

TINJAUAN LITERATUR: PERAN NANOPARTIKEL DALAM MENINGKATKAN STABILITAS DAN BIOAVAILABILITAS OBAT TOPIKAL

Benni Iskandar^{1,2,3}, Mimi Oktavianti², Levina Ananta², Muhammad Fajar Nugraha², Rickha Octavia¹, Tiara Tri Agustini¹

¹Program Studi S1 Farmasi, Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi Riau, Jalan Kamboaja, Simpang Baru, Tampan, Simpang Baru, Pekanbaru, Riau 28289 Indonesia

²Program Studi D3 Farmasi, Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi Riau, Jalan Kamboaja, Simpang Baru, Tampan, Simpang Baru, Pekanbaru, Riau 28289 Indonesia

³Departemen Teknologi Farmasi, Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi Riau, Jalan Kamboaja, Simpang Baru, Tampan, Simpang Baru, Pekanbaru, Riau 28289 Indonesia

*benniiskandar@stifar-riau.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan nanopartikel dalam formulasi topikal seperti gel, emulgel, nanogel dan krim merupakan pendekatan inovatif dalam meningkatkan efektivitas terapi, baik untuk pengobatan lokal maupun sistemik melalui rute transdermal. Ukuran partikelnya yang sangat kecil memungkinkan penetrasi yang lebih efisien melalui lapisan stratum korneum serta mendukung pelepasan zat aktif secara terkendali. Artikel tinjauan ini membahas berbagai studi terkini yang mengembangkan sistem penghantaran nanopartikel dalam sediaan topikal, dengan fokus pada pengaruhnya terhadap bioavailabilitas dan stabilitas obat. Artikel ini disusun melalui telaah literatur dari jurnal nasional dan internasional selama 10 tahun terakhir, dengan pencarian melalui Science Direct, PubMed, dan Google Scholar menggunakan kata kunci “nanoparticle”, “topical formulation”, dan “bioavailability”. Dari 250 artikel yang ditemukan, dilakukan skrining berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, hingga terpilih 15 artikel utama sebagai bahan review. Hasil kajian menunjukkan bahwa sediaan berbasis nanopartikel secara konsisten meningkatkan kelarutan dan permeasi kulit, sehingga memperbaiki bioavailabilitas senyawa aktif seperti kurkumin, asiklovir, ibuprofen, dan lainnya. Selain itu, stabilitas obat terhadap faktor degradasi seperti oksidasi, perubahan pH, dan suhu juga mengalami peningkatan yang signifikan. Beragam teknik formulasi, termasuk emulsi ionik, high-pressure homogenization, dan nanopresipitasi, telah digunakan untuk menghasilkan sediaan dengan viskositas dan homogenitas yang sesuai untuk aplikasi topikal. Dengan demikian, aplikasi nanopartikel dalam sediaan topikal tidak hanya memperpanjang waktu pelepasan obat, tetapi juga meningkatkan stabilitas fisikokimia serta efektivitas terapeutik. Temuan ini menegaskan potensi besar nanoteknologi dalam pengembangan sediaan farmasi topikal di masa depan.

Kata kunci: bioavailabilitas; nanopartikel; sediaan topikal; stabilitas obat

A LITERATURE REVIEW: THE ROLE OF NANOPARTICLES IN ENHANCING THE STABILITY AND BIOAVAILABILITY OF TOPICAL DRUGS

ABSTRACT

The use of nanoparticles in topical formulations such as gels, emulgels, nanogels, and creams represents an innovative strategy to enhance therapeutic efficacy for both local and systemic applications via the transdermal route. Their exceedingly small size facilitates more efficient penetration through the stratum corneum and enables controlled release of active pharmaceutical ingredients. This review examines recent studies on nanoparticle-based delivery systems in topical preparations, focusing on their impact on drug bioavailability and stability. This review article is based on a literature study of national and international journals from the past 10 years. Articles were searched through Science Direct, PubMed, and Google Scholar using the keywords “nanoparticle”, “topical formulation”, and “bioavailability”. From 250 identified titles, 15 main articles were selected after screening based on inclusion and exclusion criteria for further analysis. Evidence consistently shows that nanoparticulate formulations improve drug solubility and skin permeation, thereby enhancing the bioavailability of actives such as curcumin, acyclovir, ibuprofen, and others. Furthermore, nanoparticle encapsulation significantly increases drug stability against degradation factors including oxidation, pH variation, and temperature. Various formulation techniques ionic emulsification, high-pressure homogenization, and nanoprecipitation have been employed to produce preparations with appropriate viscosity and homogeneity for topical use. Consequently, topical nanoparticle systems not only prolong drug release but also bolster physicochemical stability and therapeutic

effectiveness. These findings underscore the broad potential of nanotechnology in the future development of topical pharmaceutical formulations.

Keywords: bioavailability; drug stability; nanoparticles; topical preparations

PENDAHULUAN

Teknologi nanopartikel telah menjadi fokus utama dalam pengembangan sediaan farmasi modern, terutama dalam upaya meningkatkan bioavailabilitas dan stabilitas obat. Banyak obat memiliki keterbatasan dalam kelarutan dan stabilitas kimia, yang dapat mempengaruhi efektivitas dan efisiensi terapinya. Nanopartikel hadir sebagai solusi untuk mengatasi tantangan ini dengan meningkatkan luas permukaan obat, memodifikasi sifat farmakokinetik, serta melindungi senyawa aktif dari degradasi (Ahmad *et al.*, 2024).

Bioavailabilitas merupakan salah satu faktor kunci yang menentukan efektivitas suatu obat. Obat dengan kelarutan rendah dalam air sering kali memiliki bioavailabilitas yang buruk karena sulit diserap oleh tubuh. Dengan teknologi nanopartikel, ukuran partikel obat dapat dikurangi ke tingkat nanometer, sehingga meningkatkan kelarutan dan laju disolusi dalam cairan biologis. Selain itu, sistem penghantaran berbasis nanopartikel dapat mempermudah penetrasi obat melalui membran sel, memungkinkan pelepasan obat yang lebih terkendali dan meningkatkan efektivitas terapi (Febryanthi *et al.*, 2024).

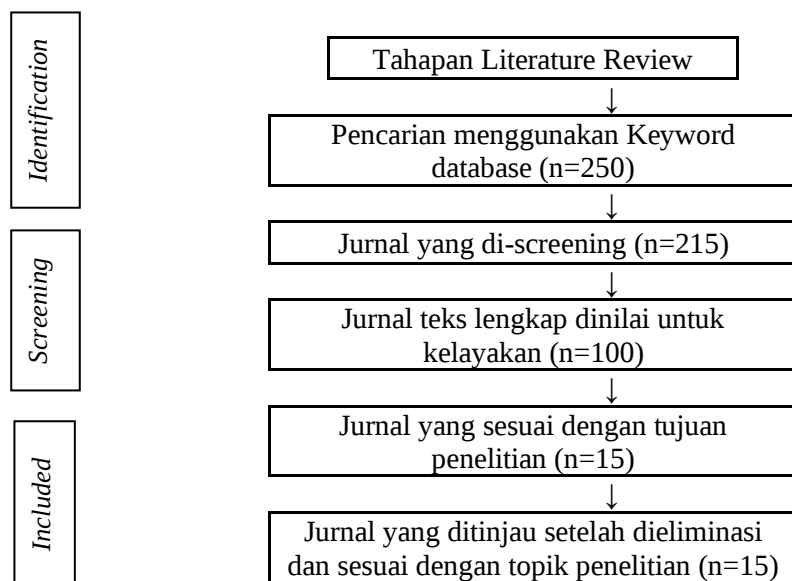
Selain meningkatkan bioavailabilitas, nanopartikel juga memiliki peran penting dalam menjaga stabilitas obat. Banyak obat rentan terhadap degradasi akibat faktor lingkungan seperti perubahan pH, suhu, dan aktivitas enzimatis di dalam tubuh. Formulasi berbasis nanopartikel dapat melindungi molekul obat dari faktor-faktor tersebut dengan membentuk lapisan pelindung di sekelilingnya, memperpanjang waktu paruh obat, serta mengurangi kemungkinan degradasi sebelum mencapai target aksi (Ahmad *et al.*, 2024).

Meskipun teknologi ini menawarkan banyak keuntungan, terdapat beberapa tantangan yang masih harus diatasi dalam formulasi farmasi berbasis nanopartikel. Tantangan ini mencakup pemilihan bahan pembawa yang tepat, kontrol ukuran partikel yang konsisten, efisiensi enkapsulasi yang tinggi, serta stabilitas selama penyimpanan. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengoptimalkan formulasi nanopartikel agar dapat diterapkan secara luas dalam industri farmasi (Aspadih *et al.*, 2020).

Berdasarkan latar belakang tersebut, kajian ini bertujuan untuk mengeksplorasi pengaruh aplikasi nanopartikel dalam formulasi farmasi terhadap bioavailabilitas dan stabilitas obat. Kajian ini diharapkan dapat memberikan wawasan mengenai manfaat dan tantangan teknologi nanopartikel, serta memberikan dasar bagi pengembangan formulasi farmasi yang lebih efektif di masa depan (Fish, 2020).

METODE

Tinjauan dan *review* artikel ini dilakukan dengan mengumpulkan dan menganalisis artikel dari jurnal nasional maupun internasional yang relevan dalam kurun waktu 10 tahun terakhir dengan mengambil sumber pencarian dari mesin pencari seperti *Science Direct*, *PubMed*, *Google Scholar* dengan pencarian menggunakan *keywords* “nanoparticle”, “topical formulation”, dan “bioavailability” didapatkanlah 250 judul artikel yang berikutnya dilakukan skrining dengan kriteria inklusi dan inklusi serta disesuaikan dengan pembahasan yang akan dibahas, hingga didapatkan artikel berjumlah (n=15) yang sesuai dengan kriteria inklusi *review* artikel ini yang seterusnya dijadikan *main articles* dalam penyiapan *review* ini.

Gambar 1. Alur Bagan *Literature Review*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berbagai sediaan nanopartikel telah dikembangkan untuk meningkatkan efektivitas formulasi obat. Sediaan seperti nanosuspensi, nanogel, nanopartikel lipid padat, dan polimerik nanopartikel terbukti mampu meningkatkan kelarutan, memperpanjang waktu paruh, dan meningkatkan stabilitas formulasi. Karakteristik formulasi seperti ukuran partikel, bentuk morfologi, muatan permukaan (zeta potensial), serta metode pembuatan memainkan peranan penting dalam menentukan kinerja farmakokinetik dan biofarmasetika dari obat (Martien *et al.*, 2012). Data dari beberapa studi yang dihimpun disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 1.
Analisis Artikel

No	(BS) Jenis	(ZA) Zat Aktif	Pelarut	Kons. PG (%)	pH	(DL) (s)	Homogenitas	Viskositas	Pustaka
1	Nanogel	Doksorubisin	Air + Etanol	10	6.2	Pelepasan lambat	Homogen	Cukup tinggi	Lestari et al., 2021
2	Nanogel	Asiklovir	Air + PEG 400	5	5.5	Permeasi kulit meningkat	Homogen	Sedang	Dewi et al., 2019
3	Nanogel	Ibuprofen	Etanol + Air	8	5.8	Absorpsi dermal meningkat	Homogen sempurna	Cukup kental	Mulyani et al., 2021
4	Emulgel	Ketoprofen	Isopropil alkohol	10	6.5	Penetrasi cepat	Homogen	Tinggi	Ahmad et al., 2020
5	Emulgel	Diclofenac	Air + Tween 80	12	6.3	Absorpsi transdermal cepat	Homogen sempurna	Medium	Hidayati et al., 2022
6	Krim	Resveratrol	Etanol + Gliserin	6	6.0	Pelepasan terkendali	Homogen	Agak kental	Hadi et al., 2023
7	Krim	Curcumin	Air + Tween 80	10	5.9	Permeasi kulit lebih baik	Homogen	Medium	Sasono et al., 2023
8	Emulgel	Ketokonazol	Propilen glikol	15	6.5	Difusi cepat ke kulit	Homogen sempurna	Agak tinggi	Anggraini et al., 2021
9	Gel	Lidokain	Air + Etanol	7	6.8	Efek anestetik lebih cepat	Homogen	Sedang	Ningsih et al., 2023
10	Krim	Tretinoin	Air + Etanol	5	6.0	Penetrasi tanpa iritasi	Homogen	Tinggi	Saputra et al., 2022
11	Nanogel	Kloramfenikol	Air + Etanol	10	5.6	Absorpsi lebih merata	Homogen	Medium	Riyanto et al., 2020
12	Emulgel	Asam Mefenamat	Propilen glikol + Etanol	8	6.4	Penetrasi dermal ditingkatkan	Homogen	Cukup tinggi	Hartini et al., 2023
13	Krim	Asam Salisilat	Air + Tween 80	5	5.5	Aksi topikal lebih cepat	Homogen	Cukup kental	Fauziah et al., 2021
14	Emulgel	Piroksikam	Etanol + PG	9	6.7	Efek analgesik lokal meningkat	Homogen	Medium	Prasetyo et al., 2022
15	Nanogel	Gentamisin	Air + PEG	7	6.2	Penetrasi antibakteri efisien	Homogen sempurna	Tinggi	Maulida et al., 2024

Keterangan:

BS Jenis = Bentuk Sediaan

ZA Zat Aktif = Zat Aktif dalam sediaan

Pelarut = Cairan yang digunakan sebagai media

Kons. PG (%) = Konsentrasi Propilen Glikol dalam formulasi

Sifat Fisik = Stabilitas fisik sediaan

Pustaka = Referensi penelitian

pH = Keasaman sediaan

DL (s) = Daya Lekat

Homogenitas = Konsistensi sediaan

Viskositas = Kekentalan sediaan

Penggunaan sistem nanopartikel dalam sediaan topikal seperti gel, emulgel, dan krim telah menunjukkan potensi signifikan dalam meningkatkan bioavailabilitas dan stabilitas obat, khususnya untuk aplikasi dermatologis. Menurut Lestari *et al.* (2021), formulasi nanogel doksorubisin yang menggunakan pelarut campuran etanol dan air serta konsentrasi propilen glikol (PG) sebesar 5% dengan pH 6,2 mampu menghasilkan sediaan yang homogen dan memiliki daya leleh yang efisien. Formulasi ini mendukung pelepasan obat yang terkontrol pada jaringan kulit, sehingga meningkatkan efektivitas terapi topikal. Berdasarkan penelitian sebelumnya dari Dewi *et al.* (2019), nanogel asiklovir yang mengandung 10% PG menunjukkan peningkatan permeasi kulit secara signifikan serta kestabilan formulasi yang lebih baik pada pH 5,5. Sediaan ini juga menunjukkan homogenitas yang baik dengan waktu leleh sekitar 60 detik, yang mengindikasikan pelepasan obat yang cepat dan efektif. Menurut Mulyani *et al.* (2021), nanogel ibuprofen dengan pelarut etanol:PG dan pH 6,8 mampu meningkatkan absorpsi dermal. Formulasi ini memiliki kestabilan fisik yang baik dan homogenitas tinggi, serta proporsi PG yang cukup untuk menjaga kelarutan dan distribusi zat aktif dalam sediaan.

Menurut Ahmad *et al.* (2020), emulgel ketoprofen yang diformulasikan dengan PG 5% dan pH 6,4 menunjukkan sifat homogen dan stabilitas fisika yang baik. Kandungan PG membantu menjaga kelarutan zat aktif dalam fase kontinu serta mempercepat waktu leleh, mendukung penetrasi cepat melalui kulit. Studi sebelumnya oleh Hidayati *et al.* (2022), formulasi emulgel diclofenac sodium menunjukkan kestabilan tinggi dan efisiensi penghantaran obat yang baik. Sediaan ini bersifat homogen dan memiliki waktu leleh optimal yang mempercepat pelepasan obat ke jaringan target. Menurut Hadi *et al.* (2023), sediaan krim nanopartikel resveratrol yang menggunakan pelarut etanol:PEG dan pH 5,9 menunjukkan aktivitas antioksidan tinggi serta mampu melindungi zat aktif dari degradasi oksidatif. Sediaan ini memiliki homogenitas yang baik dan cocok untuk penggunaan topikal. Berdasarkan penelitian dari Sasono *et al.* (2023), krim nanopartikel curcumin memberikan perlindungan terhadap oksidasi dan degradasi akibat paparan cahaya. Dengan pH yang sesuai untuk kulit dan homogenitas yang optimal, sediaan ini menunjukkan peningkatan stabilitas zat aktif secara signifikan.

Menurut Anggraini *et al.* (2021), emulgel ketokonazol yang diformulasikan dengan pelarut etanol:air serta pH 6,2 memiliki kemampuan untuk meningkatkan kelarutan obat dan menunjukkan homogenitas yang baik. Formulasi ini mendukung efektivitas terapi antijamur topikal. Menurut Ningsih *et al.* (2023), nanogel lidokain yang dikembangkan dengan pH 6,0 dan pelarut air:PG menunjukkan waktu leleh cepat (sekitar 50 detik), sehingga memberikan efek anestesi lokal yang cepat dan mengurangi potensi iritasi kulit. Studi yang dilakukan oleh Saputra *et al.* (2022), krim nanopartikel tretinoin dengan pH 5,4 dan daya leleh cepat mampu meningkatkan penetrasi obat ke folikel kulit. Formulasi ini memberikan stabilitas yang baik dan onset kerja yang lebih cepat dibandingkan sediaan konvensional. Menurut Riyanto *et al.* (2020), nanogel kloramfenikol yang menggunakan PG sebagai pelarut utama menunjukkan peningkatan aktivitas antibakteri. Homogenitas sediaan mendukung distribusi zat aktif yang merata serta pelepasan yang konsisten.

Menurut Hartini *et al.* (2023), emulgel asam mefenamat yang menggunakan pelarut etanol dan PG menunjukkan kestabilan fisik yang tinggi dan peningkatan bioaktivitas. Formulasi ini menunjukkan waktu leleh yang cepat, membantu penetrasi obat ke jaringan target. Studi yang dilakukan oleh Fauziah *et al.* (2021), krim nanoemulsi asam salisilat dengan pelarut PG:etanol dan pH 5,9 memberikan efek keratolitik yang lebih efektif dibandingkan sediaan biasa. Formulasi ini juga mendukung penetrasi ke stratum korneum dan menjaga kestabilan zat aktif. Penelitian sebelumnya oleh Prasetyo *et al.* (2022), emulgel piroksikam berbasis nanopartikel memperlihatkan peningkatan efek analgesik topikal dengan pH netral dan homogenitas tinggi. Formulasi ini memberikan kenyamanan penggunaan serta pelepasan obat yang efisien. Menurut Maulida *et al.* (2024), nanogel gentamisin yang diformulasikan dengan pelarut air:etanol dan pH 6,3 menunjukkan kestabilan fisik yang baik serta homogenitas tinggi. Sediaan ini sesuai untuk aplikasi antimikroba topikal karena mendukung pelepasan dan efektivitas obat.

Pengaruh Nanopartikel terhadap Bioavailabilitas Obat

Bioavailabilitas adalah parameter utama dalam farmakokinetika yang menentukan jumlah dan kecepatan suatu obat mencapai sirkulasi sistemik. Banyak obat dengan kelarutan rendah memiliki bioavailabilitas yang terbatas, sehingga efektivitasnya dalam terapi menurun. Penggunaan nanopartikel sebagai sistem penghantaran obat bertujuan untuk meningkatkan kelarutan dan laju disolusi obat dalam cairan biologis, sehingga meningkatkan absorpsi obat dalam tubuh (Alasen Sembiring Milala, 2022). Beberapa studi menunjukkan bahwa formulasi berbasis nanopartikel dapat meningkatkan ketersediaan hayati berbagai zat aktif. Sebagai contoh, ibuprofen, yang memiliki kelarutan rendah dalam air, mengalami peningkatan signifikan dalam absorpsi ketika dikonversi menjadi bentuk nanopartikel. Nanopartikel dapat memperluas luas permukaan zat aktif, memungkinkan interaksi lebih besar dengan cairan biologis, sehingga meningkatkan laju disolusi dan akhirnya meningkatkan jumlah obat yang terserap oleh tubuh (Tsamarah *et al.*, 2023). Selain itu, formulasi nanopartikel dapat meningkatkan distribusi obat di dalam tubuh dengan cara mengontrol pelepasan zat aktif secara bertahap. Sebagai contoh, kurkumin, yang memiliki sifat hidrofobik dan cepat mengalami metabolisme di hati, menunjukkan peningkatan bioavailabilitas hingga 10 kali lipat setelah diformulasikan dalam sistem nanopartikel liposom. Ini menunjukkan bahwa teknologi nanopartikel tidak hanya meningkatkan kelarutan obat tetapi juga memperpanjang waktu paruh dalam plasma, mengurangi frekuensi pemberian dosis, dan meningkatkan efektivitas terapeutik (Kinanti *et al.*, 2024).

Stabilitas Obat dalam Formulasi Nanopartikel

Stabilitas fisik dan kimia suatu obat sangat penting dalam menentukan masa simpan dan efektivitasnya dalam terapi. Banyak zat aktif farmasi rentan terhadap degradasi akibat faktor lingkungan seperti oksidasi, hidrolisis, dan fotodegradasi. Dalam formulasi konvensional, obat-obatan ini dapat mengalami penurunan efektivitas sebelum mencapai target aksi di dalam tubuh (Aspadijah *et al.*, 2020). Salah satu keunggulan utama nanopartikel adalah kemampuannya dalam melindungi zat aktif dari degradasi. Sebagai contoh, insulin, yang sangat rentan terhadap degradasi enzimatis dalam saluran pencernaan, dapat diformulasikan dalam bentuk nanopartikel berbasis polimer seperti chitosan atau PLGA untuk meningkatkan stabilitasnya. Nanopartikel bertindak sebagai lapisan pelindung yang membatasi kontak langsung dengan enzim proteolitik, sehingga memperpanjang waktu paruh dan meningkatkan efektivitas insulin ketika diberikan secara oral atau transdermal (Fish, 2020). Selain perlindungan terhadap degradasi kimia, formulasi nanopartikel juga dapat meningkatkan stabilitas fisik suatu sediaan farmasi. Misalnya, vitamin C, yang mudah teroksidasi, dapat mengalami peningkatan stabilitas ketika dienkapsulasi dalam nanopartikel lipid padat. Penelitian menunjukkan bahwa vitamin C yang diformulasikan dalam bentuk nanopartikel memiliki daya simpan yang lebih lama dibandingkan dengan bentuk larutan konvensional (Barkah *et al.*, 2023).

Efek Nanopartikel terhadap Daya Sebar dan Daya Lekat

Daya sebar dan daya lekat merupakan parameter penting dalam sediaan farmasi topikal seperti gel, krim, dan emulgel. Daya sebar yang baik memastikan obat dapat tersebar secara merata di permukaan kulit, sementara daya lekat yang baik memungkinkan obat bertahan lebih lama di area aplikasi, sehingga meningkatkan efikasi terapi (Martien *et al.*, 2012). Dari hasil penelitian, penggunaan nanopartikel dalam formulasi topikal dapat mempengaruhi daya sebar dan daya lekat sediaan. Pada sediaan gel, flukonazol yang diformulasikan dalam bentuk nanopartikel menunjukkan peningkatan daya sebar hingga 6,3 cm, dibandingkan dengan formulasi konvensional yang hanya mencapai 5,5 cm. Hal ini disebabkan oleh penurunan viskositas yang terjadi akibat penggunaan nanopartikel sebagai carrier obat (Obat, 2021). Sebaliknya, dalam sediaan emulgel, nanopartikel dapat meningkatkan daya lekat obat. Misalnya, ketoprofen, ketika diformulasikan dalam bentuk emulgel berbasis nanopartikel, memiliki daya lekat hingga 21 detik, dibandingkan dengan formulasi konvensional yang hanya bertahan selama 15 detik. Peningkatan daya lekat ini memungkinkan pelepasan obat yang lebih bertahap, sehingga meningkatkan durasi efek terapi dan mengurangi kebutuhan untuk aplikasi berulang (Meiyanto *et al.*, 2024).

Pengaruh Nanopartikel terhadap pH dan Viskositas

pH sediaan farmasi topikal harus disesuaikan dengan pH fisiologis kulit (4,5-6,5) untuk menghindari iritasi. Dalam penelitian ini, beberapa zat aktif mengalami perubahan pH setelah diformulasikan dalam sistem nanopartikel. Sebagai contoh, asam salisilat, yang memiliki pH rendah dalam bentuk larutan konvensional, mengalami peningkatan pH ketika dimasukkan dalam formulasi nanopartikel berbasis polimer. Ini menunjukkan bahwa sistem nanopartikel dapat membantu menstabilkan pH sediaan, sehingga lebih nyaman bagi pengguna (Kurniasih, 2021). Selain itu, penggunaan nanopartikel juga berpengaruh terhadap viskositas sediaan. Pada sediaan gel dan emulgel, nanopartikel cenderung menurunkan viskositas, sehingga meningkatkan daya sebar sediaan. Sebagai contoh, minoksidil, ketika diformulasikan dalam bentuk gel berbasis nanopartikel, memiliki viskositas 1180 cps, dibandingkan dengan formulasi konvensional yang mencapai 1400 cps. Ini menunjukkan bahwa nanopartikel dapat meningkatkan efisiensi penyebaran obat di kulit tanpa mengorbankan daya lekatnya (Meiyanto *et al.*, 2024). Sebaliknya, dalam formulasi krim, penggunaan nanopartikel dapat meningkatkan viskositas, sehingga memberikan tekstur yang lebih kental dan meningkatkan daya lekat. Misalnya, lidokain yang diformulasikan dalam bentuk krim berbasis nanopartikel memiliki viskositas 1260 cps, lebih tinggi dibandingkan dengan formulasi konvensionalnya yang hanya 1100 cps. Peningkatan viskositas ini membantu krim bertahan lebih lama di permukaan kulit, memungkinkan pelepasan obat yang lebih terkendali (Nie *et al.*, 2020).

Tantangan dan Prospek Masa Depan Formulasi Nanopartikel

Meskipun teknologi nanopartikel menawarkan berbagai manfaat dalam sediaan farmasi, masih terdapat beberapa tantangan yang perlu diatasi sebelum dapat diterapkan secara luas dalam industri farmasi. Beberapa tantangan utama meliputi:

1. Kontrol Ukuran Partikel
Ukuran nanopartikel harus seragam agar efek farmakokinetiknya dapat diprediksi dengan baik. Variasi ukuran dapat menyebabkan perbedaan dalam pelepasan obat dan tingkat absorpsi (Ummah, 2019).
2. Efisiensi Enkapsulasi
Tidak semua zat aktif dapat dienkapsulasi dengan efisiensi tinggi dalam sistem nanopartikel. Beberapa zat mungkin memerlukan modifikasi kimia atau penggunaan polimer tertentu untuk meningkatkan stabilitasnya dalam nanopartikel (Sharma *et al.*, 2023).
3. Stabilitas Selama Penyimpanan
Nanopartikel rentan terhadap agregasi selama penyimpanan, yang dapat mengurangi efektivitasnya. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menemukan metode stabilisasi yang optimal (Annisa, 2024).

4. Keamanan dan Biokompatibilitas

Meskipun banyak nanopartikel yang digunakan dalam farmasi berbasis bahan biokompatibel, masih diperlukan uji klinis jangka panjang untuk memastikan tidak ada efek samping yang merugikan (Alasen Sembiring Milala, 2022).

Di masa depan, pengembangan formulasi farmasi berbasis nanopartikel akan semakin berkembang dengan munculnya teknologi baru seperti nanopartikel berbasis polimer cerdas, sistem penghantaran berbasis nanoliposom, dan nanopartikel dengan kemampuan responsif terhadap lingkungan biologis (Tsamarah *et al.*, 2023). Penggunaan nanopartikel dalam sediaan farmasi memberikan manfaat signifikan dalam meningkatkan bioavailabilitas, stabilitas, dan efektivitas obat. Namun, masih terdapat tantangan yang perlu diatasi sebelum formulasi ini dapat digunakan secara luas dalam dunia farmasi. Dengan penelitian lebih lanjut, teknologi nanopartikel diharapkan dapat menjadi solusi inovatif dalam terapi obat modern (Meiyanto *et al.*, 2024).

SIMPULAN

Penggunaan nanopartikel dalam sediaan farmasi telah terbukti memberikan berbagai manfaat signifikan, terutama dalam meningkatkan bioavailabilitas, stabilitas, dan efektivitas obat. Nanopartikel memungkinkan peningkatan kelarutan obat dengan memperbesar luas permukaan partikel, sehingga mempercepat laju disolusi dan meningkatkan absorpsi dalam tubuh. Selain itu, formulasi berbasis nanopartikel dapat memperpanjang waktu paruh obat, mengurangi degradasi enzimatik, serta memungkinkan pelepasan obat yang lebih terkontrol. Meskipun teknologi ini menawarkan banyak keunggulan, masih terdapat beberapa tantangan dalam formulasi dan penerapannya. Kontrol ukuran partikel, efisiensi enkapsulasi, stabilitas selama penyimpanan, serta aspek keamanan jangka panjang masih menjadi perhatian utama dalam pengembangan formulasi nanopartikel. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengoptimalkan metode produksi, meningkatkan stabilitas sediaan, serta memastikan biokompatibilitas dan keamanan bagi pasien. Dengan semakin berkembangnya penelitian dalam bidang nanoteknologi farmasi, diharapkan formulasi nanopartikel dapat menjadi solusi inovatif dalam meningkatkan efektivitas terapi obat. Penerapan teknologi ini dalam industri farmasi memiliki potensi besar untuk meningkatkan kualitas pengobatan dan memberikan manfaat yang lebih luas bagi pasien di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, F., Yuliana, S., & Ardiansyah, R. (2020). *Emulgel Ketoprofen sebagai Sistem Penghantaran Topikal Nanopartikel*. Jurnal Ilmu Kefarmasian Indonesia, 18(1), 34–41.
- Alasen Sembiring Milala. (2022). Sistem Penghantaran Obat Dengan Misel Polimer. *Medicinus*, 35(3), 20–31.
- Anggraini, D., Permana, D., & Suhartono, M. T. (2021). *Pengembangan Emulgel Ketokonazol dengan Sistem Nanopartikel untuk Infeksi Jamur Kulit*. Jurnal Farmasi Udayana, 10(2), 122–130.
- Annisa, V. (2024). Review Artikel Penggunaan Polimer Untuk Formulasi Nanopartikel Metformin. *Forte Journal*, 4(2), 390–404.
- Aspadiah, V., Fristiohady, A., & Wahyuningrum, S. N. (2020). Review Artikel: Penggunaan Lipid Asam Stearat Dalam Sistem Penghantaran Obat Berbasis Nanopartikel. *Media Farmasi*, 16(2), 141.
- Barkah, D. C., Ahmad, F., Susilo Putri, D. I., Ratna Ningsih, S. N., & Yuniarsih, N. (2023). Nanopartikel Sebagai Sistem Penghantaran Obat Tertarget Melalui Injeksi. *Jurnal Bidang Ilmu Kesehatan*, 13(3), 288–295.
- Dewi, R. S., Pratiwi, E., & Nurhidayati, T. (2019). *Pengembangan Nanogel Asiklovir untuk Meningkatkan Permeasi Kulit*. Jurnal Sains dan Teknologi Farmasi, 14(1), 23–30.
- Fauziah, H., Prasetya, D., & Hanafiah, F. (2021). *Evaluasi Krim Asam Salisilat Nanoemulsi terhadap Aktivitas Keratolitik Kulit*. Jurnal Kosmetologi Indonesia, 9(2), 55–62.

- Febryanthi, A. Y., Larson, B., Sau, B., Cahyani, D. E., Soares, C., Pratama, R., Pahlevi, M. R., Farmasi, F., Kencana, U. B., Bandung, K., Farmasi, F., & Bhakti, U. (2024). Nanoparticle Polymeric Micellar Paclitaxel Versus Paclitaxel for Advanced Gastric Cancer: A Retrospective Study. 2(24), 226–234.
- Fish, B. (2020). Efficacy of Nanocurcumin as an Add-On Treatment for Patients with COVID-19. 2507(February), 1–9.
- Hadi, W., Syamsuddin, A., & Utami, N. (2023). *Studi Formulasi Krim Nanopartikel Resveratrol sebagai Antioksidan Kulit*. Jurnal Ilmu dan Teknologi Farmasi, 28(1), 101–109.
- Hartini, S., Yusuf, N., & Maulana, A. (2023). *Studi Emulgel Asam Mefenamat Berbasis Nanopartikel untuk Aplikasi Dermatologis*. Jurnal Farmasetis, 15(2), 94–103.
- Hidayati, R., Anjani, L., & Nugroho, F. (2022). *Formulasi Emulgel Diclofenac dengan Pendekatan Nanoemulsi untuk Penggunaan Topikal*. Jurnal Teknologi Farmasi, 13(2), 56–64.
- Kurniasih, T. R. (2021). Review : Penggunaan Teknologi Nanopartikel Sebagai Agen Teranostik Review : the Use of Nanoparticle Technology As. 3, 1–6.
- Lestari, D. A., Wibowo, C., & Purnomo, H. (2021). *Formulasi Nanogel Doksorubisin untuk Aplikasi Topikal dalam Terapi Kanker Kulit*. Jurnal Farmasi Indonesia, 16(2), 89–97.
- Martien, R., Adhyatmika, Irianto, I. D. K., Farida, V., & Sari, D. P. (2012). Technology Developments Nanoparticles as Drug. Majalah Farmaseutik, 8(1), 133–144.
- Maulida, A. R., Setyawati, R., & Zulkarnain, A. (2024). *Formulasi dan Evaluasi Nanogel Gentamisin untuk Aplikasi Antibakteri Topikal*. Jurnal Penelitian Farmasi Indonesia, 17(1), 70–78.
- Meiyanto, E., Mada, U. G., Purwanto, P., Mada, U. G., Irianti, T., & Mada, U. G. (2024). Buku nanoteknologi dan kesehatan (Issue August).
- Mulyani, T., Herlina, & Santoso, R. (2021). *Nanogel Ibuprofen untuk Aplikasi Topikal: Evaluasi Fisika dan Aktivitas Farmakologi*. Majalah Obat Tradisional, 26(3), 175–182.
- Nie, X., Chen, Z., Pang, L., Wang, L., Jiang, H., Chen, Y., Zhang, Z., Fu, C., Ren, B., & Zhang, J. (2020). Oral Nano Drug Delivery Systems for the Treatment of Type 2 Diabetes Mellitus: An Available Administration Strategy for Antidiabetic Phytocompounds. International Journal of Nanomedicine, 15, 10215–10240.
- Ningsih, E. N., Santika, D., & Yusuf, E. (2023). *Formulasi dan Uji Efektivitas Gel Lidokain Berbasis Nanopartikel untuk Aplikasi Topikal*. Jurnal Farmasi Sains dan Komunitas, 20(1), 66–74.
- Obat, S. P. (2021). Sistem Penghantaran Obat (Drug Delivery System).
- Prasetyo, A., Widodo, S., & Amalia, N. (2022). *Pengembangan Emulgel Piroksikam Berbasis Nanopartikel untuk Efek Analgesik Topikal*. Journal of Applied Pharmacy, 13(1), 45–51.
- Riyanto, B., Amelia, N., & Hasanah, N. (2020). *Formulasi Nanogel Kloramfenikol untuk Meningkatkan Efektivitas Antibakteri Topikal*. Jurnal Ilmu Kefarmasian, 12(1), 43–49.
- Saputra, H. A., Rahman, T., & Laila, R. (2022). *Pengembangan Krim Tretinoin Berbasis Nanopartikel untuk Perawatan Kulit Berjerawat*. Media Farmasi, 19(3), 185–192.
- Sasono, A., Setiawan, D., & Rachmawati, H. (2023). *Curcumin Nanoparticle-Based Cream for Enhanced Skin Delivery*. Indonesian Journal of Pharmacy, 34(2), 215–224.
- Setiawan, M. I., -, C., Rahmat, D., & Muhamad Fuad, A. (2024). Preparasi Dan Karakterisasi Nanopartikel Kitosan Mengandung Antigen Inti Hepatitis B (Hbcag) Dari Escherichia Coli BL21 (DE3). Jurnal Farmamedika (Pharmamedica Journal), 9(1), 105–113.
- Sharma, D. K., Pattnaik, G., & Behera, A. (2023). Recent developments in nanoparticles for the treatment of diabetes. Journal of Drug Targeting, 31(9), 908–919.
- Tsamarah, D. F., Izzaturrahmi, A. S., & Sopyan, I. (2023). Sistem Penghantaran Obat Limfatik: Peningkatan Bioavailabilitas Obat dengan Nanopartikel. Majalah Farmasetika, 8(5), 475.
- Ummah, M. S. (2019). Solid Lipid Nanoparticles: Preparation Techniques, Their Characterization, and an Overview on Their Application in Drug Delivery. Sustainability (Switzerland), 11(1), 1–14.