aktif dalam tubuh. Selain itu, formulasi nano memungkinkan pelepasan zat aktif yang lebih terkontrol dan target spesifik, sehingga diharapkan dapat meningkatkan efektivitas terapeutik (Ananingsih dkk., 2023). Meskipun demikian, implementasi nanoteknologi dalam industri obat herbal di Indonesia masih menghadapi berbagai tantangan, termasuk keterbatasan infrastruktur, kebutuhan akan regulasi yang lebih ketat, serta dukungan penelitian yang berkelanjutan. Tantangan tersebut perlu diatasi melalui kolaborasi antara akademisi, industri, dan pemerintah untuk memastikan bahwa inovasi ini dapat diterapkan secara luas dan efektif (Cihuy, 2019).

Sementara itu, inovasi sediaan herbal menggunakan nanoteknologi juga membuka peluang baru bagi peneliti dan produsen di Indonesia untuk menciptakan produk herbal yang memiliki daya saing tinggi. Pengembangan produk herbal berbasis nanoteknologi dapat menjadi strategi penting dalam meningkatkan keberlanjutan industri herbal nasional. Dengan memanfaatkan teknologi ini, Indonesia dapat mengoptimalkan penggunaan sumber daya alam lokal, menciptakan produk yang lebih efektif dan aman, serta meningkatkan kepercayaan konsumen terhadap produk herbal (Ramadon & Mun'im, 2017). Namun, untuk mencapai tujuan tersebut, diperlukan pendekatan yang komprehensif, mulai dari penelitian dasar hingga pengembangan produk yang siap dipasarkan. Proses ini mencakup penelitian tentang interaksi nanomaterial dengan bahan aktif herbal, pengujian toksisitas dan keamanan, hingga uji klinis untuk memastikan efektivitas dan keamanan produk (Zielińska *et al.*, 2020).

Di sisi lain, adopsi nanoteknologi dalam pengobatan herbal di Indonesia harus mempertimbangkan aspek-aspek etika, keamanan, dan regulasi. Regulasi yang jelas dan komprehensif diperlukan untuk memastikan bahwa produk herbal berbasis nanoteknologi memenuhi standar keamanan dan efikasi sebelum dipasarkan kepada konsumen (Wijaya dkk., 2023). Selain itu, peningkatan kesadaran dan edukasi bagi masyarakat serta tenaga kesehatan tentang manfaat dan risiko penggunaan nanoteknologi dalam sediaan herbal juga penting untuk mendukung adopsi teknologi ini. Penelitian lebih lanjut juga diperlukan untuk mengevaluasi dampak jangka panjang penggunaan produk herbal berbasis nanoteknologi terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Dengan demikian, pengembangan sediaan herbal menggunakan nanoteknologi di Indonesia dapat memberikan kontribusi signifikan bagi pengobatan modern, dengan tetap mempertahankan kearifan lokal dan keanekaragaman hayati yang dimiliki oleh bangsa ini (Teja *et al.*, 2022).

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur yang komprehensif, yang bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis artikel terkait penggunaan nanoteknologi dalam formulasi herbal dengan aplikasi terapeutik. Proses pencarian dilakukan melalui basis data terkemuka seperti PubMed, Scopus, dan ScienceDirect, menggunakan kata kunci spesifik yaitu ("*Nanotechnology*" OR "*Nano-herbal*") AND ("*Herbal Formulation*" OR "*Herbal Preparation*") AND "*Therapeutic*". Subjek penelitian difokuskan pada jurnal-jurnal yang dipublikasikan antara tahun 2019 hingga 2024, baik di tingkat nasional maupun internasional, untuk memastikan data yang diperoleh relevan dan mutakhir. Dalam proses ini, instrumen utama yang digunakan adalah perangkat lunak manajemen referensi untuk membantu dalam penyaringan dan pengorganisasian artikel. Hasil pencarian awal mengidentifikasi 78 artikel yang relevan, namun setelah melalui proses seleksi yang ketat berdasarkan kriteria inklusi yang

telah ditetapkan, hanya 17 artikel yang memenuhi syarat untuk dianalisis lebih lanjut. Prosedur penelitian mencakup evaluasi kritis terhadap metode, hasil, serta validitas data yang dilaporkan dalam artikel yang dipilih. Teknik analisis data dilakukan secara kualitatif dengan mempertimbangkan berbagai aspek metodologis dan substansi penelitian. Setiap langkah dalam prosedur ini dirinci untuk memastikan penelitian ini dapat dipahami dan diulangi oleh peneliti lainnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengobatan modern memiliki sejumlah ciri khas yang menonjol. Salah satu ciri utamanya adalah pendekatan berbasis bukti (*evidence-based medicine*), yang didukung oleh penggunaan teknologi canggih (Greenhalgh, 2019). Selain itu, pengobatan modern juga ditandai dengan penelitian dan pengembangan yang berkelanjutan untuk menemukan pengobatan baru yang lebih efektif dan efisien, serta untuk meningkatkan perawatan yang sudah ada. Pengobatan modern juga memiliki sistem sertifikasi, akreditasi, dan regulasi kesehatan yang jelas, serta kepatuhan terhadap peraturan dan standar yang ketat untuk memastikan keamanan dan efektivitas obat serta perawatan (Tang *et al.*, 2021). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa ciri khas pengobatan modern adalah integrasi ilmu pengetahuan, teknologi, dan pendekatan holistik untuk meningkatkan hasil kesehatan dan kualitas perawatan bagi pasien.

Dalam upaya memodernisasi pengobatan, para ahli sangat mempertimbangkan penggunaan nanoteknologi. Nanoteknologi secara umum adalah teknologi yang memungkinkan manipulasi ukuran suatu material dari skala besar menjadi skala nano (Malik *et al.*, 2023). Nanoteknologi merupakan bidang ilmu terapan yang berfokus pada desain, sintesis, karakterisasi, serta penggunaan bahan dan perangkat di skala nanometer. Keberhasilan nanoteknologi telah menghasilkan berbagai produk, seperti kosmetik dan lotion pelindung sinar matahari, yang memiliki kualitas lebih baik (Press, 2021). Nanoteknologi sendiri adalah subklasifikasi dari berbagai disiplin ilmu seperti farmasi, koloid, fisika, biologi, kimia, dan bidang ilmu lainnya. Teknologi nano memiliki aplikasi yang bermanfaat dalam penelitian sel punca, termasuk pemantauan molekul permukaan sel punca, pelacakan non-invasif sel punca yang ditransplantasikan *in vivo* dan sel progenitor, sistem pelacakan penghantaran sel punca, serta penghantaran intraseluler DNA, interferensi asam ribonukleat (RNAi), protein, peptida, dan obat-obatan kecil untuk diferensiasi sel punca (Bharti *et al.*, 2023).

1) Peluang Penggunaan Nanoteknologi untuk Sediaan Herbal Modern

Sistem berskala nano memiliki diameter partikel sebesar 0,1 μm , yang lebih dikenal sebagai sub mikrometer. Kondisi ini memberikan berbagai keuntungan dalam berbagai aspek, termasuk jalur pemberian obat dan peningkatan efek terapeutik, sehingga nanoteknologi semakin berkembang dan banyak dipelajari oleh para peneliti. Banyak penelitian telah menggabungkan obat herbal dengan nanoteknologi karena sistem berukuran nano dapat meningkatkan aktivitas, mengurangi dosis, dan meminimalkan efek samping (Zhang *et al.*, 2020).

Nanoteknologi mampu merevolusi industri farmasi dengan memungkinkan produksi obat terapeutik yang lebih baik, dengan efikasi yang meningkat dan toksisitas yang lebih rendah. Nanopartikel dapat meningkatkan farmakokinetik obat melalui peningkatan kelarutan, stabilitas, serta bioavailabilitas. Dengan nanoteknologi, obat juga dapat menargetkan jaringan dan sel tertentu, mengurangi efek samping, serta meningkatkan efikasinya (Saputro, 2024).

Nanopartikel adalah koloid padat berukuran 1-1000 nm yang diformulasikan menggunakan polimer, sehingga bahan obat dapat tersalut dan diabsorpsi dengan lebih efektif. Nanopartikel dengan penyalutan kitosan saat ini sedang banyak dikembangkan sebagai media penghantaran obat. Keunggulan teknologi ini adalah partikel herbal lebih mudah menyebar dalam sirkulasi darah, mencapai target pengobatan dengan lebih akurat, serta memiliki luas permukaan yang lebih besar sehingga kelarutannya meningkat (Budastra dkk., 2022).

Penghantaran obat menggunakan teknologi nanopartikel memiliki berbagai jenis, seperti nanopartikel emas, nanopartikel perak, nanopartikel kitosan, dan kalsium fosfat. Polimer yang digunakan dalam proses enkapsulasi senyawa aktif harus bersifat biodegradable dan biokompatibel, karena produk yang dihasilkan akan digunakan secara *in vivo*, baik melalui jalur intravena maupun oral. Polimer yang digunakan sebagai penyalut juga tidak boleh bereaksi secara kimia dengan senyawa aktif yang dibawa. Oleh karena itu, polimer yang dapat digunakan sebagai penyalut meliputi kitosan dan alginat (Singla *et al.*, 2023).

Hal ini sesuai dengan karakteristik sediaan herbal tradisional yang memiliki bioavailabilitas rendah karena kelarutannya yang buruk dalam air atau dengan kata lain stabilitasnya yang rendah. Misalnya, kunyit (*Curcuma longa*) memiliki kandungan yang baik untuk pengobatan, tetapi bioavailabilitasnya rendah. *Curcuma longa* memiliki sifat farmakologis yang sangat beragam, termasuk sebagai antioksidan, antikanker, antikoagulan, insektisida, pelindung radiasi, antifertilitas, antiulkus, anti neurodegeneratif, dan lainnya. Namun, *Curcuma longa* memiliki kelarutan yang sangat rendah dalam air dan mudah terdegradasi di saluran pencernaan, yang menyebabkan terbatasnya jumlah kurkumin yang terserap ke dalam aliran darah (Khogta *et al.*, 2020).

Nanoteknologi juga memungkinkan sediaan herbal dirancang untuk memberikan dosis yang lebih terkontrol dan semakin presisi. Nanoteknologi dapat menyesuaikan pelepasan zat senyawa aktif secara perlahan atau pada lokasi tertentu di dalam tubuh, serta mengurangi kemungkinan terjadinya overdosis atau efek samping (Singla *et al.*, 2023). Sebagai contoh, cranberry dikenal memiliki kemampuan dalam mencegah infeksi saluran kemih (ISK) dan mendukung kesehatan ginjal. Dengan pemanfaatan nanoteknologi, sediaan herbal cranberry dapat secara tepat sasaran menargetkan organ ginjal, sehingga manfaatnya menjadi lebih efisien. Dalam studi farmakologi eksperimental praklinis yang melibatkan bioaktivitas cranberry, proses persiapan dan pengolahannya tidak selalu diperhitungkan, sehingga polifenol dapat berubah menjadi molekul yang tidak aktif secara farmakologis. Permasalahan yang sering ditemukan dalam pemanfaatan tanaman herbal ini adalah adanya perbedaan yang signifikan antara dosis *in vitro* dan *in vivo* (González *et al.*, 2020).

Hal tersebut juga dikonfirmasi dalam studi oleh Berlian dan Budiman yang menjelaskan bahwa teknologi nano mampu memodifikasi karakteristik permukaan serta ukuran partikel, sehingga obat herbal dapat menargetkan organ tubuh secara spesifik, seperti otak, paru-paru, ginjal, dan saluran pencernaan, dengan selektivitas, efektivitas, dan keamanan yang tinggi. Alasan mengapa obat sintetis dinilai lebih efektif dibandingkan dengan obat herbal adalah kemampuannya dalam melepaskan senyawa aktif. Dengan memanfaatkan nanoteknologi, obat herbal dapat memiliki efek yang serupa dengan cara kerja obat sintetis (Berlian dan Budiman, 2020).

Jenis-jenis nanoteknologi yang telah diteliti dan dapat dimanfaatkan untuk mengurangi kelemahan penghantaran obat herbal antara lain adalah polimer, solid lipid, magnetik,

anorganik, quantum dot, misel polimer, serta dendrimer. Dalam menentukan teknologi nano yang tepat, perlu disesuaikan dengan metode preparasi yang sesuai dengan setiap jenisnya. Penggunaan nanopartikel sebagai alat terapeutik dan diagnostik, serta untuk meningkatkan penghantaran obat, sangat penting dan mendesak karena beberapa alasan. Pertama, banyak obat konvensional yang tersedia saat ini tidak selalu diproduksi dengan formulasi terbaik di setiap produknya. Pada produk yang mengandung protein serta asam nukleat, diperlukan sistem pembawa yang lebih canggih untuk meningkatkan efektivitasnya dan melindunginya dari degradasi yang tidak diinginkan (Sharma *et al.*, 2022). Tabel 1 berikut ini merupakan salah satu contoh yang menunjukkan formulasi nano yang menggabungkan obat herbal dan telah dikembangkan untuk aplikasi topikal.

Tabel 1. Formulasi nano menggabungkan obat-obatan herbal yang dikembangkan untuk aplikasi topikal

Formulasi	Keuntungan	Aktivitas	Metode penyusunan	Pustaka
Nanopartikel				
<i>Quercetin</i> nanopartikel	Peningkatan penyerapan kulit	Antioksidan	Teknik injeksi etanol	(Tan <i>et al.</i> , 2021)
Nanopartikel kurkumin	Peningkatan penyerapan seluler, bioavailabilitas <i>in vitro</i> dan <i>in vivo</i> yang lebih baik	Penyembuhan luka	Metode sonikasi	(Krausz <i>et al.</i> , 2019)
Nanopartikel perak ekstrak <i>Citrullus colocynthis</i>	Penetrasi yang ditingkatkan	Penyembuhan luka	Metode reduksi kimia	(Satyavani <i>et al.</i> , 2020)
Nanopartikel perak ekstrak <i>Indigofera aspalathoides</i>	Penetrasi yang ditingkatkan	Penyembuhan luka	Sintesis hijau	(Khogta <i>et al.</i> , 2020)
Nanopartikel Padat Cair				
Nanopartikel lipid padat ekstrak <i>Kaempferia</i>	Peningkatan permeabilitas kulit	Antiinflamasi	Metode mikroemulsifikasi	(Khogta <i>et al.</i> , 2020)

Formulasi	Keuntungan	Aktivitas	Metode penyusunan	Pustaka
Nanopartikel lipid padat <i>Triptolide</i>	Penetrasi kulit yang lebih baik	Antiinflamasi, Imunosupresif	Teknik emulsifikasi-sonikasi	(Mei Z <i>et al.</i> , 2022)
Nanopartikel <i>Quercetin</i>	Peningkatan penetrasi kulit	Antioksidan	Teknik Nanopresipitasi	(Bose and Michniak-Kohn <i>et al.</i> , 2023)
Nanopartikel Kurkumin	Retensi yang lebih baik dan penyerapan kulit yang ditingkatkan	Antipsoriatik	Ekspansi solusi superkritis	(Khogta <i>et al.</i> , 2020)
Nanoemulsi				
Nanoemulsi Genistein	Peningkatan penetrasi kulit	Antiinflamasi	Emulsifikasi spontan	(Silva <i>et al.</i> , 2019)
Nanoemulsi <i>Quercetin</i>	Peningkatan penetrasi ke stratum korneum dan epidermis	Aktivitas antioksidan	Metode homogenisasi kecepatan tinggi	(Fasolo <i>et al.</i> , 2019)
Nanoemulsi ekstrak hidroalkohol <i>Vellozia squamata</i>	Peningkatan penetrasi kulit	Aktivitas antioksidan	Teknik pembalikan fase	(Quintao <i>et al.</i> , 2023)
Nanoemulsi ekstrak kayu teras <i>Artocarpus incisus</i>	Peningkatan aksi depigmentasi	Mengurangi hiperpigmentasi	Teknik penguapan putar	(Sharma, B., and Sharma, A., 2022)
Nanoemulsi asam glisiretat	Stabilitas yang lebih baik dan penetrasi transdermal	Antiinflamasi, antitumor, antivirus, antiulkus	Metode suhu inversi fase	(Puglia <i>et al.</i> , 2021)
Nanoemulsi DHPS (3,5-dihidroksi-4-isopropil stilbena)	Penetrasi transdermal yang lebih baik	Antiinflamasi	Metode emulsifikasi energi rendah	(Khogta <i>et al.</i> , 2020)

Formulasi	Keuntungan	Aktivitas	Metode penyusunan	Pustaka
Formulasi nano vesikular				
<i>Curcumin ethosomes, liposomes, transfersomes</i>	Penyerapan kulit yang lebih baik	Penyembuhan luka, pelindung UV	Metode Pengocokan	(Kaur <i>and</i> Saraf, 2021)
<i>Capsicum frutescens</i> nano vesikel	Mengurangi efek iritasi dari capsaicin	Anti Arthritis	Metode dispersi	(Sarwa <i>et al.</i> , 2024)
Etosom dan transfersom <i>Panax ginseng</i>	Peningkatan penetrasi ginsenosida Rh1 pada kulit	Efek antiinflamasi, anti tumor	Metode penguapan pelarut	(Choi <i>et al.</i> , 2019)

Di masa depan, berbagai penyakit yang sulit disembuhkan akan dapat diatasi melalui pemanfaatan tanaman herbal yang telah di inovasi dengan nanoteknologi. Salah satu penyakit yang diharapkan dapat diatasi adalah kanker. Hingga saat ini, kanker dianggap sebagai penyakit paling mematikan, dan belum ada pengobatan yang sepenuhnya efektif untuk mengatasinya. Namun demikian, terdapat sejumlah tanaman herbal yang telah diteliti dan berpotensi menjadi antikanker. Beberapa senyawa metabolit sekunder dari tanaman herbal yang berpotensi sebagai antikanker antara lain adalah *Citrus sp.*, *Curcuma sp.*, *Caesalpinia sappan*, dan *Alpinia galanga*, yang memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai agen kemoterapi yang dapat mempengaruhi proliferasi sel melalui interaksi dengan NF-kB. Nanoteknologi memungkinkan kombinasi beberapa senyawa antikanker dalam satu nanopartikel untuk meningkatkan efektivitas terapi. Misalnya, nanopartikel dapat mengandung kombinasi senyawa dari *Curcuma sp.* (kurkumin), yang dikenal memiliki aktivitas antikanker, dan senyawa lain dari *Citrus sp.*, yang juga memiliki potensi antikanker. Penggunaan kombinasi ini dapat mengatasi berbagai jalur patologi kanker dan meningkatkan hasil terapeutik (Setiawan, 2021).

Diabetes melitus, sebagai penyakit kronis yang sulit disembuhkan, juga dapat diatasi dengan berbagai tanaman herbal yang berpotensi, salah satunya adalah suruhan (*Peperomia pellucida*). Tanaman ini mengandung berbagai senyawa seperti antrakuinon, tanin, flavonoid, alkaloid, serta glikosida. Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa suruhan mampu menurunkan kadar glukosa darah. Selama ini, suruhan dimanfaatkan sebagai teh herbal dan digunakan sebagai pengobatan herbal alternatif untuk mengatasi diabetes. Senyawa aktif dalam suruhan, seperti antrakuinon, tanin, flavonoid, alkaloid, dan glikosida, sering kali memiliki bioavailabilitas yang rendah dan stabilitas yang buruk dalam sistem biologis. Dengan menggunakan nanoteknologi, senyawa-senyawa ini dapat diformulasikan dalam bentuk nanopartikel, yang dapat meningkatkan kelarutan dan stabilitasnya, serta memungkinkan

penghantaran yang lebih presisi. Nanopartikel dapat menargetkan jaringan atau sel tertentu dengan lebih akurat, mengurangi dosis yang diperlukan dan efek sampingnya, serta memungkinkan pelepasan senyawa aktif secara terkendali. Ini tidak hanya meningkatkan efektivitas terapi tetapi juga mengurangi frekuensi dosis dan meningkatkan kenyamanan pasien. Selain itu, formulasi nanopartikel dapat mempercepat penelitian dan pengembangan produk baru berbasis suruhan, menjadikannya sebagai alternatif yang lebih efisien dan efektif dalam pengobatan diabetes (Fadhil dkk., 2024).

Melihat potensi besar yang dimiliki Indonesia dalam bidang tumbuhan herbal, sangat memungkinkan negara ini untuk menjadi pelopor dalam pengembangan sediaan herbal sebagai pengobatan modern. Dengan pemanfaatan nanoteknologi, berbagai hambatan dalam sediaan herbal dapat diatasi dengan efektif. Tanaman herbal lokal yang beragam dan kaya manfaat dapat diberdayakan melalui teknologi nano untuk meningkatkan efektivitas dan bioavailabilitasnya. Pengembangan ini tidak hanya dapat menyelesaikan masalah terkait formulasi dan penghantaran, tetapi juga membuka peluang bagi Indonesia untuk memproduksi produk herbal berkualitas tinggi yang sesuai dengan standar internasional. Dengan memanfaatkan nanoteknologi, Indonesia dapat menciptakan obat herbal dengan profil efikasi yang lebih baik, stabilitas yang lebih tinggi, dan efek samping yang lebih rendah, sehingga dapat bersaing di pasar global (Singla *et al.*, 2023).

Di samping itu, pemanfaatan nanoteknologi dalam pengembangan sediaan herbal di Indonesia dapat berkontribusi pada pengurangan ketergantungan terhadap obat sintetis yang saat ini sebagian besar diimpor. Hal ini tidak hanya akan mengurangi biaya dan ketergantungan pada pasokan luar negeri, tetapi juga mendorong pertumbuhan industri farmasi domestik. Dengan investasi dan dukungan yang tepat untuk riset dan pengembangan nanoteknologi, Indonesia berpotensi menjadi pusat inovasi dalam obat herbal, berperan aktif di pasar global, dan berkontribusi pada peningkatan kesehatan masyarakat secara luas. Pengembangan ini dapat membuka jalan bagi Indonesia untuk memanfaatkan kekayaan sumber daya alamnya dengan lebih efektif, sekaligus memperkuat posisi negara dalam industri farmasi internasional (Trivedi *et al.*, 2023).

2) Tantangan Penggunaan Nanoteknologi dalam Pengembangan Sediaan Herbal Modern

Terdapat beberapa kelemahan dalam nanoteknologi, khususnya yang terkait dengan nanopartikel, yang menjadi tantangan untuk inovasi lebih lanjut. Kelemahan tersebut meliputi sitotoksitas, potensi memicu peradangan alveoli, kemampuan penargetan yang terbatas, serta gangguan pada keseimbangan otonom yang dapat mempengaruhi fungsi jantung dan sistem vaskular (Malaviya *et al.*, 2019). Dengan sifat sitotoksiknya, nanopartikel dapat menyebabkan kerusakan sel dalam tubuh, yang pada gilirannya berdampak negatif pada kesehatan manusia. Selain itu, nanopartikel berpotensi menimbulkan reaksi inflamasi pada jaringan tubuh, yang dapat mengakibatkan efek samping seperti peradangan kronis atau kerusakan jaringan (Summer *et al.*, 2024).

Kemampuan penargetan nanopartikel yang terbatas dapat mempengaruhi efektivitas terapi. Meskipun nanopartikel dirancang untuk menargetkan sel atau jaringan tertentu, mereka mungkin tidak selalu mencapai sasaran dengan akurat (Nareswari, 2022). Nanopartikel dapat terakumulasi di organ lain atau di jaringan sehat di sekitar target, yang dapat mengurangi efektivitas terapi serta menimbulkan efek samping yang tidak diinginkan. Selain itu, gangguan

pada keseimbangan otonom juga dapat terjadi jika nanopartikel berinteraksi dengan sistem saraf otonom, mempengaruhi fungsi jantung dan sistem vaskular. Misalnya, perubahan dalam aliran darah atau tekanan dapat mengakibatkan masalah kardiovaskular seperti aritmia atau hipertensi (Yetisgin *et al.*, 2020).

Pemanfaatan nanoteknologi dalam sediaan herbal di Indonesia memiliki potensi yang sangat besar mengingat banyaknya tumbuhan herbal yang dapat dimanfaatkan. Namun, tantangan yang dihadapi Indonesia dalam penerapan nanoteknologi tidak dapat diabaikan. Beberapa alasan utama adalah terbatasnya dana untuk riset dan pengembangan serta ketergantungan pada hasil penelitian dari negara lain. Indonesia sering kali harus menunggu hasil penelitian dan pengembangan dari luar negeri sebelum dapat memanfaatkan teknologi terbaru atau sediaan herbal yang telah dikembangkan. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan fasilitas riset dan pengembangan serta kebutuhan untuk menunggu uji klinis dan validasi yang sering kali dilakukan di luar negeri (Dewi *et al.*, 2022).

Dalam pengembangan nanoteknologi di Indonesia, dana riset sangat dibutuhkan. Berdasarkan Data Research and Development World (2023), Indonesia berada pada peringkat ke-34 dari 40 negara dengan anggaran riset sebesar US\$ 8,2 miliar pada tahun 2022. Hal ini menunjukkan rasio anggaran riset yang sangat rendah jika dibandingkan dengan nilai Produk Domestik Bruto (PDB). Untuk mengatasi masalah ini, pemerintah sangat direkomendasikan untuk meningkatkan anggaran pendanaan riset, khususnya dalam bidang inovasi obat herbal menggunakan nanoteknologi sebagai bentuk pengobatan modern (Setiawati, 2023).

Dukungan pemerintah dalam pendanaan penelitian sangat penting untuk perkembangan nanoteknologi dalam pengobatan modern karena beberapa alasan utama. Pertama, nanoteknologi merupakan bidang penelitian yang kompleks dan memerlukan investasi signifikan dalam infrastruktur, peralatan, dan sumber daya manusia. Dana penelitian yang memadai memungkinkan laboratorium dan institusi penelitian untuk memperoleh alat canggih, melakukan eksperimen lanjutan, serta mendanai studi jangka panjang yang esensial untuk pengembangan teknologi nano yang aman dan efektif (Singla *et al.*, 2023).

Kedua, riset dalam nanoteknologi seringkali melibatkan biaya tinggi dan risiko besar, terutama pada tahap pengujian dan pengembangan. Dengan adanya dukungan finansial dari pemerintah, peneliti dapat mengejar proyek yang mungkin tidak menarik minat investasi swasta karena risiko dan biaya yang tinggi. Ini membantu memastikan bahwa penelitian inovatif dan berpotensi revolusioner dapat dilakukan tanpa terbatas pada pertimbangan profitabilitas jangka pendek (Malik *et al.*, 2023).

Ketiga, dukungan pemerintah juga berperan penting dalam membangun kolaborasi antara sektor publik dan swasta. Dengan adanya dana penelitian, pemerintah dapat memfasilitasi kemitraan antara universitas, lembaga penelitian, dan industri farmasi, serta mendorong transfer teknologi dan komersialisasi hasil penelitian. Ini tidak hanya mempercepat pengembangan produk dan teknologi baru tetapi juga meningkatkan daya saing nasional dalam industri farmasi global. Dukungan pemerintah dalam pendanaan penelitian mempercepat inovasi, memastikan keberlanjutan penelitian, dan memperluas akses terhadap teknologi mutakhir, yang semuanya penting untuk memajukan nanoteknologi dalam pengobatan modern dan meningkatkan kualitas perawatan kesehatan (Malik *et al.*, 2023).

Riset dalam pengembangan nanoteknologi untuk menjadikan obat herbal sebagai bagian dari pengobatan modern memerlukan waktu yang cukup lama. Secara umum, penelitian untuk

menerapkan nanoteknologi pada obat herbal memakan waktu antara 6 hingga 12 tahun, tergantung pada berbagai faktor seperti kompleksitas proyek, sumber daya yang tersedia, dan tahapan penelitian yang diperlukan. Proses ini dimulai dengan identifikasi senyawa aktif dari tanaman herbal dan desain awal nanopartikel, yang memakan waktu sekitar 1 hingga 2 tahun. Selanjutnya, sintesis dan karakterisasi nanopartikel dilakukan, memerlukan waktu serupa untuk memastikan ukuran, morfologi, dan stabilitas yang tepat. Setelah itu, nanopartikel diuji secara *in vitro* dan *in vivo* untuk menilai keamanan dan efektivitas, yang memerlukan tambahan 2 hingga 3 tahun (Fahmi, 2020). Pengembangan formulasi dan skala produksi mengikuti, dengan waktu 1 hingga 2 tahun untuk memastikan kompatibilitas dan memenuhi standar produksi. Tahap akhir adalah uji klinis pada manusia dan registrasi produk, yang memakan waktu sekitar 2 hingga 4 tahun untuk memastikan keamanan dan efektivitas sebelum produk dapat dipasarkan. Keseluruhan proses ini melibatkan berbagai tahapan kompleks dan memerlukan investasi serta dukungan signifikan dari berbagai pihak. Penelitian yang berkelanjutan dan sinergi antara berbagai pihak sangat penting agar penelitian ini tidak terhenti di tengah jalan. Oleh karena itu, peran pemerintah dalam regulasi dan dukungan keberlanjutan penelitian terkait nanoteknologi sangat dibutuhkan (Operti *et al.*, 2021).

Hal ini akan menimbulkan tantangan yang semakin besar di masa depan, mengingat proses produksi nanopartikel yang mahal dan sulit untuk diskalakan dari laboratorium ke produksi massal. Biaya tinggi tersebut berdampak pada harga akhir produk dan juga stabilitasnya. Investasi dalam produksi nanopartikel memerlukan berbagai instrumen. Misalnya, pada penelitian analisis biaya produksi nanopartikel Fe_3O_4 skala industri, dibutuhkan investasi untuk peralatan seperti pipa, listrik, instrumen, utilitas, pendiri, isolasi, pengecatan, tahan api, keamanan, perbaikan pekarangan, lingkungan, bangunan, tanah, PC (layanan manajemen), konstruksi, teknik, biaya kontraktor, potensial, dan awal perancangan, serta lainnya (Aprilia dkk., 2023). Tantangan ini dapat diatasi dengan inovasi dalam produksi nanopartikel yang lebih efisien dan hemat biaya. Selain itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan proses produksi agar lebih terjangkau.

Masalah regulasi terkait nanoteknologi untuk pengobatan modern yang memanfaatkan tanaman herbal melibatkan berbagai tantangan kompleks yang mempengaruhi keselamatan dan efektivitas produk akhir. Regulasi harus mencakup berbagai aspek, mulai dari standar keamanan nanopartikel hingga persetujuan formulasi berbasis herbal yang baru. Nanopartikel memiliki ukuran dan sifat unik yang berbeda dari obat konvensional, regulasi harus menyesuaikan persyaratan untuk evaluasi toksisitas, interaksi biologis, dan bioavailabilitas. Selain itu, proses regulasi seringkali memerlukan data tambahan tentang stabilitas nanopartikel dan dampak jangka panjangnya terhadap kesehatan manusia dan lingkungan, yang dapat memperpanjang waktu persetujuan dan meningkatkan biaya. Regulasi juga harus mengatur metode produksi dan pengujian yang memadai untuk memastikan konsistensi dan kualitas produk. Mengingat tanaman herbal sering kali memiliki sifat kompleks dan variabilitas alami, menyelaraskan regulasi nanopartikel dengan karakteristik herbal ini menjadi tantangan tambahan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang menyeluruh dan fleksibel dalam regulasi, serta kolaborasi antara peneliti, industri, dan otoritas regulasi untuk memastikan bahwa produk berbasis nanoteknologi dan herbal memenuhi standar keselamatan dan efektivitas yang ketat (Arifin *et al.*, 2019).

4. KESIMPULAN

Pengobatan modern sangat dipengaruhi oleh pendekatan berbasis bukti, teknologi canggih, dan penelitian berkelanjutan. Nanoteknologi telah menjadi salah satu terobosan penting dalam bidang farmasi dan obat-obatan herbal, dengan kemampuan untuk meningkatkan bioavailabilitas, stabilitas, dan efek terapeutik dari senyawa aktif tanaman herbal. Pengembangan sediaan herbal berbasis nanoteknologi memungkinkan penghantaran obat yang lebih tepat sasaran, mengurangi dosis yang dibutuhkan, dan meminimalkan efek samping. Namun, penerapan nanoteknologi dalam sediaan herbal juga menghadapi sejumlah tantangan, termasuk biaya produksi yang tinggi, masalah regulasi, sitotoksitas, dan keterbatasan kemampuan penargetan nanopartikel. Di Indonesia, kendala seperti terbatasnya dana riset dan ketergantungan pada hasil penelitian luar negeri menjadi hambatan signifikan bagi pengembangan inovasi berbasis nanoteknologi. Meskipun demikian, dengan dukungan yang memadai dari pemerintah, termasuk pendanaan riset dan kolaborasi dengan sektor swasta, nanoteknologi dapat mendorong kemajuan signifikan dalam pengobatan modern berbasis herbal. Potensi ini dapat memposisikan Indonesia sebagai pelopor dalam produksi obat herbal berbasis nanoteknologi, meningkatkan daya saing global, dan mengurangi ketergantungan pada obat sintetis impor.

SARAN

Pengembangan nanoteknologi dalam sediaan herbal modern merupakan langkah inovatif yang menjanjikan, namun dihadapkan pada sejumlah tantangan. Upaya yang dapat dilakukan untuk menghadapi tantangan tersebut meliputi peningkatan pendanaan dan infrastruktur riset, pengembangan kebijakan dan regulasi yang tepat, peningkatan kesadaran dan edukasi, inovasi dalam teknologi produksi, serta pengujian dan validasi yang komprehensif. Dengan mengimplementasikan saran-saran tersebut, Indonesia dapat memanfaatkan potensi besar dalam nanoteknologi dan obat herbal untuk meningkatkan kesehatan masyarakat serta daya saing global di sektor farmasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ananingsih, V. K., Pratiwi, A. R., Soedarini, B., & Putra, Y. A. S. (2023). *Teknologi Nanoemulsi dan Nanokitosan Ekstrak Antosianin Buah Parijoto (Medinilla speciosa)*. Universitas Katolik Seogijapranata.
- Aprilia, M. P., Nandiyanto, A. B. D., & Fiandini, M. (2023). Evaluasi Ekonomi Produksi Nanopartikel Fe₃O₄ Skala Industri. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, 8(2), 149-154.
- Arifin, S. F., Al Shami, A., Omar, S. S. S., Jalil, M. A. A., Khalid, K. A., & Hadi, H. (2019). Impact of modern technology on the development of natural-based products. *Journal of Ayurvedic and Herbal Medicine*, 5(4), 133-142.
- Berlian, H. N. P., Budiman, A. (2020). Review Artikel: Penggunaan Teknologi Nano pada Formulasi Obat Herbal. *Jurnal Farmaka Suplemen*, 15(2).
- Bharti, S., Anant, P. S., & Kumar, A. (2023). Nanotechnology in stem cell research and therapy. *Journal of Nanoparticle Research*, 25(1), 6.
- Bose, S., & Michniak-Kohn, B. (2023). Preparation and characterization of lipid based nanosystems for topical delivery of quercetin. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 48(3), 442-452.

- Budastra, W. C. G., Hajrin, W., & Wirasisya, D. G. (2022). Pengaruh Kecepatan Pengadukan Terhadap Karakteristik Nanopartikel Sari Buah Juwet (*Syzygium cumini* L.). *Unram Medical Journal*, 11(3), 1000-1006.
- Choi, J. H., Cho, S. H., Yun, J. J., Yu, Y. B., & Cho, C. W. (2019). Ethosomes and transfersomes for topical delivery of ginsenoside Rh1 from red ginseng: characterization and in vitro evaluation. *Journal of nanoscience and nanotechnology*, 15(8), 5660-5662.
- Cihuy, P. G. (2019). *Mencari Peluang di Revolusi Industri 4.0 Untuk Melalui Era Disrupsi 4.0: Queen Publisher*. Queency Publisher.
- Dewi, M. K., Chaerunisaa, A. Y., Muhaimin, M., & Joni, I. M. (2022). Improved activity of herbal medicines through nanotechnology. *Nanomaterials*, 12(22), 4073.
- Fadhil, A. R., Sinthary, V., & Rijai, L. (2024). Studi Etnofarmasi Tumbuhan Berkhasiat Obat Di Kecamatan Duampanua Kabupaten Pinrang Sulawesi Selatan. *Jurnal Mandala Pharmacon Indonesia*, 10(1), 80-103.
- Fahmi, M. Z. (2020). *Nanoteknologi dalam Perspektif Kesehatan*. Airlangga University Press.
- Fasolo, D., Bassani, V. L., & Teixeira, H. F. (2019). Development of topical nanoemulsions containing quercetin and 3-O-methylquercetin. *Die Pharmazie-An International Journal of Pharmaceutical Sciences*, 64(11), 726-730.
- González de Llano, D., Moreno-Arribas, M. V., & Bartolomé, B. (2020). Cranberry polyphenols and prevention against urinary tract infections: relevant considerations. *Molecules*, 25(15), 3523.
- Greenhalgh, T. (2019). *How to read a paper: the basics of evidence-based medicine and healthcare*. John Wiley & Sons.
- Husni, E., Hefni, D., Dachriyanus, D., Suhatri, N., & Susanti, M. (2022). Pengembangan tanaman obat keluarga di panti asuhan rahmatan lil alamin Sawahan Kecamatan Padang Timur Kota Padang. *Buletin Ilmiah Nagari Membangun*, 5(4), 280-288.
- Kaur, C. D., Saraf, S. (2021). Topical vesicular formulations of Curcuma longa extract on recuperating the ultraviolet radiation–damaged skin. *Journal of cosmetic dermatology*, 10(4), 260-265.
- Khogta, S., Patel, J., Barve, K., & Londhe, V. (2020). Herbal nano-formulations for topical delivery. *Journal of Herbal Medicine*, 20, 100300.
- Krausz, A. E., Adler, B. L., Cabral, V., Navati, M., Doerner, J., Charafeddine, R. A., & Harper, S. (2019). Curcumin-encapsulated nanoparticles as innovative antimicrobial and wound healing agent. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 11(1), 195-206.
- Malaviya, P., Shukal, D., & Vasavada, A. R. (2019). Nanotechnology-based drug delivery, metabolism and toxicity. *Current Drug Metabolism*, 20(14), 1167-1190.
- Malik, S., Muhammad, K., & Waheed, Y. (2023). Nanotechnology: A revolution in modern industry. *Molecules*, 28(2), 661.
- Mei, Z., Wu, Q., Hu, S., Li, X., Yang, X. (2022). Triptolide loaded solid lipid nanoparticle hydrogel for topical application. *Drug Dev Ind Pharm*, 31(2), 161-8.
- Nainggolan, H., Nuraini, R., Sepriano, S., Aryasa, I. W. T., Meilin, A., Adhicandra, I., Prayitno, H. (2023). *Green Technology Innovation: Transformasi Teknologi Ramah Lingkungan berbagai Sektor*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Nareswari, T. L. (2022). *Nanopartikel Sebagai Sistem Penghantaran Obat Oral*. ITERA Press.

- Operti, M. C., Bernhardt, A., Grimm, S., Engel, A., Figdor, C. G., & Tagit, O. (2021). PLGA-based nanomedicines manufacturing: Technologies overview and challenges in industrial scale-up. *International Journal of Pharmaceutics*, 605, 120807.
- Press, U. G. M. (2021). *Pemikiran Guru Besar Universitas Gadjah Mada Menuju Indonesia Maju 2045: Bidang Sains dan Teknologi*. UGM PRESS.
- Puglia, C., Rizza, L., Drechsler, M., & Bonina, F. (2021). Nanoemulsions as vehicles for topical administration of glycyrrhetic acid: characterization and in vitro and in vivo evaluation. *Drug delivery*, 17(3), 123-129.
- Quintão, F. J., Tavares, R. S., Vieira-Filho, S. A., Souza, G. H., & Santos, O. D. (2023). Hydroalcoholic extracts of *Vellozia squamata*: study of its nanoemulsions for pharmaceutical or cosmetic applications. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 23(1), 101-107.
- Ramadon, D., & Mun'im, A. (2017). Pemanfaatan nanoteknologi dalam sistem penghantaran obat baru untuk produk bahan alam. *Jurnal ilmu kefarmasian Indonesia*, 14(2), 118-127.
- Saputro, M. R. (2024). Teknik Peningkatan Kelarutan Bahan Aktif Farmasi Ibuprofen. *An-Najat*, 2(1), 86-98.
- Sarwa, K. K., Das, P. J., & Mazumder, B. (2024). A nanovesicle topical formulation of Bhut Jolokia (hottest capsicum): a potential anti-arthritic medicine. *Expert opinion on drug delivery*, 11(5), 661-676.
- Satyavani, K., Ramanathan, T., & Gurudeeban, S. (2020). Plant mediated synthesis of biomedical silver nanoparticles by using leaf extract of *Citrullus colocynthis*. *Research journal of nanoscience and nanotechnology*, 1(2), 95-101.
- Setiawan, T. (2021). Studi Biokomputasi Aktivitas Senyawa-Senyawa Bahan Alam. *Jurnal Pendidikan Kimia Unkhair (JPKU)*, 1(1).
- Setiawati S. (2023, November 12). CNBC Indonesia. <https://www.cnbcindonesia.com/research/20231110182826-128-488172/ganjar-prihatin-anggaran-riset-ri-kecil-kalah-dari-malaysia#:~:text=Menurutnya%2C%20dengan%20merujuk%20pada%20Data,riset%20terhadap%20PDB%20paling%20rendah>
- Sharma, A., Goel, A., & Kulshrestha, S. (2022). Herbal Nanoparticles: A New Perspective of Drug Delivery System-A Review. *Nanoscience & Nanotechnology-Asia*, 12(4), 29-45.
- Sharma, B., & Sharma, A. (2022). Future prospect of nanotechnology in development of anti-ageing formulations. *Int J Pharm&Pharm Sci*, 4, 57-66.
- Silva, A. P., Nunes, B. R., De Oliveira, M. C., Koester, L. S., Mayorga, P., Bassani, V. L., & Teixeira, H. F. (2019). Development of topical nanoemulsions containing the isoflavone genistein. *Die Pharmazie-An International Journal of Pharmaceutical Sciences*, 64(1), 32-35.
- Singla, M., Smriti, Gupta, S., Behal, P., Singh, S. K., Preetam, S., Slama, P. (2023). Unlocking the power of nanomedicine: the future of nutraceuticals in oncology treatment. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1258516.
- Summer, M., Ashraf, R., Ali, S., Bach, H., Noor, S., Noor, Q., Khan, R. R. M. (2024). Inflammatory response of nanoparticles: Mechanisms, Consequences, and Strategies for Mitigation. *Chemosphere*, 142826.

- Tan, Q., Liu, W., Guo, C., & Zhai, G. (2021). Preparation and evaluation of quercetinloaded lecithin-chitosan nanoparticles for topical delivery. *International journal of nanomedicine*, 6, 1621.
- Tang, Z., Zhang, X., Shu, Y., Guo, M., Zhang, H., & Tao, W. (2021). Insights from nanotechnology in COVID-19 treatment. *Nano today*, 36, 101019.
- Teja, P. K., Mithiya, J., Kate, A. S., Bairwa, K., & Chauthe, S. K. (2022). Herbal nanomedicines: Recent advancements, challenges, opportunities and regulatory overview. *Phytomedicine*, 96, 153890.
- Trivedi, D., Chavali, M., Vohra, S., Salunkhe, P., & Tripathi, S. (2023). Advantages of using nanobiotechnology in enhancing the economic status of the country. In *Nanobiotechnology for the Livestock Industry*, 369-392.
- Wijaya, H., Syamsul, E. S., Octavia, D. R., Mardiana, L., Sentat, T., Rusnaeni, R., Retno, E. K. (2023). *Farmasetika: Dasar-Dasar Ilmu Farmasi*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Yetisgin, A. A., Cetinel, S., Zuvun, M., Kosar, A., & Kutlu, O. (2020). Therapeutic nanoparticles and their targeted delivery applications. *Molecules*, 25(9), 2193.
- Zhang, T., Hong, Z. Y., Tang, S. Y., Li, W., Inglis, D. W., Hosokawa, Y., Li, M. (2020). Focusing of sub-micrometer particles in microfluidic devices. *Lab on a Chip*, 20(1), 35-53.
- Zielińska, A., Costa, B., Ferreira, M. V., Miguéis, D., Louros, J. M., Durazzo, A., & Souto, E. B. (2020). Nanotoxicology and nanosafety: Safety-by-design and testing at a glance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(13), 4657.