

Tinjauan Komprehensif Sistem Penghantaran Obat Pompa Osmotik: Mekanisme Formulasi, Teknologi Sediaan, dan Aplikasi Klinis Terkini

Rian Ismail¹, Muhammad Nur Hisyam¹, Lutfi Yusuf Asrofi Jupriyono¹, Muhammad Annas Sidiq¹

¹Program Studi Magister Farmasi, Fakultas Farmasi, Universitas Muhammadiyah Purwokerto, Purwokerto, Indonesia

Korespondensi: Rian Ismail

Email: rian.ismail21@gmail.com

Alamat : Jl. KH. Ahmad Dahlan, Dusun III, Dukuhwaluh, Kec. Kembaran, Kabupaten Banyumas, Jawa

Tengah 53182, +62 853-1483-4050



Pharmacy Genius Journal is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

ABSTRAK

Pendahuluan: PSistem penghantaran obat konvensional seringkali gagal mempertahankan konsentrasi terapeutik yang stabil dalam plasma, sehingga memicu perlunya inovasi dalam Sistem Penghantaran Obat Terkendali (SPO Terkendali).

Tujuan : untuk mengevaluasi secara sistematis mekanisme, komponen formulasi, serta aplikasi klinis terkini dari sistem pompa osmotik.

Metode : penulisan dilakukan melalui penelusuran literatur pada basis data ilmiah terhadap studi-studi dalam rentang waktu yang relevan, dengan fokus pada teknologi Elementary Osmotic Pump (EOP), Push-Pull Osmotic Pump (PPOP), dan Controlled Porosity Osmotic Pump (CPOP). Ruang lingkup pembahasan mencakup prinsip dasar osmosis, inovasi teknologi seperti pompa terapung dan asimetris, hingga evaluasi farmakokinetik pada subjek manusia dan hewan.

Hasil : Temuan utama menunjukkan bahwa pompa osmotik mampu memberikan profil pelepasan orde nol yang independen terhadap pH saluran cerna dan hidrodinamika lingkungan.

Kesimpulannya: teknologi ini menawarkan presisi tinggi dalam penghantaran obat kronis, meskipun tantangan biaya produksi dan kompleksitas desain tetap menjadi pertimbangan utama dalam pengembangan industri farmasi

Kata Kunci: Formulasi, Pompa Osmotik, Tekanan Osmotik.

Pendahuluan

Sistem penghantaran obat oral merupakan rute yang paling disukai karena kenyamanan penggunaan dan luas permukaan penyerapan yang maksimal. Namun, sediaan konvensional cenderung memberikan pelepasan obat secara instan yang menyebabkan fluktuasi konsentrasi plasma yang tidak terprediksi, yang sering kali berada di luar jendela terapeutik. Hal ini tidak hanya mengurangi efikasi terapi tetapi juga berpotensi meningkatkan efek toksik bagi pasien yang memerlukan pengobatan jangka Panjang. (Sahoo et al., 2015)(Childress et al., 2025)(Matusik et al., 2025).

Urgensi pengembangan sistem pompa osmotik dalam bidang farmasi terletak pada kemampuannya untuk mengontrol laju pelepasan obat secara spasial dan temporal⁶. Teknologi ini bekerja berdasarkan prinsip tekanan osmotik untuk mendorong obat keluar dari sistem melalui lubang penghantaran (*delivery orifice*) (Almoshari, 2022). Keunggulan utamanya adalah laju pelepasan yang tetap konstan (*orde nol*) dan tidak dipengaruhi oleh faktor fisiologis seperti pH lambung atau keberadaan makanan.(Zhang et al., 2009)

Meskipun telah banyak dikembangkan, terdapat celah penelitian terkait optimalisasi formulasi untuk obat-obat dengan kelarutan rendah dan integrasi teknologi baru seperti pompa osmotik terapung untuk obat dengan jendela absorpsi sempit. Banyak sistem tradisional hanya efektif untuk obat dengan kelarutan sedang, sehingga inovasi dalam desain membran dan agen osmotik menjadi sangat krusial.(B et al., n.d.)(Soltani Hekmat et al., 2025)

Artikel review ini bertujuan untuk merangkum perkembangan terkini dalam teknologi pompa osmotik, menganalisis faktor-faktor formulasi yang kritis, dan mendiskusikan aplikasi klinis terbaru seperti pada pengobatan ADHD dan kardioproteksi. Melalui tinjauan ini, diharapkan para peneliti dapat memahami mekanisme mendalam dan potensi masa depan dari sistem penghantaran ini dalam meningkatkan kepatuhan pasien.(Kanagale et al., 2007)

Metode Penulisan Review

Strategi Pencarian Literatur

Literatur reviewer ini melalui penelusuran yang dilakukan pada basis data Scopus, PubMed, Google Scholar, dan ScienceDirect. Kata kunci yang digunakan meliputi "Osmotic drug delivery system", "Controlled porosity osmotic pump", dan "OROS technology". Literatur yang diambil

mencakup publikasi original research dan review article dalam rentang waktu yang luas untuk mencakup sejarah perkembangan hingga aplikasi klinis terbaru (2005–2025).

Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria inklusi meliputi artikel berbahasa Inggris yang membahas mekanisme pelepasan, desain formulasi, evaluasi *in vitro/in vivo*, serta studi bioekivalensi sediaan osmotik. Artikel yang hanya membahas sistem penghantaran non-osmotik atau tidak memiliki data empiris yang mendukung dikeluarkan dari tinjauan ini.

Proses Seleksi Literatur

Seleksi dilakukan melalui tiga tahap: penyaringan judul untuk relevansi awal, pembacaan abstrak untuk memastikan kesesuaian dengan tujuan review, dan analisis teks lengkap (*full-text*) untuk ekstraksi data terkait parameter formulasi dan hasil klinis.

Hasil Dan Pembahasan

Konsep Dasar dan Prinsip Ilmiah

Sistem pompa osmotik terdiri dari inti obat (*core*) yang mengandung agen osmotik (*osmogen*), dilapisi oleh membran semipermeabel. (Keraliya et al., 2012).

- Mekanisme Dasar: Air dari lingkungan masuk ke dalam inti melalui membran akibat perbedaan tekanan osmotik, meningkatkan volume di dalam inti, dan mendorong larutan obat keluar melalui lubang yang dibuat dengan laser atau secara *in situ* melalui pori-pori. (Keraliya et al., 2012)(Sahoo et al., 2015)
- Teori: Pelepasan ini mengikuti kinetika orde nol, di mana jumlah obat yang dilepaskan per satuan waktu tetap konstan. (Sahoo et al., 2015)(Zhang et al., 2009)

Perkembangan Terkini

Inovasi terbaru mencakup:

- Floating Osmotic Pump (FOP): Menggabungkan kontrol osmotik dengan kemampuan terapung di lambung untuk memperpanjang waktu tinggal obat yang memiliki jendela absorpsi di usus bagian atas. (Zhang et al., 2009)
- Controlled Porosity (CPOP): Menggunakan bahan pembentuk pori (*pore-forming agents*) pada membran yang akan larut saat kontak dengan air, membentuk struktur mikropori tanpa memerlukan pengeboran laser. (Sahoo et al., 2015)

Aplikasi dalam Bidang Farmasi

Sistem osmotik telah diaplikasikan secara luas:

- Methylphenidate ER: Menggunakan desain pompa osmotik untuk menyediakan pelepasan terkendali sepanjang hari guna menangani ADHD pada anak dan dewasa. (Childress et al., 2025)
- Oxybutynin: Pengembangan CPOP untuk pengobatan kandung kemih overaktif guna mempertahankan kadar plasma yang stabil selama 24 jam.
- Mini-Osmotic Pumps: Digunakan dalam riset praklinis untuk pemberian kontinyu zat seperti *alamandine* atau *elabela* guna mengevaluasi efek pelindung terhadap toksisitas jantung dan hati akibat kemoterapi.

Kelebihan dan Keterbatasan

- Kelebihan: Laju pelepasan dapat diprediksi secara akurat berdasarkan data *in vitro*, risiko "dose dumping" minimal, dan tidak dipengaruhi oleh gerakan peristaltik. (Zhang et al., 2009)
- Keterbatasan: Biaya produksi lebih tinggi dibandingkan tablet konvensional, membutuhkan kontrol kualitas yang ketat pada ketebalan membran, dan potensi iritasi mukosa akibat pelepasan obat pekat di satu titik. (B et al., n.d.) (Keraliya et al., 2012)

Diskusi Kritis

Analisis literatur menunjukkan konsistensi bahwa sistem osmotik secara signifikan mengungguli sediaan matriks hidrofilik (seperti HPMC) dalam hal independensi terhadap kondisi pH dan pengadukan saluran cerna. Namun, terdapat kontradiksi pada beberapa studi terkait efektivitas obat dengan kelarutan sangat rendah, yang sering kali membutuhkan tambahan agen peningkat kelarutan atau desain *Push-Pull* yang lebih kompleks. (Zhang et al., 2009) Implikasi klinisnya adalah peningkatan kepatuhan pasien karena pengurangan frekuensi dosis, namun tantangan regulatori dalam hal bioekivalensi (BE) tetap tinggi, terutama untuk produk generik yang harus meniru profil OROS yang dipatenkan. (Childress et al., 2025)

Tantangan dan Prospek Masa Depan

Tantangan utama ke depan adalah integrasi teknologi *3D printing* dalam pembuatan membran osmotik untuk personalisasi dosis. Selain itu, pengembangan membran asimetris yang lebih fleksibel dan penggunaan material biopolimer baru diharapkan dapat menekan biaya produksi. Riset lanjutan perlu difokuskan pada sistem osmotik untuk penghantaran makromolekul seperti peptida dan protein yang rentan terhadap degradasi enzimatik. (Keraliya et al., 2012)

Kesimpulan

Sistem penghantaran pompa osmotik merupakan salah satu teknologi paling canggih dalam farmasi untuk mencapai pelepasan obat yang presisi dan terkendali. Review ini menegaskan bahwa faktor formulasi seperti pemilihan osmogen dan sifat membran sangat menentukan keberhasilan terapi. Signifikansi teknologi ini terletak pada kemampuannya meningkatkan profil farmakokinetik obat-obat kronis, menjadikannya standar emas dalam sistem penghantaran obat oral terkendali.

Daftar Pustaka

1. Almoshari, Y. (2022). Osmotic Pump Drug Delivery Systems—A Comprehensive Review. In *Pharmaceuticals* (Vol. 15, Issue 11). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ph15111430>
2. B, P. P., B, U. K., & B, S. R. (n.d.). A REVIEW: OSMOTIC DRUG DELIVERY SYSTEM. *Pharma Science Monitor*, 9(2), 283–300. <http://www.pharmasm.com>
3. Childress, A. C., AL-Sabbagh, A., & Newcorn, J. H. (2025). Pharmacokinetics and Bioequivalence of a Novel Extended-Release Formulation of Methylphenidate Hydrochloride for Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Clinical Pharmacology in Drug Development*, 14(11), 829–835. <https://doi.org/10.1002/cpdd.1577>
4. Kanagale, P., Lohray, B. B., Misra, A., Davadra, P., & Kini, R. (2007). *Formulation and Optimization of Porous Osmotic Pump-based Controlled Release System of Oxybutynin*. <http://www.aapspharmstech.org>
5. Keraliya, R. A., Patel, C., Patel, P., Keraliya, V., Soni, T. G., Patel, R. C., & Patel, M. M. (2012). Osmotic Drug Delivery System as a Part of Modified Release Dosage Form. *ISRN Pharmaceuticals*, 2012, 1–9. <https://doi.org/10.5402/2012/528079>
6. Matusik, K., Kamińska, K., Janiuk, I., Kasarek, K., Owe-Larsson, M., Dylko, D., & Cudnoch-Jędrzejewska, A. (2025). Elabela Attenuates Doxorubicin-Induced Oxidative DNA Damage and Apoptosis in Rat Left Ventricular Myocardium. *Biomedicines*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/biomedicines13102407>
7. Sahoo, C. K., Sahoo, N. K., Rao, S. R. M., Sudhakar, M., & Satyanarayana, K. (2015). A review on controlled porosity osmotic pump tablets and its evaluation. *Bulletin of Faculty of Pharmacy, Cairo University*, 53(2), 195–205. <https://doi.org/10.1016/j.bfopcu.2015.10.004>
8. Soltani Hekmat, A., Hekmat, M., Ramezanipour, S., & Javanmardi, K. (2025). Protective effects of Alamandine against doxorubicin-induced liver injury in rats. *BMC Pharmacology and Toxicology*, 26(1). <https://doi.org/10.1186/s40360-025-00932-0>
9. Zhang, Z., Peng, B., Yang, X., Wang, C., Sun, G., & Pan, W. (2009). Design and Evaluation of a Novel Floating Osmotic Pump System. In *J Pharm Pharmaceut Sci* (www.cspscCanada.org) (Vol. 12, Issue 1).