

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kanker payudara merupakan jenis kanker yang paling sering didiagnosis pada wanita di seluruh dunia. Pada tahun 2022, kanker payudara didiagnosis pada 2,3 juta wanita di seluruh dunia dan mengakibatkan 670.000 kematian (Freihat *et al.*, 2025). Saat ini, penanganan kanker payudara melibatkan berbagai terapi konvensional. Namun, terapi yang tersedia memiliki keterbatasan, termasuk efek samping yang parah dan toksisitas yang membatasi dosis. Efek samping umum dari pengobatan kanker meliputi mual, muntah, neuropati perifer, nyeri, dan insomnia yang mengurangi kualitas hidup (Merlin *et al.*, 2021). Penelitian yang dilakukan oleh Antonia *et al.* (2020) menyebutkan bahwa 89,9% dari 146 pasien kanker payudara yang menjalani radioterapi menderita efek samping yang menyakitkan. Di antaranya 87% mengalami eritema kulit, 74% mengalami kelelahan, dan 69% mengalami telangiektasia.

Pengobatan kemoterapi terutama pada sel kanker payudara telah menunjukkan adanya resistensi yang dapat berkembang menjadi fenotip yang lebih agresif (Lainetti *et al.*, 2020). Beberapa penelitian telah melaporkan adanya kejadian resistensi di berbagai subtipe. Resistensi pada kanker payudara Luminal A sekitar 10-30%, pada kanker payudara Luminal B berkisar antara 20-50%, dan pada kanker payudara HER2 sekitar 10-40%% (Wu *et al.*, 2025). Pendekatan baru melalui senyawa alami, salah satunya *Caulerpa* sp. menjadi salah satu strategi yang berpotensi mendukung terapi kanker payudara

Pada beberapa penelitian, senyawa bioaktif dari *Caulerpa* sp. menunjukkan efek sitotoksik pada sel kanker, menghambat pertumbuhan tumor melalui induksi apoptosis, melindungi sel dari kerusakan DNA, mengurangi peradangan kronis, serta berkontribusi pada pencegahan dan regresi tumor. Selain mempercepat kematian sel kanker, sifat antioksidan dari senyawa bioaktif memainkan peran penting dalam melindungi sel dari kerusakan oksidatif yang menjadi kontributor utama perkembangan kanker (Frazzini dan Rossi, 2025).

Caulerpa sp. mengandung sejumlah vitamin, mineral, protein, polisakarida, berbagai polifenol fungsional, dan lipid (Magdudo *et al.*, 2020). Polifenol mampu menginduksi apoptosis sel kanker dengan memodulasi aktivasi Caspase-3, *cytochrome c*, dan Bcl-2 (Sanger *et al.*, 2023). Fenol berfungsi sebagai antioksidan dalam tubuh sehingga menghambat terjadinya penyakit degeneratif seperti kanker (Lengkey *et al.*, 2024). Aktivitas antioksidan tersebut telah terbukti di beberapa penelitian dengan nilai IC₅₀ sebesar 47,41 µg/mL pada *C. racemosa* (Soltif dan Budianto, 2025), 96,08 µg/mL pada *C. racemosa* (Sandjaya *et al.*, 2025), dan 91µg/mL pada *C. prolifera* (Ouahabi *et al.*, 2025). Aktivitas antioksidan yang kuat pada beberapa spesies *Caulerpa* sp. berkontribusi terhadap mekanisme antikanker, terutama dalam induksi apoptosis sel kanker.

Potensi *Caulerpa* sp. sebagai antikanker payudara telah banyak di kaji, termasuk pendekatan secara *in silico*. Namun, penelitian *in silico* yang

secara spesifik mengidentifikasi senyawa bioaktif dari *Caulerpa* sp. terhadap protein pro-apoptosis masih terbatas. Penelitian Nurhayati *et al.* (2022) menargetkan protein P53 dan Caspase-9 dengan senyawa bioaktif dari spons laut (*Hyrtios altum*) dan Christoper *et al.* (2023) menargetkan BAK, BAX, Bcl-2, Bcl-Xl, Caspase-3, Caspase-6, Caspase-8, Caspase-9, CDK-4, CDK-6, dan Cyclin-D1 dengan senyawa bioaktif dari *Cassia fistula*. Salah satu protein yang berperan dalam apoptosis adalah Caspase-3 yang berperan sebagai eksekutor atau pelaksana utama apoptosis dengan mendegradasi berbagai protein seluler sehingga terjadi kematian sel secara terprogram (Christoper *et al.*, 2023).

Berdasarkan uraian di atas, *Caulerpa* sp. memiliki potensi sebagai sumber senyawa bioaktif yang dapat dikembangkan sebagai kandidat antikanker payudara. Pada penelitian ini bertujuan mendeskripsikan ciri morfologi dan identitas molekuler *Caulerpa* sp. berdasarkan analisis sekuen 18S rRNA., menentukan nilai aktivitas antioksidan ekstrak *Caulerpa* sp. berdasarkan kadar total fenol (KTFE) melalui uji *Total Phenolic Content* (TPC) dan nilai IC₅₀ pada uji *1,1-Difenyl-2-Picrylhydrazyl* (DPPH), mengetahui profil metabolit bioaktif ekstrak *Caulerpa* sp. berdasarkan analisis GC-MS, dan menganalisis interaksi dan profil farmakokinetik senyawa bioaktif *Caulerpa* sp. terhadap protein Caspase-3 dalam induksi apoptosis sel kanker payudara secara *in silico*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini meliputi:

1. Bagaimana karakteristik morfologi dan identitas molekular *Caulerpa* sp. berdasarkan analisis sekuen 18S rRNA serta hubungan kekerabatan *Caulerpa* sp. dengan spesies lain?
2. Bagaimana aktivitas antioksidan ekstrak *Caulerpa* sp. berdasarkan kandungan total fenol dan nilai IC₅₀ pada uji DPPH?
3. Bagaimana profil metabolit bioaktif ekstrak *Caulerpa* sp. berdasarkan analisis GC-MS?
4. Bagaimana interaksi dan profil farmakokinetik senyawa bioaktif *Caulerpa* sp. terhadap protein Caspase-3 dalam induksi apoptosis sel kanker payudara secara *in silico*?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini meliputi:

1. Mendeskripsikan ciri morfologi dan identitas molekuler *Caulerpa* sp. berdasarkan analisis sekuen 18S rRNA.
2. Mengetahui aktivitas antioksidan ekstrak *Caulerpa* sp. berdasarkan kandungan fenol dan nilai IC₅₀ pada uji DPPH.
3. Mengetahui profil metabolit bioaktif ekstrak *Caulerpa* sp. berdasarkan analisis GC-MS.
4. Menganalisis interaksi dan profil farmakokinetik senyawa bioaktif *Caulerpa* sp. terhadap protein Caspase-3 dalam induksi apoptosis sel kanker payudara secara *in silico*.

1.4 Manfaat

Manfaat dilakukannya penelitian ini untuk mendapatkan informasi tentang ciri morfologi dan identitas molekuler *Caulerpa* sp. berdasarkan analisis sekuen 18S rRNA serta aktivitas antioksidan ekstrak *Caulerpa* sp. berdasarkan kandungan fenol dan nilai IC₅₀ pada uji DPPH. Selain itu, melalui penelitian ini diharapkan mendapatkan informasi tentang profil metabolit bioaktif ekstrak *Caulerpa* sp. berdasarkan analisis GC-MS serta interaksi dan profil farmakokinetik senyawa bioaktif *Caulerpa* sp. terhadap protein Caspase-3 dalam induksi apoptosis sel kanker payudara secara in silico. Manfaat lainnya sebagai acuan dari studi sistematis tentang potensi antikanker dan antioksidan dari genus *Caulerpa*.