

Editor :
Florianus H. M. Mawo
M Fadhel Nurmidin

Teknologi Nano *dalam* Fitofarmasetika

Inovasi untuk Peningkatan
Bioavailabilitas Obat Herbal

Evrick Yonantiko | Shaum Shiyan | Fahri Sinulingga
| Fortunata Saesarria Deisberanda | Nurfitriyana | Fakhruddin |
Muhimmatul Khoiriyah | Hery Diar Febryanto
| Mikhania Christiningtyas Eryani | Grasiyanto | Aulia Umi Rohmatika |
Iwang Davi Setiawan | Ayu Shabrina | Rafiqah Nur Viviani | Desmila Idola
| Firdha Aprillia Wardhani | M Fatchur Rochman |

Teknologi Nano *dalam* Fitofarmasetika

Inovasi untuk Peningkatan Bioavailabilitas Obat Herbal

Buku “Teknologi Nano dalam Fitofarmasetika: Inovasi untuk Peningkatan Bioavailabilitas Obat Herbal” menghadirkan pandangan baru tentang pemanfaatan nanoteknologi dalam dunia obat herbal modern. Melalui pendekatan ilmiah dan aplikatif, buku ini mengupas bagaimana teknologi nano mampu meningkatkan kelarutan, stabilitas, dan efektivitas senyawa bioaktif tanaman obat, menjadikannya lebih siap bersaing di ranah farmasi modern. Ditulis oleh para akademisi dan praktisi dari berbagai bidang keilmuan, buku ini menjadi referensi penting bagi mahasiswa, peneliti, dan profesional farmasi yang ingin memahami dan mengembangkan fitofarmasetika berbasis inovasi teknologi tinggi. Sebagai jembatan antara pengetahuan tradisional dan inovasi sains modern, karya ini menegaskan bahwa masa depan pengobatan herbal bergantung pada kemampuan manusia mengemas kearifan alam melalui teknologi nano yang presisi dan berkelanjutan.



082195004053



info@ybli.or.id



Jln Lentera, Lingkungan 2, Kelurahan Pandu,
Kecamatan Bunaken, Kota Manado, Sulawesi Utara

ISBN 978-634-7088-44-8 (PDF)



9

786347

088468

Teknologi Nano dalam Fitofarmasetika : Inovasi untuk Peningkatan Bioavailabilitas Obat Herbal

Evrick Yonantiko, M.Si., CA.Tech.MHSc
Dr. apt. Shaum Shiyana, S.Farm., M.Sc
Fahri Sinulingga, S.Pi., M.Si
apt. Fortunata Saesarria Deisberanda, M.S.Farm
apt. Nurfitriyana, S.Farm.,M.Farm
apt. Fakhruddin, M.Farm
apt. Muhimmatul Khoiriyah, M.Farm
apt. Hery Diar Febryanto, S.Farm., M.S.Farm
Dr. apt. Mikhania Christiningtyas Eryani, S.Farm, M.Si
Grasianto, Ph.D
Aulia Umi Rohmatika, S.Si., M.Si
apt. Iwang Davi Setiawan, M.Farm
apt. Ayu Shabrina, M. Farm
apt. Rafiqah Nur Viviani, S.Farm., M.S.Farm
Desmila Idola, S.Pd., M.Si., Ph.D
apt. Firdha Aprillia Wardhani, M. Clin. Pharm
M Fatchur Rochman, M. Farm

Editor :
Florianus H. M. Mawo
M Fadhel Nurmidin



Membawa **Cahaya Kemanusiaan**

Teknologi Nano dalam Fitofarmasetika : Inovasi untuk Peningkatan Bioavailabilitas Obat Herbal

Penulis : Evrick Yonantiko | Shaum Shiyan | Fahri Sinulingga | Fortunata Saesarria Deisberanda | Nurfitriyana | Fakhruddin | Muhimmatul Khoiriyah | Hery Diar Febryanto | Mikhania Christiningtyas Eryani | Grasiyanto | Aulia Umi Rohmatika | Iwang Davi Setiawan | Ayu Shabrina | Rafiqah Nur Viviani | Desmila Idola | Firdha Aprillia Wardhani | M Fatchur Rochman

ISBN : 978-634-7088-46-8

Editor : Florianus H. M. Mawo
M Fadhel Nurmidin

Penata : Lentera Pena
**Letak &
Desain
Sampul**

Copyright © Yayasan Bina Lentera Insan, 2025

328 hlm, 15,5 x 23 cm

Cetakan Pertama, Oktober 2025

Diterbitkan oleh

Yayasan Bina Lentera Insan

Jl. Pandu Wori Lingk. II, Kelurahan Pandu, Bunaken, Manado

Dicetak dan Distribusi oleh

PT Lentera Pena Indonesia

Cetakan Pertama, Oktober 2025

Hak Penerbitan © 2025

Dilarang mengutip dan memperbanyak tanpa izin tertulis dari penerbit, sebagian atau seluruhnya dalam bentuk apapun baik cetak, photoprint, microfilm, dan sebagainya.

Kata Pengantar

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya buku yang berjudul "Teknologi Nano dalam Fitofarmasetika: Inovasi untuk Peningkatan Bioavailabilitas Obat Herbal" dapat disusun dan diselesaikan dengan baik.

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya di bidang farmasi dan bioteknologi, telah membawa dampak besar dalam pemanfaatan bahan alam sebagai obat. Salah satu tantangan utama dalam penggunaan obat herbal adalah rendahnya bioavailabilitas senyawa aktif di dalam tubuh, yang dapat menghambat efektivitas terapi. Untuk menjawab tantangan ini, pendekatan teknologi nano hadir sebagai solusi inovatif yang menjanjikan.

Buku ini disusun sebagai referensi ilmiah dan praktis yang membahas secara komprehensif penerapan teknologi nano dalam bidang fitofarmasetika. Materi dalam buku ini disusun secara lengkap mulai dari dasar-dasar fitofarmasetika, hingga membahas tren masa depan dan prospek pengembangan, melalui pendekatan interdisipliner, buku ini diharapkan dapat memperkaya khazanah keilmuan, khususnya bagi akademisi, peneliti, mahasiswa, praktisi industri farmasi, serta pihak-pihak yang tertarik pada pengembangan obat herbal berbasis teknologi modern.

Ucapan terima kasih disampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam proses penulisan dan penerbitan buku ini. Akhir kata, semoga buku ini dapat memberikan manfaat yang nyata bagi pengembangan ilmu dan teknologi, serta menjadi inspirasi dalam menciptakan inovasi-inovasi baru dalam pemanfaatan sumber daya alam Indonesia yang kaya akan potensi herbal.

Penulis

Daftar Isi

Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	iv
BAB 1 Pendahuluan	
Evrick Yonantiko, M.Si., CA.Tech.MHSc.....	1
Daftar Pustaka	9
BAB 2 Dasar-Dasar Fitofarmasetika	
Dr. apt. Shaum Shiyani, S.Farm., M.Sc	20
A. Pendahuluan	20
B. Konsep Dasar Fitofarmasetika	21
C. Pilar Integratif dalam Fitofarmasetika: Konsep, Interaksi, dan Ruang Lingkup	24
D. Interaksi dan Sinergi Antarpilar	27
E. Dasar Fitofarmasetika dan Pengembangan Obat Herbal Modern	35
F. Peran Teknologi Modern dalam Fitofarmasetika	36
Daftar Pustaka.....	39
BAB 3 Bioavailabilitas Obat Herbal	
Fahri Sinulingga, S.Pi., M.Si	45
A. Overview Bioavailabilitas Obat Herbal	45
B. Konsep Dasar Bioavailabilitas Obat Herbal	46
C. Metode Penilaian Bioavailabilitas Obat Herbal	49
D. Bioavailabilitas pada Obat Herbal dan Suplemen Makanan Kesehatan	50
E. Rempah-Rempah Makanan Sebagai Peningkat Bioavailabilitas	54
Daftar Pustaka.....	57
BAB 4 Prinsip Dasar Teknologi Nano	
apt. Fortunata Saesarria Deisberanda, M.S.Farm	62
A. Integrasi Nanoteknologi dalam Fitofarmasetika	62
B. Prinsip Dasar Nanoteknologi.....	63
C. Jenis dan Tipe Nanopartikel	69
D. Prinsip dan Metode Produksi Nanopartikel.....	71
E. Prinsip Penggunaan Nanoteknologi dan Fitofarmasetika	72
F. Manfaat Aplikasi Nanoteknologi dalam Fitofarmasetika	74
Daftar Pustaka	78
BAB 5 Integrasi Nanoteknologi pada Fitofarmasetika	
apt. Nurfitriyana, S.Farm.,M.Farm.....	83
A. Konsep Dasar Nanoteknologi dalam Farmasi	83
B. Fitofarmasetika: Dari Simplisia ke Fitofarmaka.....	84
C. Sistem Nanoteknologi dalam Penghantaran obat Fitofarmasetika	85
D. Regulasi dan Standarisasi Fitofarmaka Berbasis Nano.	89

E. Prospek dan Tantangan Pengembangan.....	91
Daftar Pustaka.....	95
BAB 6 Nanoemulsi Untuk Obat Herbal	
apt. Fakhruddin, M.Farm	97
A. Nanoemulsi dalam Sediaan Herbal.....	97
B. Preparasi Nanoemulsi Sediaan Herbal.....	98
C. Aplikasi Nanoemulsi dalam Sediaan Herbal	101
D. Tantangan Pengiriman Obat Herbal Berbasis Nanoemulsi	106
Daftar Pustaka.....	108
BAB 7 Nanopartikel Polimerik	
apt. Muhimmatul Khoiriyah, M.Farm.....	111
A. Pendahuluan	111
B. Klasifikasi dan Struktur Dasar Nanopartikel Polimerik	112
C. Sifat Fisikokimia Nanopartikel Polimerik.....	115
D. Metode Sintesis dan Produksi Nanopartikel Polimerik	116
E. Karakterisasi dan Evaluasi Nanopartikel Polimerik	117
F. Aplikasi Nanopartikel Polimerik dalam Fitofarmasetika	121
G. Aspek Biokompatibilitas dan Keamanan Nanopartikel Polimerik	125
H. Tantangan dan Prospek Nanopartikel Polimerik	128
Daftar Pustaka.....	133
BAB 8 Nanosuspensi	
apt. Hery Diar Febryanto, S.Farm., M.S.Farm	134
A. Pendahuluan	134
B. Mekanisme dan Karakterisasi	135
C. Metode Pembuatan Nanosuspensi.....	137
D. Evaluasi dan Stabilitas	138
E. Aplikasi pada Senyawa Fitokimia.....	140
F. Prospek Masa Depan	142
Daftar Pustaka.....	145
BAB 9 Nanoliposom dan Fitoliposom	
Dr. apt. Mikhania Christiningtyas Eryani, S.Farm, M.Si	149
A. Pendahuluan	149
B. Struktur dan Karakteristik	151
Daftar Pustaka.....	159
BAB 10 Nanokristal (Obat Nano)	
Grasianto, Ph.D	162
A. Pendahuluan	162
B. Metode Represipitasi.....	163
C. Modifikasi Permukaan Obat Nano.....	164
D. Gelatin Untuk Modifikasi Nanopartikel	166

Daftar Pustaka.....	169
BAB 11 Karbon Nanomaterial Dalam Fitofarmasetika	
Aulia Umi Rohmatika, S.Si., M.Si.....	172
A. Pendahuluan	172
B. Klasifikasi dan Karakteristik Karbon Nanomaterial	173
C. Mekanisme Aksi dan Aplikasi Karbon Nanomaterial dalam Fitofarmasetika	178
D. Aplikasi Karbon Nanomaterial dalam Fitofarmasetika	187
Daftar Pustaka	194
BAB 12 Karakterisasi Sediaan Nano Herbal	
apt. Iwang Davi Setiawan, M.Farm.....	201
A. Latar belakang Sediaan Nano dan Karakteristik.....	201
B. Konsep Dasar Nanoteknologi dalam Sistem Obat	202
C. Penerapan Nanoteknologi pada Obat Herbal	202
D. Prinsip Formulasi Nano Herbal	203
Daftar Pustaka.....	208
BAB 13 Stabilitas dan Shelf life Produk Nano Herbal	
apt. Ayu Shabrina, M. Farm	215
A. Nanoteknologi pada Produk Herbal	215
B. Konsep Stabilitas Pada Produk Nano-Herbal.....	217
C. Jenis Stabilitas dalam Produk Nano Herbal	218
D. Faktor yang Mempengaruhi Stabilitas.....	220
E. Metodologi Uji Stabilitas Produk Nano Herbal	223
F. Studi Kasus Uji Stabilitas Produk Herbal dalam Sistem Nano.....	224
Daftar Pustaka.....	231
BAB 14 Keamanan dan Toksisitas Nanoteknologi dalam Herbal	
apt. Rafiqah Nur Viviani, S.Farm., M.S.Farm	234
A. Pendahuluan	234
B. Determinan Desain yang Memengaruhi Keamanan	235
C. High-risk Design Determinants pada Nano-Herbal	238
D. Routes of Exposure dan Priority Toxic Endpoints	240
E. Mekanisme Toksisitas pada Nano-Herbal.....	244
Daftar Pustaka	247
BAB 15 Aplikasi Klinis dan Studi Kasus	
Desmila Idola, S.Pd., M.Si., Ph.D	256
A. Pendahuluan	256
B. Aplikasi Klinis.....	257
C. Studi Kasus: Peran Nanoteknologi dalam Menghadapi Pandemi COVID-19.....	268
D. Arah Masa Depan dan Tantangan	273
Daftar Pustaka	275
BAB16 Tantangan Regulasi dan Etika	
apt. Firdha Aprillia Wardhani, M. <i>Clin. Pharm</i>	278

A. Pendahuluan	278
B. Regulasi Fitofarmaka Berbasis Nanoteknologi	278
C. Tantangan Etika dalam Pengembangan dan Penggunaan Nano-Fitofarmaka	281
D. Studi Kasus dan Best Practices.....	284
E. Arah Masa Depan	286
F. Penutup.....	290
Daftar Pustaka	292
BAB 17 Tren Masa Depan dan Prospek Pengembangan	
M Fatchur Rochman, M. Farm.....	293
A. Pendahuluan	293
B. Prospek dan Tren Masa Depan Fitofarmasetika.....	294
C. Tren Teknologi Masa Depan	296
D. Beberapa hasil pengembangan teknologi nano dalam fitofarmasetika :.....	300
E. Kesimpulan	306
Daftar Pustaka	307
Tentang Penulis.....	313

BAB 1

Pendahuluan

Evrick Yonantiko, M.Si., CA.Tech.MHSc

Fitofarmasetika yang berasal dari kekayaan alam tumbuhan herbal, telah lama menjadi landasan pengobatan tradisional karena kandungan senyawa bioaktifnya yang melimpah dan profil keamanannya yang relatif tinggi dibandingkan dengan obat sintetis (Dewi et al., 2022). Namun demikian, potensi terapeutik senyawa fitofarmasetika sering kali terhambat oleh keterbatasan intrinsik seperti bioavailabilitas yang rendah, stabilitas yang buruk, dan penyerapan yang tidak efisien dalam sistem biologis (Dewi et al., 2022) (Sharma et al., 2023).

Keterbatasan ini menjadi penghalang signifikan dalam pemanfaatan fitofarmasetika secara optimal di dunia medis modern, mendorong pencarian solusi inovatif untuk meningkatkan efikasi terapeutiknya (Gunasekaran et al., 2014). Dalam konteks ini, nanoteknologi muncul sebagai pendekatan transformatif yang menjanjikan, menawarkan strategi baru untuk mengatasi hambatan tersebut dengan memanipulasi materi pada skala nanometer guna mengoptimalkan karakteristik farmakokinetik dan farmakodinamik obat herbal (Patadiya et al., 2025). Pendekatan ini berpotensi merevolusi pengembangan fitofarmasetika, memungkinkan formulasi yang lebih efektif dan penargetan yang lebih presisi, sehingga memaksimalkan potensi terapeutik alami dari senyawa tumbuhan (Gunasekaran et al., 2014). Secara spesifik, nanoteknologi dapat meningkatkan kelarutan, stabilitas, dan bioavailabilitas senyawa herbal melalui sistem penghantaran obat berbasis nanocarrier (Kathole et al., 2025). Dengan demikian, formulasi fitofarmasetika berbasis nano dapat mengatasi masalah penyerapan yang kurang efektif, sehingga memungkinkan ekstrak tumbuhan herbal memiliki aktivitas terapeutik yang optimal (Suttee, 2021) (Gunasekaran et al., 2014).

Daftar Pustaka

- Abbasi, A., Hashemi, M., Kafil, H. S., Astamal, M. A., Lahouty, M., Tajani, A. G., Hosseini, H., & Nasirifar, S. Z. (2024). A Critical Review on the Bioavailability Promotion of the Food Bioactive Compounds: Nano Lipid Carriers Perspective. *Pharmaceutical Sciences*.
<https://doi.org/10.34172/ps.2024.11>.
- Alemán, A., Marin, D. R., Taladrid, D., Montero, P., & Gómez-Guillén, M. C. (2018). Encapsulation of antioxidant sea fennel (*Crithmum maritimum*) aqueous and ethanolic extracts in freeze-dried soy phosphatidylcholine liposomes. *Food Research International*, 119, 665.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.044>.
- Ambwani, S., Tandon, R., & Ambwani, T. K. (2019). Metal Nanodelivery Systems for Improved Efficacy of Herbal Drugs. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 16(2), 251.
<https://doi.org/10.13005/bbra/2741>.
- Awadeen, R. H., Boughdady, M. F., Zaghloul, R. A., Elsaed, W. M., Hashim, I. I. A., & Meshali, M. M. (2023). Formulation of lipid polymer hybrid nanoparticles of the phytochemical Fisetin and its in vivo assessment against severe acute pancreatitis. *Scientific Reports*, 13(1).
<https://doi.org/10.1038/s41598-023-46215-8>.
- Awlqadr, F. H., Majeed, K. R., Altemimi, A. B., Hassan, A. M. A., Qadir, S. A., Saeed, M., Faraj, A. M., Salih, T. H., Al-Manhel, A. J. A., Najm, M. A. A., Tsakali, E., Impe, J. V., El-Maksoud, A. A. A., & Abdelmaksoud, T. G. (2025). Nanotechnology-Based Herbal Medicine: Preparation, Synthesis, and Applications in Food and Medicine. *Journal of Agriculture and Food Research*, 101661.
<https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.101661>.
- Bakrim, S., Aboulaghras, S., Menyiy, N. E., Omari, N. E., Assaggaf, H., Lee, L., Montesano, D., Gallo, M., Zengin, G., Al-Dhaheri, Y., & Bouyahya, A. (2022). Phytochemical Compounds and Nanoparticles as Phytochemical Delivery

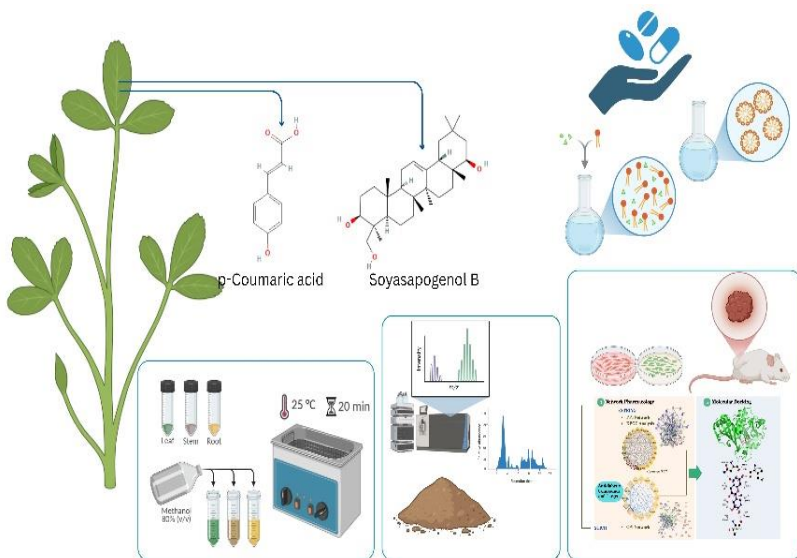
BAB 2

Dasar-Dasar Fitofarmasetika

Dr. apt. Shaum Shiyan, S.Farm., M.Sc

A. Pendahuluan

Fitofarmasetika merupakan ilmu multidisiplin yang menggabungkan prinsip-prinsip farmasi modern dengan pengetahuan bahan alam (bidang keilmuan biologi farmasi). Cabang ilmu ini tidak hanya meneliti senyawa aktif dari tumbuhan, tetapi juga mengonversinya menjadi sediaan farmasi yang stabil, efektif, dan aman. Dalam konteks global, fitofarmasetika berperan penting dalam menjembatani pengetahuan tradisional dengan inovasi teknologi modern.



Gambar 2.1 Ilustrasi Arah Pengembangan Produk Fitofarmasetika

Fitofarmasetika merupakan bidang ilmu yang lahir dari integrasi antara farmasetika dengan fitoterapi. Ilmu ini

Daftar Pustaka

- Alara, O. R., Abdurahman, N. H. & Ukaegbu, C. I. (2021). Response surface methodology optimization of phenolic-rich extracts from *Vernonia amygdalina* leaves using microwave-assisted extraction, *Heliyon*, 7(2), e06205.
- Anand, S., Kaur, G., & Mittal, A. (2023). Advances in phytopharmaceutical formulation: Nanotechnology and bioavailability enhancement. *Phytomedicine*. 111: 154666.
<https://doi.org/10.1016/j.phymed.2023.154666>.
- Atanasov, A. G., Zotchev, S. B., Dirsch, V. M., & Supuran, C. T. (2021). Natural products in drug discovery: advances and opportunities. *Nature reviews. Drug discovery*, 20(3): 200–216. <https://doi.org/10.1038/s41573-020-00114-z>.
- Aulton, M.E. & Taylor, K.M.G. (2017) *Aulton's Pharmaceutics: The Design and Manufacture of Medicines*, 5th ed. Elsevier, London.
- Aumeeruddy, M. Z. & Mahomoodally, M. F. (2022). Integration of Phytochemistry, Pharmacology, and Bioavailability in Herbal Drug Research. *Journal of Ethnopharmacology*. 289: 115025.
<https://doi.org/10.1016/j.jep.2022.115025>.
- Awlqadr, F. H., Majeed, K. R., Altemimi, A. B., Hassan, A. M., Qadir, S. A., Saeed, M. N., Faraj, A. M., Salih, T. H., Abd Al-Manhel, A. J., Najm, M. A. A., Tsakali, E., Van Impe, J. F. M., Abd El-Maksoud, A. A., & Abedelmaksoud, T. G. (2025). Nanotechnology-based Herbal Medicine: Preparation, Synthesis, and Applications in Food and Medicine, *Journal of Agriculture and Food Research*, 19: 101661, <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.101661>.
- Azwanida, N. N. (2015). A review on the extraction methods use in medicinal plants, principle, strength and limitation. *Medicinal & Aromatic Plants*, 4(3): 196.
- Bhattacharjee, B., Saha, S. & Chatterjee, T. K. (2025). Modern Approaches in Phytopharmaceutical Formulation and Standardization. *Planta Medica*. 91(1): 12–27.
<https://doi.org/10.1055/a-2342-2158>.
- Cahliková L, Šafratová M, Hošťálková A, Chlebek, J., Hulcová, D., Breiterová, K., & Opletal, L. (2020). Pharmacognosy and Its Role in the System of Profile Disciplines in

BAB 3

Bioavailabilitas Obat Herbal

Fahri Sinulingga, S.Pi., M.Si

A. Overview Bioavailabilitas Obat Herbal

Bioavailabilitas obat memegang peran penting dalam efektivitas terapi farmakologis. Bioavailabilitas menentukan tingkat dan laju penyerapan zat aktif obat ke dalam aliran darah setelah pemberian rute oral, topikal, parenteral, dan rektal (Harkenne *et al.*, 2008). Dalam praktiknya, bioavailabilitas menunjukkan jumlah dosis obat yang diberikan mencapai aliran darah dalam bentuk bahan aktif yang kemudian tersedia bagi tubuh untuk menghasilkan efek terapeutik (Olivares *et al.*, 2014).

Bioavailabilitas dipengaruhi oleh banyak faktor, antara sifat fisikokimia obat, rute pemberian, interaksi dengan zat lain, penyerapan, metabolisme hati, dan ekskresi (Caldwell *et al.*, 1995, Martinez & Amidon 2002). Bioavailabilitas bahan aktif farmasi/*active pharmaceutical ingredients* (API) sesuai dengan dosis yang masuk ke aliran darah dan akibatnya, efektivitasnya (Olivares *et al.*, 2014). Oleh karena itu, bioavailabilitas obat harus dipertimbangkan saat merancang terapi dan menyesuaikan dosis yang efisien.

Dosis memerlukan pengetahuan tentang penyerapan, mekanisme transportasi, metabolisme dan eliminasi dari sistem (Doogue & Polasek, 2013). Sebaliknya, pemberian obat yang tidak efektif justru meningkatkan eskalasi penggunaan obat yang berlebihan. Dari perspektif ini, pentingnya bioavailabilitas menjadi semakin penting dalam hal keselamatan pasien dan efikasi pengobatan (Patel *et al.*, 2019). Peningkatan bioavailabilitas obat dapat dicapai dengan menggunakan metode penghantaran obat yang

Daftar Pustaka

- Bagchi, S., Chhibber, T., Lahooti, B., Verma, A., Borse, V., & Jayant, R. D. (2019). In-vitro blood-brain barrier models for drug screening and permeation studies: an overview. *Drug design, development and therapy*, 3591-3605.
- Bahari, S., Zeighami, H., Mirshahabi, H., Roudashti, S., & Haghi, F. (2017). Inhibition of *Pseudomonas aeruginosa* quorum sensing by subinhibitory concentrations of curcumin with gentamicin and azithromycin. *Journal of global antimicrobial resistance*, 10, 21-28.
- Belayneh, A., & Molla, F. (2020). The effect of coffee on pharmacokinetic properties of drugs: a review. *BioMed research international*, 2020(1), 7909703.
- Currie, G. M. (2018). Pharmacology, part 2: introduction to pharmacokinetics. *Journal of nuclear medicine technology*, 46(3), 221-230.
- Daniels, LA. (1996). Metabolisme dan bioavailabilitas selenium. *Biol Trace Elem Res.* 54, 185-199
<https://doi.org/10.1007/BF02784430>.
- Doogue, M. P., & Polasek, T. M. (2013). The ABCD of clinical pharmacokinetics. *Therapeutic advances in drug safety*, 4(1), 5-7.
- Dytrych, P., Kejík, Z., Hajduch, J., Kaplánek, R., Veselá, K., Kučňírová, K., ... & Jakubek, M. (2023). Therapeutic potential and limitations of curcumin as antimetastatic agent. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 163, 114758.
- EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Food Allergens (NDA), Turck, D., Bohn, T., Castenmiller, J., De Henauw, S., Hirsch-Ernst, K. I., ... & Pentieva, K. (2022). Conversion of calcium-l-methylfolate and (6S)-5-methyltetrahydrofolic acid glucosamine salt into dietary folate equivalents. *EFSA Journal*, 20(8), e07452.
- Fu, C., Shi, H., Chen, H., Zhang, K., Wang, M., & Qiu, F. (2020). Oral bioavailability comparison of artemisinin, deoxyartemisinin, and 10-deoxoartemisinin based on computer simulations and pharmacokinetics in rats. *ACS omega*, 6(1), 889-899.

BAB 4

Prinsip Dasar Teknologi Nano

apt. Fortunata Saesarria Deisberanda, M.S.Farm

A. Integrasi Nanoteknologi dalam Fitofarmasetika

Fitofarmasetika merupakan bidang ilmu yang mempelajari penggunaan produk alami yang berasal dari tumbuhan sebagai agen terapeutik atau bahan baku obat. Bidang ini telah mendapat perhatian lebih karena tanaman obat diketahui menghasilkan berbagai metabolit sekunder yang memiliki nilai farmakologis tinggi. Metabolit sekunder seperti senyawa fenolik, alkaloid, terpenoid, saponin, dan glikosida telah diteliti secara luas dan ditemukan memiliki beragam aktivitas biologis, antara lain antiinflamasi, antioksidan, antimikroba, antikanker, serta imunomodulator. Meskipun memiliki potensi yang besar, penggunaan bahan aktif dari tanaman dalam formulasi konvensional masih menghadapi sejumlah keterbatasan farmasetik. Sebagian besar senyawa bioaktif dalam tanaman herbal memiliki kelarutan yang rendah, sehingga sulit diserap melalui saluran pencernaan. Selain itu, banyak senyawa yang menunjukkan bioavailabilitas rendah, waktu paruh pendek, serta stabilitas kimia yang buruk, sehingga rentan terdegradasi oleh kondisi fisiologis seperti asam lambung dan enzim metabolik, atau faktor lingkungan seperti cahaya dan suhu. Tantangan ini sering menyebabkan kebutuhan dosis yang tinggi untuk mencapai efek terapeutik, sehingga meningkatkan risiko ketidakpatuhan pasien dan efek samping. Selain itu, karakteristik farmakokinetik yang kurang optimal membatasi distribusi senyawa bioaktif ke target organ yang diinginkan, sehingga mengurangi efektivitas terapi berbasis

Daftar Pustaka

- Agarwal, R., Journey, P., Raythatha, M., Singh, V., Sreenivasan, S. V, Shi, L., & Roy, K. (2022). Effect of Shape, Size, and Aspect Ratio on Nanoparticle Penetration and Distribution inside Solid Tissues Using 3D Spheroid Models. *Advanced Healthcare Materials*, 4(15), 2269–2280. <https://doi.org/10.1002/adhm.201500441>.Effect
- Akhter, M. H., Khalilullah, H., Gupta, M., Alfaleh, M. A., Alhakamy, N. A., Riadi, Y., & Md, S. (2021). Impact of Protein Corona on the Biological Identity of Nanomedicine : Understanding the Fate of Nanomaterials in the Biological Milieu. *Biomedicines*, 9(1496), 1–28. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/biomedicines9101496>
- Asimakidou, E., Kok, J., Tan, S., & Zeng, J. (2024). Blood – Brain Barrier-Targeting Nanoparticles : Biomaterial Properties and Biomedical Applications in Translational Neuroscience. *Pharmaceuticals*, 17(612), 1–25.
- Awlqadr, F. H., Rasheed, K., Altemimi, A. B., Mohammed, A., Ahmed, S., Saeed, M. N., Mahmood, A., Salih, T. H., Jabbar, A., Al-manhel, A., Najm, M. A. A., Tsakali, E., Impe, J. F. M. Van, & El-maksoud, A. A. A. (2025). Nanotechnology-based herbal medicine: Preparation , synthesis , and applications in food and medicine NP. *Journal of Agriculture and Food Research*, 19(August 2024), 101661. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.101661>
- Desai, N. M. (2024). Nanotechnology Based Drug Delivery Systems of Herbal Medicine. *Biomaterials Connect*, 2, 1–16.
- Dolai, J., Mandal, K., & Jana, N. R. (2021). Nanoparticle Size Effects in Biomedical Applications. *ACS Applied Nano Materials*, 4, 6471–6496. <https://doi.org/10.1021/acsanm.1c00987>
- Donadoni, E., Frigerio, G., Siani, P., Motta, S., Vertemara, J., Gioia, L. De, Bonati, L., & Valentin, C. Di. (2023). Molecular Dynamics for the Optimal Design of Functionalized Nanodevices to Target Folate Receptors on Tumor Cells. *ACS Biomaterials Science and Engineering*,

BAB 5

Integrasi Nanoteknologi pada Fitofarmasetika

apt. Nurfitriyana, S.Farm.,M.Farm

A. Konsep Dasar Nanoteknologi dalam Farmasi

Nanoteknologi merupakan pendekatan ilmiah yang berfokus pada manipulasi material/partikel dalam ukuran 10-1000 nm). Dalam bidang farmasi, penerapan nanoteknologi dikembangkan untuk memperbaiki sifat farmakokinetik dan farmakodinamik obat, melindungi/menghindari obat dari degradasi (kimia & fisika), meningkatkan bioavailabilitas, mengurangi toksitas, pelepasan obat terkendali, serta mengarahkan pendistribusian obat menuju organ,jaringan atau sel target (*system targeted*). Dengan katakarakteristik ini, nanoteknologi mampu merevolusi sistem penghantaran obat, diagnosis penyakit, hingga rekayasa jaringan. Keterbatasan sediaan obat konvensional seperti kelarutan rendah, bioavailabilitas terbatas, metabolisme obat cepat, dan distribusi non spesifik dapat diatasi dengan sistem penghantaran nanopartikel (Malik et al., 2023).

Karakteristik nanopartikel yang dikembangkan dapat mempengaruhi efektivitas obat. Pertama, Ukuran partikel mempengaruhi distribusi, stabilitas degradasi polimer, dan profil pelepasan obat. Kedua, Sifat permukaan partikel, hidrofobisitas menentukan otonisasi dan klirens obat oleh system fagosit mononukleair (MPS) dimana modifikasi dengan polimer hidrofilik (misalnya PEGylation) dapat memperpanjang waktu distribusi/sirkulasi obat. Ketiga *Drug loading* dan *Release*, dipengaruhi oleh metode inkorporasi, interaksi ionik, serta penggunaan ko-polimer atau surfaktan (Yetisgin et al., 2020).

Daftar Pustaka

- Badan, K., Obat, P., & Makanan, D. A. N. (2023). BPOM No. 29 Tahun 2023 tentang Persyaratan Keamanan dan Mutu Obat Bahan Alam.
- Badan POM RI. (2024). Peraturan Badan Pengawas Obat Dan Makanan Nomor 10 Tahun 2024 Tentang Penandaan Obat Bahan Alam, Obat Kuasi, Dan Suplemen Kesehatan.
- Bagas Pradana, T., Endro Nugroho, A., & Martien, R. (n.d.). *Systematic Review: Nanopartikel dari Bahan dalam Obat Tradisional Indonesia Systematic Review: Nanoparticle of Substance from Indonesian Traditional Medicine*. 19(4), 2023.
<https://doi.org/10.22146/farmaseutik.v19i4.91236>
- Berlian, H. N. P., & Budiman, A. (n.d.). *Review Artikel: Penggunaan Teknologi Nano Pada Formulasi Obat Herbal*.
- Dewoto, H. R. (n.d.). *Pengembangan Obat Tradisional Indonesia Menjadi Fitofarmaka**.
- Malik, S., Muhammad, K., & Waheed, Y. (2023). Nanotechnology: A Revolution in Modern Industry. In *Molecules* (Vol. 28, Issue 2). MDPI.
<https://doi.org/10.3390/molecules28020661>
- Masitoh, A., & Sopyan, I. (2019). Formulasi Nanopartikel Tanaman Herbal Untuk Terapi Kanker. *Farmasetika.Com (Online)*, 4(5).
<https://doi.org/10.24198/farmasetika.v4i5.23111>
- Nurfitriyana, N., Harmita, H., & Iskandarsyah, I. (2020). In vitro study of a transfersomal gel preparation containing lynestrenol as a transdermal drug delivery system. *International Journal of Applied Pharmaceutics*, 12(Special Issue 1), 242–244.
<https://doi.org/10.22159/ijap.2020.v12s1.FF052>
- Putu Dita Pramesti Maheswari, N. (2024). *Tinjauan Pustaka Peluang dan Tantangan Inovasi Sediaan Herbal Menggunakan Nanoteknologi untuk Pengobatan Herbal Modern di Indonesia* (Vol. 3).
- Ramadon, D., & Mun'im, A. (2015). Pemanfaatan Nanoteknologi dalam Sistem Penghantaran Obat Baru

BAB 6

Nanoemulsi Untuk Obat Herbal

apt. Fakhruddin, M.Farm

A. Nanoemulsi dalam Sediaan Herbal

Dalam pengembangan formulasi produk herbal, nanoemulsi telah menjadi sebuah teknologi yang menjanjikan. Teknologi ini menawarkan keunggulan signifikan dalam peningkatan bioavailabilitas, stabilitas, serta efektivitas senyawa aktif herbal. Nanoemulsi merupakan sistem koloid yang tersusun atas fase terdispersi dan pendispersi berupa minyak dalam air (M/A) atau air dalam minyak (A/M) dengan ukuran tetesan pada rentang 20 hingga 200 nanometer (Gambar 6.1). Ukuran partikel skala nano ini memungkinkan penyerapan dan penetrasi senyawa aktif herbal yang lebih efisien melintasi membran biologis, sehingga berpotensi meningkatkan efek terapeutik.

Formulasi herbal konvensional seringkali dihadapkan pada kendala yang membatasi efikasinya, meliputi kelarutan senyawa aktif yang rendah, bioavailabilitas yang tidak optimal, dan kerentanan terhadap degradasi. Sebagai respons terhadap permasalahan tersebut, teknologi nanoemulsi diperkenalkan sebagai sistem penghantaran yang menjanjikan. Dengan mengenkapsulasi ekstrak herbal, teknologi ini secara efektif melindungi senyawa fitokimia, meningkatkan stabilitasnya, dan memfasilitasi pelepasan terkontrol.

Aplikasi teknologi nanoemulsi tidak hanya meningkatkan stabilitas dan masa simpan produk herbal, tetapi juga memfasilitasi pengembangan sistem penghantaran inovatif untuk aplikasi topikal maupun oral. Selain itu, nanoemulsi memiliki fleksibilitas untuk

Daftar Pustaka

- Ahmad, N., Ahmad, R., Alam, M. A., Samim, M., Iqbal, Z., & Ahmad, F. J. (2016). Quantification and evaluation of thymoquinone loaded mucoadhesive nanoemulsion for treatment of cerebral ischemia. *International Journal of Biological Macromolecules*, 88, 320–332. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.03.019>
- Algahtani, M. S., Ahmad, M. Z., & Ahmad, J. (2020). Nanoemulsion loaded polymeric hydrogel for topical delivery of curcumin in psoriasis. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 59, 101847. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2020.101847>
- Almeida, H., Amaral, M., Lobao, P., Frigerio, C., & Sousa Lobo, J. (2015). Nanoparticles in Ocular Drug Delivery Systems for Topical Administration: Promises and Challenges. *Current Pharmaceutical Design*, 21(36), 5212–5224. <https://doi.org/10.2174/1381612821666150923095155>
- Andrade, S., Ramalho, M. J., Pereira, M. D. C., & Loureiro, J. A. (2018). Resveratrol Brain Delivery for Neurological Disorders Prevention and Treatment. *Frontiers in Pharmacology*, 9, 1261. <https://doi.org/10.3389/fphar.2018.01261>
- Bonferoni, M. C., Rossi, S., Sandri, G., Ferrari, F., Gavini, E., Rassa, G., & Giunchedi, P. (2019). Nanoemulsions for “Nose-to-Brain” Drug Delivery. *Pharmaceutics*, 11(2), 84. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics11020084>
- Butola, K., Bisht, V., & Kumar, R. (2023). Recent Approaches of Ocular Disease and Its Herbal Product Treatment: An Updates. *Journal for Research in Applied Sciences and Biotechnology*, 2(2), 102–114. <https://doi.org/10.55544/jrasb.2.2.15>
- Colombo, M., Melchiades, G. D. L., Figueiró, F., Battastini, A. M. O., Teixeira, H. F., & Koester, L. S. (2017). Validation of an HPLC-UV method for analysis of Kaempferol-loaded nanoemulsion and its application to in vitro and in vivo tests. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 145, 831–837. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2017.07.046>
- Harwansh, R. K., Deshmukh, R., & Rahman, M. A. (2019). Nanoemulsion: Promising nanocarrier system for delivery of

BAB 7

Nanopartikel Polimerik

apt. Muhimmatul Khoiriyah, M.Farm

A. Pendahuluan

Dalam dua dekade terakhir, kemajuan teknologi nano telah menjadi tonggak penting dalam revolusi bidang farmasi modern. Penerapan teknologi ini memperluas batas formulasi konvensional dan menghadirkan paradigma baru dalam optimalisasi efektivitas serta kestabilan sediaan obat, termasuk dari bahan alam. Salah satu pendekatan yang menonjol adalah penggunaan nanopartikel polimerik (polymeric nanoparticles, PNPs) sebagai sistem penghantaran obat cerdas yang mampu meningkatkan bioavailabilitas senyawa herbal dengan kelarutan rendah dan stabilitas rendah (Zielinska et al., 2020).

PNPs memiliki ukuran partikel 10–1000 nm dengan luas permukaan besar dan dapat dimodifikasi secara kimiawi untuk mengatur distribusi dan pelepasan obat secara presisi. Teknologi ini sangat relevan bagi senyawa bioaktif seperti kurkumin, quersetin, dan EGCG, yang meskipun memiliki aktivitas biologis tinggi, tetapi dibatasi oleh degradasi enzimatis dan metabolisme lintas pertama (Perumal, 2023). Melalui sistem nanopartikel, senyawa tersebut dapat terdispersi homogen dalam matriks polimer, dilepaskan terkontrol, dan mempertahankan kadar efektif obat lebih lama (Martin et al., 2011).

Dibandingkan sistem nano lain seperti liposom dan nanoemulsi, nanopartikel polimerik menawarkan stabilitas fisik lebih tinggi, fleksibilitas formulasi, dan kemampuan mengontrol sifat fisikokimia. Polimer sintesis seperti PLGA dan PCL unggul dalam kestabilan dan biodegradasi aman, sedangkan polimer alami seperti kitosan dan alginat memiliki bioadhesivitas serta permeabilitas mukosa yang baik (Zielinska et al., 2020).

Daftar Pustaka

- Couvreux, P., & Guio, P. (1986). *Polymeric nanoparticles and microspheres*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Perumal, S. (Ed.). (2023). *Polymer nanoparticles: Synthesis and applications*. Cham: Springer Nature.
- Sinko, P. J. (2011). *Martin's Physical Pharmacy and Pharmaceutical Sciences* (6th ed.). Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.
- Zielińska, A., Carreiró, F., Oliveira, A. M., Neves, A., Pires, B., Venkatesh, D. N., ... & Souto, E. B. (2020). Polymeric nanoparticles: Production, characterization, toxicology and ecotoxicology.

BAB 8

Nanosuspensi

apt. Hery Diar Febryanto, S.Farm., M.S.Farm

A. Pendahuluan

Indonesia dianugerahi kekayaan hayati yang luar biasa. Di tengah keragaman itu, obat herbal fitofarmasetika menjadi sektor kesehatan yang kian menjanjikan. Pemerintah pun memberi sinyal kuat melalui berbagai inisiatif, termasuk peluncuran Formularium Fitofarmaka, untuk mendorong pemanfaatan dan produksi dalam negeri (Kusumadewi, 2022). Tren di masyarakat dilaporkan bahwa penggunaan obat tradisional mencapai 44,3%, pertanda pasar yang tumbuh dan peluang ekonomi yang besar (Titani & Abdullah, 2023). Namun, agar benar-benar berperan sebagai obat modern, formulasi herbal masih menghadapi sejumlah tantangan ilmiah yang tidak ringan.

Banyak senyawa aktif fitokimia misalnya kurkumin dan andrografolida bersifat hidrofobik dan sukar larut dalam air (Gao dkk., 2010). Fakta di tingkat pengembangan obat pun konsisten: sekitar 40% kandidat obat tersandung masalah kelarutan sejak tahap skrining hingga uji klinik (Aldeeb dkk., 2024). Kelarutan yang rendah berimbas pada laju disolusi yang lambat. Akibatnya, penyerapan di saluran cerna terbatas, bioavailabilitas oral menjadi rendah, dan dosis yang diberikan tidak mencapai efek terapeutik optimal (Lestari dkk., 2019). Di sisi lain, sebagian konstituen aktif juga berukuran molekul besar sehingga sulit menembus membran sel lipid, kendala tambahan yang kerap luput dari perhatian.

Dengan hambatan yang begitu mendasar, pendekatan formulasi konvensional sering tidak cukup. Di sinilah nanoteknologi menawarkan jalan keluar. Dengan “mengecilkan” partikel hingga skala nano, kita dapat mengubah sifat fisikokimia senyawa aktif: luas permukaan meningkat, laju disolusi naik, kelarutan jenuh membaik,

Daftar Pustaka

- Aditya, N. P., Hamilton, I. E., & Norton, I. T. (2017). Amorphous nano-curcumin stabilized oil in water emulsion: Physico chemical characterization. *Food Chemistry*, 224, 191-200. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.12.082>
- Ahmadi Tehrani, A., Omranpoor, M. M., Vatanara, A., Seyedabadi, M., & Ramezani, V. (2019). Formation of nanosuspensions in bottom-up approach: Theories and optimization. *DARU Journal of Pharmaceutical Sciences*, 27(1), 451-473. <https://doi.org/10.1007/s40199-018-00235-2>
- Aldeeb, M. M. E., Wilar, G., Suhandi, C., Elamin, K. M., & Wathoni, N. (2024). Nanosuspension-based drug delivery systems for topical applications. *International Journal of Nanomedicine*, 19, 825-844. <https://doi.org/10.2147/IJN.S447429>
- Aldeeb, M. M. E., Wilar, G., Suhandi, C., Mohammed, A. F. A., Mahmoud, S. A., Elamin, K. M., & Wathoni, N. (2025). Emerging trends in the application of nanosuspension-based biomaterials for anticancer drug delivery. *International Journal of Nanomedicine*, 20, 8587-8607. <https://doi.org/10.2147/IJN.S513030>
- Ambarwati, R., & Yulianita. (2022). Formulasi transferson ekstrak daun pandan wangi (*Pandanus amaryllifolius* R.) dengan variasi konsentrasi fosfolipid dan Tween 80 sebagai pembentuk vesikel. *Lambung Farmasi: Jurnal Ilmu Kefarmasian*, 3(2), 1-9. <https://doi.org/10.31764/lf.v3i2.7630>
- Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia. (2023). *Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan nomor 25 tahun 2023 tentang kriteria dan tata laksana registrasi obat bahan alam*. Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia.
- Baiomy, R. F. E. (2024). Quercetin nanoparticles as a therapeutic approach: Pharmacological actions and potential applications in therapy. *BioTechnologia (Poznań)*, 105(4), 377-393. <https://doi.org/10.5114/bta.2024.145258>

BAB 9

Nanoliposom dan Fitoliposom

Dr. apt. Mikhania Christiningtyas Eryani, S.Farm, M.Si

A. Pendahuluan

Dalam pengembangan teknologi penghantaran obat, dasar yang dipertimbangkan terdiri dari 3 faktor utama yaitu efisiensi (menciptakan suatu sistem yang memiliki tingkat efektifitas tinggi), keamanan (mengurangi kemungkinan bahaya pada sistem saat digunakan), serta membuat pasien dapat menerima sistem tersebut dengan baik atau yang dikenal dengan *acceptability*.

Saat ini, beberapa teknologi penghantaran obat telah diluncurkan untuk menghasilkan obat baru dengan karakteristik yang ideal. Ini termasuk penemuan struktur obat baru, hasil sintesis dan modifikasi, kuantifikasi hubungan struktur-aktivitas secara komputasional (QSAR) dan pengembangan teknologi formulasi (Martien et al, 2012).

Teknologi nanopartikel saat ini telah menjadi tren baru dalam pembuatan sistem penghantaran obat. Sifat fisik partikel atau globul pada skala nanometer berbeda dengan partikel pada skala ukuran yang lebih besar, terutama dalam hal meningkatkan kualitas pengiriman obat.

Nanopartikel adalah partikel yang berukuran antara 1 dan 100 nanometer, namun kebanyakan teknik menganjurkan nanopartikel memiliki ukuran diameter partikel pada rentang 200-400 nm. Secara umum, bahan aktif obat harus terkandung dalam jumlah yang cukup di dalam matriks pada tiap vesikel partikel nanopartikel, sehingga memerlukan ukuran yang relatif lebih besar daripada nanopartikel non-farmasetik, tetapi

Daftar Pustaka

- Abdasah, M. (2017). 'Nanopartikel Dengan Gelasi Ionik', *Farmaka*, 5(1), 45-52. <https://doi.org/10.24198/jf.v15i1.12138>
- Akbarzadeh, A., Rezaei-Sadabady, R., Davaran, S., Joo, S. W., Zarghami, N., Hanifehpour, Y., Samiei, M., Kouhi, M., & Nejati-Koshki, K. (2013). 'Liposome: classification, preparation, and applications', *Nanoscale Research Letters*, 8(1), 102. <https://doi.org/10.1186/1556-276X-8-102>
- Akbarzadeh, A., Rezaei-sadabady, R., Davaran, S., Joo, S.W., Zarghami, N. (2013). 'Liposome: classification, preparation, and applications'. *Nanoscalereslett*, 8, 1-9.
- Allen, T. M., & Cullis, P. R. (2013). 'Liposomal drug delivery systems: From concept to clinical applications', *Advanced Drug Delivery Reviews*, 65(1), 36-48. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2012.09.037>
- Bozzuto, G., & Molinari, A. (2015). 'Liposomes as nanomedical devices', *International Journal of Nanomedicine*, 10, 975-999. <https://doi.org/10.2147/IJN.S68861>
- Buzea C, Pacheco II, Robbie K. (2007). 'Nanomaterials and nanoparticles: sources and toxicity', *Biointerphases*. 2(4): MR17-71. doi: 10.1116/1.2815690.
- Dua, J.S., Rana, A.C., Bhandari, A.K. (2012). 'Liposom: Methods of Preparation and Applications'. *Int J Pharm*, 3: 14-20
- Immordino, M. L., Dosio, F., & Cattel, L. (2006). 'Stealth liposomes: Review of the basic science, rationale, and clinical applications', *International Journal of Nanomedicine*, 1(3), 297-315. <https://doi.org/10.2147/nano.2006.1.3.297>
- Kidd, P. M. (2009). 'Bioavailability and activity of phytosome complexes from botanical polyphenols: The silymarin, curcumin, green tea, and grape seed extracts', *Alternative Medicine Review*, 14(3), 226-246.
- Kidd, P., & Head, K. (2005). 'A review of the bioavailability and clinical efficacy of milk thistle phytosome: A silybin-

BAB 10

Nanokristal (Obat Nano)

Grasianto, Ph.D

A. Pendahuluan

Kanker merupakan salah satu penyakit paling mematikan di dunia. Kanker menempati peringkat kedua sebagai penyakit paling mematikan di dunia (Centers for Disease Control and Prevention, 2017). Pada tahun 2012, terdapat 14,1 juta kasus kanker baru di seluruh dunia, 57% di antaranya terjadi di wilayah-wilayah kurang berkembang seperti Amerika Tengah dan sebagian Afrika dan Asia. Jumlah kasus kanker baru diperkirakan akan meningkat menjadi 23,6 juta pada tahun 2030 (National Cancer Institute, n.d.).

Ada banyak jenis pengobatan antikanker, seperti kemoterapi, bedah, terapi radiasi, imunoterapi, terapi target, terapi hormon, transplantasi sel punca, dan pengobatan presisi. Kemoterapi adalah salah satu pengobatan kanker yang paling umum, yang menggunakan obat-obatan yang disebut obat antikanker untuk membunuh sel kanker. Kemoterapi bekerja di seluruh tubuh, membunuh sel kanker bahkan yang telah menyebar ke bagian tubuh yang jauh dari tumor asli (primer) (American Cancer Society., n.d.). Secara umum, obat antikanker yang digunakan dalam kemoterapi adalah agen sitotoksik non-selektif, sehingga sering menyebabkan efek samping yang parah. Salah satu strategi yang menjanjikan untuk mengatasi masalah ini adalah dengan mengatur ukuran obat (Singh, 2008). Obat nano diharapkan dapat terakumulasi dengan baik di sel kanker dan dapat membunuh sel kanker secara efektif.

Obat nano didefinisikan sebagai obat yang memiliki ukuran pada rentang 10 – 200 nm. Ketika obat diberikan secara intravena, obat berukuran kecil di bawah 10 nm akan diekskresikan oleh ginjal, sedangkan obat berukuran besar di atas 200 nm mudah dikenali oleh makrofag. Jaringan tumor berbeda dengan jaringan normal, yang memiliki pembuluh darah yang bocor, memungkinkan obat berskala nano menembus jaringan tumor dan tetap berada

Daftar Pustaka

- Ahsan, S. M. , and R. C. M. (2017). the Role of Surface Charge in the Desolvation Process of Gelatin: Implications in Nanoparticle Synthesis and Modulation of Drug Release. *International Journal of Nanomedicine* , 12, 795–808.
- American Cancer Society. (n.d.). *How Is Chemotherapy Used to Treat Cancer?* .
- Amin, Md. L. , J. J. J. , Y. D. K. , A. S. S. . A. (2015). Surface Modification and Local Orientations of Surface Molecules in Nanotherapeutics. *J. Controlled Release*, 207, 131–142.
- Bhatia, S. (2017). Chapter 2: Nanoparticles Types, Classification, Characterization, Fabrication Methods and Drug Delivery Applications. *Natural Polymer Drug Delivery Systems*, 33–93.
- Centers for Disease Control and Prevention. (2017). *Number of deaths for leading causes of death*.
- Cheyne RW, S. T. T. L. M. A. (2011). Synthesis and Characterisation of Biologically Compatible TiO₂ Nanoparticles. *Nanoscale Research Letters*, 6, 423–428.
- Foxx, M. , and Z. M. (2015). Drug Delivery from Gelatin-Based Systems. *Expert Opin. Drug Deliv*, 12, 1547–1563.
- Gaihare, B. , K. M. S. , L. D. R. , K. H. Y. (2009). Gelatin-coated magnetic iron oxide nanoparticles as carrier system: Drug loading and in vitro drug release study. *Int. J. Pharm*, 365, 180–189.
- Gilsenan, P. M. and R.-M. S. B. (2000). Rheological Characterization of Gelatins from Mammalian and Marine Sources. *Food Hydrocolloids*, 14, 191–195.
- Gómez-Guillén, M. C. , B. G. B. , L.-C. M. E. , M. M. P. (2011). Functional and Bioactive Properties of Collagen and Gelatin from Alternative Sources: A review. *Food Hydrocolloids*, 25, 1813–1827.
- Heinz, H. , P. C. , H. O. , D. Y. , M. R. K. , M. D. , F. R. J. , L. E. , I. J. L. , M. S. , Z. R. F. (2017). Nanoparticle Decoration with Surfactants: Molecular Interactions, Assembly, and Applications. *Surface Science Reports*, 72, 1–58.
- Jimenez, A. , J. F. , H. U. D. , B. Y. , C. K. , S. R. (2017). Effect of Surface Organic Coatings of Cellulose Nanocrystals on the

BAB 11

Karbon Nanomaterial Dalam Fitofarmasetika

Aulia Umi Rohmatika, S.Si., M.Si

A. Pendahuluan

Era nanoteknologi telah membuka paradigma baru dalam pengembangan fitofarmasetika, yang ditandai dengan lahirnya beragam sistem penghantar obat inovatif, seperti: nanoemulsi, nanopartikel polimerik, hingga fitoliposom yang telah dibahas pada bab-bab sebelumnya. Masing-masing sistem tersebut menawarkan keunggulan tersendiri dalam upaya mengatasi tantangan klasik bioavailabilitas senyawa fitokimia. Di antara keragaman sistem nano tersebut, karbon nanomaterial (CNMs) muncul sebagai sebuah kelas material dengan keunikan fundamental yang menjanjikan revolusi lebih lanjut dalam bidang ini. Karbon nanomaterial seperti *graphene oxide* (GO), *carbon nanotube* (CNT), dan *carbon quantum dots* (CQD) memiliki karakteristik fitokimia yang unik, terutama rasio luas permukaan terhadap volume yang sangat besar disertai dengan fenomena kuantum yang khas pada skala nanometer. Kombinasi sifat ini dapat menghasilkan konduktivitas listrik yang tinggi, kekuatan mekanik yang luar biasa, serta performa optik yang menonjol sehingga dapat membedakannya dari material konvensional (El-Khawaga et al., 2023).

Dalam konteks farmasi, sifat-sifat unik ini memungkinkan karbon nanomaterial berfungsi sebagai sistem penghantaran obat yang efektif. Luas permukaan yang besar dan keberadaan gugus fungsional pada permukaannya memungkinkan material ini berinteraksi dengan berbagai molekul bioaktif, sehingga meningkatkan kelarutan dan stabilitas senyawa fitofarmaka secara signifikan. Hal ini sangat krusial mengingat banyak

Daftar Pustaka

- Ashrafizadeh, M., Delfi, M., Zarrabi, A., Bigham, A., Sharifi, E., Rabiee, N., Paiva-Santos, A. C., Kumar, A. P., Tan, S. C., Hushmandi, K., Ren, J., Zare, E. N., & Makvandi, P. (2022). Stimuli-Responsive Liposomal Nanoformulations in Cancer Therapy: Pre-clinical & Clinical Approaches. *Journal of Controlled Release*, 351, 50–80. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2022.08.001>
- Barbosa, M. O., Ribeiro, R. S., Ribeiro, A. R. L., Pereira, M. F. R., & Silva, A. M. T. (2020). Solid-Phase Extraction Cartridges with Multi-Walled Carbon Nanotubes and Effect of the Oxygen Functionalities on the Recovery Efficiency of Organic Micropollutants. *Scientific Reports*, 10(1), 22304. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79244-8>
- Bononi, I., Tedeschi, P., Mantovani, V., Maietti, A., Mazzoni, E., Pancaldi, C., Brandolini, V., & Tognon, M. (2022). Antioxidant Activity of Resveratrol Diastereomeric Forms Assayed in Fluorescent-Engineered Human Keratinocytes. *Antioxidants*, 11(2), 196. <https://doi.org/10.3390/antiox11020196>
- Bosco, C. D., De Cesaris, M. G., Felli, N., Lucci, E., Fanali, S., & Gentili, A. (2023). Carbon Nanomaterial-Based Membranes in Solid-Phase Extraction. *Microchimica Acta*, 190(5), 175. <https://doi.org/10.1007/s00604-023-05741-y>
- Cavallo, I., Sivori, F., Mastrofrancesco, A., Abril, E., Pontone, M., Di Domenico, E. G., & Pimpinelli, F. (2024). Bacterial Biofilm in Chronic Wounds and Possible Therapeutic Approaches. *Biology*, 13(2), 109. <https://doi.org/10.3390/biology13020109>
- Chai, Y., Zhou, Y., Zhang, K., & Shao, P. (2025). Resveratrol Nanoparticles Coated by Metal-Polyphenols Supramolecular Enhance Antioxidant Activity and Long-term Stability of Dietary Gel. *Food Chemistry*, 465, 141987. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141987>
- Chehelgerdi, M., Chehelgerdi, M., Allela, O. Q. B., Pecho, R. D. C., Jayasankar, N., Rao, D. P., Thamaraikani, T., Vasanthan, M., Viktor, P., Lakshmaiya, N., Saadh, M. J.,

BAB 12

Karakterisasi Sediaan Nano Herbal

apt. Iwang Davi Setiawan, M.Farm

A. Latar belakang Sediaan Nano dan Karakteristik

Perkembangan teknologi nano dalam bidang farmasi telah membuka paradigma baru dalam penghantaran obat, termasuk pengembangan sediaan herbal (Kathole et al., 2025). Teknologi ini memungkinkan zat aktif alami yang semula sulit larut atau cepat terdegradasi menjadi lebih stabil, memiliki bioavailabilitas tinggi, dan mampu mencapai target spesifik dalam tubuh (Jain, 2005).

Dalam konteks obat herbal, penggunaan nanoteknologi menjadi solusi terhadap permasalahan klasik seperti ukuran partikel besar, kelarutan rendah, dan variasi komponen bioaktif (Singh and Singh, 2023). Nanoteknologi dalam bidang herbal *medicine* memanfaatkan berbagai sistem penghantaran seperti nanopartikel, nanoemulsi, nanogel, dan liposom (Ahdyani et al., 2020; Chen and Stephen Inbaraj, 2019; Sultana et al., 2013). Penggunaan sistem ini telah terbukti dapat meningkatkan efektivitas dan keamanan bahan alam yang sebelumnya memiliki keterbatasan biofarmasetika (Dewi et al., 2022).

Karakterisasi merupakan tahap penting untuk memastikan bahwa sediaan nano herbal memiliki ukuran, morfologi, stabilitas, dan profil pelepasan obat yang sesuai dengan tujuan formulasi (Viršilė et al., 2022). Tanpa karakterisasi yang baik, tidak mungkin menjamin konsistensi kualitas dan efektivitas terapeutik dari produk nano herbal (Feng et al., 2024).

Daftar Pustaka

- A. Moore, O., 2016. The Extraction, Anticancer Effect, Bioavailability, and Nanotechnology of Baicalin. *J. Nutr. Med. Diet Care* 2. <https://doi.org/10.23937/2572-3278.1510011>
- Abdo, L., 2023. Development Of Herbal Bioactive Loaded Nanoparticles For Topical Application In Vitiligo. *Farmacia* 71, 1305–1315. <https://doi.org/10.31925/farmacia.2023.6.22>
- Ahdyani, R., Rahayu, S., Zamzani, I., 2020. (Review: Development Of Nanoparticle-Based Delivery System In Herbal Cosmesetics) 4.
- Ai, S., Li, Y., Zheng, H., Zhang, M., Tao, J., Liu, W., Peng, L., Wang, Z., Wang, Y., 2024. Collision of herbal medicine and nanotechnology: a bibliometric analysis of herbal nanoparticles from 2004 to 2023. *J. Nanobiotechnology* 22, 140. <https://doi.org/10.1186/s12951-024-02426-3>
- Al-Mutairi, N.H., Mehdi, A.H., Kadhim, B.J., 2022. Nanocomposites Materials Definitions, Types And Some Of Their Applications: A Review.
- Awlqadr, F.H., Majeed, K.R., Altemimi, A.B., Hassan, A.M., Qadir, S.A., Saeed, M.N., Faraj, A.M., Salih, T.H., Abd Al-Manhel, A.J., Najm, M.A.A., Tsakali, E., Van Impe, J.F.M., Abd El-Maksoud, A.A., Abdelmaksoud, T.G., 2025. Nanotechnology-based herbal medicine: Preparation, synthesis, and applications in food and medicine. *J. Agric. Food Res.* 19, 101661. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.101661>
- Babadi, D., Dadashzadeh, S., Osouli, M., Abbasian, Z., Daryabari, M.S., Sadrai, S., Haeri, A., 2021. Biopharmaceutical and pharmacokinetic aspects of nanocarrier-mediated oral delivery of poorly soluble drugs. *J. Drug Deliv. Sci. Technol.* 62, 102324. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2021.102324>
- Baiomy, R.F.E.-S., 2024. Quercetin nanoparticles as a therapeutic approach: pharmacological actions and potential applications in therapy. *BioTechnologia* 105, 377–393. <https://doi.org/10.5114/bta.2024.145258>

BAB 13

Stabilitas dan Shelf life Produk Nano Herbal

apt. Ayu Shabrina, M. Farm

A. Nanoteknologi pada Produk Herbal

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang farmasi, terutama di area bahan alam dan fitofarmaka, telah mendorong lahirnya berbagai inovasi formulasi. Salah satu inovasi yang paling menonjol dalam dua dekade terakhir adalah penerapan nanoteknologi untuk pengembangan produk herbal (Ai et al., 2024). Nanoteknologi dalam konteks farmasi berarti pemanfaatan sistem atau struktur dengan ukuran partikel dalam skala nanometer (umumnya < 1000 nm, bahkan sering $< 200\text{--}300$ nm) untuk mengemas atau mengantarkan zat aktif ke target tertentu dalam tubuh (Guo et al., 2023).

Produk nano herbal merupakan formulasi yang memanfaatkan bahan aktif dari tumbuhan, misalnya ekstrak, fraksi, atau senyawa murni yang kemudian diproses menjadi partikel nano atau dikemas ke dalam sistem nano (seperti nanoemulsi, nanokapsul, liposom, nanopartikel padat). Tujuan utama pendekatan ini adalah untuk meningkatkan kelarutan zat aktif yang umumnya bersifat lipofilik, memperbaiki bioavailabilitas oral maupun topikal, melindungi bahan aktif dari degradasi lingkungan, dan memungkinkan pelepasan terkendali (*controlled release*) atau penghantaran bertarget (*targeted delivery*).

Beberapa contoh formulasi nano herbal yang kini banyak dikaji antara lain nanoemulsi minyak atsiri, nanokapsul kurkumin, nanopartikel flavonoid, dan liposom ekstrak herbal (Jacob et al., 2024). Dalam berbagai studi, sistem nano ini terbukti meningkatkan penyerapan zat aktif secara signifikan dibandingkan bentuk konvensional. Di

Daftar Pustaka

- Ai, Sheng; Li, Wen; & Zhou, Peng. (2024). A bibliometric analysis of herbal nanoparticles (2004–2023): Trends, hotspots, and stability research directions. *Scientometrics*, 128(3), 2345–2378. <https://doi.org/10.1007/s11192-024-04567-8>
- Alsaidan, Omar A.; Hassan, Abdullah M.; & El-Sayed, Mona A. (2022). Quality-by-design based optimization of nanosuspension formulations: Implications for stability and shelf life. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 71, 103353. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2022.103353>
- Chen, Yuhao; Tang, Yuying; Li, Yuanbo; Rui, Yukui; & Zhang, Peng. (2024). Enhancing the efficacy of active pharmaceutical ingredients in medicinal plants through nanoformulations: A promising field. *Nanomaterials*, 14(19), article 1598. <https://doi.org/10.3390/nano14191598>
- Costa, Carlos P.; Oliveira, Maria F.; & Silva, João R. (2021). Quality by design (QbD) optimization of lipid-based nanocarriers: Case studies and stability outcomes. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 160, 123–139. <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2020.12.015>
- Guo, Meng; Li, Rui; & Zhang, Xiaoling. (2023). Herbal medicine nanocrystals: Preparation principles, stability issues and applications. *Molecules*, 28(17), 6370. <https://doi.org/10.3390/molecules28176370>
- Jacob, Sandeep; Narayan, Deepak; & Gupta, Rakesh. (2024). Innovations in nanoemulsion technology: Enhancing drug stability, delivery and shelf life. *Pharmaceutics*, 16(10), 1333. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics16101333>
- Preeti; Sambhakar, Sharda; Malik, Rohit; Bhatia, Saurabh; Al-Harrasi, Ahmed; Rani, Chanchal; Saharan, Renu; Kumar, Suresh; Geeta; & Sehrawat, Renu. (2023). Nanoemulsion: An emerging novel technology for improving the bioavailability of drugs. *Scientifica*, 2023, article 6640103. <https://doi.org/10.1155/2023/6640103>

BAB 14

Keamanan dan Toksisitas Nanoteknologi dalam Herbal

apt. Rafiqah Nur Viviani, S.Farm., M.S.Farm

A. Pendahuluan

Penggunaan nanoteknologi dalam obat herbal berkembang pesat karena mampu mengatasi keterbatasan klasik fitokonstituen—seperti kelarutan rendah, kestabilan yang rapuh, dan penyerapan yang terbatas (Dewi et al., 2022). Beragam platform berbasis nano (misalnya nanoemulsi, liposom/fitosom, *solid lipid nanoparticles* (SLN) dan *nanostructured lipid carriers* (NLC), partikel polimerik kitosan atau PLGA, hingga sistem anorganik hasil *green synthesis*) dirancang pada skala sekitar 1–200 nm untuk mengendalikan ukuran, bentuk, muatan permukaan, dan kimia permukaan. Rekayasa ini dapat meningkatkan bioavailabilitas, memperpanjang waktu tinggal, dan mengarahkan penghantaran ke jaringan sasaran (Han et al., 2022; Kumari et al., 2022).

Di balik manfaat tersebut, hadir konsekuensi yang perlu ditelaah dengan cermat dari sisi keamanan dan toksisitas. Pada skala nano, partikel berinteraksi intens dengan membran sel, protein plasma, dan komponen imun. Permukaan partikel akan segera “diselubungi” *protein corona* yang menentukan identitas biologisnya, memengaruhi pengenalan oleh *reticuloendothelial system* (RES), serta menggeser profil absorpsi–distribusi–metabolisme–ekskresi (ADME) dan biodistribusi (Akhter et al., 2021; Y. Sun et al., 2024). Keputusan desain—mulai dari *zeta potential* dan *polydispersity index* (PDI), komposisi inti lipid/polimer/metal, hingga *drug loading* serta pola pelepasan (*burst vs sustained*)—dapat menaikkan risiko

Daftar Pustaka

- Akhter, M. H., Khalilullah, H., Gupta, M., Alfaleh, M. A., Alhakamy, N. A., Riadi, Y., & Md, S. (2021). Impact of protein corona on the biological identity of nanomedicine: Understanding the fate of nanomaterials in the biological milieu. In *Biomedicines* (Vol. 9, Issue 10). MDPI. <https://doi.org/10.3390/biomedicines9101496>
- Ashkarran, A. A., Gharibi, H., Voke, E., Landry, M. P., Saei, A. A., & Mahmoudi, M. (2022). Measurements of heterogeneity in proteomics analysis of the nanoparticle protein corona across core facilities. *Nature Communications*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-34438-8>
- Baranov, M. V., Kumar, M., Sacanna, S., Thutupalli, S., & van den Bogaart, G. (2021). Modulation of Immune Responses by Particle Size and Shape. *Frontiers in Immunology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.607945>
- Bashiri, G., Padilla, M. S., Swingle, K. L., Shepherd, S. J., Mitchell, M. J., & Wang, K. (2023). Nanoparticle protein corona: from structure and function to therapeutic targeting. *Lab on a Chip*, 23(6), 1432–1466. <https://doi.org/10.1039/d2lc00799a>
- Chou, W.-C., & Lin, Z. (2024). Impact of protein coronas on nanoparticle interactions with tissues and targeted delivery. *Current Opinion in Biotechnology*, 85, 103046. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.copbio.2023.103046>
- Corbo, C., Molinaro, R., Parodi, A., Toledano Furman, N. E., Salvatore, F., & Tasciotti, E. (2016). The impact of nanoparticle protein corona on cytotoxicity, immunotoxicity and target drug delivery. *Nanomedicine*, 11(1), 81–100. <https://doi.org/10.2217/nnm.15.188>
- Danaei, M., Dehghankhold, M., Ataei, S., Hasanzadeh Davarani, F., Javanmard, R., Dokhani, A., Khorasani, S., & Mozafari, M. R. (2018). Impact of particle size and polydispersity index on the clinical applications of lipidic nanocarrier systems. *Pharmaceutics*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics10020057>

BAB 15

Aplikasi Klinis dan Studi Kasus

Desmila Idola, S.Pd., M.Si., Ph.D

A. Pendahuluan

Pada tahun 1959, Richard Feynman seorang fisikawan memperkenalkan konsep nanoteknologi untuk pertama kalinya. Nanoteknologi merupakan cabang ilmu yang mempelajari dan memanfaatkan material berskala nano (1-100 nanometer). Pada ukuran ini, sifat-sifat fisik dan kimia material berubah secara drastis, mencakup aspek seperti kelarutan, reaktivitas, sifat spektroskopi, konduktivitas listrik, kemagnetan, serta kemampuan melewati membran biologis. Nanoteknologi mencakup penerapan prinsip ilmiah dan rekayasa pada skala nano guna mengembangkan material dan sistem berteknologi tinggi. Teknologi ini menjadi salah satu pencapaian ilmiah paling berpengaruh abad ke-21 karena tidak hanya mendorong inovasi medis tetapi juga berpotensi menghasilkan terobosan penting dalam dunia sains, teknologi modern, pertumbuhan ekonomi, dan kesejahteraan sosial (Fortune *et al.*, 2025; Ma *et al.*, 2024).

Nanomaterial dibedakan menjadi empat kelompok utama tergantung pada jumlah dimensi yang berada dalam skala nano (Ma *et al.*, 2024).

1. Tipe 0D, seperti nanopartikel, memiliki semua dimensi dalam kisaran nanometer.
2. Tipe 1D, seperti nanorod dan nanowire, hanya memiliki satu dimensi dalam skala nano.
3. Tipe 2D, contohnya nanosheet dan nanocoating, memiliki dua dimensi berukuran nano.

Daftar Pustaka

- Agarwal M. (2015). Role of nanovaccine in immunotherapy. *Journal of Science & Therapy*. Doi: 10.4172/2157-7013.S8-003.
- Al-Thani AN, Jan AG, Abbas M, Geetha M, Sadasivuni KK. (2024). Nanoparticles in cancer theragnostic and drug delivery: a comprehensive review. *Journal of Life Science*. Doi: 10.1016/j.lfs.2024.122899.
- Ayan S, Ciftci KA, Ciftci F, Ustundag CB. (2023). Nanotechnology and COVID-19: Prevention, diagnosis, vaccine, and treatment strategies. *Frontiers in Materials*. Doi: 10.3389/fmats.2022.1059184.
- Chakraborty N, Jha D, Roy I, Kumar P, Gaurav SS, Marimuthu K, Ng OT, Lakshminarayanan R, Verma NK, Gautam HK. (2022). Nanobiotics against antimicrobial resistance: harnessing the power of nanoscale materials and technologies. *Journal of Nanobiotechnology*. Doi: 10.1186/s12951-022-01573-9.
- Desai N, Rana D, Patel M, Bajwa N, Prasad R, Vora LK. (2025). Nanoparticle therapeutics in clinical perspective: classification, marketed products, and regulatory landscape. *Nano-micro Small Journal*. Doi: 10.1002/sml.202502315.
- Du L, Yang Y, Zhang X, Li F. (2022). Recent advances in nanotechnology-based COVID-19 vaccines and therapeutic antibodies. *Nanoscale*. Doi: 10.1039/d1nr03831a.
- Durgam LK & Oroszi TL. (2025). Revolutionizing healthcare: the transformative potential of nanotechnology in medicine. *Frontiers in Drug Delivery*. Doi: 10.3389/fddev.2025.1556426.
- Fortune A, Aime A, Raymond D, Kumar S. (2025). Nanotechnology in medicine: a double-edged sword for health outcomes. *Health Nanotechnology*. Doi: 10.1186/s44301-025-00008-2.

BAB16

Tantangan Regulasi dan Etika

apt. Firdha Aprillia Wardhani, M. Clin. Pharm

A. Pendahuluan

Fitofarmaka adalah obat tradisional yang telah dibuktikan keamanan dan khasiatnya secara ilmiah melalui uji pra-klinik dan klinik. Kehadirannya menjadi jembatan antara pengobatan herbal tradisional dan terapi modern berbasis bukti. Namun, salah satu kelemahan fitofarmaka adalah rendahnya bioavailabilitas beberapa senyawa aktif, yang menyebabkan keterbatasan dalam hal efektivitas klinis. Perkembangan teknologi nanomedisin menawarkan solusi inovatif dengan meningkatkan solubilitas, stabilitas, serta kemampuan penghantaran senyawa bioaktif herbal ke target spesifik (Patra et al., 2018).

Meskipun prospek nano-fitofarmaka sangat menjanjikan, penerapannya menimbulkan tantangan serius, terutama dalam aspek regulasi dan etika. Regulasi tradisional yang selama ini digunakan untuk obat herbal maupun obat sintetik belum sepenuhnya mampu mengakomodasi karakteristik unik produk berbasis nanoteknologi. Selain itu, permasalahan keamanan, toksisitas jangka panjang, serta standar evaluasi masih terus diperdebatkan (Bawa, 2011).

Untuk itu, memahami kerangka regulasi global maupun nasional menjadi langkah awal penting dalam menyiapkan ekosistem yang aman, efektif, dan beretika dalam pengembangan serta pemanfaatan nano-fitofarmaka.

B. Regulasi Fitofarmaka Berbasis Nanoteknologi

Kerangka regulasi berfungsi sebagai instrumen pengendali dan perlindungan masyarakat terhadap risiko dari penggunaan obat, termasuk fitofarmaka berbasis

Daftar Pustaka

- Bawa, R. (2011). Regulating nanomedicine—can the FDA handle it? *Current Drug Delivery*, 8(3), 227–234.
- Beauchamp, T. L., & Childress, J. F. (2019). *Principles of Biomedical Ethics* (8th ed.). Oxford University Press.
- BPOM. (2020). *Peraturan Badan POM tentang Kategori dan Persyaratan Obat Tradisional*. Jakarta: BPOM RI.
- EMA. (2011). *Reflection Paper on Nanotechnology-based Medicinal Products for Human Use*. European Medicines Agency.
- FDA. (2017). *Nanotechnology Guidance for Industry*. U.S. Food and Drug Administration.
- Florindo, H. F., et al. (2020). Nanomedicine for immunotherapy: nanotechnology in the future of personalized medicine. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 150, 1–6.
- López-Dávila, V., et al. (2012). Nanomedicine: innovation, potential and limitations. *Medical Principles and Practice*, 21(5), 401–409.
- Nel, A., Xia, T., Mädler, L., & Li, N. (2006). Toxic potential of materials at the nanolevel. *Science*, 311(5761), 622–627.
- Patra, J. K., et al. (2018). Nano based drug delivery systems: recent developments and future prospects. *Journal of Nanobiotechnology*, 16(1), 71.
- Rizvi, S. A. A., & Saleh, A. M. (2018). Applications of nanoparticle systems in drug delivery technology. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 26(1), 64–70.
- WHO. (2013). *WHO Traditional Medicine Strategy 2014–2023*. World Health Organization.
- Yallapu, M. M., et al. (2012). Curcumin nanoformulations: a future nanomedicine for cancer. *Drug Discovery Today*, 17(1–2), 71–80.

BAB 17

Tren Masa Depan dan Prospek Pengembangan

M Fatchur Rochman, M. Farm

A. Pendahuluan

Indonesia dikenal sebagai salah satu negara megabiodiversitas dengan kekayaan flora yang sangat melimpah. Diperkirakan terdapat lebih dari 30.000 spesies tumbuhan, di mana sekitar 1.800 spesies telah diketahui memiliki khasiat obat (*Buku-Kebijakan-Obat-Tradisional-Nasional-Tahun-2007*, n.d.). Sejak dahulu, masyarakat Indonesia telah memanfaatkan tumbuhan obat secara tradisional dalam bentuk jamu, ramuan, maupun obat tradisional keluarga. Namun, penggunaan tersebut umumnya masih bersifat empiris, tanpa pengujian ilmiah yang memadai, serta belum diformulasikan dalam bentuk sediaan farmasi modern yang memenuhi standar mutu, keamanan, dan efektivitas (*Peraturan-Bpom-No-32-Tahun-2019*, n.d.).

Fitofarmasetika hadir sebagai jembatan antara pengobatan tradisional berbasis bahan alam dengan ilmu farmasi modern dengan pengembangan sediaan obat berbasis bahan alam (fitofarmaka). Dengan demikian, fitofarmasetika tidak hanya menekankan pada identifikasi dan ekstraksi bahan aktif dari tumbuhan, tetapi juga pada bagaimana merancang, memformulasikan, mengevaluasi, dan memastikan bahwa sediaan tersebut aman, efektif, stabil, serta dapat diproduksi secara konsisten (*Heinrich, 2018 FUNDAMENTALS OF Pharmacognosy AND Phytotherapy-Michael Heinrich_Joanne Barnes_Jose Prieto-Garcia_Simon Gibbons_Elizabeth Williamson-Elsevier Inc-2018-3 (1)*, n.d.).

Daftar Pustaka

- Ahmed, L., Atif, R., Eldeen, T. S., Yahya, I., Omara, A., & Eltayeb, M. (2019). *Study the Using of Nanoparticles as Drug Delivery System Based on Mathematical Models for Controlled Release*.
- Alhabib, N. A., Alehaidib, S. M., Alharbi, O. O., & Alkhadrawi, M. A. (2024). Advanced nano-drug delivery systems utilizing natural product-based innovations. *International Journal of Health Sciences*, 8(S1), 1016–1032. <https://doi.org/10.53730/ijhs.v8nS1.15042>
- Ansari, A. W., Yadav, A., Prajapati, I., & Yadav, S. (n.d.). *Controlled Drug Delivery Systems: A Comprehensive Review Of Recent Advances, Challenges, And Future Directions*. 12(5).
- Awlqadr, F. H., Majeed, K. R., Altemimi, A. B., Hassan, A. M., Qadir, S. A., Saeed, M. N., Faraj, A. M., Salih, T. H., Abd Al-Manhel, A. J., Najm, M. A. A., Tsakali, E., Van Impe, J. F. M., Abd El-Maksoud, A. A., & Abedelmaksoud, T. G. (2025). Nanotechnology-based herbal medicine: Preparation, synthesis, and applications in food and medicine. *Journal of Agriculture and Food Research*, 19, 101661. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.101661>
- Bolgen, U. M. G., Demirci Kayiran, S., Ozogul, Y., & Ozogul, F. (2025). Essential oil-based nanoemulsions with current knowledge: Formulation, characterization, and applications in food and pharmaceuticals. *Industrial Crops and Products*, 233, 121411. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.121411>
- Buku-Kebijakan-Obat-Tradisional-Nasional-Tahun-2007*. (n.d.).
- Chou, W., Canchola, A., Zhang, F., & Lin, Z. (2025). Machine Learning and Artificial Intelligence in Nanomedicine. *WIREs Nanomedicine and Nanobiotechnology*, 17(4), e70027. <https://doi.org/10.1002/wnan.70027>
- Clogston, J. D., Foss, W., Harris, D., Oberoi, H., Pan, J., Pu, E., Guzmán, E. A. T., Walter, K., Brown, S., & Soo, P. L. (2024). Current state of nanomedicine drug products: An industry perspective. *Journal of Pharmaceutical Sciences*,

Tentang Penulis



Evrick Yonantiko, M.Si., CA. Tech. MHSc. Merupakan seorang Dosen CPNS tahun 2024 pada Program Studi S1-Kedokteran, Fakultas Kedokteran, Universitas Pembangunan Nasioanl "Veteran" Jawa Timur, dengan bidang keilmuan Mikrobiologi Medis. Pendidikan S2 Mikrobiologi ditempuh di IPB University melalui beasiswa LPDP (Lembaga Pengelola Dana Pendidikan) Kementerian Keuangan RI
Email: evrick_yonantiko.fk@upnjatim.ac.id
Instagram: [@dosen.fk](https://www.instagram.com/dosen.fk)



Dr. Apt. Shaum Shiyan, S.Farm., M.Sc. Lahir di Yogyakarta, pada Mei 1986. Ia tercatat sebagai lulusan Universitas Gadjah Mada dari S1, Apoteker hingga Pasca sarjana dengan gelar Doktor di bidang Fitofarmasetika. Saat ini sebagai Dosen dan Koordinator Program Studi Pendidikan Profesi Apoteker (PSPPA) di Fakultas Matematika Pengetahuan dan Universitas Sriwijaya. Email: shaumshiyan@unsri.ac.id



Fahri Sinulingga, S.Pi., M.Si. lahir di Kabanjahe, pada 27 Mei 1998.

Pendidikan penulis ditempuh dimulai dari SDN Surbakti 040469 (2004-2010), SMPN 2 Simpang Empat (2010-2013), SMAN 1 Berastagi (2013-2016), S1 dan S2 di Teknologi Hasil Perairan, IPB University (2016-2023). Penulis berprofesi sebagai dosen PNS program studi Teknologi Hasil Perikanan, Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya. Prestasi akademis diraih penulis antara lain:

Penerima pendanaan penelitian oleh PT. Indofood Sukses Makmur Tbk. melalui program Indofood Riset Nugraha (IRN), sekaligus sebagai peneliti terbaik (2019-2020), Peraih medali perak bidang PKM-Kewirausahaan PIMNAS XXXIII di Universitas Gajah Mada (2020), anggota lapangan tim riset RISPRO oleh LPDP Kemenkeu (2020-2023), tim Kedaireka oleh Kemendikbud (2021-2023), *Summer course international linkage program* (ILP) di Kagoshima University Jepang (2022), pendanaan BIMA Kemendikbudristek Program Tesis Magister (PTM) 2023. Tahun 2024 penulis berkesempatan melaksanakan program internship melalui beasiswa *Taiwan Education Experience Program* (TEEP) selama 6 bulan di National Chung Cheng University-Chiayi Taiwan. Penulis dapat di hubungi melalui e-Mail :fsinulingga25@fp.unsri.ac.id



apt. Fortunata Saesarria Deisberanda, M.S.Farm. Lahir di Pontianak, pada 4 Desember 1998. Ia menyelesaikan pendidikan magisternya di bidang Ilmu Farmasi di Institut Teknologi Bandung. Saat ini, ia berkarier sebagai dosen di Universitas Tanjungpura pada bidang farmasi dengan minat penelitian teknologi farmasi. Sebagai akademisi muda, ia aktif mengembangkan penelitian terapan dan berkontribusi dalam kegiatan ilmiah di lingkungan pendidikan tinggi.

Email: fortunatasaesa@pharm.untan.ac.id



apt. Nurfitriyana, M.Farm. Lahir di Bangka pada tanggal 18 Juni 1994. Tercatat sebagai lulusan Universitas Indonesia dengan gelar Magister di Bidang Teknologi Farmasi (Ilmu Kefarmasian). Penulis merupakan salah satu Dosen S1 Farmasi di PTN Universitas Sriwijaya, dan pernah menjadi Dosen di PTS Ista Al Kamal Jakarta (2020-2025) dan PTS Institut Citra International Pangkal Pinang (2024-2025). Berbagai karya ilmiah yang sudah dihasilkan oleh penulis seperti

Artikel Nasional serta Artikel Internasional, Hak Kekayaan Intelektual (HaKI). Email: nurfitriyana@unsri.co.id



Apt. Fakhruddin, M.Farm. Lahir di Pontianak, pada tanggal 09 Juli 1992. Ia tercatat sebagai lulusan Universitas Setia Budi Surakarta dengan gelar Magister di bidang Ilmu Farmasi.

Email:

fakhruddin@pharm.untan.ac.id



apt. Muhimmatul Khoiriyah, M.Farm.

Salah satu dosen S1 Farmasi Universitas Alma Ata Yogyakarta, dengan bidang keilmuan Teknologi Sediaan Farmasi dan Biofarmasetika, menempuh pendidikan Farmasi mulai dari SMK Farmasi Sentosa Dharma Bojonegoro, S1 Farmasi Universitas Nahdlatul Ulama Sunan Giri Bojonegoro, S2 Ilmu Farmasi Sains di Universitas Setia Budi Surakarta dan Melanjutkan Program Studi Pendidikan Profesi Apoteker di Itekes Cendekia Utama Kudus.

Email:

muhimmatulkh@almaata.ac.id



Apt. Hery Diar Febryanto, S.Farm., M.S.Farm. adalah apoteker dan dosen di Fakultas Farmasi Universitas Jember. Ia memiliki latar belakang pendidikan di Universitas Jember dan Institut Teknologi Bandung. Pengalaman profesionalnya mencakup riset di PT Kimia Farma Tbk., Daewoong Pharmaceutical Ltd. dan pendirian apotek Nabigh Farma, dengan fokus penelitian pada formulasi sediaan farmasi dan teknologi penghantaran obat berbasis AI. Email: herydiar@unej.co.id



Dr. Apt. Mikhania Christiningtyas Eryani, S.Farm., M.Si lahir di Banyuwangi, pada 26 Agustus 1985. Mikhania lulus dari Universitas Airlangga dengan gelar Doktor di bidang ilmu farmasi. Ibu yang kerap disapa Mikhania ini adalah anak dari pasangan Bapak alm. Kris Kuntjoro (ayah) dan Ibu Erna Isbandini (ibu). Mikhania bukanlah orang baru di dunia penelitian farmasi Indonesia. Telah banyak penelitian dan

publikasi yang dihasilkan terutama berfokus pada formulasi dan evaluasi sediaan farmasi. Saat ini Mikhania bekerja sebagai staf pengajar di fakultas farmasi Universitas Jember dengan fokus riset pada pengembangan sediaan obat. Email: mikhaniachristi@unej.ac.id



Grasiyanto, Ph.D. Menyelesaikan S1 di Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan (FKIP), Universitas Bengkulu, tahun 2012, Kemudian menyelesaikan S2 di Program Studi Magister Ilmu Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Gajah Mada tahun 2014. Setelah itu mengambil S2-S3 di Departemen Kimia, Graduate School of Science,

Tohoku University, Jepang dan lulus tahun 2021. Bekerja sebagai “Specially Appointed Researcher” di Institut Multidisciplinary Research for Advanced Materials (IMRAM), Tohoku University tahun 2021-2022. Pernah menjadi dosen di Pendidikan Kimia Universitas Bengkulu tahun 2014-2016. Saat ini adalah dosen tetap di Departemen Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya. Email: grasiyanto@its.ac.id



Aulia Umi Rohmatika, S.Si., M.Si.

Lahir di Ponorogo, pada 2 Januari 1999. Ia kini aktif berkontribusi di dunia akademisi sebuah universitas di Surabaya. Perhatian utamanya dalam penelitian adalah menjembatani potensi bahan alam dengan kemajuan nanoteknologi, khususnya untuk aplikasi medis seperti pengobatan kanker. Komitmennya dalam dunia ilmu pengetahuan diwujudkan melalui berbagai tulisannya, baik yang terbit dalam bentuk jurnal internasional maupun buku.

Email: aulia_umi.fk@upnjatim.ac.id



apt. Iwang Davi S., M.farm., lahir di Bandar Lampung, pada 08 Juli 2000. Ia tercatat sebagai lulusan Universitas Islam Indonesia dengan gelar Magister di bidang Sains Farmasi. Iwang Davi Setiawan bukanlah orang baru di dunia penelitian sains Indonesia. Ia kerap tampil di berbagai Oral presentasi ilmiah nasional dan internasional serta mempublikasikan jurnal di bidang Farmasi Sains dan Teknologi terapan. Pada tahun 2021-2025 lalu. Email: iwangdavis@malahayati.ac.id



apt. Ayu Shabrina, M. Farm, lahir pada 31 Mei 1994. Ia tercatat sebagai lulusan Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta di bidang Formulasi Obat dan Kosmetik Bahan Alam. Ayu Shabrina merupakan penerima hibah penelitian Kemendikti Saintek 2021-2025 dengan fokus nanoemulsi dan stabilitas obat. Beliau telah menghasilkan paten formula nanoemulsi dan merupakan Fasilitator Penulisan Deskripsi Paten Kemendikti Saintek 2025.

Email: shabrina@unwahas.ac.id



apt. Rafiqah Nur Viviani, S.Farm., M.S.Farm. Lahir di Bandung tahun 1999, adalah akademisi dan praktisi kefarmasian yang mengabdikan diri sebagai dosen di Farmasi Universitas Sriwijaya (Unsri). Menyelesaikan pendidikan sarjana farmasi dan profesi apoteker di Universitas Indonesia (UI), serta pendidikan magister sains farmasi di Institut Teknologi Bandung

(ITB). Minat profesionalnya mencakup pengembangan obat berbasis bahan alam. Email: viviani@unsri.ac.id



Desmila Idola, S.Pd., M.Si., Ph.D., lahir di Lubuk Alung – Sumatera Barat, pada 29 Desember 1989. Ia tercatat sebagai lulusan Tohoku University Jepang dengan gelar *Doctor of Philosophy* di bidang *Molecular and Chemical Life Sciences*. Pada bulan Juni tahun 2025, ia bergabung di Fakultas Kedokteran UPN "Veteran" Jawa Timur sebagai dosen biokimia prodi Kedokteran.

Email: desmila_idola.fk@upnjatim.ac.id



apt. Firdha Aprillia Wardhani, M. Clin. Pharm.

Adalah seorang apoteker dan akademisi di bidang farmasi klinik, khususnya Farmasi Rumah Sakit. Saat ini aktif sebagai dosen di Fakultas Farmasi, Universitas Jember. Di samping aktivitas akademik, penulis juga aktif dalam organisasi profesi seperti Ikatan Apoteker Indonesia (IAI), serta menjadi

narasumber dan fasilitator dalam berbagai pelatihan kefarmasian. Email: firdhaaprillia@unej.ac.id



M Fatchur Rochman lahir di Kendal, pada 21 Mei 1992. Ia lulusan Fakultas Farmasi, Universitas Airlangga pada Program Studi Magister Ilmu Farmasi di bidang peminatan Sistem Penghantaran Obat. Rochman mulai meniti karier sebagai dosen sejak tahun 2018. Ia aktif dalam melakukan penelitian, konferensi ilmiah nasional/internasional dan publikasi. Hasil penelitian telah

diterbitkan dalam bentuk artikel publikasi ilmiah dan beberapa hasil penelitian lainnya telah dipatenkan sebagai paten sederhana pada tahun 2025.

Email: fatchur.rochman@unwahas.ac.id