

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kanker paru merupakan salah satu penyebab kematian tertinggi akibat kanker di dunia. Pada tahun 2022 tercatat sekitar 2,48 juta kasus baru dengan 1,81 juta kematian, atau sekitar 18% dari seluruh kematian akibat kanker secara global (World Cancer Research Fund, 2022). Di Indonesia, kanker paru menempati urutan kedua terbanyak pada laki-laki dengan sekitar 29.000 kasus baru dan menyumbang 9,5% dari total kasus kanker nasional (Global Cancer Observatory, 2022). Tingginya angka kejadian dan kematian ini dipengaruhi oleh keterlambatan diagnosis, keterbatasan akses layanan kesehatan, serta rendahnya efektivitas terapi yang tersedia. Secara histologis, kanker paru dibedakan menjadi dua tipe utama, yaitu *small cell lung cancer* (SCLC) dan *non-small cell lung cancer* (NSCLC), di mana NSCLC merupakan jenis yang paling dominan, mencakup sekitar 85% dari seluruh kasus (Knight et al., 2017).

Salah satu proses biologis yang berperan penting dalam pertumbuhan kanker paru adalah angiogenesis, yaitu pembentukan pembuluh darah baru yang berfungsi memasok oksigen dan nutrisi bagi sel tumor. Proses angiogenesis dikendalikan oleh Vascular Endothelial Growth Factor (VEGF) dan reseptornya, VEGFR, yang termasuk dalam keluarga reseptor tirosin kinase pada permukaan sel endotel (Park et al., 2018). Aktivasi kompleks VEGF-VEGFR memicu serangkaian jalur transduksi sinyal intraseluler seperti PI3K/AKT dan MAPK/ERK, yang menstimulasi proliferasi, migrasi, serta permeabilitas sel endotel sehingga mempercepat pertumbuhan dan metastasis kanker paru (Y. Zhao et al., 2022). Jalur sinyal VEGF/VEGFR telah terbukti sebagai salah satu mekanisme utama yang mendukung angiogenesis patologis pada kanker dan menjadi target strategis dalam pengembangan terapi antikanker modern (Zhao et al., 2015).

Terapi konvensional kanker paru, seperti kemoterapi dan radioterapi hingga kini masih menjadi pilihan utama, namun memiliki sejumlah keterbatasan

signifikan. Salah satu permasalahan utama adalah munculnya resistensi obat, baik intrinsik maupun akuisitif, yang terjadi melalui berbagai mekanisme seperti peningkatan ekspresi protein pengangkut obat (misalnya P-glycoprotein/MDR1), perubahan target molekuler, hingga perbaikan DNA sel kanker secara berlebihan. Kondisi ini menyebabkan efektivitas terapi menurun dan risiko kekambuhan meningkat (Alnefaie, 2024). kemoterapi sering menimbulkan efek samping sistemik yang berat, antara lain mielosupresi (neutropenia, anemia, trombositopenia), hepatotoksitas, nefrotoksitas, serta gangguan gastrointestinal, sehingga menurunkan kualitas hidup pasien (Hart et al., 2023; Mukherjee et al., 2023).

Indonesia memiliki megabiodiversitas yang berpotensi besar sebagai sumber obat alami, terutama dari tumbuhan obat (Hendrayana et al., 2025). Banyak tanaman Indonesia mengandung metabolit sekunder seperti flavonoid, fenolik, dan alkaloid yang terbukti memiliki aktivitas antikanker (Rani et al., 2023). Salah satu tanaman yang potensial adalah Kirinyuh (*Chromolaena odorata* L.), yang dikenal mengandung berbagai senyawa bioaktif dan memiliki efek antimikroba, antiinflamasi, serta antikanker (Gultom et al., 2020; Sitinjak et al., 2025b). Penelitian menunjukkan bahwa ekstrak daun *C. odorata* bersifat sitotoksik terhadap sel kanker MCF-7, T47D, dan HeLa dengan kemampuan menginduksi apoptosis, sehingga menjadikannya kandidat bahan alam menjanjikan untuk pengembangan terapi kanker (Yusuf et al., 2023).

Penelitian tentang potensi senyawa aktif *C. odorata* sebagai inhibitor VEGFR-2 dapat diimplementasikan dalam pembelajaran biologi, khususnya pada materi sel. Hasil riset ini dapat disajikan dalam bentuk poster ilmiah edukatif untuk mendukung pembelajaran berbasis riset yang menumbuhkan kemampuan berpikir kritis mahasiswa (Pierce, 2016). Visualisasi mekanisme kerja senyawa terhadap protein target melalui poster membantu mahasiswa memahami keterkaitan antara struktur molekul dan fungsi biologisnya (Terrell & Listenberger, 2016). Hasil penelitian ini juga dapat meningkatkan pemahaman sains dan menumbuhkan kesadaran tentang potensi keanekaragaman hayati lokal sebagai sumber belajar biologi (Pansari, 2021).

Metode *in silico*, khususnya *molecular docking*, telah menjadi pendekatan krusial dan efisien dalam tahap awal penemuan obat modern karena memungkinkan prediksi interaksi antara senyawa aktif (ligan) dan target protein secara komputasional, termasuk estimasi afinitas dan posisi ikatan paling stabil di situs aktif target. Keunggulan utama dari pendekatan ini adalah efisiensi waktu dan biaya, serta kemampuannya menyaring ribuan senyawa kandidat hanya berdasarkan data struktur tiga dimensi protein target; review terkini menegaskan bahwa metode docking telah diperbarui dengan algoritma dan fungsi skor yang lebih akurat, fleksibilitas target, serta integrasi dengan *virtual screening* skala besar dan fitur seperti *fragment-based docking* dan *covalent docking* untuk memperbaiki hasil awal (Ansari et al., 2025).

Penelitian ini juga digunakan untuk menjawab tantangan terkait kurangnya pemahaman siswa SMA terhadap integrasi teknologi dalam pembelajaran Biologi, karena pada banyak sekolah pemanfaatan teknologi informasi dalam proses belajar belum optimal sehingga literasi digital siswa dalam memahami dan mengeksplorasi konsep-konsep biologi masih perlu ditingkatkan; hal ini dapat dilihat dari beberapa studi yang menunjukkan bahwa tingkat literasi digital siswa SMA dalam pembelajaran Biologi cenderung rendah dan penggunaan teknologi pembelajaran seperti mobile learning serta aplikasi digital belum diterapkan secara maksimal, dengan implikasi bahwa pengembangan keterampilan abad 21 seperti berpikir kritis dan pemecahan masalah juga belum optimal dalam pembelajaran Biologi (Oktavia, 2015).

Berdasarkan hasil wawancara dengan guru Biologi di SMA Cahaya Sakti, diketahui bahwa pembelajaran bioteknologi masih didominasi oleh penyampaian materi teori dan praktikum bioteknologi konvensional seperti fermentasi, sementara materi bioteknologi molekuler, khususnya *molecular docking*, belum pernah diajarkan sehingga pemahaman siswa terhadap teknologi Biologi modern masih terbatas; kondisi ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang umumnya masih membahas pemanfaatan teknologi pembelajaran bioteknologi dan bioinformatika secara umum, seperti pengembangan modul atau kesiapan guru dalam mengintegrasikan bioinformatika ke dalam pembelajaran Biologi (Sari et al., 2024),

namun penelitian-penelitian tersebut belum secara spesifik mengangkat topik *molecular docking* maupun mengembangkannya dalam bentuk poster edukasi sebagai media pengenalan teknologi biologi berbasis komputasi bagi siswa SMA.

Upaya untuk mengatasi hal tersebut diperlukan sebuah media pembelajaran berupa poster edukasi *molecular docking*, karena media visual seperti poster edukasi merupakan alat komunikasi yang dirancang untuk menyampaikan informasi atau pengetahuan secara ringkas, jelas, dan mudah dipahami oleh pembaca (Listiana et al., 2023), serta terbukti dapat meningkatkan pemahaman siswa terhadap materi pelajaran dengan menyederhanakan konsep-konsep yang kompleks ke dalam bentuk visual yang menarik (Utami et al., 2024). Manfaat poster edukasi antara lain membantu siswa dalam memahami materi pelajaran, menarik perhatian siswa, serta memfasilitasi penyampaian informasi secara efisien dalam konteks pembelajaran (Utami et al., 2024), sehingga poster edukasi *molecular docking* diharapkan dapat menjadi media yang efektif untuk memperkenalkan konsep bioteknologi molekuler berbasis komputasi kepada siswa SMA dan meningkatkan pemahaman mereka terhadap topik yang belum pernah diajarkan secara formal.

B. Rumusan Masalah

1. Senyawa manakah yang memiliki afinitas tertinggi terhadap reseptor VEGFR-2 berdasarkan hasil *molecular docking*?
2. Bagaimana potensi senyawa aktif *C. odorata* L. dalam berinteraksi dengan protein VEGFR-2 sebagai target terapi kanker paru berdasarkan analisis *in silico*?
3. Mengetahui langkah pembuatan poster edukasi *in silico: molecular docking*
4. Bagaimana kelayakan Poster edukasi *in silico: molecular docking*
5. Bagaimana persepsi siswa tentang Poster edukasi *in-silico molecular docking*?

C. Tujuan Penelitian

1. Menentukan senyawa yang memiliki potensi tertinggi sebagai inhibitor VEGFR-2 berdasarkan hasil analisis *molecular docking*.

2. Menganalisis interaksi antara senyawa aktif *C. odorata* L. dengan protein VEGFR-2 sebagai target terapi kanker paru melalui pendekatan *in silico*.
3. Mengetahui apakah Poster *in silico : Molecular Docking* dikatakan layak atau tidak sebagai poster edukasi pada Mata pelajaran Bioteknologi.
4. Mengetahui persepsi siswa tentang poster edukasi *molecular docking*

D. Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu Biologi, khususnya dalam bidang bioteknologi dan biologi molekuler, melalui pemahaman mekanisme interaksi antara senyawa bioaktif tanaman *C. odorata* L. dengan protein VEGFR-2 sebagai target terapi kanker paru berbasis pendekatan *in silico*. Selain itu, hasil penelitian ini juga diharapkan dapat menambah referensi ilmiah mengenai potensi tumbuhan obat Indonesia sebagai sumber senyawa antikanker, serta berkontribusi dalam pengembangan media pembelajaran berupa poster edukasi *molecular docking* yang dapat digunakan sebagai sarana diseminasi pengetahuan bioteknologi molekuler secara visual, ringkas, dan mudah dipahami, sehingga menjembatani hasil penelitian ilmiah dengan kebutuhan pembelajaran Biologi di tingkat SMA.

2. Manfaat Praktis

- a. Bagi peneliti, penelitian ini menjadi sarana untuk mengasah kemampuan analisis bioinformatika dan pemodelan molekul dalam studi pengembangan obat alami.
- b. Bagi dunia pendidikan, hasil penelitian dapat dimanfaatkan sebagai media pembelajaran berupa poster ilmiah untuk materi sel, sehingga membantu mahasiswa memahami keterkaitan antara konsep biologi molekuler dan penerapannya dalam bidang Kesehatan.
- c. Bagi masyarakat ilmiah, penelitian ini dapat menjadi dasar bagi penelitian lanjutan dalam pengembangan senyawa inhibitor VEGFR-2 dari sumber alam yang berpotensi sebagai kandidat obat kanker.