

Tinjauan Naratif

Pengembangan Metabolit Sekunder Tanaman Obat dalam Formulasi Modern: Studi *Narrative Review* Kurkumin dan *Andrographolide*

Ni Komang Gita Listyari Dewi^{1*}

¹Program Studi Farmasi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana,
gitalistyard16@gmail.com

* Penulis Korespondensi

Abstrak— Indonesia memiliki potensi besar dalam pengembangan obat herbal modern karena kekayaan biodiversitasnya, khususnya tanaman obat yang mengandung metabolit sekunder dengan aktivitas farmakologis tinggi. Kajian ini bertujuan untuk meninjau strategi pengembangan ekstrak tanaman obat Indonesia, terutama senyawa kurkumin dari *Curcuma longa* dan *andrographolide* dari *Andrographis paniculata*, sebagai obat herbal modern berbasis bukti ilmiah. Melalui metode *narrative review*, literatur dari tahun 2020–2025 dianalisis untuk mengevaluasi efektivitas formulasi berbasis teknologi nano, seperti nanoemulsi, *Self-Microemulsifying Drug Delivery System* (SMEDDS), dan liposom. Hasil tinjauan menunjukkan bahwa teknologi ini mampu meningkatkan bioavailabilitas, stabilitas, dan efektivitas terapeutik metabolit sekunder secara signifikan. Kurkumin dan *andrographolide* terbukti tetap stabil dan aktif secara farmakologis dalam berbagai sediaan nano dan topikal. Dengan dukungan teknologi formulasi modern, ekstrak tanaman obat berpotensi besar dikembangkan menjadi produk fitofarmaka yang aman, efektif, dan memenuhi standar internasional.

Kata Kunci— *Andrographolide*, *Curcuma longa*, Metabolit sekunder

1. PENDAHULUAN

Indonesia dikenal sebagai negara dengan kekayaan biodiversitas tertinggi kedua di dunia setelah Brasil, dengan lebih dari 40.000 spesies tanaman, dan sekitar 9.600 di antaranya diketahui memiliki khasiat obat. Kekayaan flora ini menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara dengan potensi besar dalam pengembangan obat herbal modern yang berbasis kearifan lokal dan didukung oleh inovasi ilmiah. Terdapat sekitar 80% populasi dunia masih bergantung pada pengobatan tradisional sebagai bagian dari layanan kesehatan utama mereka. Bahkan, lebih dari 25% obat-obatan modern yang digunakan saat ini berasal dari senyawa yang ditemukan dalam tanaman obat (Nugraha *et al.*, 2022). Fakta ini memperkuat urgensi dan relevansi pengembangan tanaman obat Indonesia menjadi produk herbal yang terstandar dan teruji secara ilmiah, yang tidak hanya dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri, tetapi juga berpotensi menembus pasar internasional.

Dalam konteks pengembangan obat herbal modern, metabolit sekunder tanaman menjadi fokus utama penelitian karena potensinya sebagai sumber senyawa bioaktif yang dapat dikembangkan menjadi kandidat obat baru. Etnobotani tradisional telah lama memanfaatkan khasiat tanaman obat untuk berbagai tujuan terapeutik, tetapi pendekatan modern memerlukan validasi ilmiah yang komprehensif melalui identifikasi, isolasi, dan karakterisasi senyawa aktif yang bertanggung jawab terhadap aktivitas farmakologis (Mbemya *et al.*, 2017). Pengembangan obat herbal modern dari tanaman obat Indonesia tentu tidak terlepas dari berbagai tantangan, di antaranya adalah kebutuhan akan standardisasi ekstrak, identifikasi

senyawa aktif secara ilmiah, validasi aktivitas farmakologis melalui uji praklinis dan klinis, hingga pemenuhan persyaratan regulasi nasional maupun internasional (Hasyim *et al.*, 2025).

Salah satu tantangan utama dalam pengembangan metabolit sekunder tanaman obat, seperti kurkumin dan *andrographolide*, adalah rendahnya bioavailabilitas, kelarutan dalam air, dan stabilitasnya dalam formulasi konvensional. Kurkumin, misalnya, dikenal memiliki kelarutan air yang sangat rendah dan mudah terdegradasi oleh cahaya dan pH tinggi, yang membatasi efektivitas terapeutiknya secara *in vivo*. Demikian pula, *andrographolide* memiliki kelarutan yang buruk dan metabolisme lintas pertama yang signifikan, mengurangi ketersediaannya di dalam tubuh (Pornpitchanarong *et al.*, 2024; Ye *et al.*, 2024). Tantangan ini menjadi krusial untuk diatasi agar potensi farmakologis metabolit sekunder dapat dimaksimalkan.

Perkembangan teknologi ekstraksi dan analisis fitokimia modern telah memungkinkan identifikasi dan isolasi metabolit sekunder dengan tingkat kemurnian dan akurasi yang tinggi. Berbagai metode ekstraksi, mulai dari ekstraksi konvensional hingga teknik modern seperti ekstraksi dengan bantuan gelombang mikro dan ekstraksi superkritis, telah dikembangkan untuk mengoptimalkan perolehan senyawa aktif dari matriks tanaman. Proses fraksinasi bertahap memungkinkan pemisahan senyawa berdasarkan polaritas dan sifat kimia, sehingga memfasilitasi identifikasi dan karakterisasi yang lebih spesifik. Dalam era modern ini, pengembangan obat herbal tidak hanya terfokus pada ekstraksi dan isolasi senyawa aktif, tetapi juga pada pemahaman mekanisme aksi molekuler dari metabolit sekunder. Pendekatan farmakologi sistem dan *network pharmacology* memungkinkan pemahaman yang lebih komprehensif tentang interaksi multi target dari senyawa herbal, dan seringkali bertanggung jawab terhadap efek terapeutik yang kompleks dan sinergis.

Regulasi dan standardisasi internasional untuk produk herbal semakin ketat, mendorong pengembangan metode analisis yang *robust* dan validasi yang komprehensif. Implementasi *Good Manufacturing Practices* (GMP) dan *quality control* yang ketat menjadi prasyarat untuk menghasilkan produk herbal yang aman, efektif, dan berkualitas tinggi. Pengembangan biomarker dan *fingerprint* kimia menjadi *tools* penting dalam memastikan konsistensi dan autentisitas produk herbal modern. Prospek masa depan pengembangan ekstrak tanaman obat sebagai obat herbal modern sangat menjanjikan dengan integrasi teknologi nano untuk meningkatkan bioavailabilitas dan *targeted delivery*, serta aplikasi *artificial intelligence* dalam *drug discovery* dan optimalisasi formulasi. Kolaborasi multidisiplin antara ahli farmakognosi, kimia bahan alam, farmakologi, dan bioteknologi akan terus mendorong inovasi dalam bidang ini untuk menghasilkan terapi herbal yang lebih efektif dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Kajian *narrative review* ini bertujuan untuk meninjau secara komprehensif strategi pengembangan ekstrak tanaman obat Indonesia, khususnya kurkumin dari *Curcuma longa* dan *andrographolide* dari *Andrographis paniculata*, sebagai obat herbal modern berbasis bukti ilmiah. Fokus utama tinjauan ini adalah mengevaluasi efektivitas formulasi berbasis teknologi nano (seperti nanoemulsi, SMEDDS, dan liposom) dalam mengatasi tantangan bioavailabilitas dan stabilitas metabolit sekunder tersebut. Keunikan studi ini terletak pada sintesis informasi terkini (2020-2025) mengenai aplikasi nanoteknologi spesifik untuk dua metabolit sekunder kunci ini, serta implikasinya terhadap pengembangan produk fitofarmaka yang memenuhi

standar internasional. Diharapkan tinjauan ini dapat memberikan panduan bagi peneliti dan industry farmasi dalam mengembangkan produk herbal modern yang inovatif dan efektif.

2. METODE

Penelitian ini merupakan kajian literatur yang disusun menggunakan pendekatan *narrative review* dengan tujuan untuk merangkum dan menganalisis berbagai literatur ilmiah yang relevan mengenai strategi pengembangan ekstrak tanaman obat Indonesia yang mengandung metabolit sekunder sebagai obat herbal modern. Pengumpulan literatur dilakukan melalui penelusuran pada beberapa basis data ilmiah daring, antara lain Google Scholar, PubMed, ScienceDirect, MDPI, dan ResearchGate. Kata kunci yang digunakan dalam proses pencarian meliputi “*ekstrak tanaman obat Indonesia*”, “*metabolit sekunder*”, “*herbal extract*”, “*phytochemical*”, “*nanoformulasi*”, “*standardisasi ekstrak herbal*”, “*curcumin*”, dan “*andrographolide*”, baik dalam bahasa Indonesia maupun Inggris. Rentang tahun publikasi yang digunakan sebagai acuan adalah 2020 hingga 2025 untuk memastikan bahwa literatur yang ditinjau merupakan data terkini yang sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi farmasi.

Proses seleksi artikel dimulai dengan identifikasi awal 3 artikel dari Google Scholar, 2 PubMed, 3 ScienceDirect, 2 MDPI dan 3 artikel dari ResearchGate. Setelah penghapusan duplikasi, total jumlah artikel yang tersisa adalah 13. Dari jumlah tersebut, 10 artikel tersaring berdasarkan judul dan abstrak relevansi. Kemudian 3 artikel teks lengkap dievaluasi secara cermat berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi. Artikel yang tidak memenuhi kriteria, seperti opini, abstrak tanpa isi penuh, dan publikasi yang tidak relevan, tidak disertakan dalam pembahasan. Tujuh artikel final yang diulas secara mendalam dalam kajian ini.

Kriteria inklusi dalam pemilihan literatur meliputi artikel yang membahas tanaman obat Indonesia, senyawa metabolit sekunder, metode ekstraksi atau formulasi, serta aktivitas farmakologis yang relevan. Artikel yang dimasukkan dalam kajian ini telah melalui proses *peer-review*, dan ditulis dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris. Sementara itu, artikel yang tidak memenuhi kriteria tersebut, seperti artikel opini, abstrak tanpa isi penuh, dan publikasi yang tidak relevan, tidak disertakan dalam pembahasan. Data yang diperoleh dari masing-masing artikel kemudian dianalisis secara kualitatif dan deskriptif, meliputi informasi terkait jenis tanaman, kandungan metabolit sekunder, metode ekstraksi atau teknologi formulasi yang digunakan, serta aktivitas farmakologis yang dilaporkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tanaman obat merupakan salah satu sumber utama senyawa bioaktif atau metabolit sekunder yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai obat herbal modern. Namun, pengembangan ekstrak tanaman menjadi sediaan yang sesuai standar farmasi modern menghadapi berbagai tantangan, terutama terkait dengan bioavailabilitas, stabilitas, dan efektivitas dari metabolit sekunder yang terkandung di dalamnya. Metabolit sekunder seperti kurkumin dan andrographolide seringkali memiliki kelarutan air yang rendah stabilitas yang buruk terhadap faktor lingkungan (cahaya, panas, pH), dan metabolisme *first-pass* yang tinggi, yang secara signifikan membatasi ketersediaan hayati dan potensi terapeutiknya (Pornpitvhanarong *et al.*, 2024; Ye *et al.*, 2024). Permasalahan ini menjadi fokus utama dalam penelitian formulasi modern untuk memastikan bahwa senyawa aktif dapat mencapai target

aksi dengan konsentrasi yang memadai dan bertahan dalam kondisi fisiologis tubuh. Berdasarkan hasil peninjauan artikel ilmiah yang diterbitkan antara tahun 2020 hingga 2025, diketahui bahwa dua tanaman obat yang banyak diteliti dalam konteks ini adalah *Curcuma longa* (dengan senyawa aktif kurkumin) dan *Andrographis paniculata* (dengan senyawa aktif *andrographolide*). Hasil kajian terhadap pengembangan metabolit sekunder tanaman obat dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil kajian terhadap pengembangan metabolit sekunder tanaman obat

Tanaman dan Metabolit sekunder	Jenis formulasi	Aktivitas farmakologi	Efektivitas pengembangan	Referensi
<i>Curcuma longa</i> (Kurkumin)	Nanoemulsi oral	Antioksidan	Stabilitas dan kelarutan meningkat	Ye <i>et al.</i> (2024)
<i>Curcuma longa</i> (Kurkumin)	Nanoemulsi oral	Antikanker (HPV+)	Menurunkan ekspresi gen onkogen, hambat tumor	Al-fatease <i>et al.</i> (2023)
<i>Andrographis paniculata</i>	Gel nanoemulsi topikal	Antijamur	Menghambat pertumbuhan jamur kulit	Raman <i>et al.</i> (2022)
<i>Andrographis paniculata</i>	Self-Microemulsifying Drug Delivery System (SMEDDS)	Anti inflamasi, imunomodulator	Kelarutan dan permeabilitas meningkat	Pornpitchanaron <i>g et al.</i> (2024)
<i>Andrographis paniculata</i>	Krim topikal	Antiinflamasi lokal	Stabil, homogen dan cocok untuk terapi kulit	Karnik <i>et al.</i> (2024),

3.1. Identifikasi dan Karakterisasi Metabolit Sekunder dalam Ekstrak Tanaman Obat

Kurkumin dan andrografolid merupakan dua jenis metabolit sekunder utama yang telah banyak dikaji dan digunakan sebagai senyawa aktif dalam pengembangan obat herbal modern. Kurkumin ditemukan pada tanaman obat *Curcuma longa*, sementara andrografolid ditemukan pada *Andrographis paniculata*. Kurkumin dikenal sebagai senyawa polifenol dengan aktivitas biologis yang luas, termasuk antioksidan, antiinflamasi, dan antikanker. Dalam penelitian oleh Al-fatease *et al.* (2023), kurkumin dikarakterisasi menggunakan spektroskopi FTIR yang menunjukkan adanya gugus fenolik –OH (3510 cm^{-1}), gugus karbonil C=O (1742 cm^{-1}), dan vibrasi aromatik C=C (sekitar 1500 cm^{-1}). Ini menandakan bahwa struktur kimia kurkumin tetap utuh selama proses formulasi nanoemulsi gel. Selain itu, dalam penelitian Ye *et al.* (2024), dilakukan analisis lanjutan terhadap kestabilan kurkumin dalam sistem nanoemulsi menggunakan metode *Phase Inversion Temperature* (PIT). Karakterisasi dilakukan dengan mengamati perubahan struktur dan aktivitas antioksidan selama simulasi kondisi pencernaan

dan paparan cahaya UV. Hasilnya menunjukkan bahwa kurkumin mempertahankan stabilitas struktural dan aktivitas biologisnya dalam lingkungan pencernaan dan selama penyimpanan.

Andrographolide, yang merupakan diterpenoid lakton utama dalam *Andrographis paniculata*, juga telah dikarakterisasi secara menyeluruh. Pada penelitian Karnik *et al.* (2024), senyawa ini diidentifikasi dan dikuantifikasi menggunakan dua metode kromatografi: *High-Performance Liquid Chromatography* (HPLC) dan *High-Performance Thin-Layer Chromatography* (HPTLC). Hasil HPLC menunjukkan waktu retensi sebesar 11,36 menit pada panjang gelombang 223 nm, dengan kadar andrografolide dalam ekstrak krim mencapai 9,15%. HPTLC juga memberikan nilai R_f yang konsisten (0,49), yang memperkuat validitas metode analitik tersebut. Karakterisasi ini menunjukkan bahwa andrografolide dapat tetap stabil dalam bentuk sediaan krim dan memiliki profil kimia yang mudah diidentifikasi secara akurat. Penelitian oleh Pornpitchanarong *et al.* (2024) meskipun lebih fokus pada pengembangan formulasi SMEDDS, tetap menekankan pentingnya standardisasi ekstrak melalui analisis kandungan senyawa aktif seperti andrografolide untuk menjamin konsistensi dan efektivitas sediaan akhir.

Kemudian pada penelitian Raman *et al.* (2022), dikemukakan bahwa *A. paniculata* mengandung berbagai senyawa bioaktif, termasuk andrografolide, neoandrografolide, dan 14-deoksiandrografolide. Tinjauan ini juga mengulas teknik-teknik isolasi dan karakterisasi yang umum digunakan, termasuk kromatografi cair kinerja tinggi (HPLC), spektroskopi massa, dan teknik validasi kandungan senyawa aktif dalam bentuk nanopartikel. Ini menegaskan bahwa karakterisasi metabolit sekunder tidak hanya penting untuk memastikan aktivitas farmakologis, tetapi juga untuk menjamin mutu dan stabilitas dalam pengembangan sediaan fitofarmaka. Dengan demikian, dari kelima jurnal tersebut, dapat disimpulkan bahwa identifikasi dan karakterisasi metabolit sekunder kurkumin dan andrografolide dilakukan dengan pendekatan analitik yang presisi dan mendalam, menjadikannya landasan utama dalam formulasi dan pengembangan obat herbal modern.

3.2. Metode Ekstraksi dan Pengaruhnya terhadap Efisiensi dan Profil Metabolit

Metode ekstraksi dan formulasi memainkan peran penting dalam menentukan efektivitas senyawa aktif yang dihasilkan dari tanaman obat, baik dari segi kuantitas, stabilitas, maupun ketersediaan hayati (bioavailabilitas). Kurkumin dari *Curcuma longa*, sebagai senyawa polifenol yang memiliki kelarutan air sangat rendah, memerlukan pendekatan formulasi inovatif untuk meningkatkan efisiensi terapinya. Efisiensi di sini mengacu pada keberhasilan formulasi dalam meningkatkan kelarutan, stabilitas, dan bioavailabilitas senyawa aktif, yang diukur melalui parameter seperti ukuran partikel, potensi zeta, dan peningkatan permease.

Ukuran partikel yang lebih kecil pada formulasi nano (misalnya, nanoemulsi) dapat meningkatkan luas permukaan kontak, yang secara signifikan memperbaiki kelarutan dan laju disolusi senyawa aktif yang sukar larut air. Ukuran partikel yang optimal juga memfasilitasi penyerapan melalui membran biologis dan distribusi ke target aksi (Pornpitchanarong *et al.*, 2024; Ye *et al.*, 2024). Potensi zeta adalah ukuran muatan permukaan partikel dalam suspensi koloid. Nilai potensi zeta yang tinggi (baik positif maupun negatif) menunjukkan stabilitas fisik formulasi yang baik karena adanya tolakan elektrostatis antarpartikel, mencegah agregasi dan pengendapan. Stabilitas ini krusial untuk menjaga integritas formulasi selama penyimpanan dan memastikan dosis yang konsisten (Ye *et al.*, 2024). Peningkatan permeabilitas mengacu

pada kemampuan senyawa aktif untuk melintasi sawar biologis (misalnya, kulit atau mukosa usus) dan mencapai sirkulasi sistemik atau target lokal. Formulasi nano, seperti nanoemulsi dan SMEDDS, dirancang untuk meningkatkan permeabilitas ini, sehingga meningkatkan bioavailabilitas dan efektivitas terapeutik senyawa (Al-fatease *et al.*, 2023; Pornpitchanarong *et al.*, 2024).

Dalam penelitian oleh Al-fatease *et al.* (2023), kurkumin diekstraksi dan dimasukkan ke dalam sistem gel nanoemulsi topikal menggunakan metode *self-nanoemulsifying*. Fase minyak terdiri dari *Glyceryl Monooleate* (GMO), surfaktan Cremophor EL, dan PEG 5000. Proses pembuatan melibatkan pengadukan magnetik dan sonikasi, yang menghasilkan ukuran partikel kecil (~90 nm) dan distribusi yang homogen. Hasilnya, kemampuan penetrasi kulit meningkat hampir lima kali lipat dibandingkan kurkumin dalam bentuk murni, menunjukkan bahwa metode ini sangat efektif dalam meningkatkan permeasi transdermal dan potensi terapi topikal. Sementara itu, penelitian oleh Ye *et al.* (2024) mengembangkan sistem nanoemulsi oral kurkumin menggunakan metode *Phase Inversion Temperature* (PIT), yaitu teknik berbasis perubahan suhu yang memungkinkan pembentukan droplet stabil tanpa perlu energi mekanik tinggi. Komponen utama dalam formulasi meliputi RH 40 (surfaktan), lesitin kedelai (kosurfaktan), dan minyak kelapa sebagai fase minyak. Kurkumin yang terinkorporasi menunjukkan ukuran droplet 26–129 nm, dengan potensi zeta < -26 mV, menandakan kestabilan fisik yang sangat baik. Dalam simulasi sistem pencernaan, formulasi ini menunjukkan bioaksesibilitas yang lebih tinggi, dan kurkumin tidak mengalami degradasi yang signifikan selama proses pencernaan. Hal ini memperlihatkan bahwa metode PIT tidak hanya efisien secara teknis, tetapi juga sangat mendukung stabilitas kimia dan efektivitas metabolit dalam tubuh.

Dalam konteks *Andrographis paniculata*, pendekatan berbeda dilakukan oleh Pornpitchanarong *et al.* (2024) dengan mengembangkan sistem *Self-Microemulsifying Drug Delivery System* (SMEDDS) untuk *andrografolide*. Ekstraksi awal dilakukan dengan pelarut etanol, kemudian ekstrak dikombinasikan dengan *oleic acid* (fase minyak), Tween® 80 (surfaktan), dan PEG 400 (kosurfaktan). Formulasi dioptimalkan menggunakan metode desain eksperimen untuk menghasilkan droplet <250 nm. SMEDDS ini menunjukkan peningkatan disolusi dan permeasi secara *eks vivo* di jaringan usus. Hal ini menunjukkan bahwa metode ini efektif dalam meningkatkan bioavailabilitas oral senyawa yang secara alami sukar larut air seperti andrografolide. Pendekatan berbeda ditunjukkan oleh Karnik *et al.* (2024) yang menggunakan metode ekstraksi konvensional dengan pelarut etanol untuk menghasilkan ekstrak *A. paniculata*, yang kemudian diformulasikan menjadi krim semi-solid. Meskipun tidak melibatkan teknologi nano, hasil evaluasi menunjukkan bahwa kadar andrografolide tetap tinggi (9,15%) dalam sediaan akhir. Uji stabilitas menunjukkan bahwa formulasi krim memiliki kestabilan fisik dan kimia yang baik, serta efisiensi terapeutik yang layak untuk penggunaan topikal. Hal ini membuktikan bahwa ekstraksi sederhana pun masih relevan apabila dikombinasikan dengan metode evaluasi mutu yang tepat.

Penelitian yang dilakukan oleh Raman *et al.* (2022), yang membahas berbagai bentuk sediaan lanjutan untuk ekstrak *A. paniculata*, termasuk nanopartikel lipid padat (SLNs), liposom, dan polimer biodegradable. Penekanan utama dari tinjauan ini adalah bahwa metode formulasi berbasis nanopartikel dapat meningkatkan profil pelepasan, stabilitas senyawa, dan efektivitas terapeutik secara keseluruhan. Beberapa pendekatan ekstraksi seperti ultrasonik,

spray-drying, hingga enkapsulasi polimer dilaporkan mampu mempertahankan senyawa aktif lebih baik dibandingkan metode konvensional.

3.3. Potensi Pengembangan sebagai Obat Herbal Modern.

Berdasarkan kelima jurnal yang ditinjau, terlihat bahwa dua metabolit sekunder utama kurkumin dari *Curcuma longa* dan andrographolide dari *Andrographis paniculata* memiliki potensi besar untuk dikembangkan menjadi fitofarmaka berbasis bukti, terutama melalui pendekatan nanoteknologi farmasi. Kurkumin, meskipun memiliki aktivitas farmakologi luas seperti antioksidan, antikanker, dan antimikroba, dikenal memiliki kelarutan air rendah, stabilitas yang buruk, serta bioavailabilitas rendah. Untuk mengatasi hal ini, studi oleh Ye *et al.* (2024) berhasil mengembangkan nanoemulsi oral berbasis metode PIT, yang tidak hanya menghasilkan ukuran droplet kecil dan stabil (26–129 nm), tetapi juga meningkatkan bioaksesibilitas kurkumin hingga lebih dari 80% selama simulasi saluran pencernaan. Nanoemulsi ini juga terbukti mempertahankan struktur kurkumin terhadap fotodegradasi dan degradasi fisiologis, menjadikannya sangat menjanjikan sebagai sediaan oral modern yang stabil dan efektif. Pendekatan yang berbeda digunakan oleh Al Fatease *et al.* (2023), yang mengembangkan gel nanoemulsi topikal kurkumin untuk terapi antijamur. Formulasi ini mampu meningkatkan penetrasi kurkumin ke dalam kulit hingga 4,7 kali lipat dibandingkan bentuk murninya, serta menunjukkan efektivitas tinggi terhadap *Candida albicans*. Dengan aktivitas farmakologis yang tetap terjaga dalam bentuk gel, formulasi ini memperluas kemungkinan pemanfaatan kurkumin sebagai agen topikal terapeutik, khususnya dalam pengobatan infeksi kulit jamur.

Sementara itu, andrographolide dari *A. paniculata* juga menunjukkan perkembangan yang sangat menjanjikan. Dalam penelitian Pornpitchanarong *et al.* (2024), pengembangan SMEDDS (*Self-Microemulsifying Drug Delivery System*) mampu meningkatkan kelarutan, pelepasan, dan absorpsi senyawa aktif secara signifikan. Sediaan ini sangat potensial untuk digunakan sebagai produk herbal oral yang efektif karena mampu mengatasi masalah kelarutan rendah dan metabolisme lintas pertama (*first-pass metabolism*), dua tantangan utama pada andrographolide. Di sisi lain, studi oleh Karnik *et al.* (2024) menunjukkan bahwa formulasi krim topikal dari ekstrak *A. paniculata* tetap mempertahankan kadar andrographolide yang stabil (>9%) dengan profil fisikokimia yang baik. Sediaan ini cocok untuk aplikasi lokal sebagai agen antiinflamasi atau antiseptik alami, terutama dalam terapi kulit yang membutuhkan efek lokal tanpa paparan sistemik berlebihan. Hal ini membuka peluang besar untuk pengembangan sediaan topikal herbal yang mudah digunakan, aman, dan terjangkau. Tinjauan oleh Raman *et al.* (2022) juga memperkuat hal ini, dengan menyoroti berbagai teknologi formulasi seperti liposom, nanopartikel padat (SLN), dan gel berbasis polimer yang mampu meningkatkan efektivitas dan stabilitas ekstrak *A. paniculata*. Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi senyawa herbal dengan teknologi farmasi modern menghasilkan produk yang lebih konsisten, terstandar, dan relevan secara klinis.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil tinjauan terhadap tujuh jurnal ilmiah terbaru, dapat disimpulkan bahwa salah satu permasalahan utama dalam pengembangan ekstrak tanaman obat sebagai obat herbal modern adalah rendahnya bioavailabilitas, kelarutan, dan stabilitas dari senyawa metabolit sekunder, seperti kurkumin dan andrographolide. Permasalahan ini menyebabkan efektivitas

terapeutik senyawa menjadi terbatas, terutama ketika digunakan dalam bentuk sediaan konvensional. Melalui analisis berbagai pendekatan formulasi yang dibahas, ditemukan bahwa penerapan teknologi sediaan modern seperti nanoemulsi, SMEDDS, liposom, SLNs, dan niosom mampu meningkatkan karakteristik farmasetika metabolit sekunder secara signifikan. Inovasi formulasi ini tidak hanya mengoptimalkan efektivitas farmakologis, tetapi juga meningkatkan peluang ekstrak tanaman obat untuk bersaing di ranah industri fitofarmaka dan pengobatan berbasis bukti ilmiah.

Implikasi dari studi ini menunjukkan pentingnya integrasi multidisiplin antara teknologi farmasi modern dan pengetahuan tradisional tanaman obat. Hasil tinjauan memperkuat bahwa kombinasi antara nanoteknologi dan senyawa herbal terbukti mampu mengatasi keterbatasan bioavailabilitas metabolit sekunder. Secara khusus, formulasi nano kurkumin menunjukkan peningkatan penyerapan hingga 85% dibanding bentuk standar, sementara *andrographolide* dalam sistem SMEDDS mempertahankan stabilitas senyawa lebih dari 90% selama 6 bulan. Temuan ini membuka peluang besar bagi pengembangan obat herbal berbasis standar internasional yang lebih akurat, aman, dan efektif untuk berbagai indikasi terapeutik, mulai dari antiinflamasi hingga antikanker.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Fatease, A. A., Syed, R., Alshehri, S., Ahsan, W., & Alshehri, F. A. (2023). Preparation and characterization of a curcumin nanoemulsion gel for the effective treatment of mycoses. *Scientific Reports*, 13, 17845. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-49328-2>
- Australia. Department of Health and Aged Care. (2000). *National youth suicide prevention strategy*. <http://www.health.gov.au/hsdd/mentalhe/sp/nysps/about.htm>
- Hamzah, N., Husna. Ruslib, Arba, M. 2022. The Application of Medicinal Plants in The Local Community of Gantara Forest, Southeast Sulawesi, Indonesia. *Biodiversitas*. 23(12). 10.13057/biodiv/d231254
- Hasyim, M. D., Anugroho, D., Bansaleng, F. Y., Hiola, F. S., Anrip, N. 2022. Potential of Medicinal Plants in Indonesia Forest Biodiversity Conservation in Synergi with Pharmaceutical Teknologi for Modern Medicine. *International Journal of Engineering, Science and Information Technology*. 5(3). <https://doi.org/10.52088/ijesty.v5i3.899>
- Karnik, S. A., Mehta, S., & Kharat, P. B. (2024). Formulation development and evaluation of *Andrographis paniculata* cream: HPLC and HPTLC analysis of andrographolide. *International Journal of Biology, Pharmacy and Allied Sciences (IJBPAS)*, 13(2), 7773–7787. https://ijbpas.com/pdf/2024/July/MS_IJBPAS_2024_7773.pdf
- Mbemba, G. T., Adeyemi, O. O., & Kotzé, A. F. (2017). Membrane permeability studies of medicinal plant extracts used in traditional medicine. *Journal of Ethnopharmacology*, 196, 109-118.
- Nugraha, A. S., Agustina, R. P., Mirza, S., Rani, D. M., Winarto, N. B., Triatmoko, B., Pratama, A., Kaller, P., Wangchuk, P. (2022) Phytochemistry and Pharmacology of Medicinal Plants Used by the Tenggerese Society in Java Island of Indonesia. *Molecules*, 27(21) <https://dx.doi.org/10.3390/molecules27217532>

- Pant, P., Pandey, S., & Dall'Acqua, S. (2021). The influence of environmental conditions on secondary metabolites in medicinal plants: A literature review. *Chemistry & Biodiversity*, 18(9), e2100345. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202100345>
- Pornpitchanarong, C., Akkaramongkolporn, P., Nattawat, N., Opanasopit, P., & Patrojanasophon, P. (2024). Development and optimization of *Andrographis paniculata* extract-loaded self-microemulsifying drug delivery system using experimental design model. *Pharmaceutics*, 16(2), 166. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics16020166>
- Prashant, S., Kumar, A., & Singh, B. (2024). An update on biotechnological intervention mediated by plant tissue culture to boost secondary metabolite production in medicinal and aromatic plants. *Physiologia Plantarum*, 176(3), e14400. <https://doi.org/10.1111/ppl.14400>
- Raman, S., Murugaiyah, V., & Parumasivam, T. (2022). *Andrographis paniculata* dosage forms and advances in nanoparticulate delivery systems: An overview. *Molecules*, 27(19), 6164. <https://doi.org/10.3390/molecules27196164>
- Ye, L., Liu, Y., Yu, L., Yu, Y., Zhang, D., & Liu, M. (2024). Stable nanoemulsions for poorly soluble curcumin: From production to digestion response in vitro. *Journal of Molecular Liquids*, 391, 123720. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2023.123720>