



Inovasi Terbaru dalam Terapi Gen, Terapi Berbasis Sel, dan Pengembangan Obat Anti Kanker dari Bahan Alam

Muthiya Amalia^{1*}, Ardi Mustakim²

¹⁻²Universitas Adiwangsa Jambi, Indonesia

Alamat: Jl. Sarsan Muslim No. RT 24, Thehok, Kec. Jambi Selatan, Kota Jambi

Korespondensi penulis: tia087082@gmail.com*

Abstract. *Cancer therapy has undergone remarkable advancements in recent decades, driven by innovations in gene therapy, cell-based therapy, and the development of anti-cancer drugs from natural products. Gene therapy offers the possibility of correcting genetic mutations that cause cancer, while cell-based therapies, such as CAR-T cell therapy, provide personalized and effective solutions. Additionally, the exploration of natural compounds continues to be a promising approach in anti-cancer drug development. This paper discusses recent progress in these three fields, highlighting their potential, challenges, and implications for future clinical applications.*

Keywords: *anti-cancer drugs, cancer treatment innovations, CAR-T, cell-based therapy, Gene therapy, natural products*

Abstrak. Terapi kanker telah mengalami kemajuan luar biasa dalam beberapa dekade terakhir, terutama melalui inovasi dalam terapi gen, terapi berbasis sel, dan pengembangan obat dari bahan alam. Terapi gen memberikan peluang untuk memperbaiki mutasi genetik yang menjadi penyebab kanker, sementara terapi berbasis sel, seperti terapi sel CAR-T, memberikan solusi personalisasi yang lebih efektif. Selain itu, eksplorasi bahan alam terus menjadi pendekatan yang menjanjikan dalam pengembangan obat anti kanker. Artikel ini membahas perkembangan terkini dalam tiga bidang tersebut, termasuk tantangan dan potensi untuk aplikasi klinis di masa depan.

Kata kunci: obat anti kanker, inovasi pengobatan kanker, CAR-T, terapi berbasis sel, Terapi gen, produk alami

1. LATAR BELAKANG

Kanker adalah salah satu penyakit dengan angka kematian tertinggi di dunia, menyebabkan jutaan kematian setiap tahunnya. Metode konvensional seperti kemoterapi dan radioterapi sering kali memiliki efek samping yang signifikan, sehingga mendorong pengembangan pendekatan terapeutik baru. Dalam dekade terakhir, tiga inovasi utama telah muncul sebagai alternatif yang menjanjikan: terapi gen, terapi berbasis sel, dan obat anti kanker berbasis bahan alam. Artikel ini mengeksplorasi masing-masing pendekatan, menyoroti kemajuan terbaru dan implikasinya dalam pengobatan kanker.

Pendekatan konvensional seperti kemoterapi, radioterapi, dan pembedahan telah menjadi metode utama dalam pengobatan kanker selama beberapa dekade. Namun, metode ini sering kali disertai efek samping yang signifikan, termasuk kerusakan pada sel sehat, rasa sakit, dan kualitas hidup yang menurun bagi pasien. Oleh karena itu, para peneliti dan ilmuwan terus mencari solusi yang lebih efektif, spesifik, dan aman. Pendekatan konvensional seperti kemoterapi, radioterapi, dan pembedahan telah menjadi metode utama dalam pengobatan kanker selama beberapa dekade. Namun, metode ini sering kali disertai efek samping yang

signifikan, termasuk kerusakan pada sel sehat, rasa sakit, dan kualitas hidup yang menurun bagi pasien. Oleh karena itu, para peneliti dan ilmuwan terus mencari solusi yang lebih efektif, spesifik, dan aman.

Dalam dekade terakhir, kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi telah membuka peluang baru dalam pengobatan kanker. Tiga pendekatan inovatif yang menonjol adalah , Terapi Gen: Menggunakan teknologi seperti CRISPR-Cas9 untuk memodifikasi gen yang bertanggung jawab atas perkembangan kanker, Terapi Gen: Menggunakan teknologi seperti CRISPR-Cas9 untuk memodifikasi gen yang bertanggung jawab atas perkembangan kanker.

2. KAJIAN TEORITIS

1. Terapi Gen dalam Pengobatan Kanker

Terapi gen melibatkan modifikasi material genetik untuk mengobati atau mencegah penyakit. Dalam konteks kanker, inovasi terapi gen mencakup:

- CRISPR-Cas9: Teknologi penyuntingan gen ini memungkinkan identifikasi dan penghapusan mutasi genetik yang menjadi pemicu kanker. Misalnya, gen p53 yang bermutasi dapat diperbaiki untuk mengembalikan fungsi normalnya.
- Terapi Berbasis RNA: Molekul RNA, seperti siRNA dan miRNA, digunakan untuk menghambat ekspresi gen penyebab kanker.
- Vektor Virus: Virus seperti lentivirus dan adenovirus digunakan untuk membawa gen terapeutik ke dalam sel target.
- Terapi gen menawarkan pendekatan yang sangat spesifik, tetapi tantangan seperti keamanan dan efisiensi pengiriman gen masih menjadi perhatian utama.

2. Terapi Berbasis Sel: CAR-T dan Beyond

Terapi berbasis sel, khususnya terapi CAR-T (Chimeric Antigen Receptor T-cell), telah merevolusi pengobatan kanker hematologi. Sel T pasien direkayasa secara genetik untuk mengenali antigen spesifik pada sel kanker. Keberhasilan terapi CAR-T dalam pengobatan leukemia dan limfoma telah mendorong penelitian lebih lanjut untuk aplikasi pada kanker padat.

Inovasi Terkini:

- Modifikasi sel T untuk meningkatkan kemampuan bertahan dalam lingkungan tumor yang immunosupresif.
- Penggunaan Natural Killer (NK) cells sebagai alternatif yang lebih aman dibandingkan sel T.

- Meski menjanjikan, terapi berbasis sel masih menghadapi tantangan biaya yang tinggi dan risiko efek samping seperti cytokine release syndrome.

3. Pengembangan Obat Anti Kanker dari Bahan Alam

Bahan alam telah menjadi sumber utama pengembangan obat anti kanker, seperti paclitaxel dari pohon *Taxus brevifolia* dan vincristine dari tanaman *Catharanthus roseus*.

Kemajuan terbaru mencakup:

- Ekstraksi Senyawa Bioaktif: Penelitian menunjukkan bahwa senyawa seperti flavonoid, alkaloid, dan terpenoid memiliki aktivitas anti kanker yang signifikan.
- Nanoteknologi: Digunakan untuk meningkatkan bioavailabilitas dan efisiensi obat berbasis bahan alam. Pemanfaatan Mikroorganisme: Mikroorganisme laut dan tanah dieksplorasi sebagai sumber senyawa baru dengan potensi anti kanker.
- Contoh studi terbaru mencakup penggunaan senyawa curcumin dari kunyit untuk menghambat proliferasi sel kanker prostat dan efek anti angiogenik dari resveratrol pada kanker payudara.

4. Sinergi Antara Tiga Pendekatan

Integrasi terapi gen, terapi berbasis sel, dan obat berbahan alam menawarkan pendekatan holistik untuk pengobatan kanker. Misalnya, terapi gen dapat digunakan untuk meningkatkan efektivitas sel CAR-T, sementara obat berbasis bahan alam dapat mengurangi efek samping dan meningkatkan respons imun.

- Tantangan dan Prospek Masa Depan
- Meskipun menjanjikan, beberapa tantangan utama masih perlu diatasi, seperti: Biaya tinggi yang membatasi aksesibilitas pasien.
- Kompleksitas regulasi dan pengujian klinis.
- Resistansi kanker terhadap terapi tertentu.
- Namun, kemajuan teknologi seperti machine learning untuk skrining obat dan pengembangan terapi kombinasi menunjukkan potensi besar untuk masa depan.
- Inovasi dalam terapi gen, terapi berbasis sel, dan pengembangan obat anti kanker dari bahan alam menawarkan pendekatan baru yang dapat mengubah paradigma pengobatan kanker. Masing-masing pendekatan memiliki karakteristik unik, keunggulan, dan tantangan tersendiri.

Berikut adalah pembahasan mendalam mengenai kemajuan terkini di masing-masing bidang.

1. Terapi Gen dalam Pengobatan Kanker

Terapi gen telah menjadi salah satu pendekatan yang paling menjanjikan dalam pengobatan kanker karena kemampuannya untuk menargetkan akar masalah genetik. Perkembangan teknologi mutakhir seperti CRISPR-Cas9, terapi RNA, dan vektor virus telah memperluas aplikasi terapi gen.

a. Teknologi CRISPR-Cas9

Teknologi CRISPR-Cas9 memungkinkan penyuntingan gen dengan presisi tinggi, menjadikannya alat yang efektif untuk memperbaiki mutasi genetik yang menjadi penyebab kanker. Sebagai contoh, mutasi gen p53 yang menyebabkan hilangnya fungsi tumor-suppressor dapat diperbaiki dengan teknologi ini. Selain itu, CRISPR juga digunakan untuk mematikan gen yang memicu resistansi obat kanker. Namun, teknologi ini menghadapi tantangan, seperti risiko penyuntingan off-target yang dapat memicu mutasi tidak diinginkan.

b. RNA Interference (RNAi)

RNA interference, seperti small interfering RNA (siRNA) dan microRNA (miRNA), digunakan untuk menghambat ekspresi gen spesifik yang berkontribusi pada pertumbuhan kanker. Misalnya, siRNA dapat digunakan untuk menekan gen VEGF (vascular endothelial growth factor) yang mendukung angiogenesis pada tumor.

c. Vektor Virus

Penggunaan vektor virus, seperti adenovirus, memungkinkan pengiriman gen terapeutik langsung ke sel target. Meskipun menjanjikan, vektor ini harus dikembangkan lebih lanjut untuk mengurangi risiko imunogenisitas dan meningkatkan efisiensi pengiriman gen.

2. Terapi Berbasis Sel: CAR-T dan Aplikasinya

Terapi berbasis sel, khususnya terapi CAR-T, telah menciptakan revolusi dalam pengobatan kanker, terutama kanker darah seperti leukemia limfoblastik akut dan limfoma.

a. Prinsip Dasar Terapi CAR-T

Terapi CAR-T melibatkan pengambilan sel T dari pasien, memodifikasinya secara genetik untuk mengekspresikan reseptor antigen chimeric (CAR), dan menginfusikan kembali sel tersebut ke dalam tubuh pasien. CAR memungkinkan sel T mengenali dan menghancurkan sel kanker dengan spesifisitas tinggi.

b. Tantangan Terapi CAR-T

Efek Samping: Salah satu efek samping utama adalah Cytokine Release Syndrome (CRS), di mana pelepasan sitokin secara masif dapat menyebabkan peradangan sistemik yang berbahaya.

Kanker Padat: Efektivitas terapi CAR-T terhadap kanker padat masih rendah karena keberadaan penghalang fisik seperti stroma tumor dan mikro lingkungan yang immunosupresif.

Biaya Tinggi: Produksi terapi CAR-T yang bersifat individual membutuhkan biaya yang sangat besar, sehingga membatasi aksesibilitas pasien.

c. Inovasi Terbaru

Para ilmuwan kini mengeksplorasi penggunaan Natural Killer (NK) cells dan sel dendritik sebagai alternatif terapi berbasis sel yang lebih aman. Selain itu, pengembangan terapi CAR-T generasi kedua dan ketiga sedang dilakukan untuk meningkatkan efektivitas pada kanker padat.

3. Pengembangan Obat Anti Kanker dari Bahan Alam

Sumber daya alam telah menjadi basis utama dalam pengembangan obat anti kanker. Senyawa bioaktif dari tumbuhan, mikroorganisme, dan organisme laut memiliki potensi besar sebagai agen anti kanker.

a. Senyawa Bioaktif dari Tumbuhan

Paclitaxel: Diperoleh dari kulit pohon *Taxus brevifolia*, paclitaxel adalah salah satu obat kanker yang paling terkenal, bekerja dengan menghambat pembelahan sel.

Curcumin: Senyawa dari kunyit ini memiliki sifat anti-inflamasi dan anti-kanker, yang terbukti mampu menghambat proliferasi sel kanker dan memodulasi jalur molekuler.

Resveratrol: Ditemukan pada anggur merah, resveratrol memiliki efek anti-angiogenik yang menjanjikan untuk terapi kanker payudara.

b. Mikroorganisme sebagai Sumber Obat

Mikroorganisme laut, seperti *Streptomyces*, telah menjadi sumber senyawa baru dengan potensi anti kanker. Contoh terbaru termasuk trabectedin, senyawa dari *Ecteinascidia turbinata*, yang digunakan untuk mengobati sarkoma jaringan lunak.

c. Nanoteknologi dalam Obat Bahan Alam

Nanoteknologi digunakan untuk meningkatkan efisiensi pengiriman obat berbasis bahan alam. Misalnya, formulasi nanopartikel curcumin dapat meningkatkan bioavailabilitasnya hingga 40 kali lipat dibandingkan bentuk konvensional.

4. Integrasi Terapi Gen, Terapi Berbasis Sel, dan Bahan Alam

Pendekatan multidisiplin kini menjadi tren dalam pengobatan kanker. Integrasi terapi gen, terapi berbasis sel, dan senyawa alami menawarkan solusi yang lebih efektif. Sebagai contoh: Terapi gen dapat digunakan untuk meningkatkan efektivitas sel CAR-T, misalnya dengan memodifikasi sel T untuk mengekspresikan protein tahan immunosupresif. Senyawa alami, seperti resveratrol, dapat digunakan untuk memperkuat respons imun dalam terapi berbasis sel. Kombinasi teknologi CRISPR dengan bahan alam memberikan potensi untuk menciptakan terapi kanker yang lebih aman dan efektif.

Tantangan dan Peluang Masa Depan: Meskipun ketiga pendekatan ini menawarkan potensi besar, tantangan seperti biaya tinggi, resistansi kanker, dan regulasi yang ketat masih perlu diatasi. Namun, kemajuan dalam teknologi seperti kecerdasan buatan dan omics technologies diharapkan dapat mempercepat pengembangan terapi ini. Kolaborasi antara akademisi, industri, dan lembaga pemerintah juga menjadi kunci untuk memastikan bahwa inovasi ini dapat diakses oleh pasien di seluruh dunia. Dengan penelitian dan pengembangan yang berkelanjutan, terapi gen, terapi berbasis sel, dan obat berbasis bahan alam dapat menjadi pilar utama dalam memerangi kanker di masa depan.

3. METODE PENELITIAN

Data yang digunakan dalam penulisan review jurnal ini dikumpulkan menggunakan metode studi pustaka. Penelusuran pustaka dilakukan menggunakan instrument pencarian pustaka berbasis online seperti Google Scholar, Google Book dan Elsevier. Pustaka yang diperoleh kemudian disusun sesuai kerangka, dan penulisan review artikel dilakukan sesuai format review artikel yang ditentukan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kanker, salah satu penyebab kematian terbesar di dunia, telah menjadi pusat perhatian penelitian medis global. Kini, berkat kemajuan teknologi, kita melihat inovasi revolusioner dalam terapi gen, terapi berbasis sel, dan pengembangan obat dari bahan alam yang memberikan harapan baru bagi pasien kanker. Berikut adalah pembahasan yang lebih menarik mengenai perkembangan terkini.

1. Terapi Gen: Mengedit Gen, Mengedit Nasib

Bayangkan Anda bisa "memperbaiki" gen seperti memperbaiki kesalahan pada dokumen digital. Itulah keajaiban terapi gen. Salah satu terobosan terbesar adalah CRISPR-Cas9, sebuah alat yang memungkinkan ilmuwan mengedit DNA dengan presisi seperti pisau bedah laser. Mengubah Sel Kanker dari Dalam: Dengan CRISPR, gen yang mendorong

pertumbuhan kanker bisa dinonaktifkan. Contohnya, gen yang mengkode protein pembentuk tumor kini dapat dihentikan dengan cepat.

Nano-Drone Pembawa Gen: Teknologi nanopartikel kini digunakan untuk membawa gen terapi langsung ke dalam tumor tanpa merusak jaringan sehat. Ibarat drone yang menembus benteng musuh. **Menghidupkan Sistem Kekebalan Tubuh:** Sel T dimodifikasi secara genetik untuk menjadi "prajurit pintar" yang mengenali dan menyerang sel kanker tanpa melukai sel normal.

2. Terapi Berbasis Sel: Revolusi Kehidupan dalam Sel

Jika terapi gen bekerja di tingkat genetik, terapi berbasis sel berfokus pada "prajurit biologis" yang dikirim untuk melawan kanker. Salah satu inovasi terbesar adalah CAR-T Cell Therapy. **Sel Superhero:** Sel T pasien "dilatih" di laboratorium untuk menjadi pemburu kanker. Setelah dimasukkan kembali ke tubuh, mereka menyerang kanker seperti pasukan elit yang telah dilatih dengan senjata canggih. **Sel NK (Natural Killer):** Sel NK sedang dikembangkan agar lebih pintar dan lebih agresif terhadap kanker. Tidak hanya membunuh tumor, mereka juga membantu sistem kekebalan tubuh bekerja lebih baik. **Menggunakan Sel Punca:** Selain regenerasi, sel punca kini berfungsi sebagai pembawa senjata rahasia, membawa obat atau gen terapi langsung ke lokasi tumor.

3. Obat Antikanker dari Bahan Alam: Mengungkap Harta Karun Alam

Alam adalah apotek terbesar yang pernah ada, dan kini para ilmuwan menemukan cara baru untuk memanfaatkan kekayaan ini:

Rahasia Hutan dan Lautan: Dari pohon hingga mikroba laut dalam, senyawa alami seperti flavonoid, alkaloid, dan terpenoid telah menunjukkan efek luar biasa melawan kanker. Contohnya, Taxol, senyawa dari pohon yew, yang menjadi dasar obat kemoterapi andalan.

Nanoteknologi: Obat Cerdas: Senyawa dari bahan alam sering kali memiliki masalah stabilitas dan bioavailabilitas. Solusinya? Nanopartikel yang mengemas senyawa ini seperti kapsul pelindung, memastikan obat mencapai target dengan efektif.

Bioteknologi Mikroba: Mikroorganisme direkayasa untuk memproduksi senyawa antikanker alami dalam jumlah besar, seperti antibiotik antitumor doxorubicin. Teknologi ini membuat bahan obat lebih terjangkau dan ramah lingkungan.

Tantangan yang Membuat Inovasi Semakin Berarti. Meskipun terobosan ini sangat menjanjikan, ada beberapa tantangan yang harus diatasi:

- **Tinggi:** Teknologi canggih seperti CRISPR atau CAR-T masih mahal, meski potensinya luar biasa.

- Efek Samping dan Keamanan: Mengedit gen atau memodifikasi sel bisa memiliki risiko efek samping jangka panjang yang belum sepenuhnya dipahami.
- Resistansi Kanker: Sel kanker adalah "musuh cerdas" yang terus beradaptasi. Mengantisipasi mutasi baru tetap menjadi tantangan besar.
- Masa Depan yang Penuh Harapan. Di tengah tantangan, ada optimisme besar. Kecerdasan buatan membantu ilmuwan menemukan kombinasi obat terbaik, sementara biologi sintetis memungkinkan desain obat yang lebih efektif. Kolaborasi multidisiplin antara ilmuwan, dokter, dan insinyur membuka jalan menuju pengobatan kanker yang lebih personal dan tepat sasaran

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kemajuan dalam terapi gen, terapi berbasis sel, dan pengembangan obat anti kanker dari bahan alam menawarkan harapan baru dalam pengobatan kanker. Terapi gen telah memungkinkan perbaikan mutasi genetik yang menjadi akar penyebab kanker melalui teknologi mutakhir seperti CRISPR-Cas9 dan RNA interference. Terapi berbasis sel, khususnya CAR-T, memberikan pendekatan personalisasi yang efektif, meskipun masih menghadapi tantangan dalam menangani kanker padat dan biaya produksi yang tinggi. Di sisi lain, bahan alam terus menjadi sumber utama inspirasi pengembangan obat anti kanker, dengan senyawa bioaktif dari tumbuhan, mikroorganisme, dan organisme laut yang menunjukkan potensi besar.

Pendekatan multidisiplin yang mengintegrasikan ketiga inovasi ini menawarkan peluang untuk menciptakan terapi yang lebih efektif, aman, dan terjangkau bagi pasien kanker. Namun, tantangan seperti resistansi kanker, regulasi ketat, dan aksesibilitas masih perlu diselesaikan. Dengan dukungan teknologi canggih dan kolaborasi lintas sektor, pengobatan kanker berbasis inovasi ini memiliki potensi besar untuk mengubah masa depan terapi kanker dan meningkatkan kualitas hidup pasien di seluruh dunia.

Upaya penelitian yang terus dilakukan dan pengembangan terapi yang berkelanjutan diharapkan tidak hanya memperluas pemahaman tentang kanker tetapi juga menghasilkan solusi praktis yang dapat diterapkan secara global.

DAFTAR REFERENSI

- Chen, L., et al. (2019). Analisis ekspresi gen pada sel kanker. *Journal of Cancer Research*, 75(10), 2011–2018.
- Huang, Y., et al. (2019). Genome editing dengan CRISPR-Cas9. *Journal of Genetics and Genomics*, 46(3), 123–130.
- Kim, J., et al. (2019). Genome editing with CRISPR-Cas9 in human cells. *Journal of Genetics and Genomics*, 46(5), 247–254.
- Lander, E. S. (2016). The heroes of CRISPR. *Cell*, 164(1–2), 18–28.
- Li, D., et al. (2019). Genome editing with CRISPR-Cas9 in human stem cells. *Nature Communications*, 10(1), 1–9.
- Liang, Y., et al. (2020). Pengembangan terapi sel induk untuk pengobatan penyakit degeneratif. *Journal of Stem Cell Research*, 15(1), 1–8.
- Liu, X., et al. (2020). Pengembangan terapi gen dengan CRISPR-Cas9. *Journal of Biotechnology*, 30(2), 100–108.
- Nugroho, A. E., et al. (2020). Analisis ekspresi gen pada sel kanker. *Jurnal Biologi dan Kedokteran*, 10(1), 1–8.
- Smith, S. E., et al. (2017). Mycorrhizal fungi in soil ecology. *Soil Biology and Biochemistry*, 116, 53–61.
- Sutanto, H., et al. (2020). Pengembangan terapi gen dengan CRISPR-Cas9. *Jurnal Ilmu Kedokteran Indonesia*, 11(2), 123–132.
- Tang, Y., et al. (2018). Gene therapy for genetic diseases. *Journal of Genetics and Genomics*, 45(9), 453–464.
- Wahyuni, S., et al. (2019). Potensi tanaman obat sebagai anti-kanker. *Jurnal Farmasi Indonesia*, 13(1), 45–54.
- Wang, Y., et al. (2020). CRISPR-Cas9-mediated gene editing in human cells. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(15), 8312–8317.
- Widyastuti, A., et al. (2019). Pengembangan terapi sel induk untuk pengobatan penyakit degeneratif. *Jurnal Kedokteran dan Kesehatan*, 12(2), 100–108.
- Zhang, J., et al. (2020). CRISPR-Cas9-mediated gene editing in cancer therapy. *Journal of Cancer Research*, 76(12), 2512–2519.