

PENERAPAN TEKNOLOGI NANOMEDISIN DALAM PENGOBATAN PENYAKIT KRONIS

Gunawan Widjaja

Fakultas Hukum Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta & Fakultas Kesehatan Masyarakat
Universitas Indonesia

Email: widjaja_gunawan@yahoo.com

Abstract

The application of nanomedicine technology in the treatment of chronic diseases shows a very promising potential to revolutionise conventional therapeutic approaches. Through their ability to improve drug bioavailability, more precise targeting, and controlled drug delivery, nanomedicines open up new opportunities in the management of chronic diseases such as cancer, diabetes, and cardiovascular diseases. The advantages of nanomedicines in overcoming biological barriers, improving drug efficacy, and reducing side effects provide new hope for patients suffering from chronic diseases that have been difficult to treat with conventional methods. However, despite its great potential, the application of nanomedicines still faces significant challenges. Long-term safety issues, complexity in production and regulation, and high development costs are still major barriers to the widespread adoption of this technology. Further research, multidisciplinary collaboration, and the development of a comprehensive regulatory framework are required to overcome these challenges. With continued efforts in overcoming the existing barriers, nanomedicine has the potential to transform the landscape of chronic disease treatment, offering more effective and personalised solutions to millions of patients worldwide.

Keywords: Nanomedicine Technology, Treatment, Chronic Diseases.

Abstrak

Penerapan teknologi nanomedisin dalam pengobatan penyakit kronis menunjukkan potensi yang sangat menjanjikan untuk merevolusi pendekatan terapeutik konvensional. Melalui kemampuannya dalam meningkatkan ketersediaan hayati obat, penargetan yang lebih presisi, dan pengiriman obat yang terkontrol, nanomedisin membuka peluang baru dalam manajemen penyakit kronis seperti kanker, diabetes, dan penyakit kardiovaskular. Keunggulan nanomedisin dalam mengatasi hambatan biologis, meningkatkan efikasi obat, dan mengurangi efek samping memberikan harapan baru bagi pasien yang menderita penyakit kronis yang selama ini sulit diobati dengan metode konvensional. Namun, meskipun potensinya besar, penerapan nanomedisin masih menghadapi berbagai tantangan yang signifikan. Masalah keamanan jangka panjang, kompleksitas dalam produksi dan regulasi, serta biaya pengembangan yang tinggi masih menjadi hambatan utama dalam adopsi luas teknologi ini. Diperlukan penelitian lebih lanjut, kolaborasi multidisiplin, dan pengembangan kerangka regulasi yang komprehensif untuk mengatasi tantangan-tantangan ini. Dengan upaya berkelanjutan dalam mengatasi hambatan yang ada, nanomedisin berpotensi untuk mengubah lanskap pengobatan penyakit kronis, menawarkan solusi yang lebih efektif dan personal bagi jutaan pasien di seluruh dunia.

Kata Kunci: Teknologi Nanomedisin, Pengobatan, Penyakit Kronis.

Pendahuluan

Penyakit kronis telah menjadi salah satu tantangan kesehatan global yang paling signifikan di abad ke-21. World Health Organization (WHO) melaporkan bahwa penyakit kronis seperti penyakit kardiovaskular, kanker, penyakit pernapasan kronis, dan diabetes bertanggung jawab atas 71% kematian global pada tahun 2018. Selain dampak kesehatan yang besar, penyakit kronis juga menyebabkan beban ekonomi yang signifikan bagi individu, keluarga, dan sistem Kesehatan (Ahmad et al., 2023).

Penyakit kronis adalah kondisi kesehatan jangka panjang yang umumnya berkembang secara perlahan dan membutuhkan penanganan atau manajemen berkelanjutan selama bertahun-tahun atau bahkan seumur hidup. Karakteristik utama penyakit kronis meliputi durasi yang panjang, perkembangan yang lambat, dan seringkali tidak dapat disembuhkan secara total (Miyazawa et al., 2021). Penyakit-penyakit ini biasanya memiliki dampak signifikan pada kualitas hidup penderita dan dapat mempengaruhi berbagai aspek kehidupan, termasuk fisik, mental, dan sosial. Contoh umum penyakit kronis meliputi diabetes, penyakit jantung, kanker, penyakit paru-paru obstruktif kronis (PPOK), artritis, dan hipertensi. Pengelolaan penyakit kronis seringkali melibatkan kombinasi pengobatan medis, perubahan gaya hidup, dan perawatan berkelanjutan untuk mengendalikan gejala dan mencegah komplikasi (Wang et al., 2021).

Pengobatan konvensional untuk penyakit kronis seringkali menghadapi berbagai keterbatasan, seperti efektivitas yang terbatas, efek samping yang signifikan, dan sulitnya mencapai target pengobatan secara spesifik. Hal ini mendorong kebutuhan akan pendekatan baru yang lebih efektif dan aman dalam menangani penyakit kronis. Dalam beberapa dekade terakhir, perkembangan pesat di bidang nanoteknologi telah membuka peluang baru dalam dunia kedokteran, khususnya melalui pengembangan nanomedisin. Nanomedisin, yang memanfaatkan material dan perangkat berukuran nanometer untuk diagnosis, pengobatan, dan pencegahan penyakit, menawarkan potensi besar untuk mengatasi berbagai keterbatasan pengobatan konvensional (Zhang et al., 2022).

Teknologi nanomedisin memiliki keunggulan dalam hal; Pengiriman obat yang ditargetkan (*targeted drug delivery*), Pelepasan obat yang terkontrol (*controlled release*), Peningkatan bioavailabilitas obat dan Kemampuan menembus *barrier biologis*. Keunggulan-keunggulan ini membuat nanomedisin menjadi pendekatan yang menjanjikan dalam pengobatan penyakit kronis. Beberapa studi awal telah menunjukkan potensi nanomedisin dalam meningkatkan efektivitas pengobatan kanker, penyakit kardiovaskular, diabetes, dan penyakit neurodegenerative (Taneja et al., 2021). Namun, meskipun potensinya besar, penerapan nanomedisin dalam pengobatan penyakit kronis masih menghadapi berbagai tantangan. Aspek keamanan dan toksisitas jangka panjang dari nanomaterial masih perlu diteliti lebih lanjut. Selain itu, regulasi dan standarisasi nanomedisin, serta biaya pengembangan dan produksi

yang tinggi, menjadi hambatan dalam adopsi teknologi ini secara luas (Paudel et al., 2022).

Maka dengan itu, Mengingat potensi dan tantangan yang ada, penting untuk melakukan kajian komprehensif tentang penerapan teknologi nanomedisin dalam pengobatan penyakit kronis.

Metode Penelitian

Kajian pada penelitian ini menggunakan metode literatur. Metode penelitian literatur, juga dikenal sebagai studi kepustakaan atau literature review, adalah sebuah metode penelitian yang berfokus pada analisis dan sintesis informasi dari berbagai sumber literatur yang sudah ada (Syahrani, 2020); (Sahar, 2008).

Hasil dan Pembahasan

Aplikasi Nanomedisin dalam Pengobatan Penyakit Kronis

Nanomedisin adalah sebuah cabang interdisipliner yang menggabungkan nanoteknologi dengan ilmu kedokteran, bertujuan untuk meningkatkan diagnosis, pencegahan, dan pengobatan penyakit pada tingkat molekuler dan seluler. Bidang ini memanfaatkan material dan perangkat berukuran nanometer (biasanya antara 1-100 nm) untuk mengembangkan metode diagnostik yang lebih sensitif, sistem penghantaran obat yang lebih efisien, dan terapi yang lebih tepat sasaran (Caturano et al., 2024). Nanomedisin memungkinkan interaksi yang lebih presisi dengan sel dan jaringan, meningkatkan bioavailabilitas obat, mengurangi efek samping, dan berpotensi menghasilkan pendekatan pengobatan yang lebih personal dan efektif. Dengan memanfaatkan sifat unik material pada skala nano, nanomedisin membuka peluang baru dalam pemahaman dan penanganan berbagai kondisi medis, mulai dari kanker hingga penyakit neurodegenerative (Dash & Kundu, 2023).

Prinsip kerja nanomedisin didasarkan pada manipulasi material pada skala nanometer untuk berinteraksi dengan sistem biologis pada tingkat molekuler. Nanopartikel, yang merupakan komponen utama nanomedisin, dirancang untuk memiliki sifat fisikokimia khusus yang memungkinkan mereka melewati penghalang biologis, menargetkan sel atau jaringan spesifik, dan melepaskan muatan terapeutik secara terkontrol. Prinsip ini memanfaatkan fenomena unik yang muncul pada skala nano, seperti peningkatan luas permukaan terhadap volume, yang memungkinkan interaksi yang lebih efisien dengan biomolekul (Scarpa et al., 2024). Nanomedisin juga menggunakan prinsip "targeting" aktif atau pasif untuk mengarahkan nanopartikel ke lokasi yang diinginkan dalam tubuh, meningkatkan efektivitas pengobatan sambil mengurangi efek samping. Selain itu, nanomedisin memanfaatkan sifat responsif stimulus dari beberapa nanomaterial untuk menciptakan sistem penghantaran obat yang cerdas, yang dapat melepaskan muatannya sebagai respons terhadap perubahan lingkungan spesifik seperti pH, suhu, atau medan magnet (Ou et al., 2021).

Nanomedisin telah menunjukkan potensi yang besar dalam pengobatan berbagai penyakit kronis, memberikan pendekatan yang lebih efektif dan personal dibandingkan dengan metode pengobatan konvensional. Salah satu aplikasi utama nanomedisin dalam pengobatan penyakit kronis adalah pada terapi kanker. Nanopartikel dapat dirancang untuk menargetkan sel kanker secara spesifik, membawa obat kemoterapi langsung ke tumor, dan melepaskannya secara terkontrol. Ini tidak hanya meningkatkan efektivitas pengobatan tetapi juga mengurangi efek samping yang sering dialami dalam kemoterapi tradisional (Hou et al., 2022). Selain itu, nanopartikel dapat digunakan untuk terapi fotodinamik dan termal, di mana mereka diaktifkan oleh cahaya atau panas untuk menghancurkan sel kanker secara selektif.

Dalam pengobatan penyakit kardiovaskular, nanomedisin menawarkan solusi inovatif untuk masalah yang sudah lama ada. Nanopartikel dapat dirancang untuk menargetkan plak aterosklerosis, membantu dalam diagnosis dini, dan bahkan membantu dalam pembersihan plak. Stent yang dilapisi nanopartikel dapat melepaskan obat secara bertahap untuk mencegah restenosis setelah angioplasti. Nanomedisin juga memungkinkan pengembangan terapi gen yang lebih efektif untuk penyakit jantung bawaan, dengan nanopartikel bertindak sebagai vektor yang aman dan efisien untuk pengiriman gen (Haleem et al., 2023).

Pada penyakit neurodegeneratif seperti Alzheimer dan Parkinson, nanomedisin membuka jalan baru untuk diagnosis dan pengobatan. Nanopartikel dapat dirancang untuk melewati sawar darah-otak, membawa obat atau agen diagnostik ke dalam sistem saraf pusat dengan efisiensi yang belum pernah terjadi sebelumnya. Ini memungkinkan deteksi dini tanda-tanda penyakit dan pengiriman terapi yang lebih efektif. Nanomedisin juga menjanjikan dalam pengembangan strategi neuroprotektif, dengan nanopartikel yang dapat menghantarkan faktor pertumbuhan atau antioksidan secara tepat ke neuron yang terkena dampak, potensial memperlambat atau bahkan menghentikan perkembangan penyakit (Jia et al., 2023).

Selain aplikasi dalam pengobatan kanker, penyakit kardiovaskular, dan gangguan neurodegeneratif, nanomedisin juga menunjukkan potensi yang menjanjikan dalam penanganan penyakit kronis lainnya. Dalam pengobatan diabetes, nanopartikel sedang dikembangkan untuk penghantaran insulin yang lebih efisien dan terkontrol, serta untuk pemantauan kadar glukosa darah secara real-time. Sistem penghantaran obat berbasis nano juga sedang diteliti untuk meningkatkan efektivitas terapi dalam penyakit autoimun seperti rheumatoid arthritis dan multiple sclerosis, dengan kemampuan untuk menargetkan sel-sel imun spesifik dan mengurangi peradangan sistemik (Fu et al., 2023).

Nanomedisin juga membuka peluang baru dalam pengobatan penyakit infeksi kronis, seperti HIV/AIDS dan hepatitis. Nanopartikel dapat digunakan untuk meningkatkan bioavailabilitas obat antiretroviral, memungkinkan pengurangan dosis dan frekuensi pemberian obat. Selain itu, nanomaterial sedang dieksplorasi sebagai

agen antimikroba baru yang dapat mengatasi resistensi antibiotik, sebuah masalah global yang semakin mendesak (Zinger et al., 2021).

Meskipun nanomedisin menawarkan banyak keuntungan, ada beberapa tantangan yang perlu diatasi sebelum dapat sepenuhnya diintegrasikan ke dalam praktik klinis. Keamanan jangka panjang dari nanopartikel dalam tubuh manusia masih perlu dipelajari lebih lanjut. Selain itu, biaya produksi yang tinggi dan kompleksitas dalam pembuatan skala besar nanopartikel merupakan hambatan signifikan untuk adopsi luas. Regulasi dan standarisasi nanomedisin juga merupakan area yang memerlukan perhatian khusus untuk memastikan keamanan dan efektivitasnya (Nirmala et al., 2023).

Dengan demikian, Nanomedisin menawarkan pendekatan revolusioner dalam pengobatan penyakit kronis, dengan potensi untuk meningkatkan efektivitas terapi, mengurangi efek samping, dan memungkinkan pengobatan yang lebih personal. Dari kanker hingga penyakit neurodegeneratif, dari gangguan kardiovaskular hingga diabetes, nanomedisin membuka jalan baru untuk diagnosis dini, pengobatan yang ditargetkan, dan bahkan pencegahan penyakit. Meskipun masih ada tantangan yang perlu diatasi, kemajuan dalam penelitian dan pengembangan nanomedisin terus mendorong inovasi dalam perawatan kesehatan. Dengan terus berkembangnya teknologi ini, kita dapat mengantisipasi perubahan signifikan dalam cara kita mendiagnosis, mengobati, dan mengelola penyakit kronis di masa depan, membawa harapan baru bagi jutaan pasien di seluruh dunia.

Mekanisme Kerja Nanomedisin dalam Pengobatan Penyakit Kronis

Nanomedisin bekerja melalui beberapa mekanisme utama dalam pengobatan penyakit kronis. Pertama, nanopartikel dapat didesain untuk menargetkan sel atau jaringan spesifik dengan tingkat presisi yang tinggi. Mereka dapat dilengkapi dengan ligan atau antibodi yang mengenali dan berikatan dengan reseptor tertentu pada permukaan sel target. Misalnya, dalam terapi kanker, nanopartikel dapat dirancang untuk secara selektif menargetkan sel-sel tumor berdasarkan penanda molekuler yang unik pada permukaan sel kanker. Hal ini memungkinkan pengiriman obat yang lebih efisien dan mengurangi efek samping pada jaringan sehat (López-Goerne et al., 2022).

Kedua, nanomedisin dapat meningkatkan bioavailabilitas dan kelarutan obat. Banyak obat konvensional memiliki kelarutan yang buruk dalam air, yang membatasi efektivitasnya. Nanopartikel dapat digunakan sebagai pembawa obat, melindungi senyawa aktif dari degradasi dan meningkatkan penyerapannya di dalam tubuh. Sistem penghantaran obat berbasis nano juga dapat dirancang untuk melepaskan obat secara terkontrol selama periode waktu tertentu, mempertahankan konsentrasi terapeutik obat dalam rentang yang optimal dan mengurangi frekuensi pemberian dosis (Zheng et al., 2021).

Ketiga, nanomedisin memungkinkan pendekatan terapi yang lebih komprehensif dan multimodal. Nanopartikel dapat dirancang untuk melakukan beberapa fungsi sekaligus, seperti menggabungkan kemampuan diagnostik dan terapeutik dalam satu platform (theranostics). Misalnya, nanopartikel magnetik dapat digunakan untuk pencitraan MRI sekaligus sebagai pembawa obat yang dapat diaktifkan oleh medan magnet eksternal. Selain itu, nanomedisin juga memungkinkan kombinasi berbagai modalitas pengobatan, seperti kemoterapi dan terapi gen, dalam satu sistem penghantaran, meningkatkan efektivitas pengobatan secara keseluruhan (Hesari et al., 2021).

Selanjutnya, nanomedisin juga berperan penting dalam mengatasi resistensi obat, yang sering menjadi tantangan dalam pengobatan penyakit kronis. Nanopartikel dapat didesain untuk menghindari mekanisme resistensi sel, seperti pompa efluks yang biasanya mengeluarkan obat dari sel. Dengan memodifikasi cara obat memasuki sel dan berinteraksi dengan targetnya, nanomedisin dapat meningkatkan efektivitas pengobatan pada pasien yang telah mengalami resistensi terhadap terapi konvensional. Selain itu, nanoteknologi memungkinkan pengembangan sistem deteksi dini yang sangat sensitif, membantu diagnosis penyakit kronis pada tahap awal ketika pengobatan cenderung lebih efektif (Chen et al., 2021).

Peran nanomedisin dalam imunoterapi juga semakin berkembang. Nanopartikel dapat digunakan untuk memodulasi respons imun, baik untuk meningkatkan respons imun melawan sel kanker atau untuk menekan respons imun yang berlebihan dalam penyakit autoimun. Misalnya, nanovaksin dapat dirancang untuk mengantarkan antigen spesifik ke sel-sel imun, menginduksi respons imun yang kuat dan terfokus. Dalam konteks penyakit neurodegeneratif seperti Alzheimer, nanopartikel dapat dirancang untuk melewati sawar darah-otak, membuka peluang baru untuk pengobatan yang sebelumnya sulit dicapai dengan metode konvensional (Wahab et al., 2021).

Dengan demikian, Nanomedisin menawarkan pendekatan revolusioner dalam pengobatan penyakit kronis dengan memanfaatkan keunikan sifat material pada skala nano. Melalui targeting spesifik, peningkatan bioavailabilitas obat, sistem penghantaran terkontrol, dan kemampuan multimodal, nanomedisin membuka peluang untuk terapi yang lebih efektif dan personal. Kemampuannya dalam mengatasi hambatan biologis, resistensi obat, dan modulasi sistem imun memberikan harapan baru bagi pasien dengan penyakit kronis yang sulit diobati. Meskipun masih ada tantangan dalam hal keamanan jangka panjang dan produksi skala besar, potensi nanomedisin dalam mentransformasi pengobatan penyakit kronis sangat menjanjikan. Dengan terus berkembangnya penelitian dan inovasi di bidang ini, nanomedisin diharapkan dapat secara signifikan meningkatkan kualitas hidup pasien dan efektivitas pengobatan penyakit kronis di masa depan.

Tantangan dan Keterbatasan Penerapan Nanomedisin

Salah satu tantangan utama dalam penerapan nanomedisin adalah kurangnya pemahaman menyeluruh tentang efek jangka panjang nanopartikel pada tubuh manusia. Meskipun banyak studi menunjukkan potensi besar nanomedisin, masih ada kekhawatiran tentang kemungkinan toksisitas yang belum teridentifikasi. Nanopartikel memiliki sifat unik yang memungkinkan mereka melewati barrier biologis dengan mudah, namun sifat ini juga dapat menyebabkan akumulasi yang tidak diinginkan di organ-organ tertentu. Selain itu, interaksi kompleks antara nanopartikel dengan sistem biologis, termasuk potensi gangguan pada fungsi seluler dan respons imun, masih memerlukan penelitian lebih lanjut untuk memastikan keamanan penggunaan jangka Panjang (Nelson et al., 2021).

Memproduksi nanopartikel dengan kualitas konsisten dan dalam skala besar merupakan tantangan teknis yang signifikan. Variasi kecil dalam proses produksi dapat menghasilkan perbedaan besar dalam sifat dan perilaku nanopartikel, yang dapat mempengaruhi efektivitas dan keamanannya. Selain itu, regulasi nanomedisin masih dalam tahap perkembangan (Malik et al., 2023). Badan regulasi di seluruh dunia masih berusaha untuk menetapkan standar dan protokol yang tepat untuk mengevaluasi keamanan dan efektivitas produk nanomedisin. Kurangnya kerangka regulasi yang jelas dan seragam dapat menghambat proses pengembangan dan persetujuan produk nanomedisin baru, yang pada gilirannya dapat memperlambat adopsi teknologi ini dalam praktik klinis (Anjum et al., 2021).

Pengembangan dan produksi nanomedisin sering kali melibatkan teknologi canggih dan mahal, yang dapat mengakibatkan biaya tinggi untuk produk akhir. Hal ini dapat membatasi aksesibilitas nanomedisin, terutama di negara-negara berkembang atau untuk populasi dengan sumber daya terbatas. Selain itu, infrastruktur dan keahlian khusus yang diperlukan untuk mengelola dan mengadministrasikan terapi nanomedisin mungkin tidak tersedia secara luas, lebih jauh membatasi aksesibilitasnya. Tantangan lain termasuk kemungkinan adanya kesenjangan dalam perawatan kesehatan, di mana hanya sebagian kecil populasi yang memiliki akses ke teknologi nanomedisin yang canggih ini. Mengatasi masalah biaya dan aksesibilitas ini akan menjadi kunci untuk memastikan bahwa manfaat nanomedisin dapat dirasakan secara luas oleh Masyarakat (Khiev et al., 2021).

Salah satu tantangan besar dalam pengembangan nanomedisin adalah kompleksitas sistem biologis manusia. Meskipun nanopartikel dapat dirancang dengan presisi tinggi di laboratorium, perilaku mereka dalam tubuh manusia yang kompleks dan dinamis sering kali sulit diprediksi. Interaksi antara nanopartikel dengan protein, sel, dan jaringan dapat mengubah sifat dan fungsi nanopartikel, mempengaruhi distribusi, efektivitas, dan eliminasinya dari tubuh. Selain itu, variasi individu dalam fisiologi dan patologi pasien dapat mempengaruhi respons terhadap nanomedisin, membuat pendekatan "one-size-fits-all" menjadi kurang efektif (Sun et al., 2022).

Meskipun nanomedisin menawarkan potensi besar untuk diagnosis dan pengobatan yang lebih tepat, keterbatasan dalam teknologi pencitraan dan deteksi saat ini dapat menghambat pemanfaatannya. Visualisasi dan pelacakan nanopartikel dalam tubuh secara real-time masih merupakan tantangan teknis. Hal ini dapat membatasi kemampuan para klinisi untuk memantau distribusi dan efektivitas nanomedisin secara akurat, yang penting untuk optimalisasi dosis dan penilaian respons pengobatan (Dash & Kundu, 2023).

Penerapan nanomedisin juga memunculkan berbagai pertanyaan etis dan sosial. Misalnya, penggunaan nanopartikel untuk meningkatkan fungsi kognitif atau fisik manusia (human enhancement) dapat menimbulkan perdebatan etis tentang batas-batas intervensi medis. Ada juga kekhawatiran tentang potensi penyalahgunaan teknologi nanomedisin, seperti untuk pengawasan atau manipulasi genetik yang tidak etis. Selain itu, kesenjangan akses terhadap teknologi canggih ini dapat memperburuk ketidaksetaraan dalam perawatan kesehatan, menimbulkan pertanyaan tentang keadilan dan distribusi sumber daya medis (Rhaman et al., 2022).

Dengan demikian, Nanomedisin menawarkan potensi revolusioner dalam diagnosis, pengobatan, dan pencegahan penyakit. Namun, penerapannya menghadapi berbagai tantangan dan keterbatasan yang signifikan. Keamanan jangka panjang, kompleksitas produksi dan regulasi, biaya tinggi, serta keterbatasan teknologi pendukung merupakan hambatan utama yang perlu diatasi. Selain itu, kompleksitas sistem biologis manusia dan pertimbangan etis menambah lapisan kerumitan dalam pengembangan dan penerapan nanomedisin.

Untuk mengatasi tantangan-tantangan ini, diperlukan pendekatan multidisiplin yang melibatkan kolaborasi antara peneliti, klinisi, industri, pembuat kebijakan, dan etikawan. Penelitian berkelanjutan untuk memahami interaksi nanopartikel dengan sistem biologis, pengembangan metode produksi yang lebih efisien dan terstandarisasi, serta penyusunan kerangka regulasi yang komprehensif akan menjadi kunci dalam memajukan bidang nanomedisin.

Meskipun tantangan-tantangan ini signifikan, potensi nanomedisin untuk merevolusi perawatan kesehatan tetap sangat menjanjikan. Dengan upaya kolaboratif dan investasi berkelanjutan dalam penelitian dan pengembangan, nanomedisin dapat membuka jalan bagi era baru dalam pengobatan yang lebih presisi, efektif, dan personal, yang pada akhirnya akan meningkatkan kualitas hidup pasien di seluruh dunia.

Kesimpulan

Nanomedisin merupakan terobosan penting dalam dunia kedokteran modern yang menawarkan potensi besar untuk pengobatan penyakit kronis. Dengan memanfaatkan partikel berukuran nano, teknologi ini memungkinkan pengiriman obat yang lebih tepat sasaran, efektif, dan efisien ke sel-sel tubuh yang sakit. Nanomedisin juga membuka peluang untuk pengembangan metode diagnostik yang lebih akurat

serta terapi yang lebih personal dan minim efek samping. Hal ini memberikan harapan baru bagi penderita penyakit kronis yang selama ini sulit ditangani dengan metode pengobatan konvensional.

Meskipun demikian, penerapan nanomedisin dalam skala luas masih menghadapi beberapa tantangan, seperti keamanan jangka panjang, biaya produksi yang tinggi, serta isu etika dan regulasi. Diperlukan penelitian lebih lanjut serta kolaborasi antara ilmuwan, praktisi medis, dan pembuat kebijakan untuk mengoptimalkan potensi nanomedisin. Dengan terus berkembangnya teknologi ini, diharapkan di masa depan nanomedisin dapat menjadi solusi utama dalam penanganan berbagai penyakit kronis, meningkatkan kualitas hidup pasien, dan merevolusi cara kita memahami dan mengobati penyakit.

Daftar Rujukan

- Ahmad, J., Garg, A., Mustafa, G., Mohammed, A., & ... (2023). 3D printing technology as a promising tool to design nanomedicine-based solid dosage forms: Contemporary research and future scope. *Pharmaceutics*, Query date: 2024-10-20 16:28:14. <https://www.mdpi.com/1999-4923/15/5/1448>
- Anjum, S., Ishaque, S., Fatima, H., Farooq, W., Hano, C., & ... (2021). Emerging applications of nanotechnology in healthcare systems: Grand challenges and perspectives. *Pharmaceutics*, Query date: 2024-10-20 16:28:14. <https://www.mdpi.com/1424-8247/14/8/707>
- Caturano, A., Nilo, R., Nilo, D., Russo, V., Santonastaso, E., & ... (2024). Advances in Nanomedicine for Precision Insulin Delivery. *Pharmaceutics*, Query date: 2024-10-20 16:28:14. <https://www.mdpi.com/1424-8247/17/7/945>
- Chen, F., Liu, Q., Xiong, Y., & Xu, L. (2021). Current strategies and potential prospects of nanomedicine-mediated therapy in inflammatory bowel disease. ... *Journal of Nanomedicine*, Query date: 2024-10-20 16:28:14. <https://doi.org/10.2147/IJN.S310952>
- Dash, S., & Kundu, C. (2023). Advances in nanomedicine for the treatment of infectious diseases caused by viruses. *Biomaterials Science*, Query date: 2024-10-20 16:28:14. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2023/bm/d2bm02066a>
- Fu, Q., Yu, L., Wang, Y., Li, P., & Song, J. (2023). Biomarker-responsive nanosystems for chronic disease theranostics. *Advanced Functional ...*, Query date: 2024-10-20 16:28:14. <https://doi.org/10.1002/adfm.202206300>
- Haleem, A., Javaid, M., Singh, R., Rab, S., & Suman, R. (2023). Applications of nanotechnology in medical field: A brief review. *Global Health Journal*, Query date: 2024-10-20 16:28:14. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2414644723000337>
- Hesari, M., Mohammadi, P., Khademi, F., & ... (2021). Current advances in the use of nanophytomedicine therapies for human cardiovascular diseases. ... *Journal of Nanomedicine*, Query date: 2024-10-20 16:28:14. <https://doi.org/10.2147/IJN.S295508>

- Hou, S., Hasnat, M., Chen, Z., Liu, Y., & ... (2022). Application perspectives of nanomedicine in cancer treatment. *Frontiers in ...*, Query date: 2024-10-20 16:28:14. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.909526>
- Jia, Y., Jiang, Y., He, Y., Zhang, W., Zou, J., Magar, K., & ... (2023). Approved nanomedicine against diseases. *Pharmaceutics*, Query date: 2024-10-20 16:28:14. <https://www.mdpi.com/1999-4923/15/3/774>
- Khiev, D., Mohamed, Z., Vichare, R., Paulson, R., Bhatia, S., & ... (2021). Emerging nano-formulations and nanomedicines applications for ocular drug delivery. *Nanomaterials*, Query date: 2024-10-20 16:28:14. <https://www.mdpi.com/2079-4991/11/1/173>
- López-Goerne, T., Padilla-Godínez, F., & ... (2022). Catalytic nanomedicine: A brief review of bionanocatalysts. ..., Query date: 2024-10-20 16:28:14. <https://doi.org/10.2217/nnm-2022-0027>
- Malik, S., Muhammad, K., & Waheed, Y. (2023). Emerging applications of nanotechnology in healthcare and medicine. *Molecules*, Query date: 2024-10-20 16:28:14. <https://www.mdpi.com/1420-3049/28/18/6624>
- Miyazawa, T., Itaya, M., Burdeos, G., & ... (2021). A critical review of the use of surfactant-coated nanoparticles in nanomedicine and food nanotechnology. ... of *Nanomedicine*, Query date: 2024-10-20 16:28:14. <https://doi.org/10.2147/IJN.S298606>
- Nelson, K., Hoffman, M., Gleghorn, J., & ... (2021). Diseases and conditions that impact maternal and fetal health and the potential for nanomedicine therapies. *Advanced Drug Delivery ...*, Query date: 2024-10-20 16:28:14. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169409X2030137X>
- Nirmala, M., Kizhuveetil, U., Johnson, A., Balaji, G., & ... (2023). Cancer nanomedicine: A review of nano-therapeutics and challenges ahead. *RSC ...*, Query date: 2024-10-20 16:28:14. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2023/ra/d2ra07863e>
- Ou, L., Zhong, S., Ou, J., & Tian, J. (2021). Application of targeted therapy strategies with nanomedicine delivery for atherosclerosis. *Acta Pharmacologica Sinica*, Query date: 2024-10-20 16:28:14. <https://www.nature.com/articles/s41401-020-0436-0>
- Paudel, K., Mehta, M., Shukla, S., Panth, N., & ... (2022). Advancements in nanotherapeutics targeting senescence in chronic obstructive pulmonary disease. ..., Query date: 2024-10-20 16:28:14. <https://doi.org/10.2217/nnm-2021-0373>
- Rhaman, M., Islam, M., Akash, S., Mim, M., & ... (2022). Exploring the role of nanomedicines for the therapeutic approach of central nervous system dysfunction: At a glance. *Frontiers in Cell and ...*, Query date: 2024-10-20 16:28:14. <https://doi.org/10.3389/fcell.2022.989471>
- Sahar, J. (2008). Kritik Pada Penelitian Kualitatif. *Jurnal Keperawatan Indonesia*, 12(3), 197–203. <https://doi.org/10.7454/jki.v12i3.222>
- Scarpa, E., Antonelli, A., Balercia, G., Sabatelli, S., & ... (2024). Antioxidant, anti-inflammatory, anti-diabetic, and pro-osteogenic activities of polyphenols for the treatment of two different chronic diseases: Type 2 diabetes *Biomolecules*, Query date: 2024-10-20 16:28:14. <https://www.mdpi.com/2218-273X/14/7/836>
- Sun, M., Ban, W., Ling, H., Yu, X., He, Z., Jiang, Q., & ... (2022). Emerging nanomedicine and prodrug delivery strategies for the treatment of inflammatory bowel

- disease. *Chinese Chemical ...*, Query date: 2024-10-20 16:28:14.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1001841722002674>
- Syahrar, M. (2020). Membangun Kepercayaan Data dalam Penelitian Kualitatif. *PRIMARY EDUCATION JOURNAL (PEJ)*, 4(2), 19–23.
<https://doi.org/10.30631/pej.v4i2.72>
- Taneja, P., Sharma, S., Sinha, V., & Yadav, A. (2021). Advancement of nanoscience in development of conjugated drugs for enhanced disease prevention. *Life Sciences*, Query date: 2024-10-20 16:28:14.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002432052031612X>
- Wahab, S., Alshahrani, M., Ahmad, M., & ... (2021). Current trends and future perspectives of nanomedicine for the management of colon cancer. *European Journal of ...*, Query date: 2024-10-20 16:28:14.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001429992100618X>
- Wang, Y., Wang, C., Li, K., Song, X., Yan, X., Yu, L., & ... (2021). Recent advances of nanomedicine-based strategies in diabetes and complications management: Diagnostics, monitoring, and therapeutics. *Journal of Controlled ...*, Query date: 2024-10-20 16:28:14.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168365921000043>
- Zhang, Z., Dalan, R., Hu, Z., Wang, J., & ... (2022). Reactive oxygen species scavenging nanomedicine for the treatment of ischemic heart disease. *Advanced ...*, Query date: 2024-10-20 16:28:14. <https://doi.org/10.1002/adma.202202169>
- Zheng, C., Li, M., & Ding, J. (2021). Challenges and opportunities of nanomedicines in clinical translation. *Bio Integration*, Query date: 2024-10-20 16:28:14.
https://www.scienceopen.com/document_file/55da6748-120a-429a-b2de-96f460117045/ScienceOpen/bioi20210016.pdf
- Zinger, A., Cooke, J., & Taraballi, F. (2021). Biomimetic nano drug delivery carriers for treating cardiovascular diseases. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology ...*, Query date: 2024-10-20 16:28:14.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1549963421000034>