

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kanker merupakan salah satu masalah kesehatan utama di dunia dan menjadi penyebab kematian terbesar kedua setelah penyakit kardiovaskular. Menurut laporan *World Health Organization* (WHO) dan *International Agency for Research on Cancer* (IARC), pada tahun 2022 terdapat sekitar 20 juta kasus kanker baru dan 9,7 juta kematian akibat kanker di seluruh dunia. Beban kanker global diperkirakan akan terus meningkat sehingga jumlah kasus baru dapat mencapai lebih dari 35 juta kasus pada tahun 2050. Tingginya angka kejadian dan kematian akibat kanker menunjukkan bahwa penyakit ini masih menjadi tantangan besar dalam bidang kesehatan dan memerlukan pengembangan strategi pencegahan maupun terapi yang lebih efektif dan aman (Chhikara & Parang, 2023; Siegel *et al.*, 2024; WHO, 2024, 2026).

Di antara berbagai jenis kanker, kanker payudara dan kanker serviks merupakan dua kanker yang memberikan beban kesehatan yang sangat besar pada perempuan. Berdasarkan GLOBOCAN 2022, kanker payudara merupakan kanker dengan insidensi tertinggi pada perempuan di dunia, sedangkan kanker serviks masih menjadi salah satu penyebab utama kematian akibat kanker pada perempuan, terutama di negara berkembang. Di Indonesia, kanker payudara merupakan kanker dengan jumlah kasus baru tertinggi pada perempuan, sedangkan kanker serviks termasuk kanker dengan insidensi dan mortalitas tertinggi. Tingginya angka kejadian dan kematian akibat kedua jenis kanker tersebut menunjukkan perlunya

pengembangan agen antikanker yang lebih efektif, aman, dan terjangkau untuk mendukung upaya pengendalian kanker pada perempuan (Bray *et al.*, 2024; Scharlier, 2020).

Berbagai pendekatan terapi kanker telah dikembangkan, termasuk pembedahan, radioterapi, kemoterapi, terapi target, dan imunoterapi. Meskipun demikian, efektivitas pengobatan sering kali dibatasi oleh munculnya resistensi obat, toksisitas terhadap jaringan normal, efek samping jangka panjang, serta tingginya biaya terapi. Oleh karena itu, pencarian kandidat antikanker baru yang memiliki efektivitas tinggi dengan profil keamanan yang lebih baik masih menjadi fokus utama penelitian di bidang onkologi (Carter *et al.*, 1987; J. Li *et al.*, 2025; Nussinov *et al.*, 2021).

Produk alam telah memberikan kontribusi penting dalam penemuan obat antikanker modern. Salah satu kelompok senyawa yang berhasil dikembangkan menjadi obat antikanker adalah taxane yang diisolasi dari tumbuhan genus *Taxus*. Paclitaxel merupakan senyawa utama golongan taxane yang bekerja dengan menstabilkan mikrotubulus sehingga menghambat mitosis, menginduksi penghentian siklus sel, dan memicu apoptosis pada sel kanker. Hingga saat ini paclitaxel masih digunakan secara luas dalam terapi kanker payudara, ovarium, paru, dan serviks. Namun demikian, penggunaan paclitaxel masih menghadapi berbagai keterbatasan, antara lain toksisitas hematologi, neuropati perifer, keterbatasan bioavailabilitas, serta munculnya resistensi pada berbagai jenis kanker (Belger *et al.*, 2024; Ismail & Killeen, 2023; Nova *et al.*, 2021; Wani & Horwitz, 2014).

Selain itu, semakin banyak bukti menunjukkan bahwa aktivitas biologis tumbuhan obat tidak selalu ditentukan oleh satu senyawa tunggal, melainkan dapat melibatkan interaksi sinergis berbagai metabolit sekunder yang bekerja pada beberapa target molekuler secara simultan. Oleh karena itu, eksplorasi ekstrak terstandar yang mengandung berbagai senyawa bioaktif masih memiliki relevansi ilmiah dan terapeutik yang tinggi, terutama dalam pengembangan fitofarmaka berbasis bahan alam (Herranz-López *et al.*, 2019; Muhammad *et al.*, 2022; Shuvalov *et al.*, 2023).

Di antara berbagai sumber bahan alam tersebut, Indonesia memiliki keanekaragaman hayati yang sangat besar dan berpotensi menjadi sumber senyawa bioaktif baru untuk pengembangan obat antikanker. Salah satu tumbuhan yang berpotensi adalah *Taxus sumatrana* (Miq.) de Laub., spesies endemik Indonesia yang termasuk dalam genus *Taxus*. Beberapa penelitian sebelumnya telah melaporkan keberadaan berbagai senyawa golongan taxane pada *T. sumatrana* yang berpotensi sebagai agen antikanker. Namun dibandingkan spesies *Taxus* lainnya, penelitian mengenai aktivitas biologis, mekanisme aksi molekuler, standarisasi ekstrak, dan profil keamanan *T. sumatrana* masih sangat terbatas (Elfahmi *et al.*, 2014; Kitagawa *et al.*, 1995; Sudarmin *et al.*, 2020).

Selain memiliki potensi sebagai sumber senyawa taxane, *T. sumatrana* juga telah lama dimanfaatkan secara empiris oleh masyarakat di beberapa daerah di Indonesia sebagai pengobatan tradisional untuk berbagai jenis kanker. Pemanfaatan tersebut didasarkan pada asumsi atau pengalaman empiris masyarakat dan informasi mengenai kandungan paclitaxel yang terdapat pada tumbuhan ini. Hasil telaah pustaka menunjukkan bahwa bagian kulit batang, daun, maupun ranting *T.*

sumatrana telah digunakan secara tradisional untuk membantu pengobatan kanker payudara, kanker serviks, kanker paru, dan beberapa jenis kanker lainnya. Meskipun demikian, bukti ilmiah yang mendukung efektivitas, mekanisme kerja, kandungan senyawa aktif, serta keamanan penggunaan *T. sumatrana* masih sangat terbatas sehingga diperlukan penelitian yang lebih komprehensif untuk memvalidasi pemanfaatan empiris tersebut (D. E. Putri *et al.*, 2023; Sudarmin *et al.*, 2020).

Dengan demikian, meskipun *T. sumatrana* telah dimanfaatkan secara empiris sebagai tanaman obat kanker dan diketahui mengandung senyawa golongan taxane yang berpotensi sebagai agen antikanker, bukti ilmiah yang menjelaskan aktivitas biologis dan mekanisme kerjanya masih belum tersedia secara memadai. Sebagian besar penelitian terdahulu terhadap *T. sumatrana* masih berfokus pada identifikasi senyawa metabolit sekunder dan belum banyak mengevaluasi aktivitas antikankernya secara komprehensif. Hingga saat ini masih terdapat keterbatasan informasi mengenai aktivitas sitotoksik terhadap berbagai lini sel kanker perempuan, selektivitas terhadap sel normal, kemampuan menginduksi apoptosis, pengaruh terhadap distribusi siklus sel, serta regulasi ekspresi gen dan protein yang berperan dalam proliferasi dan kematian sel kanker (Kurniawan *et al.*, 2024; Shen *et al.*, 2007; Shen, Chang, *et al.*, 2003).

Selain keterbatasan data biologis, hubungan antara kandungan senyawa bioaktif dan mekanisme antikanker yang dihasilkan juga masih belum banyak dipahami. Pendekatan komputasi seperti *molecular docking* semakin banyak digunakan dalam penelitian antikanker untuk memprediksi interaksi senyawa bioaktif dengan target molekuler tertentu dan membantu menjelaskan mekanisme

aksi yang mendasari aktivitas biologis suatu ekstrak. Integrasi antara identifikasi senyawa menggunakan teknik metabolomik, seperti LC-HRMS, dengan analisis *molecular docking* dapat memberikan informasi yang lebih mendalam mengenai senyawa yang berpotensi berkontribusi terhadap aktivitas antikanker dan target biologis yang mungkin terlibat. Namun, hingga saat ini belum terdapat laporan yang mengintegrasikan identifikasi senyawa aktif *T. sumatrana* dengan analisis *molecular docking* terhadap target molekuler yang relevan dalam proses proliferasi dan kematian sel kanker (Brlek *et al.*, 2025; Falakh *et al.*, 2025; Shende *et al.*, 2024).

Di sisi lain, pengembangan suatu kandidat fitofarmaka tidak hanya memerlukan bukti efikasi dan mekanisme kerja, tetapi juga memerlukan jaminan mutu dan keamanan yang dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Sampai saat ini informasi mengenai senyawa penanda, standardisasi ekstrak, serta profil toksisitas akut dan subkronik *T. sumatrana* masih sangat terbatas. Keterbatasan data tersebut menyebabkan potensi *T. sumatrana* sebagai kandidat fitofarmaka antikanker belum dapat dievaluasi secara menyeluruh sesuai dengan prinsip pengembangan obat bahan alam yang menekankan aspek mutu, keamanan, dan khasiat (BPOM, 2023b, 2023a).

Berdasarkan berbagai kesenjangan penelitian tersebut, masih diperlukan bukti ilmiah yang komprehensif mengenai aktivitas antikanker, mekanisme aksi molekuler, hubungan antara kandungan senyawa aktif dan aktivitas biologis, serta aspek mutu dan keamanan *T. sumatrana*. Ketersediaan data tersebut penting untuk memperkuat dasar ilmiah pemanfaatan *T. sumatrana* yang selama ini digunakan secara empiris oleh masyarakat, sekaligus menilai potensinya sebagai kandidat

fitofarmaka antikanker berbasis sumber daya hayati Indonesia. Oleh karena itu, penelitian ini dirancang dengan pendekatan yang mengintegrasikan pengujian aktivitas biologis, karakterisasi senyawa aktif menggunakan LC-HRMS, analisis molecular docking, evaluasi mekanisme molekuler, standardisasi ekstrak, serta pengujian keamanan untuk menghasilkan bukti ilmiah yang lebih komprehensif mengenai potensi *T. sumatrana* sebagai kandidat fitofarmaka antikanker berbasis sumber daya hayati Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini dikelompokkan sebagai berikut:

1. Aktivitas antikanker dan selektivitas ekstrak *T. sumatrana*
 - a. Apakah ekstrak etanol kulit batang, daun, dan campuran daun-ranting *T. sumatrana* memiliki aktivitas sitotoksik terhadap sel kanker payudara T47D, sel kanker payudara HER2-positif MCF-7/HER2, dan sel kanker serviks HeLa?
 - b. Apakah ekstrak *T. sumatrana* memiliki aktivitas sitotoksik yang selektif terhadap sel kanker dibandingkan dengan sel normal Vero dan sel makrofag RAW 264.7?
2. Mekanisme antikanker ekstrak *T. sumatrana*
 - a. Apakah ekstrak *T. sumatrana* mampu menginduksi apoptosis pada sel kanker payudara dan sel kanker serviks?
 - b. Apakah ekstrak *T. sumatrana* mampu menghambat proliferasi sel kanker melalui pengaruh terhadap distribusi siklus sel?

- c. Bagaimana pengaruh ekstrak *T. sumatrana* terhadap ekspresi gen p53, Bax, dan Bcl-2 yang berperan dalam regulasi apoptosis?
- d. Bagaimana pengaruh ekstrak *T. sumatrana* terhadap ekspresi protein p53 dan Cyclin D1 yang berperan dalam regulasi proliferasi dan siklus sel?
3. Karakterisasi senyawa bioaktif dan hubungannya dengan aktivitas antikanker ekstrak *T. sumatrana*
 - a. Senyawa metabolit sekunder apa saja yang terkandung dalam ekstrak *T. sumatrana* berdasarkan hasil skrining fitokimia, HPLC (*High Performance Liquid Chromatography*), dan LC-HRMS (*Liquid Chromatography - High Resolution Mass Spectrometry*)?
 - b. Bagaimana potensi senyawa hasil identifikasi yang diprioritaskan melalui analisis kemometrik terhadap target molekuler yang relevan berdasarkan analisis *molecular docking*?
4. Standardisasi ekstrak *T. sumatrana* melalui penetapan paclitaxel sebagai senyawa penanda

Apakah paclitaxel dapat digunakan sebagai senyawa penanda untuk standardisasi ekstrak *T. sumatrana*?
5. Keamanan ekstrak *T. sumatrana*
 - a. Bagaimana profil keamanan ekstrak kulit batang *T. sumatrana* berdasarkan hasil pengujian toksisitas akut?
 - b. Bagaimana profil keamanan ekstrak kulit batang *T. sumatrana* berdasarkan hasil pengujian toksisitas subkronik?

1.3 Tujuan Penelitian

1.3.1 Tujuan Umum

Menentukan potensi antikanker, mekanisme molekuler, karakterisasi senyawa aktif, standardisasi, dan profil keamanan ekstrak *T. sumatrana* (Miq.) de Laub. sebagai kandidat fitofarmaka antikanker.

1.3.2 Tujuan Khusus

1. Aktivitas antikanker dan selektivitas ekstrak *T. sumatrana*
 - a. Menentukan aktivitas sitotoksik ekstrak etanol kulit batang, daun, dan campuran daun-ranting *T. sumatrana* terhadap sel kanker payudara T47D, sel kanker payudara HER2-positif MCF-7/HER2, dan sel kanker serviks HeLa.
 - b. Menentukan selektivitas ekstrak *T. sumatrana* terhadap sel kanker dibandingkan sel normal Vero dan sel makrofag RAW 264.7.
2. Mekanisme antikanker ekstrak *T. sumatrana*
 - a. Menganalisis kemampuan ekstrak *T. sumatrana* dalam menginduksi apoptosis pada sel kanker payudara dan sel kanker serviks.
 - b. Menganalisis pengaruh ekstrak *T. sumatrana* terhadap distribusi siklus sel kanker.
 - c. Menganalisis pengaruh ekstrak *T. sumatrana* terhadap ekspresi gen p53, Bax, dan Bcl-2 yang berperan dalam regulasi apoptosis.
 - d. Menganalisis pengaruh ekstrak *T. sumatrana* terhadap ekspresi protein p53 dan Cyclin D1 yang berperan dalam regulasi proliferasi dan siklus sel.

3. Karakterisasi senyawa bioaktif dan hubungannya dengan aktivitas antikanker ekstrak *T. sumatrana*
 - a. Mengidentifikasi metabolit sekunder yang terkandung dalam ekstrak *T. sumatrana* melalui skrining fitokimia, HPLC, dan LC-HRMS.
 - b. Menganalisis potensi senyawa hasil identifikasi yang diprioritaskan melalui analisis kemometrik terhadap target molekuler yang relevan menggunakan pendekatan *molecular docking*.
4. Standardisasi ekstrak *T. sumatrana* melalui penetapan paclitaxel sebagai senyawa penanda
Menentukan potensi paclitaxel sebagai senyawa penanda untuk standardisasi ekstrak *T. sumatrana*.
5. Keamanan ekstrak *T. sumatrana*
 - a. Mengevaluasi profil keamanan ekstrak kulit batang *T. sumatrana* melalui pengujian toksisitas akut.
 - b. Mengevaluasi profil keamanan ekstrak kulit batang *T. sumatrana* melalui pengujian toksisitas subkronik.

1.4 Kebaruan (*Novelty*)

Kebaruan penelitian ini terletak pada pendekatan komprehensif dalam mengevaluasi potensi antikanker *T. sumatrana* yang mencakup aspek efikasi, mekanisme molekuler, karakterisasi senyawa aktif, standardisasi ekstrak, serta profil keamanan. Hingga saat ini, sebagian besar penelitian terhadap *T. sumatrana* masih berfokus pada identifikasi dan isolasi senyawa metabolit sekunder dan belum banyak mengkaji aktivitas biologisnya secara terintegrasi.

Kebaruan pertama penelitian ini adalah evaluasi aktivitas sitotoksik ekstrak etanol kulit batang, daun, dan campuran daun-ranting *T. sumatrana* terhadap tiga model sel kanker yang relevan pada perempuan, yaitu sel kanker payudara T47D, sel kanker payudara HER2-positif MCF-7/HER2, dan sel kanker serviks HeLa, serta evaluasi aktivitas sitotoksik yang selektif terhadap sel kanker dibandingkan dengan sel normal Vero dan sel makrofag RAW 264.7 melalui penentuan *Selectivity Index* (SI). Pendekatan ini memberikan informasi yang lebih komprehensif mengenai potensi antikanker ekstrak, tidak hanya berdasarkan kemampuan menghambat pertumbuhan sel kanker, tetapi juga berdasarkan tingkat selektivitasnya terhadap sel normal, yang hingga saat ini belum pernah dilaporkan secara terintegrasi pada penelitian *T. sumatrana*.

Kebaruan kedua penelitian ini terletak pada kajian mekanisme antikanker ekstrak *T. sumatrana* secara multi-level melalui empat aspek yang saling berkaitan, yaitu (a) induksi apoptosis yang dianalisis secara morfologi dan *flow cytometry*, (b) regulasi distribusi siklus sel menggunakan *flow cytometry*, (c) modulasi ekspresi gen p53, Bax, dan Bcl-2 menggunakan RT-qPCR, serta (d) modulasi ekspresi protein p53 dan Cyclin D1 menggunakan *flow cytometry*. Pendekatan yang terintegrasi ini memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai mekanisme molekuler aktivitas antikanker ekstrak *T. sumatrana*, yang belum pernah dilaporkan secara menyeluruh pada penelitian sebelumnya.

Kebaruan ketiga penelitian ini adalah integrasi karakterisasi senyawa bioaktif dan pendekatan komputasional untuk menjelaskan hubungan senyawa aktif dengan aktivitas antikanker. Pendekatan tersebut meliputi dua aspek yang saling berkaitan, yaitu (a) identifikasi metabolit sekunder menggunakan skrining

fitokimia, HPLC, dan LC-HRMS yang dilanjutkan dengan analisis kemometrik menggunakan PCA dan *K-Means Clustering* untuk menentukan senyawa prioritas, serta (b) evaluasi potensi interaksi senyawa prioritas terhadap target molekuler yang berhubungan dengan apoptosis dan proliferasi sel kanker menggunakan *molecular docking*. Pendekatan terintegrasi ini memberikan dasar ilmiah yang lebih kuat dalam menghubungkan profil metabolit ekstrak dengan mekanisme aktivitas antikankernya.

Kebaruan keempat penelitian ini adalah pengembangan aspek standardisasi ekstrak *T. sumatrana* melalui penetapan paclitaxel sebagai senyawa penanda (*marker compound*) yang dikonfirmasi menggunakan pendekatan analisis kromatografi dan spektrometri massa, sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam penjaminan identitas, konsistensi mutu, dan pengembangan ekstrak terstandar maupun fitofarmaka berbasis *T. sumatrana*.

Kebaruan kelima penelitian ini adalah penyediaan data profil keamanan ekstrak kulit batang *T. sumatrana* secara komprehensif melalui dua aspek yang saling melengkapi, yaitu (a) pengujian toksisitas akut untuk mengevaluasi keamanan awal ekstrak, serta (b) pengujian toksisitas subkronik yang mencakup evaluasi parameter hematologi, biokimia darah, indeks organ, dan histopatologi. Pendekatan tersebut melengkapi data efikasi antikanker sehingga memberikan dasar ilmiah yang lebih kuat bagi pengembangan *T. sumatrana* sebagai kandidat fitofarmaka antikanker berbasis sumber daya hayati Indonesia. Keseluruhan kebaruan penelitian ini diringkas seperti Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Kebaruan penelitian

No	Aspek	Penelitian Sebelumnya	Penelitian Ini
1	Aktivitas antikanker dan selektivitas ekstrak <i>T. sumatrana</i>	Uji sitotoksik terbatas; data selektivitas belum tersedia	a. Sitotoksik pada T47D, MCF-7/HER2, dan HeLa b. Selektivitas terhadap sel Vero dan RAW 264.7 melalui <i>Selectivity Index</i>
2	Mekanisme antikanker ekstrak <i>T. sumatrana</i> berdasarkan analisis apoptosis, siklus sel, ekspresi gen, dan ekspresi protein	Data mekanisme belum tersedia termasuk belum dikaji secara komprehensif	Integrasi dari: a. apoptosis b. <i>arrest</i> siklus sel c. ekspresi gen (p53, Bax, Bcl-2) d. protein (p53, Cyclin D1)
3	Karakterisasi senyawa bioaktif dan hubungannya dengan aktivitas antikanker	Identifikasi metabolit tanpa integrasi analisis kemometrik dan target molekuler.	a. Karakterisasi metabolit terintegrasi melalui skrining fitokimia, HPLC, LC-HRMS, analisis kemometrik (PCA dan <i>K-Means Clustering</i>), serta b. <i>molecular docking</i> terhadap Human Kinesin Eg5.
4	Standardisasi ekstrak <i>T. sumatrana</i> melalui penetapan paclitaxel sebagai senyawa penanda	Ekstrak belum distandardisasi	Paclitaxel dikonfirmasi dan ditetapkan sebagai senyawa penanda ekstrak kulit batang <i>T. sumatrana</i>
5	Keamanan ekstrak <i>T. sumatrana</i> Toksisitas akut	Data keamanan belum tersedia	Evaluasi toksisitas akut dan subkronik yang mencakup parameter hematologi, biokimia darah, indeks organ, dan histopatologi

1.5 Manfaat Penelitian

1.5.1 Pengembangan Ilmu Pengetahuan

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang farmakologi, farmakognosi, fitokimia, biologi molekuler, dan pengembangan obat berbasis bahan alam. Manfaat ilmiah yang diharapkan dari penelitian ini meliputi:

1. Penyediaan data aktivitas antikanker *T. sumatrana*

Penelitian ini memberikan informasi ilmiah mengenai aktivitas sitotoksik ekstrak kulit batang, daun, dan campuran daun-ranting *T. sumatrana* terhadap sel kanker payudara T47D, sel kanker payudara HER2-positif MCF-7/HER2, dan sel kanker serviks HeLa, serta selektivitasnya terhadap sel normal Vero dan sel makrofag RAW 264.7.

2. Pemahaman mekanisme molekuler aktivitas antikanker

Penelitian ini memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai mekanisme antikanker *T. sumatrana* melalui kajian apoptosis, siklus sel, ekspresi gen p53, Bax, dan Bcl-2, serta ekspresi protein p53 dan Cyclin D1. Informasi tersebut diharapkan dapat memperkaya pemahaman mengenai mekanisme kerja senyawa antikanker berbasis bahan alam.

3. Pengembangan pengetahuan mengenai hubungan fitokimia dan aktivitas biologis

Penelitian ini menghasilkan informasi mengenai profil fitokimia ekstrak *T. sumatrana* berdasarkan skrining fitokimia, HPLC, dan LC-HRMS, serta keterkaitannya dengan aktivitas antikanker melalui pendekatan molecular docking. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memperkuat pemahaman

mengenai hubungan antara kandungan senyawa bioaktif dan aktivitas biologisnya.

4. Penyediaan data standardisasi dan keamanan ekstrak

Penelitian ini menghasilkan informasi mengenai potensi paclitaxel sebagai senyawa penanda serta menyediakan data keamanan melalui pengujian toksisitas akut dan subkronik. Data tersebut dapat menjadi dasar ilmiah bagi pengembangan ekstrak *T. sumatrana* yang memenuhi aspek mutu, keamanan, dan khasiat.

1.5.2 Terapan

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat praktis dalam pengembangan produk obat berbasis bahan alam serta mendukung pemanfaatan keanekaragaman hayati Indonesia secara berkelanjutan.

1. Penyediaan dasar ilmiah penggunaan *T. sumatrana* sebagai kandidat antikanker

Penelitian ini memberikan bukti ilmiah mengenai aktivitas antikanker, mekanisme kerja, kandungan senyawa aktif, serta profil keamanan *T. sumatrana*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memperkuat dasar ilmiah penggunaan *T. sumatrana* sebagai bahan baku potensial untuk pengembangan produk antikanker berbasis bahan alam.

2. Pengembangan kandidat fitofarmaka antikanker

Data efikasi, mekanisme molekuler, standardisasi, dan keamanan yang dihasilkan dalam penelitian ini dapat menjadi landasan bagi penelitian lanjutan menuju pengembangan obat herbal terstandar maupun fitofarmaka antikanker berbasis *T. sumatrana*.

3. Pemanfaatan sumber daya hayati Indonesia

Hasil penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan nilai tambah keanekaragaman hayati Indonesia melalui pemanfaatan spesies endemik *T. sumatrana* sebagai sumber bahan baku produk kesehatan yang memiliki nilai ilmiah dan ekonomi tinggi.

4. Mendukung pengembangan terapi komplementer kanker

Apabila penelitian lanjutan dan uji klinis mendukung efektivitas serta keamanannya, *T. sumatrana* berpotensi dikembangkan sebagai terapi pendamping (*adjuvant therapy*) atau sumber kandidat senyawa baru untuk terapi kanker di masa mendatang.

