



## Pengaruh Stem Cell terhadap Akurasi Prediksi Diferensiasi Seluler Berbasis Artificial Intelligence dalam Bioteknologi

Aghisna Pertiwi<sup>1</sup>, Putri Silvia Ariyanti<sup>2</sup>, Dwi Haryani<sup>3</sup>, Shintia Ratu Ismail<sup>4</sup>, Indriyana Puspawati<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Program Studi Pendidikan Biologi, Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung  
[prtwgisna@gmail.com](mailto:prtwgisna@gmail.com)<sup>1</sup>, [putrisilvia940@gmail.com](mailto:putrisilvia940@gmail.com)<sup>2</sup>, [dwihryni25@gmail.com](mailto:dwihryni25@gmail.com)<sup>3</sup>, [shintiaratui@gmail.com](mailto:shintiaratui@gmail.com)<sup>4</sup>,  
[indriyanapuspawati01@gmail.com](mailto:indriyanapuspawati01@gmail.com)<sup>5</sup>

### Abstrak

This study aims to analyze the influence of stem cells on the accuracy of Artificial Intelligence-based cellular differentiation predictions in the field of biotechnology. The method used is a literature study with a qualitative-descriptive approach through the collection and analysis of various relevant scientific literature. The results of the study indicate that stem cells have a crucial role in the cellular differentiation process through complex biological mechanisms, thus producing high-value data for analysis. On the other hand, Artificial Intelligence can improve prediction accuracy by utilizing machine learning algorithms to process large and complex biological data. The integration between stem cells and Artificial Intelligence has made a significant contribution to the development of modern biotechnology, particularly in regenerative therapy and tissue engineering. However, there are still challenges in terms of data quality, the complexity of biological systems, and regulatory aspects that need to be considered. Thus, this study confirms that the collaboration between biological approaches and digital technology has great potential in improving the effectiveness and efficiency of cellular differentiation predictions in the future. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh stem cell terhadap akurasi prediksi diferensiasi seluler berbasis Artificial Intelligence dalam bidang bioteknologi. Metode yang digunakan adalah studi pustaka dengan pendekatan kualitatif-deskriptif melalui pengumpulan dan analisis berbagai literatur ilmiah yang relevan. Hasil kajian menunjukkan bahwa stem cell memiliki peran penting dalam proses diferensiasi seluler melalui mekanisme biologis yang kompleks, sehingga menghasilkan data yang bernilai tinggi untuk dianalisis. Di sisi lain, Artificial Intelligence mampu meningkatkan akurasi prediksi dengan memanfaatkan algoritma pembelajaran mesin dalam mengolah data biologis yang besar dan kompleks. Integrasi antara stem cell dan Artificial Intelligence memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan bioteknologi modern, khususnya dalam terapi regeneratif dan rekayasa jaringan. Meskipun demikian, masih terdapat tantangan dalam hal kualitas data, kompleksitas sistem biologis, serta aspek regulasi yang perlu diperhatikan. Dengan demikian, penelitian ini menegaskan bahwa kolaborasi antara pendekatan biologis dan teknologi digital memiliki potensi besar dalam meningkatkan efektivitas dan efisiensi prediksi diferensiasi seluler di masa depan.

Kata Kunci: Stem Cell, Diferensiasi Seluler, Artificial Intelligence, Bioteknologi, Akurasi Prediksi

### 1. Pendahuluan

Perkembangan bioteknologi modern dalam beberapa dekade terakhir telah mengalami transformasi yang signifikan seiring dengan pesatnya kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya dalam bidang rekayasa seluler. Transformasi ini tidak hanya ditandai oleh peningkatan kemampuan dalam memahami sistem biologis, tetapi juga oleh munculnya berbagai inovasi yang memungkinkan manipulasi sel secara lebih terarah dan presisi. Salah satu fokus utama dalam bioteknologi adalah pemanfaatan *stem cell*, yaitu sel yang memiliki kemampuan unik untuk melakukan *self-renewal* serta berdiferensiasi menjadi berbagai jenis sel yang lebih spesifik sesuai dengan kebutuhan biologis. Kemampuan tersebut menjadikan *stem cell* sebagai komponen yang sangat penting dalam penelitian medis, terutama dalam pengembangan terapi regeneratif yang bertujuan untuk memperbaiki atau menggantikan jaringan yang rusak akibat penyakit atau cedera. Selain itu, karakteristik fleksibel yang dimiliki *stem cell* juga membuka peluang besar dalam pengembangan model penyakit dan uji obat secara lebih akurat.

Di sisi lain, kemajuan teknologi digital turut memberikan kontribusi besar dalam mendukung perkembangan bioteknologi, salah satunya melalui penerapan *Artificial Intelligence* (AI). Teknologi ini mulai dimanfaatkan untuk meningkatkan efisiensi, kecepatan, dan akurasi dalam analisis data biologis (Pertiwi et al., 2025). *Stem cell* memiliki peran yang sangat krusial dalam proses diferensiasi seluler yang bersifat kompleks, dinamis, dan terkoordinasi secara ketat. Proses diferensiasi ini tidak berlangsung secara sederhana, melainkan dipengaruhi oleh berbagai faktor internal dan eksternal yang saling berinteraksi. Faktor internal mencakup regulasi ekspresi gen, mekanisme epigenetik, serta interaksi antar protein di dalam sel, sedangkan faktor eksternal meliputi lingkungan mikro sel (*stem cell niche*), faktor pertumbuhan, serta sinyal kimiawi dari jaringan sekitarnya. Keseluruhan faktor tersebut bekerja secara sinergis dalam menentukan arah dan hasil akhir diferensiasi seluler. Salah satu jalur sinyal molekuler yang memiliki peran penting dalam proses ini adalah *Transforming Growth Factor-beta* (TGF- $\beta$ ). Jalur TGF- $\beta$  diketahui berfungsi dalam mengatur berbagai aspek biologis, seperti proliferasi sel, diferensiasi, apoptosis, serta pemeliharaan sifat pluripotensi pada *stem cell*. Melalui aktivasi dan regulasi jalur ini, sel mampu merespons berbagai rangsangan biologis dan lingkungan, sehingga dapat berkembang menjadi tipe sel yang spesifik sesuai dengan kebutuhan fisiologis. Oleh karena itu, jalur TGF- $\beta$  menjadi salah satu dasar utama dalam memahami mekanisme diferensiasi seluler secara molekuler (Marei, 2025).

Pemahaman yang mendalam mengenai mekanisme biologis ini sangat penting, terutama dalam mendukung pengembangan teknologi prediktif berbasis *Artificial Intelligence* (AI). Dengan memahami pola regulasi dan interaksi molekuler yang mendasari diferensiasi *stem cell*, sistem AI dapat dilatih untuk mengenali pola tersebut dan menghasilkan prediksi yang lebih akurat. Dengan demikian, integrasi antara pengetahuan biologis dan teknologi AI diharapkan mampu meningkatkan efektivitas dalam pemodelan diferensiasi seluler (Aisyah & Jatmiko, 2019).

Seiring dengan meningkatnya kompleksitas dan volume data biologis yang dihasilkan dari penelitian *stem cell*, penggunaan *Artificial Intelligence* menjadi solusi yang semakin relevan dalam menganalisis dan memprediksi pola diferensiasi seluler. AI memiliki kemampuan untuk mengolah data dalam skala besar (*big data*) dengan kecepatan tinggi serta mampu mengidentifikasi pola-pola tersembunyi yang sulit dikenali melalui pendekatan analisis konvensional. Dalam konteks bioteknologi, AI dimanfaatkan untuk memodelkan proses diferensiasi *stem cell*, termasuk dalam memprediksi jalur diferensiasi yang optimal berdasarkan berbagai parameter biologis. Hal ini berkontribusi secara signifikan dalam meningkatkan akurasi prediksi, yang sangat penting dalam pengembangan terapi berbasis sel dan rekayasa jaringan yang menuntut tingkat ketepatan yang tinggi. Namun demikian, efektivitas penerapan AI sangat bergantung pada kualitas, keberagaman, dan validitas data yang digunakan, sehingga pengelolaan data menjadi faktor kunci dalam keberhasilan sistem prediktif berbasis AI (Wibowo, 2025). Integrasi antara *stem cell* dan *Artificial Intelligence* (AI) dalam bioteknologi modern juga didukung oleh perkembangan teknologi lain seperti *Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats* (CRISPR), yang memungkinkan manipulasi genetik secara presisi dan terarah.

Teknologi ini memberikan kontribusi besar dalam meningkatkan kualitas dan akurasi data biologis yang digunakan oleh sistem AI, sehingga proses analisis dan pemodelan dapat dilakukan secara lebih optimal. Melalui pemanfaatan CRISPR, para peneliti dapat mengontrol ekspresi gen yang berperan penting dalam proses diferensiasi seluler, baik dengan mengaktifkan maupun menonaktifkan gen tertentu sesuai kebutuhan penelitian. Kemampuan ini memungkinkan pengamatan yang lebih sistematis terhadap mekanisme diferensiasi sel serta menghasilkan data yang lebih terstruktur dan konsisten. Dengan demikian, data yang dihasilkan menjadi lebih relevan untuk digunakan dalam pelatihan model AI, sehingga dapat meningkatkan akurasi prediksi yang dihasilkan. Oleh karena itu, kombinasi antara *stem cell*, AI, dan CRISPR menjadi fondasi penting dalam inovasi bioteknologi kesehatan, khususnya dalam pengembangan terapi regeneratif dan rekayasa jaringan (Nur et al., 2026).

Dalam dunia kedokteran modern, pemanfaatan teknologi biologi sel telah membuka peluang besar dalam pengobatan berbagai penyakit degeneratif dan kronis. *Stem cell* banyak digunakan dalam terapi regeneratif karena kemampuannya untuk memperbaiki jaringan yang rusak serta menggantikan sel yang telah mati. Kemampuan ini menjadikan *stem cell* sebagai salah satu pendekatan penting dalam pengembangan terapi medis berbasis sel. Namun, keberhasilan terapi tersebut sangat bergantung pada ketepatan dalam memprediksi proses diferensiasi seluler, karena setiap kesalahan dapat memengaruhi hasil terapi yang diharapkan. Pada konteks ini, *Artificial Intelligence* (AI) memiliki peran yang sangat penting sebagai alat bantu dalam meningkatkan akurasi prediksi diferensiasi sel. AI mampu menganalisis data biologis yang kompleks dan mengidentifikasi pola yang sulit dikenali secara konvensional. Dengan demikian, integrasi antara teknologi biologi sel dan AI dapat meningkatkan efektivitas serta keberhasilan terapi medis secara lebih optimal (Noviantari, 2020).

Meskipun memiliki potensi besar, penggunaan *Artificial Intelligence* (AI) dalam prediksi diferensiasi seluler masih menghadapi berbagai tantangan. Salah satu tantangan utama adalah kompleksitas sistem biologis yang bersifat dinamis dan sulit dimodelkan secara sempurna. Selain itu, keterbatasan data biologis yang berkualitas tinggi, terstandar, dan konsisten juga menjadi hambatan dalam pengembangan algoritma AI yang akurat dan reliabel. Variabilitas data antar sampel serta keterbatasan jumlah dataset turut memengaruhi performa model prediktif yang

dihasilkan. Maka diperlukan pendekatan multidisipliner yang menggabungkan ilmu biologi, teknologi informasi, dan rekayasa genetika untuk mengatasi berbagai kendala tersebut. Melalui integrasi berbagai bidang ilmu ini, diharapkan dapat meningkatkan kualitas data, memperbaiki model analisis, serta meningkatkan keandalan sistem prediksi berbasis AI dalam memodelkan proses diferensiasi seluler secara lebih akurat dan komprehensif. (Pertiwi et al., 2025).

Selain aspek teknis, penggunaan *Artificial Intelligence* (AI) dalam bioteknologi juga menimbulkan tantangan dari sisi regulasi dan etika. Pengembangan dan penerapan AI harus mengikuti standar serta regulasi yang berlaku untuk memastikan keamanan, keandalan, dan transparansi sistem yang dihasilkan. Hal ini menjadi sangat penting mengingat pemanfaatan AI dalam bidang kesehatan memiliki dampak langsung terhadap keselamatan dan kualitas hidup manusia. Selain itu, isu seperti privasi data, keamanan informasi, serta potensi bias dalam algoritma juga perlu menjadi perhatian utama dalam pengembangan teknologi ini. Diperlukan kerangka regulasi yang jelas, komprehensif, dan adaptif terhadap perkembangan teknologi guna mengatur penggunaan AI secara bertanggung jawab. Dengan adanya regulasi yang tepat, diharapkan inovasi di bidang bioteknologi dapat terus berkembang tanpa mengabaikan aspek etika, serta tetap memberikan perlindungan yang optimal bagi Masyarakat (Wibowo, 2025).

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa integrasi antara stem cell dan Artificial Intelligence (AI) dalam bioteknologi merupakan suatu inovasi yang memiliki potensi besar dalam meningkatkan akurasi prediksi diferensiasi seluler. Kombinasi ini tidak hanya memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam memahami mekanisme biologis secara lebih mendalam, tetapi juga memiliki implikasi luas dalam dunia kesehatan, terutama pada pengembangan terapi regeneratif dan rekayasa jaringan. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut sangat diperlukan untuk mengoptimalkan pemanfaatan teknologi ini, baik dari sisi pengembangan metode maupun peningkatan kualitas data yang digunakan. Dengan demikian, diharapkan dapat tercipta solusi yang lebih efektif, efisien, dan berbasis data dalam menghadapi berbagai tantangan di bidang bioteknologi modern (Nur et al., 2026).

Integrasi antara stem cell dan Artificial Intelligence juga semakin diperkuat dengan hadirnya teknologi lain seperti Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats (CRISPR), yang memungkinkan manipulasi genetik secara presisi dan terarah. Teknologi ini memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan kualitas dan akurasi data biologis yang digunakan dalam sistem AI. Melalui CRISPR, peneliti dapat mengontrol ekspresi gen yang berperan dalam proses diferensiasi seluler dengan cara mengaktifkan atau menonaktifkan gen tertentu sesuai kebutuhan penelitian. Kemampuan ini memungkinkan pengamatan mekanisme diferensiasi sel secara lebih sistematis serta menghasilkan data yang lebih terstruktur dan konsisten. Dengan demikian, data yang dihasilkan menjadi lebih relevan dan optimal untuk digunakan dalam pelatihan model AI, sehingga dapat meningkatkan akurasi prediksi yang dihasilkan. Kombinasi antara stem cell, AI, dan CRISPR ini menjadi fondasi penting dalam pengembangan inovasi bioteknologi kesehatan, khususnya dalam bidang terapi regeneratif dan rekayasa jaringan. Dalam dunia kedokteran modern, pemanfaatan teknologi biologi sel telah membuka peluang besar dalam penanganan berbagai penyakit degeneratif dan kronis. Stem cell banyak digunakan dalam terapi regeneratif karena kemampuannya dalam memperbaiki jaringan yang rusak dan menggantikan sel yang telah mati. Namun, keberhasilan terapi tersebut sangat bergantung pada ketepatan dalam memprediksi proses diferensiasi seluler, karena kesalahan dalam proses ini dapat memengaruhi hasil terapi secara signifikan. Dalam konteks ini, Artificial Intelligence berperan sebagai alat bantu yang sangat penting dalam meningkatkan akurasi prediksi diferensiasi sel. Dengan kemampuannya dalam menganalisis data biologis yang kompleks dan mengidentifikasi pola yang sulit dikenali secara konvensional, AI mampu meningkatkan efektivitas serta keberhasilan terapi medis berbasis sel.

Meskipun memiliki potensi yang sangat besar, penerapan Artificial Intelligence dalam prediksi diferensiasi seluler masih menghadapi berbagai tantangan. Salah satu tantangan utama adalah kompleksitas sistem biologis yang bersifat dinamis dan sulit dimodelkan secara sempurna. Selain itu, keterbatasan data biologis yang berkualitas tinggi, terstandar, dan konsisten juga menjadi kendala dalam pengembangan algoritma AI yang akurat dan reliabel. Variabilitas data antar sampel serta keterbatasan jumlah dataset turut memengaruhi performa model prediktif yang dihasilkan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan multidisipliner yang mengintegrasikan ilmu biologi, teknologi informasi, dan rekayasa genetika untuk mengatasi berbagai kendala tersebut. Melalui integrasi lintas disiplin ini, diharapkan kualitas data dapat ditingkatkan, model analisis dapat diperbaiki, dan keandalan sistem prediksi berbasis AI dapat ditingkatkan secara signifikan.

Selain aspek teknis, penggunaan Artificial Intelligence dalam bioteknologi juga menimbulkan tantangan dari sisi regulasi dan etika. Pengembangan dan penerapan teknologi AI harus memperhatikan standar dan regulasi yang berlaku guna menjamin keamanan, keandalan, dan transparansi sistem yang dihasilkan. Hal ini menjadi sangat penting mengingat penggunaan AI dalam bidang kesehatan memiliki dampak langsung terhadap keselamatan dan kualitas hidup manusia. Isu terkait privasi data, keamanan informasi, serta potensi bias dalam algoritma juga harus menjadi perhatian utama. Oleh karena itu, diperlukan kerangka regulasi yang jelas, komprehensif, dan adaptif terhadap perkembangan teknologi untuk memastikan penggunaan AI dilakukan secara bertanggung jawab.

Dengan adanya regulasi yang tepat, inovasi di bidang bioteknologi dapat terus berkembang tanpa mengabaikan aspek etika serta tetap memberikan perlindungan yang optimal bagi masyarakat.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa integrasi antara stem cell dan Artificial Intelligence dalam bioteknologi modern merupakan inovasi yang memiliki potensi besar dalam meningkatkan akurasi prediksi diferensiasi seluler. Kombinasi ini tidak hanya memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam memahami mekanisme biologis secara lebih mendalam, tetapi juga memiliki implikasi luas dalam dunia kesehatan, terutama dalam pengembangan terapi regeneratif dan rekayasa jaringan. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut sangat diperlukan untuk mengoptimalkan pemanfaatan teknologi ini, baik dari sisi pengembangan metode maupun peningkatan kualitas data yang digunakan. Dengan demikian, diharapkan dapat dihasilkan solusi yang lebih efektif, efisien, dan berbasis data dalam menghadapi berbagai tantangan di bidang bioteknologi modern.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode studi pustaka (library research) dengan pendekatan kualitatif-deskriptif yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh stem cell terhadap akurasi prediksi diferensiasi seluler berbasis Artificial Intelligence dalam bioteknologi. Metode ini dilakukan dengan cara mengumpulkan, mengkaji, dan mensintesis berbagai sumber literatur ilmiah yang relevan, sehingga diperoleh pemahaman komprehensif mengenai hubungan antara variabel biologis dan teknologi komputasi. Penelitian tidak melibatkan eksperimen langsung di laboratorium, melainkan berfokus pada analisis data sekunder yang berasal dari publikasi ilmiah terpercaya (Snyder, 2019).

Sumber data dalam penelitian ini terdiri dari literatur primer dan sekunder yang meliputi jurnal ilmiah, buku referensi, serta prosiding seminar yang relevan dengan topik penelitian. Literatur yang digunakan difokuskan pada publikasi dalam rentang waktu lima hingga sepuluh tahun terakhir untuk memastikan kebaruan informasi. Beberapa sumber utama mencakup kajian tentang bioteknologi, stem cell, Artificial Intelligence, serta teknologi CRISPR dalam aplikasi kesehatan. Data dikumpulkan melalui database akademik seperti Google Scholar, ScienceDirect, dan jurnal nasional terakreditasi (Widjaya et al., 2021).

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan metode dokumentasi, yaitu mengidentifikasi, mengklasifikasi, dan mengorganisasi literatur berdasarkan relevansi terhadap fokus penelitian. Kata kunci yang digunakan dalam pencarian literatur antara lain “stem cell differentiation”, “Artificial Intelligence in biotechnology”, “cellular prediction”, dan “CRISPR technology”. Setiap literatur yang diperoleh kemudian diseleksi berdasarkan kriteria inklusi seperti kesesuaian topik, kualitas jurnal, serta keterbaruan publikasi (Choudhery et al., 2025).

Proses analisis data dilakukan menggunakan teknik analisis isi (content analysis) yang bertujuan untuk mengidentifikasi konsep, pola, serta hubungan antar variabel yang dibahas dalam literatur. Data yang telah dikumpulkan kemudian direduksi, disajikan, dan diinterpretasikan secara sistematis untuk menghasilkan kesimpulan yang relevan. Dalam hal ini, peneliti menelaah bagaimana peran stem cell dalam diferensiasi seluler serta bagaimana Artificial Intelligence digunakan untuk meningkatkan akurasi prediksi proses tersebut (Chaterji et al., 2017).

Untuk memastikan validitas data, penelitian ini menggunakan teknik triangulasi sumber, yaitu membandingkan berbagai referensi yang memiliki kesamaan topik namun berasal dari penulis yang berbeda. Dengan demikian, hasil analisis yang diperoleh memiliki tingkat kepercayaan yang lebih tinggi. Selain itu, dilakukan juga evaluasi kritis terhadap setiap sumber untuk menghindari bias dan memastikan bahwa informasi yang digunakan bersifat objektif dan ilmiah.

Langkah-langkah penelitian dilakukan secara sistematis dimulai dari identifikasi masalah, pengumpulan literatur, seleksi sumber, analisis data, hingga penarikan kesimpulan. Proses ini dirancang agar dapat direplikasi oleh peneliti lain dengan mengikuti tahapan yang sama. Dengan pendekatan ini, penelitian diharapkan mampu memberikan gambaran yang jelas mengenai hubungan antara stem cell dan akurasi prediksi berbasis Artificial Intelligence.

Dalam penelitian ini juga dilakukan pemetaan konsep (concept mapping) untuk menghubungkan berbagai variabel yang dikaji, seperti faktor biologis stem cell, mekanisme diferensiasi, serta algoritma Artificial Intelligence yang digunakan dalam prediksi. Pemetaan ini membantu dalam memahami keterkaitan antar konsep secara lebih terstruktur dan sistematis. Hasil pemetaan kemudian digunakan sebagai dasar dalam penyusunan pembahasan.

Metode studi pustaka yang digunakan dalam penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi teoritis dalam pengembangan ilmu bioteknologi, khususnya dalam integrasi antara stem cell dan Artificial Intelligence. Dengan analisis yang mendalam terhadap berbagai literatur, penelitian ini dapat menjadi dasar bagi penelitian selanjutnya, baik yang bersifat eksperimental maupun pengembangan teknologi di bidang kesehatan.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian ini diperoleh melalui analisis studi pustaka terhadap berbagai literatur ilmiah yang membahas keterkaitan antara stem cell, proses diferensiasi seluler, dan pemanfaatan Artificial Intelligence (AI) dalam bioteknologi. Penyajian hasil dilakukan secara sistematis berdasarkan hubungan antar variabel yang diteliti, sehingga membentuk alur pemahaman yang logis dan komprehensif. Data yang digunakan merupakan hasil sintesis dari berbagai penelitian terdahulu yang relevan dan mutakhir, sehingga mampu menggambarkan kondisi aktual perkembangan ilmu pengetahuan di bidang ini. Selain itu, pembahasan dilakukan dengan mengaitkan berbagai temuan tersebut untuk menjawab tujuan penelitian secara menyeluruh. Dengan demikian, hasil dan diskusi tidak hanya menyajikan data, tetapi juga memberikan interpretasi ilmiah yang mendalam serta memperkuat argumen penelitian.

#### 3.1. Peran Stem Cell dalam Diferensiasi Seluler

Hasil kajian menunjukkan bahwa stem cell memiliki peran fundamental dalam proses diferensiasi seluler karena kemampuannya untuk memperbanyak diri (self-renewal) dan berdiferensiasi menjadi berbagai jenis sel spesifik. Kemampuan ini dipengaruhi oleh lingkungan mikro seluler (stem cell niche) serta regulasi molekuler yang kompleks dan saling berinteraksi. Salah satu mekanisme utama yang mengatur proses ini adalah jalur sinyal *Transforming Growth Factor-beta* (TGF- $\beta$ ) yang berperan dalam mengontrol proliferasi, diferensiasi, dan pemeliharaan stem cell. Jalur ini memungkinkan sel untuk merespons sinyal eksternal dan menyesuaikan ekspresi gen sesuai kebutuhan perkembangan jaringan.

Dengan demikian, stem cell menjadi elemen kunci dalam rekayasa jaringan dan terapi regeneratif (Aisyah & Jatmiko, 2019). Dalam konteks bioteknologi, pemanfaatan *stem cell* telah berkembang pesat, terutama dalam bidang kedokteran regeneratif. *Stem cell* digunakan untuk memperbaiki jaringan yang rusak serta menggantikan sel yang tidak berfungsi secara optimal. Selain itu, teknologi biologi sel memungkinkan manipulasi kondisi lingkungan untuk mengarahkan diferensiasi sel sesuai kebutuhan tertentu, baik melalui faktor kimia maupun sinyal biologis.

Hal ini menunjukkan bahwa keberhasilan proses diferensiasi sangat bergantung pada kontrol yang tepat terhadap faktor biologis yang terlibat. Oleh karena itu, pemahaman mendalam mengenai mekanisme ini menjadi dasar penting dalam pengembangan teknologi prediktif berbasis Artificial Intelligence (Noviantari, 2020). Pembahasan ini menunjukkan bahwa stem cell tidak hanya berperan sebagai objek biologis, tetapi juga sebagai sumber data penting dalam sistem prediksi berbasis AI. Kompleksitas proses diferensiasi menjadikan data yang dihasilkan sangat kaya dan beragam. Kondisi ini memberikan peluang bagi AI untuk mengidentifikasi pola yang tidak dapat diamati secara langsung oleh manusia. Namun, di sisi lain, kompleksitas tersebut juga menjadi tantangan dalam proses pemodelan. Dengan demikian, peran stem cell dalam penelitian ini sangat strategis sebagai dasar dalam pengembangan sistem prediksi yang akurat (Zhu et al., 2021).

#### 3.2. Pemanfaatan Artificial Intelligence dalam Prediksi Diferensiasi Seluler

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Artificial Intelligence memiliki kemampuan yang signifikan dalam meningkatkan akurasi prediksi diferensiasi seluler. AI mampu mengolah data biologis dalam jumlah besar dengan kecepatan dan ketelitian yang tinggi. Melalui algoritma machine learning dan deep learning, sistem AI dapat mengenali pola hubungan antara faktor biologis dan hasil diferensiasi sel. Hal ini memungkinkan proses prediksi dilakukan secara lebih efisien dibandingkan metode konvensional. Dengan demikian, AI menjadi alat yang sangat penting dalam pengembangan bioteknologi modern (Wibowo, 2025). Selain itu, penggunaan AI juga memungkinkan integrasi berbagai jenis data, seperti data genetik, protein, dan citra seluler.

Integrasi ini meningkatkan kualitas analisis karena memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai kondisi sel. Dalam praktiknya, model AI dilatih menggunakan data yang telah diberi label untuk menghasilkan prediksi yang akurat. Semakin banyak dan berkualitas data yang digunakan, maka semakin tinggi tingkat akurasi yang dihasilkan. Oleh karena itu, kualitas data menjadi faktor penentu utama dalam keberhasilan sistem AI (Jordan, 2008). Pembahasan menunjukkan bahwa meskipun AI memiliki potensi besar, Meskipun demikian AI dalam bioteknologi masih menghadapi berbagai tantangan. Keterbatasan ketersediaan data yang representatif dan berkualitas tinggi menjadi kendala utama dalam pengembangan model prediktif. Selain itu, kompleksitas sistem biologis yang bersifat non-linear dan dinamis seringkali sulit dimodelkan secara sempurna oleh algoritma AI. Hal ini dapat menyebabkan terjadinya bias atau ketidakakuratan dalam hasil prediksi. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan model yang lebih adaptif serta integrasi dengan teknologi lain guna meningkatkan performa dan keandalan sistem AI dalam bioteknologi (Han, 2025).

#### 3.3. Integrasi Stem Cell, Artificial Intelligence, dan Teknologi Bioteknologi Modern

Hasil kajian menunjukkan bahwa integrasi antara stem cell dan Artificial Intelligence semakin diperkuat dengan adanya teknologi bioteknologi modern seperti CRISPR. Teknologi ini memungkinkan manipulasi genetik secara

DOI: <https://doi.org/10.69693/ijmst.v4i2.8440>

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

presisi sehingga dapat meningkatkan kualitas data yang digunakan dalam sistem AI. Dengan kontrol yang lebih baik terhadap ekspresi gen, proses diferensiasi seluler dapat diprediksi dengan lebih akurat. Hal ini memberikan kontribusi besar dalam pengembangan terapi berbasis sel dan rekayasa jaringan (Nur et al., 2026). Selain itu, integrasi ini juga menciptakan sinergi antara ilmu biologi dan teknologi informasi.

Stem cell menyediakan data biologis yang kompleks, sementara AI berperan dalam menganalisis dan memprediksi pola dari data tersebut. Teknologi seperti CRISPR kemudian digunakan untuk memvalidasi dan mengoptimalkan hasil prediksi. Dengan demikian, ketiga komponen ini saling melengkapi dalam menciptakan sistem bioteknologi yang lebih canggih dan efektif. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan multidisipliner menjadi kunci dalam pengembangan ilmu pengetahuan modern (Issa et al., 2022).

Pembahasan lebih lanjut menunjukkan bahwa integrasi ini memiliki implikasi luas dalam bidang kesehatan, terutama dalam pengobatan penyakit degeneratif dan kronis. Dengan akurasi prediksi yang tinggi, terapi berbasis stem cell dapat dilakukan dengan lebih tepat dan efektif. Namun, di sisi lain, terdapat tantangan terkait regulasi dan etika yang harus diperhatikan. Penggunaan teknologi canggih dalam bidang kesehatan memerlukan pengawasan yang ketat untuk memastikan keamanan dan keandalan. Oleh karena itu, pengembangan teknologi harus diimbangi dengan regulasi yang memadai (Pertiwi et al., 2025).

Secara keseluruhan, hasil dan pembahasan menunjukkan bahwa pengaruh stem cell terhadap akurasi prediksi diferensiasi seluler berbasis AI bersifat signifikan dan strategis. Integrasi kedua bidang ini memberikan peluang besar dalam pengembangan bioteknologi modern, namun juga memerlukan pendekatan yang sistematis, terintegrasi, dan berkelanjutan. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam memperkaya pemahaman mengenai hubungan antara faktor biologis dan teknologi digital, serta membuka peluang inovasi yang lebih luas di masa depan (Triana et al., 2025).

### 3. Kesimpulan

Berdasarkan hasil kajian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa stem cell memiliki peran yang sangat penting dalam proses diferensiasi seluler karena kemampuannya untuk memperbarui diri dan berkembang menjadi berbagai jenis sel spesifik. Proses ini dikendalikan oleh mekanisme biologis yang kompleks, termasuk jalur sinyal molekuler yang memengaruhi ekspresi gen dan arah perkembangan sel. Kompleksitas tersebut menjadikan stem cell sebagai sumber data biologis yang sangat berharga dalam pengembangan sistem prediksi berbasis teknologi. Dengan demikian, pemahaman terhadap karakteristik dan mekanisme stem cell menjadi landasan utama dalam meningkatkan akurasi prediksi diferensiasi seluler. Selain itu, pemanfaatan Artificial Intelligence terbukti memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan kemampuan analisis dan prediksi dalam bidang bioteknologi. AI mampu mengolah data dalam jumlah besar serta mengidentifikasi pola yang sulit dikenali secara manual, sehingga menghasilkan prediksi yang lebih cepat dan efisien. Namun, tingkat akurasi yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh kualitas data biologis yang digunakan serta kemampuan model dalam merepresentasikan sistem biologis yang kompleks. Oleh karena itu, integrasi antara data stem cell yang berkualitas dan algoritma AI yang optimal menjadi faktor kunci dalam keberhasilan sistem prediksi. Secara keseluruhan, integrasi antara stem cell dan Artificial Intelligence dalam bioteknologi menunjukkan potensi yang sangat besar dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan aplikasi kesehatan, khususnya dalam terapi regeneratif dan rekayasa jaringan. Kombinasi ini memungkinkan terciptanya sistem prediksi yang lebih akurat dan dapat diandalkan, meskipun masih dihadapkan pada berbagai tantangan seperti kompleksitas biologis dan aspek regulasi. Dengan pengembangan yang berkelanjutan dan pendekatan multidisipliner, teknologi ini diharapkan mampu memberikan solusi inovatif dalam meningkatkan kualitas layanan kesehatan dan memperluas pemanfaatan bioteknologi di masa depan.

### Reference

- Aisyah, R., & Jatmiko, S. W. (2019). Jalur Sinyal Tgf-B Berperan Dalam Self Renewal , Diferensiasi , Dan Proliferasi stem Cell. *Jurnal Sainika Medika*, 15(1), 50–59. <https://doi.org/http://ejournal.umm.ac.id/index.php/sainmed>
- Chaterji, S., Ahn, E. H., & Kim, D. (2017). CRISPR Genome Engineering for Human Pluripotent Stem Cell Research. *Journal Theranostics*, 7(18), 4445–4469. <https://doi.org/10.7150/thno.18456>
- Choudhery, M. S., Arif, T., & Mahmood, R. (2025). Applications of artificial intelligence in stem cell therapy. *World Journal of Stem Cells*, 17(8), 1–15. <https://doi.org/10.4252/wjsc.v17.i8.106086>
- Han, H. (2025). Challenges of reproducible AI in biomedical data science. *Han BMC Medical Genomics*, 18(8), 2–6. <https://doi.org/10.1186/s12920-024-02072-6>
- Issa, J., Chaar, M. A., Kempisty, B., Gasiorowski, L., Olszewski, R., Mozdziak, P., & Konwinska, M. D. (2022). Artificial-Intelligence-Based Imaging Analysis of Stem Cells: A Systematic Scoping Review. *Jurnal Biology MDPI*, 11(1412), 2–15. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/biology11101412>
- Jordan, C. T. (2008). The Leukemic stem cell. *Journal of Clinical Oncology*, 20(1), 13–18. <https://doi.org/https://doi.org/10.1200/JCO.2010.31.0904>
- Marei, H. E. (2025). Smarter stem cells: how AI is supercharging iPSC technology. *Cell and Tissue Research*, 402(3), 283–301. <https://doi.org/10.1007/s00441-025-03999-7>
- Noviantari, A. (2020). Pemanfaatan Teknologi Biologi Sel Dalam Dunia Kedokteran Modern. *PROSIDER SEMINAR SAINS NASIONAL*, 1(1), 121–127. <https://doi.org/http://proceeding.unindra.ac.id/index.php/sinasis/index>

DOI: <https://doi.org/10.69693/ijmst.v4i2.8440>

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

---

- Nur, N. F., Mufliha, N., & Rachmawati. (2026). Perkembangan Teknologi CRISPR dari Cas9 Konvensional Menuju Sistem Editing Presisi Tinggi dalam Aplikasi Bioteknologi Kesehatan. *Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)*, 5(1), 12475–12486. <https://doi.org/https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>
- Pertiwi, W., Judijanto, L., Apriansi, M., Suparningtyas, J. F., Lada, Y. G., Mahyuni, S., & Nuroniah, H. S. (2025). Bioteknologi: Teori dan penerapan dalam berbagai bidang. PT Sonpedia Publishing Indonesia.
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology : An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 01(48), 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Trianah, N., Saptiawati., Liswati, C., & Pratiwi, R. H. (2025). Tinjauan Ilmiah terhadap Sel Punca Dewasa : Peran Terapeutik , Keamanan ,dan Aplikasinya dalam Penyakit Degeneratif. *Jurnal Cakrawala Pendidikan Dan Biologi*, 2(3), 72–94. <https://doi.org/https://doi.org/10.61132/jucapenbi.v2i3.565>
- Wibowo, A. (2025). *Regulasi Aplikasi (Artificial Intelligence)* (J. T. Santoso (ed.)). Universitas STEKOM.
- Widjaya, M. A., Lee, S.-D., & Ho, Y. (2021). Impactful factors and research design in CRISPR-edited stem cell research from top 10 highly cited articles. *Stem Cell Research & Therapy*, 12(411), 2–9. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s13287-021-02471-x>
- Zhu, Y., Huang, R., Wu, Z., Song, S., Cheng, L., & Zhu, R. (2021). Deep learning-based predictive identification of neural stem cell differentiation. *Nature Communications*, 12(2614), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22758-0>