

## AKTIVITAS FARMAKOLOGIS TERPENOID TEH (*Camellia sinensis*) : SEBUAH KAJIAN NARATIF

*Pharmacological activity of Terpenoid in Tea (Camellia sinensis) : A Narrative Review*

Andika Putra Pamera<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bachelor of Pharmacy, Faculty of Health, Telogorejo University, Semarang-Indonesia

Corresponding author: [andikaputrapamera@gmail.com](mailto:andikaputrapamera@gmail.com)

### ABSTRAK

Teh (*Camellia sinensis*) merupakan salah satu jenis tumbuhan yang hidup di daerah subtropis dan telah dikonsumsi secara turun temurun karena sebagai suplemen makanan. Teh memiliki berbagai senyawa biomarker seperti flavonoid, polifenol, tannin dan terpenoid. Terpenoid dalam teh yang dikaitkan dengan aktivitas antibakteri seperti antijamur, antiinflamasi dan antidiabetes. Penelitian ini dilakukan untuk mengintegrasikan senyawa terpenoid dalam teh terhadap potensi aktivitas farmakologis yang dapat dihasilkan. Kajian ini merupakan *narrative review* yang menggunakan instrumen PRISMA yang melibatkan 6134 publikasi yang berasal dari *database scopus* dan *Web of Science* (WoS) dengan rentang publikasi 5 tahun terakhir (2020-2025). Tinjauan ini memperoleh 7 literatur dan diketahui bahwa terpenoid dalam ekstrak teh terdiri dari 50-120 komponen terpenoid dengan aktivitas farmakologis yang baik sebagai antibakteri, antikolesterol, antidiabetes, antikanker dan antioksidan. Mekanisme yang terbentuk pada aktivitas farmakologi terpenoid bekerja sinergis dengan senyawa fenolik maupun flavonoid. Terpenoid merupakan salah satu senyawa mayor dalam tumbuhan teh (*Camellia sinensis*) dan memiliki potensi aktivitas farmakologi pada berbagai jenis penyakit. Aspek ini perlu diteliti untuk memberikan pemahaman lanjutan secara komprehensif pada aspek efektivitas dan keamanan sehingga membuka potensi pemanfaatan terpenoid dalam teh yang lebih rasional dan aman bagi kesehatan manusia.

**Kata kunci :** *terpenoid, teh, farmakologi, antioksidan, antimikroba.*

### ABSTRACT

Tea (*Camellia sinensis*) is a type of plant that lives in subtropical areas and has been consumed for generations as a food supplement. Tea contains various biomarker compounds including flavonoids, polyphenols, tannins and terpenoids. Terpenoids in tea have been associated with antimicrobial, anti-inflammatory and antidiabetic activity. This research was conducted to synthesize existing evidence regarding terpenoids and their potential pharmacological activity. This study is a *narrative review* according to the PRISMA guideline. A total 6134 were identified from *scopus* and *Web of Science* (WoS) databases covering studies published in the last five years (2020-2025). This review obtained seven literature and indicated that tea extract contains approximately 50-120 terpenoid components exhibiting various pharmacological activities including antimicrobial, anticholesterol antidiabetic, anticancer and antioxidant. The pharmacological mechanism of terpenoids were found to act synergistically with other compounds particularly phenolic compounds and flavonoids. Terpenoids are one of the major compounds in the tea plant (*Camellia sinensis*) and have the potential for pharmacological

activity in various types of diseases. This aspect needs to be researched to provide a comprehensive follow-up understanding of the effectiveness and safety profile thereby supporting a more rational and safe utilization of tea-derived terpenoids for human health.

**Keywords:** *terpenoids, tea, pharmacology, antioxidants, antimicrobial.*

## PENDAHULUAN

Teh (*Camellia sinensis*) merupakan salah satu jenis tumbuhan yang hidup di daerah tropis dan merupakan bagian dari famili Theaceae (Mirmojarabian *et al.*, 2022). Teh merupakan tumbuhan yang dapat tumbuh secara liar maupun dibudidayakan dan dapat hidup di berbagai daerah iklim tropis dan subtropis. Tanaman teh merupakan salah satu komoditas yang telah digunakan secara luas umumnya sebagai minuman terutama di negara kawasan Asia seperti Indonesia, Tiongkok, dan India (Yu *et al.*, 2020).

Teh memiliki berbagai jenis komoditas seperti *oolong tea*, teh hijau (*green tea*), teh hitam (*black tea*) dan teh putih (*white tea*) (Andrew *et al.*, 2022; Widowati *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2021). Keberagaman dari komoditas teh dipengaruhi oleh kandungan klorofil dan antosianin pada teh. Penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar antosianin pada warna merah yang dihasilkan akan semakin gelap (Dai *et al.*, 2020).

Teh dalam praktiknya dikonsumsi sebagai minuman dan suplemen karena diketahui memiliki aktivitas sebagai antikanker, antibakteri, antiviral, dan antioksidan (Angga *et al.*, 2023; George *et al.*, 2025; Hasan *et al.*, 2024; Jiang *et al.*, 2020; Mirmojarabian *et al.*, 2022). Kemampuan dari teh sebagai suplemen terapi diperoleh dari berbagai metabolit sekunder seperti flavonoid, fenolik, tannin

dan terpenoid (Zeng *et al.*, 2023). Kajian dan penelitian terdahulu memiliki fokus pada kelompok polifenol secara khusus katekin sementara peran senyawa terpenoid relatif kurang dieksplorasi secara komprehensif berbasis aktivitas farmakologi

Terpenoid (*terpene*) merupakan suatu senyawa fitokimia yang banyak ditemukan pada tanaman. Tanaman memproduksi terpenoid sebagai mekanisme perlindungan diri dari serangan predator (Zhao *et al.*, 2020). Terpenoid merupakan hasil biosintesis melalui ekspresi gen *camellia chekiangoleosa* (CCH) dengan mekanisme sintesis farmasen dan limonen (FAS dan LMS) yang menghasilkan beberapa senyawa turunan terpenoid seperti sesquiterpene, diterpene, monoterpene (Shen *et al.*, 2022).

Terpenoid dalam teh memiliki peran penting terutama dalam memberikan aroma khas pada teh ketika diolah (Chen *et al.*, 2023). Senyawa terpenoid dalam teh juga telah diketahui sebagai salah satu senyawa biomarker dengan hasil analisis GC-MS menunjukkan bahwa teh memiliki 10 komponen terpenoid yang memiliki dampak terhadap aroma teh (Mei *et al.*, 2022). Sementara penelitian lain menemukan setidaknya 19 senyawa molekul dari kelompok terpenoid (Xu *et al.*, 2022). Hasil penelitian ini diperjelas dengan kajian yang mengungkapkan bahwa kandungan terpenoid dalam teh didominasi oleh

senyawa linalool, geraniol dan alpha terpineol (Sil & Mukherjee, 2021).

Terpenoid dalam teh diketahui memiliki berbagai aktivitas biologis seperti antibakteri, antijamur hingga terapi alternatif pada penyakit degeneratif seperti antikolesterol dan antidiabetes (Brimson *et al.*, 2023; UĞUR *et al.*, 2022). Kajian dan analisis mengenai aktivitas farmakologi dari senyawa terpenoid dalam teh perlu dilakukan untuk mengintegrasikan berbagai temuan pada saat ini sebagai suatu kerangka analisis yang komprehensif.

## METODE

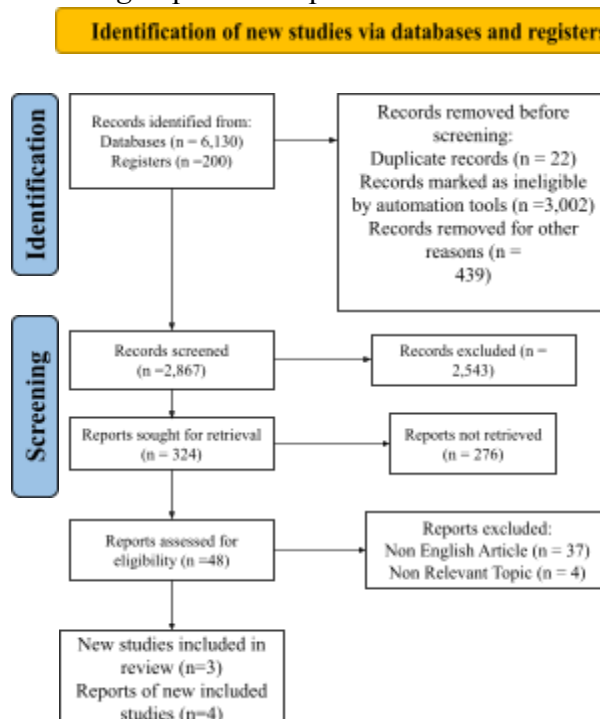
Penelitian ini dilakukan dengan metode *literature review* menggunakan instrumen PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic and Meta Analysis*) dan menggunakan data base penelitian yang berasal dari WOS (*Web of Science*) dan Scopus menggunakan kata kunci “*Camellia sinensis*”, “Tea”, “Terpenoid”, “Terpene” dan “Pharmacological”. Kriteria inklusi yang digunakan dalam tinjauan ini merupakan penelitian yang dipublikasikan dalam jurnal terindeks *scopus* dan *Web of Science* (WoS), memiliki rentang waktu publikasi 5 tahun terakhir (2020-2025) studi eksperimental mencakup studi *in vitro*, *in vivo* atau *in-silico* yang relevan dengan topik yang telah ditentukan. Kriteria eksklusi dalam penelitian ini meliputi artikel abstrak atau literatur berbasis kajian, artikel terduplikasi dan artikel yang tidak membahas secara spesifik mengenai aktivitas terpenoid dalam teh atau tidak melaporkan adanya aktivitas farmakologis. Artikel dengan informasi metodologis yang tidak lengkap, bukan merupakan teks penuh

dan menggunakan bahasa asing selain bahasa inggris juga dikeluarkan dari analisis. Kriteria inklusi dan eksklusi dalam kajian ini digunakan sebagai parameter *screening* dan *eligibility* pada setiap artikel penelitian yang telah teridentifikasi pasca penggunaan kata kunci yang telah diinput pada sistem induk *database* jurnal.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis Literatur

Tinjauan ini menggunakan instrumen PRISMA sebagai alat bantu untuk memperoleh publikasi penelitian yang sesuai dan relevan untuk diteliti. Hasil analisis publikasi menggunakan *database* copus dan Web of Science diperoleh literatur sebanyak 6.330 dengan pembagian 200 artikel dari Scopus dan 6.130 publikasi berasal dari WOS. Hasil identifikasi dan proses *screening* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hasil analisis PRISMA *diagram flow*

Berdasarkan Gambar 1 dapat diketahui bahwa dalam proses analisis terdapat 22 artikel yang terduplikasi dan sebanyak 3.002 artikel merupakan publikasi lebih dari 5 tahun terakhir. 439 artikel tergolong dalam *non-research* artikel yang dapat berupa hasil rapat (*meetings*) dan *review article* dan diperoleh 2867 artikel yang dilanjutkan dengan proses skrining.

Hasil analisis skrining menemukan bahwa 2543 artikel tidak membahas mengenai penggunaan terpenoid dalam

tanaman teh sehingga dieksklusi sementara 276 artikel merupakan artikel *non open access* dan diperoleh 48 artikel yang memenuhi syarat. Hasil analisis 48 artikel menunjukkan bahwa 37 artikel merupakan artikel berbahasa selain bahasa Inggris dan 4 artikel tidak membahas penggunaan fitokimia atau aktivitas farmakologis dari terpenoid dalam teh. Hasil akhir dari analisis diperoleh 7 artikel yang dapat ditinjau dalam proses penelitian yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil sintesis artikel *review*

| No | Judul Penelitian                                                                                                           | Penulis (Tahun)                                              | Metode                                                                                                                                                              | Hasil Penelitian                                                                                                                 |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | In Vitro Analysis of <i>Camellia sinensis</i> Leaf Extract against Diabetes Mellitus                                       | Srimathi, Priyadharshini and Sevaraj Jayaraman (2024)        | Penelitian dengan metode <i>experimental</i> untuk meneliti teh dengan metode <i>in vitro</i> dan <i>in silico</i>                                                  | Terpenoid dalam ekstrak daun teh memiliki aktivitas antioksidan sehingga menghambat enzim alfa amilase dan alfa glukosidase.     |
| 2  | Natural anti-inflammatory terpenoids in <i>Camellia sinensis</i> leaf and probable biosynthesis pathways of the metabolome | Soumya Majumder, Arindam Ghosh and Malay Bhattacharya (2020) | Penelitian dengan metode <i>experimental</i> untuk meneliti terpenoid dalam <i>Camellia sinensis</i> menggunakan instrumen GC-MS dan analisis biosintesis terpenoid | Kandungan lupeol dalam <i>camellia sinensis</i> merupakan senyawa golongan terpenoid yang paling banyak diperoleh dalam ekstrak. |
| 3  | Gui Shao Tea Extracts Inhibit Gastric Cancer Growth in Vitro and in                                                        | Yue liu, Zhouyue Jiang, Hongwei Yang,                        | Penelitian ini menggunakan metode                                                                                                                                   | Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstrak                                                                                       |

- Vivo and Prolong Survival in Nude Mice

Jingyi Yuan, Jiali Zeng, Jiayan Wu, Zhijian Xu (2022).

eksperimental teh dapat untuk meneliti memberikan kandungan efek sebagai anti terpenoid kanker gastrik dengan menghambat instrumen pertumbuhan sel GC/MS, dan kanker pada HPLC *cell mice*. proliferasi dan apoptosis dengan CCK 8 Assay.
- 4 Glucose and Lipid-Lowering Activities of Some Bioactive Extracted Components from Herbs (Camellia Sinensis, Matricaria Chamomilla and Carum Carvi) in Streptozotocin-diabetic Rats: Intelligent Method for Herbal Medicines Production with Selected Active Ingredient

Abbas Ahmadi, Mehrdad Roghani, Shima Behnam, Nazanin Farhadiani, Negin Abbasi (2024)

Penelitian ini Ekstrak menggunakan *Camellia sinensi* metode mampu eksperimental menurunkan untuk kadar gula darah mengidentifikasi dan kadar lemak pada hewan komponen persiapan eksperimental dengan ekstrak dan dengan analisis mekanisme farmakologi inhibisi *cytokine* menggunakan 30 yang mencit dan 88 mengurangi stress oksidatif tikus jantan serta galur wistar meningkatkan diinjeksi telah sekresi insulin. streptozotocin untuk dianalisa kadar gula darah dan kolesterol total, LDL dan HDL
- 5 Enhancing the Functional Properties of Tea Tree Oil: In Vitro Antimicrobial Activity and Microencapsulation Strategy

Franco Antonio Manzanelli, Soledad Ravetti, Sofia Gisella Brignone, Ariel Gustavo Garro, Sol Romina Martínez, Mariana

Minyak atsiri Minyak teh pada teh (*Camellia sinensis*) dianalisis memiliki efikasi dengan GC-MS terhadap bakteri dan Spektrofotometer UV Vis dan infeksi mata seperti r FTIR untuk *Corynebacterium* mengetahui *m* sp,

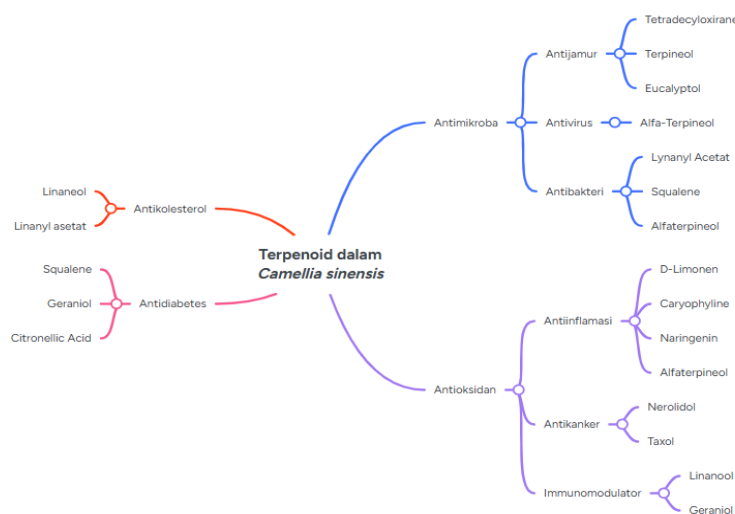
- |   |                                                                                                                                  |                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                    |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                                                                                                                  | Guadalupe Vallejo and Santiago Daniel Palma (2023)                                                                               | kandungan metabolit dalam senyawa minyak teh terenkapsulasi kemudian dilakukan analisis <i>minimum inhibitory concentration</i> dan <i>minimum bactericidal concentration</i> terhadap bakteri <i>Staphylococcus aureus</i> . | <i>Staphylococcus aureus</i> dengan tingkat inaktivasi mencapai 30 hingga 70%.                                                                                     |
| 6 | A new HPLC–UV method for the quantification of terpenoids and antioxidant activity of commercial loquat leaf tea and preparation | Han Lü, Ru-Po Lee Jianjun Huang, Jian Chen, Vay-Liang W. Zhaoping Li, Qing-Yi Lu (2020)                                          | Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan tujuan untuk mengembangkan metode HPLC-UV dalam analisis kuantitatif asam triterpentin dan sesquiterpentin                                                           | Hasil analisis menunjukkan bahwa kandungan terpenoid dalam ekstrak daun teh berada pada kisaran 0,8 hingga 14,8 mg/g.                                              |
| 7 | Anti-Inflammatory and Anti-Quorum Sensing Effect of <i>Camellia sinensis</i> Callus Lysate for Treatment of Acne                 | Mariona Cañellas-Santos, Elisabet Rosell-Vives, Felipe Goñi-de-Cerio, Laia Montell, Ainhoa Bilbao and Francisco Fernandez-Campos | Penelitian ini menggunakan metode <i>experimental</i> untuk menganalisis kemampuan ekstrak <i>camellia sinensis</i> dalam menghambat inflamasi karena bakteri <i>C. acne</i> secara <i>in vitro</i> .                         | Ekstrak <i>camellia sinensis</i> mampu menghambat produksi Interleukin 6 dan 8 secara TNF alfa sehingga mampu menghambat inflamasi akibat bakteri <i>C. acne</i> . |

## Terpenoid dalam Tumbuhan Teh (*Camellia sinensis*)

Terpenoid merupakan senyawa yang terdiri atas satu kelompok besar dalam tumbuhan yang terdiri dari 20.000 jenis komponen terpenoid yang telah diteliti Ninkuu *et al.* (2021) dalam tumbuhan yang memiliki peran dalam memberikan perlindungan untuk mencegah hama dan predator (Feng *et al.*, 2020; Gholamali *et al.*, 2022; Wu *et al.*, 2023). Senyawa terpenoid dibedakan dalam beberapa kelompok kecil berdasarkan jumlah gugus terpenoid seperti pada monoterpene yang mengindikasikan terbentuknya satu gugus terpenoid,

sesterpenten dengan 5 gugus terpenoid dan polyterpenten jika terdapat banyak molekul terpen (Huang *et al.*, 2021).

Terpenoid dihasilkan oleh pembentukan kompleks dari senyawa sederhana yakni asam amino pada sel yang kemudian dikenal sebagai mekanisme biosintesis (Jin *et al.*, 2020; Ren *et al.*, 2022; Wei *et al.*, 2023). Skenario biosintesis terpenoid pada teh terjadi melalui berbagai mekanisme. Penelitian Chen *et al.* (2022) menunjukkan bahwa biosintesis triterpene terjadi pada jalur mevalonat (MVA) dan Methylerythritol (MEP) yang mampu menghasilkan peningkatan kadar triterpen secara signifikan.



Gambar 2. Gambaran mekanisme terpenoid dalam *Camellia sinensis*

Mekanisme biosintesis pada jalur MVA akan menghasilkan terpenoid golongan mono dan diterpene seperti linanool, limonene, dan trans beta ocimene (Wei *et al.*, 2023) jalur MEP akan menghasilkan sesquiterpene seperti beta-farnesene, nerolidol dan caryophyllene (Wu *et al.*, 2023). Senyawa terpene yang

memberikan aroma khas dalam tanaman teh dapat dilihat pada Tabel 2. Aroma linanool kebanyakan ditemukan pada produk teh dengan aroma yang mendominasi selain aroma linanool aroma cis-jasmone juga berperan dalam memberikan aroma teh yang unik (El-Aswad *et al.*, 2023). Aroma khas yang terkandung dalam senyawa teh

diketahui sebagai salah satu pencetus awal penggunaan teh secara turun temurun sebagai suplemen kesehatan. Penelitian Prayoga *et al.*, (2022) menunjukkan bahwa

aroma khas yang dihasilkan teh berfungsi sebagai stimulan dan melegakan pernafasan individu sehingga mampu mengurangi rasa lelah setelah beraktivitas.

Tabel 2. Jenis senyawa terpenoid dalam *Camellia sinensis* yang memberikan aroma khas

| No | Grup Terpen  | Jenis                 | Aroma                               | Refrensi                                                                          |
|----|--------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Monoterpen   | Pulegone              | Aroma khas mint, dan sedikit kamfer | (Göksu Sürücü <i>et al.</i> , 2024)                                               |
|    |              | Isopulegy<br>l asetat | Segar, Aroma sedikit mint           | (Chen <i>et al.</i> , 2023)                                                       |
|    |              | Linanool              | Citrus, Floral                      | (Parveen <i>et al.</i> , 2023)                                                    |
|    |              | Limoene               | Aroma citrus                        | (Qin <i>et al.</i> , 2024)                                                        |
|    |              | Geraniol              | Manis, Floral                       | (Ye <i>et al.</i> , 2023)                                                         |
|    |              | Alfa<br>Terpineol     | Woody, Terpene                      | (Niu <i>et al.</i> , 2019; Qin <i>et al.</i> , 2024)                              |
|    |              | 2-Pantene<br>ol       | Fruity                              | (Qin <i>et al.</i> , 2024)                                                        |
| 2  | Diterpen     | Beta<br>Ocimene       | Khas Terpenoid                      | (Niu <i>et al.</i> , 2019; Qin <i>et al.</i> , 2024)                              |
|    |              | Neophyta<br>diene     | Flowery                             | (Parveen <i>et al.</i> , 2023)                                                    |
| 3  | Triterpen    | Beta<br>Cytocitral    | Manis                               | (Parveen <i>et al.</i> , 2023)                                                    |
| 4  | Sesquiterpen | Alfa<br>Cubebene      | Sedikit berbau kamfer               | (Nie <i>et al.</i> , 2019; Huang <i>et al.</i> , 2022; Yang <i>et al.</i> , 2022) |
|    |              | Beta<br>Davanon<br>e  | Tidak Beraroma                      | (Chen <i>et al.</i> , 2023)                                                       |
|    |              | Alfa<br>Farnesen<br>e | Flowery, Woody                      | (Zhou <i>et al.</i> , 2020)                                                       |

### Analisis Senyawa Terpenoid dalam Teh (*Camellia sinensis*)

Terpenoid secara umum dianalisis dengan metode kualitatif menggunakan pendekatan reagen dengan metode reagen maupun GC-MS. Reagen yang digunakan dalam proses analisis dilakukan dengan pendekatan Lieberman Burchard dan salkowski (Uba *et al.*, 2022). Hasil penelitian Fahmi pada tahun 2024 menunjukkan bahwa secara kualitatif dengan metode bouchard menunjukkan hasil yang positif sementara penggunaan metode salkowski menunjukkan ekstrak daun teh tidak mengandung terpenoid (Fahmi *et al.*, 2024). Analisis salkowski yang dilakukan sesuai dengan temuan Rubab (2022) yang menemukan bahwa pada ekstrak etanol daun

teh tidak ditemukan adanya terpenoid dengan metode salkowski namun ekstraksi menggunakan pelarut air, petroleum eter dan aseton menemukan keberadaan terpenoid yang kuat (Durrani *et al.*, 2022).

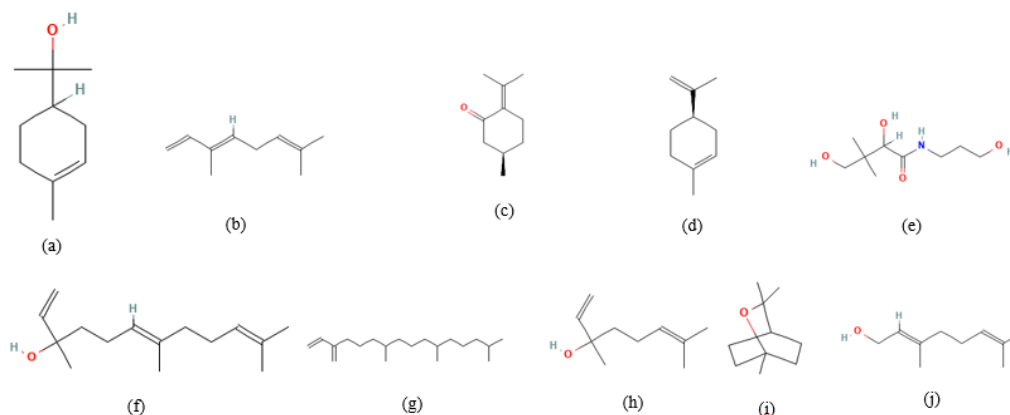
Kondisi ini menunjukkan bahwa terpenoid memiliki kecenderungan untuk larut pada pelarut yang relatif polar atau dapat dipengaruhi oleh kondisi lain seperti panas mengingat karakteristik terpenoid yang cenderung volatil (Bashiru *et al.*, 2020). Kondisi lingkungan juga dapat memberikan pengaruh signifikan terhadap terpenoid dimana lingkungan yang terlalu dingin dapat memperlambat proses biosintesis yang mengakibatkan kandungan saponin dan terpenoid dapat berkurang (Sil & Mukherjee, 2021).

Tabel 3. Data analisis kualitatif senyawa terpenoid dalam *Camellia sinensis*

| No | Nama Senyawa                               | Metode | %Konsentrasi | Sumber                                                                                                                    |
|----|--------------------------------------------|--------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Pentadecanoic acid, 14-methy               | GC-MS  | 12,68        | (Omran, Al Sa'ady and Saleh, 2023; Hasan <i>et al.</i> , 2024)                                                            |
| 2  | N Hexa decanoic Acid                       | GC-MS  | 12,61-14,02  | (Majumder <i>et al.</i> , 2020 ; Chen <i>et al.</i> , 2022; Omran, Al Sa'ady and Saleh, 2023; Hasan <i>et al.</i> , 2024) |
| 3  | 9,12,14-Octadecatri noic Acid Methyl Ester | GC-MS  | 3,95         | (Hasan <i>et al.</i> , 2024)                                                                                              |
| 4  | Heneicosanoic acid, methyl ester           | GC-MS  | 34,394       | (Hasan <i>et al.</i> , 2024)                                                                                              |
| 5  | Eucalyptol                                 | GC-MS  | 1,18         | (Bag <i>et al.</i> , 2022; Zeng <i>et al.</i> , 2023)                                                                     |
| 6  | Linalyl Acetat                             | GC-MS  | 0,66         | (Majumder <i>et al.</i> , 2020; Zeng <i>et al.</i> , 2023)                                                                |
| 7  | Egiglobulol                                | GC-MS  | 0,31         | (Majumder <i>et al.</i> , 2020)                                                                                           |

|    |                                                               |       |       |                                                                                               |
|----|---------------------------------------------------------------|-------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 8  | 1<br>h-cycloprop[e]azule<br>ne,<br>1A,2,3,4,4A,5,6,7B-<br>oct | GC-MS | 1,32  | (Majumder <i>et al.</i> , 2020)                                                               |
| 9  | Isoledene                                                     | GC-MS | 1,32  | (Majumder <i>et al.</i> , 2020; Zeng <i>et al.</i> , 2023)                                    |
| 10 | Nealloocimene                                                 | GC-MS | 0,14  | (Majumder <i>et al.</i> , 2020)                                                               |
| 11 | Bicyclo[7.2.0]undec<br>-4-ene,<br>4,11,11-trimethyl-8         | GC-MS | 0,34  | (Majumder <i>et al.</i> , 2020)                                                               |
| 12 | Benzene Dicarboxy<br>acid                                     | GC-MS | 5,11  | (Majumder <i>et al.</i> , 2020)                                                               |
| 13 | Epicurezerenon                                                | GC-MS | 1,81  | (Majumder <i>et al.</i> , 2020; Chen <i>et al.</i> , 2022; Göksu Sürücü <i>et al.</i> , 2024) |
| 14 | Patchouli Alcohol                                             | GC-MS | 3,49  | (Majumder <i>et al.</i> , 2020)                                                               |
| 15 | Nerolidol                                                     | GC-MS | 0,83  | (Majumder <i>et al.</i> , 2020)                                                               |
| 16 | Squalene                                                      | GC-MS | 27,28 | (Majumder <i>et al.</i> , 2020)                                                               |
| 17 | Solanesol                                                     | GC-MS | 0,55  | (Majumder <i>et al.</i> , 2020)                                                               |
| 18 | Alfa Terpineol                                                | GC-MS | 5,01  | (Bag <i>et al.</i> , 2022; Zeng <i>et al.</i> , 2023)                                         |
| 19 | Methyl Commate B                                              | GC-MS | 4,26  | (Majumder <i>et al.</i> , 2020)                                                               |
| 20 | Lupeol                                                        | GC-MS | 17,26 | (Majumder <i>et al.</i> , 2020)                                                               |
| 21 | Caryophylyline                                                | GC-MS | 1,32  | (Majumder <i>et al.</i> , 2020; Singh <i>et al.</i> , 2022)                                   |

---



Gambar 3. Struktur molekul senyawa terpenoid dalam teh (a) Alfaterpineol (b) Beta-ocimene, (c) Linanool, (d) Limonene, (e) geraniol, (f) 2-panteneol, (g) Pulegone, (h) Neophytadiene, (i) Eucalyptol, (j) Nerodilol.

Penggunaan instrumen Spektrofotometri GC-MS dilakukan untuk analisis kualitatif dan kuantitatif pada ekstrak teh karena karakteristik terpenoid sebagai senyawa yang cenderung volatil sehingga rentan untuk mengalami degradasi (Mirmojarabian *et al.*, 2022). Hasil analisis kualitatif menggunakan GC-MS mampu mendeteksi 21 kandungan terpenoid dalam ekstrak daun teh hijau (*Camellia sinensis*). Hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 3.

Hasil analisis kuantitatif menunjukkan bahwa senyawa golongan triterpenoid merupakan senyawa yang paling banyak terdapat dalam ekstrak teh dengan persentase mencapai 50,2% (Majumder *et al.*, 2020). Namun, jika didirikan sendiri tanpa memandang kelompok maka linanool (N Hexa decanoic Acid) dan squalene dan lupeol merupakan jenis terpenoid dengan kandungan terbanyak dalam teh dengan %yield mencapai 14,7%, 17,26% dan 27,28%. Komponen ini masih terus ditelusuri untuk deteksi kandungan dalam ekstrak teh salah satunya adalah alfa dan

beta farsene (Jin *et al.*, 2020; Wu *et al.*, 2023).

Analisis kuantitatif dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui konsentrasi dari komponen terpenoid yang terdapat dalam ekstrak daun teh (*Camellia sinensis*). Analisis kuantitatif menggunakan analisis GC-MS dengan tujuan mengetahui total terpenoid *content* dan *yield%* dari komponen terpenoid yang terdapat dalam ekstrak. (Yun *et al.*, 2021). Analisis kuantitatif ekstrak daun teh (*Camellia sinensis*) dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Analisis kuantitatif terpenoid dalam ekstrak *Camellia sinensis*

| No | Analisis  | Metode                  | Terpenoid Content | Sumber                           |
|----|-----------|-------------------------|-------------------|----------------------------------|
| 1. | Terpenoid | Spektrofotometri UV-Vis | 0,8 mg/g          | (Zhou <i>et al.</i> , 2024)<br>S |

|    |                          |           |               |                                        |
|----|--------------------------|-----------|---------------|----------------------------------------|
| 2. | Theobromine              | GC-M<br>S | 0,52<br>mg/g  | (Liu <i>et al.</i> , 2022)             |
| 3. | Terpenoid                | GC-M<br>S | 2,71<br>mg/g  | (Andrew <i>et al.</i> , 2022)          |
| 4. | Beta Caryophyllene       | GC-M<br>S | 8,08 g/l      | (Cañellas-Santos <i>et al.</i> , 2023) |
| 5. | Terpenoid (11 metabolit) | GC-M<br>S | 19,29<br>mg/g | (Chen <i>et al.</i> , 2022)            |

Hasil analisis menunjukkan bahwa kandungan Terpenoid yang dideteksi dengan spektrofotometri UV – Vis relatif kecil sesuai dengan hasil analisis Widowati pada tahun 2021. Kekurangan dari metode analisis dengan spektrofotometer UV-Vis terletak dari kecenderungan terpenoid yang bersifat volatil dan adanya metode pemanasan pada proses persiapan analisis menggunakan spektrofotometri.

Pemanasan yang terjadi dapat mendegradasi dan merusak kandungan terpenoid dalam ekstrak yang akan dianalisis (Xu *et al.*, 2022). Kandungan terpenoid dalam ekstrak teh dapat ditingkatkan dengan metode pengeringan yang tepat dan metode Ekstraksi sehingga dapat mencegah kerusakan terpenoid. Hasil penelitian Shi (2021) menunjukkan bahwa metode pengeringan dengan *microwave assisted*

*drying* dapat meningkatkan kandungan terpenoid dalam teh hingga 3 kali lipat.

### Aktivitas Farmakologis Terpenoid dalam *Camellia sinensis*

#### Terpenoid sebagai antioksidan

Mekanisme terpenoid sebagai antioksidan adalah membentuk ikatan dengan fenol sehingga membentuk suatu kompleks phenol-terpenoid yang dapat meningkatkan aktivitas penghambatan oksidatif (Rafique *et al.*, 2023). Hasil penelitian Zhou (2024) menunjukkan bahwa terpenoid dalam tumbuhan juga diketahui digunakan sebagai media proteksi melalui kandungan phytoalexin (Moraes *et al.*, 2021). Hasil ini juga dapat diketahui karena keberadaan oksidator invasive pada teh dapat meningkatkan total terpenoid secara signifikan (Hasan *et al.*, 2024). Antioksidan dengan terpenoid seperti alfa linoneic dan alfa-eleostearic dapat mencegah stress oksidatif pada DNA (Hasan *et al.*, 2024). Kemampuan mekanisme penghambatan antioksidan ditunjukkan dengan nilai IC50 mencapai 96,04 dan 81,51 ppm.

Mekanisme penghambatan sebelumnya dilakukan dengan kemampuan untuk menghambat ferri ion<sup>3+</sup> (Bashiru *et al.*, 2020). Aktivitas antioksidan pada terpenoid memiliki mekanisme *concentration dependent* yang mengindikasikan bahwa semakin tinggi komponen terpenoid dapat meningkatkan efikasi terpenoid sebagai antioksidan (Hasan *et al.*, 2024).

#### Terpenoid sebagai imunomodulator

Aktivitas terpenoid dalam teh sebagai immunomodulator dipengaruhi oleh

kandungan triterpenoid yang tersusun dari Isoprena yang disintesis melalui jalur mevalonate (MVA). Aktivitas imunomodulator diketahui bekerja dengan jalan mempengaruhi aktivitas sel T helper yang memiliki peran dalam regulasi imun. Penelitian Rahayu *et al.*, (2018) menunjukan bahwa pemberian ekstrak daun teh hijau mampu meningkatkan ekspresi mediator imun, seperti interleukin (IL-8 dan IL-17A), serta human beta-defensin-2 (HBD-2). Kemampuan dari terpenoid dalam teh diketahui memiliki aktivitas farmakologis sebagai Immunomodulator yakni sebagai imunostimulan karena pemberian terpenoid dapat membantu peningkatan respon imun pada ikan dengan pemberian 10-20% ekstrak daun teh berbanding bobot ikan *Oncorhynchus mykiss* (Singh *et al.*, 2022).

### Terpenoid sebagai antiinflamasi

Kandungan terpenoid merupakan salah satu komponen yang memiliki potensi tinggi dalam meningkatkan aktivitas antiinflamasi karna meningkatkan aktivitas flavonoid melalui penambahan jalur OH-sehingga meningkatkan ikatan C-polisiklik (Tang *et al.*, 2024). Komponen seperti naringenin berperan dalam mencegah inflamasi sehingga dapat mengurangi dampak trauma yang terjadi pada berbagai jaringan seperti jaringan otak dan kulit pada tikus (Uba *et al.*, 2022). Terpenoid seperti D limonene dapat mengurangi ekspresi jaringan kinase dalam tikus dan dalam kondrosit pada manusia dan tikus serta memainkan peran penting dalam mengatur sel NF- $\kappa$ B (Del Prado-Audelo *et al.*, 2021).

Kemampuan terpenoid sebagai antiinflamasi juga membuka kemungkinan

bagi terpenoid dalam penanganan neuroinflamasi. Penelitian Kim *et al* (2020) menunjukkan bahwa terpenoid seperti *beta caryophyllene* yang terdapat dalam teh dapat memiliki aktivitas anti inflamasi pada sel BV2 dalam kondisi hipoksia (Hsu *et al.*, 2022). Kemampuan terpenoid yakni alfa terpineol dalam teh diketahui memiliki potensi sebagai anti neuroinflamasi bergerak pada jalur penghambatan produksi enzim yang memicu inflamasi seperti interleukin hingga *cyclooxygenase* (Kim *et al.*, 2020).

### Terpenoid sebagai antikolesterol

Kandungan terpenoid seperti linalool dan asam linoleat diketahui memiliki peran yang signifikan dalam penanganan hiperlipidemia dan aterosklerosis (Hasan *et al.*, 2024). Kandungan linalool diketahui memiliki *cost effective* yang lebih baik dalam proses penanganan kolesterol karna sumber dari linalool yang mudah ditemukan (Jeong *et al.*, 2021). Terpenoid bekerja dengan menghambat proses adipogenesis. Terpenoid juga diketahui memiliki mekanisme penguraian asam lemak yang efisien sehingga dapat memberikan dampak yang signifikan dalam penurunan kadar lemak dalam darah. Proses penurunan ini terjadi dengan mekanisme peningkatan HDL dan penurunan kadar trigliserida secara signifikan (Sobhanian *et al.*, 2024).

Penelitian berbasis studi klinis dan laboratorium menunjukan bahwa pemberian ekstrak teh diketahui mampu memberikan reduksi kolesterol secara bermakna. Analisis uji klinis acak menunjukan bahwa pemberian seduhan teh dengan dosis 7,5 g per hari selama 12 minggu mampu meningkatkan kadar HDL tanpa

menunjukkan adanya perburukan fungsi ginjal (Yazdanpanah *et al.*, 2023). Penelitian Rizka, Makmum and Safei, (2025) menunjukkan bahwa pemberian seduhan teh hijau (*Camellia sinensis* L.Kuntze) mampu meningkatkan HDL pada mencit model kolesterol dengan intervensi selama 14 hari.

### Terpenoid sebagai antidiabetes

Kandungan terpenoid yang berperan dalam reduksi kandungan gula adalah squalene pada yang mampu menurunkan gula darah postprandial (Qin *et al.*, 2024). Kemampuan antidiabetes pada terpenoid menunjukkan adanya aktivitas penghambatan signifikan terhadap enzim alfa glukosidase dengan nilai IC50 pada 1,79 hingga 2,1 ppm. Hasil analisis *in silico* menunjukkan bahwa terpenoid dan fenol dalam ekstrak teh mampu berikatan dengan afinitas yang baik terhadap ligan pada enzim alfa glukosidase (Tang *et al.*, 2024). Penelitian Srimathi (2024) menunjukkan bahwa terpenoid dalam teh dapat meningkatkan absorpsi dan metabolisme gula pada pasien tikus dengan model DMT2 (B *et al.*, 2024).

Terpenoid juga diketahui memiliki aktivitasnya sendiri sebagai antioksidan yang mampu menghambat proses terbentuknya formasi glycation serta menghambat aktivitas enzim pankreas lipase (Shi *et al.*, 2021). Mekanisme terpenoid sebagai antidiabetes juga diperkuat dengan hasil penelitian Sobhanian (2024) yang menunjukkan adanya penurunan kadar gula secara signifikan pada tikus yang telah diinduksi streptozotocin karena adanya peningkatan sensitivitas insulin dan adanya perbaikan pada bagian langerhans pankreas.

### Terpenoid sebagai antibakteri dan antifungi

Terpenoid sebagai antifungal telah dimanfaatkan oleh tanaman teh untuk mencegah pertumbuhan patogen tumbuhan seperti jamur (Zhou *et al.*, 2024). Terpenoid juga telah dikenal luas sebagai agen antibakteri yang tinggi (Suksathan *et al.*, 2021). Beberapa jenis terpenoid seperti tetradecyl oxirane mampu menghambat alga dan jamur dari famili Seneciopedunculatus (Hasan *et al.*, 2024). Sebagai antifungi beberapa jenis terpenoid seperti terpeneol dan eucalyptol dapat menghambat pertumbuhan misel penisilin pada konsentrasi minimum 2 ppm (Jiang *et al.*, 2019). Beberapa penelitian juga melaporkan bahwa terpenoid dalam teh mampu menghambat pertumbuhan misel pada *Fusarium solani* dan *Cylindrocarpon destructans* (Jiang *et al.*, 2020).

Kandungan terpenoid dalam ekstrak teh diketahui bekerja dengan mengganggu integritas sel dan meningkatkan permeabilitas sehingga meningkatkan ikatan antara terpenoid dengan sel jamur (Zong *et al.*, 2025). Peningkatan ikatan kandungan aktif dalam teh kemudian memicu inti sel dalam jamur mengalami kerusakan akibat rusaknya membran inti sel dan mengeluarkan isi sel yang mengakibatkan kematian sel jamur. Penelitian Zong *et al.*, (2025) yang mengisolasi terpenoid dalam teh juga menunjukkan bahwa aktivitas antijamur yang berhubungan dengan terpenoid disebabkan oleh kandungan metabolit Camsisaponin A dan B.

Mekanisme terpenoid sebagai antibakteri berada pada mekanisme

peningkatan intensitas ikatan protein ketika terjadi infeksi penyakit (Hosen *et al.*, 2024). Pada kondisi infeksi terjadi peningkatan signifikan pada kandungan total flavonoid yang berbanding lurus dengan peningkatan kandungan terpenoid yang berikatan dengan bakteri (Zhou *et al.*, 2024). Penelitian Urme *et al* (2024) menunjukkan bahwa ekstrak teh hitam yang mengandung terpenoid mampu bekerja secara sinergis dengan beberapa antibiotic seperti vancomycin, gentamicin dan amoxicillin terhadap bakteri *Mucor circinelloides* (Urme *et al.*, 2024). Hasil analisis penelitian Thelma *et al.*, (2020) juga menunjukkan bahwa konsentrasi ekstrak teh yang memiliki aktivitas hambat yang baik terhadap beberapa bakteri patogen dengan konsentrasi hambat minimum (MIC) 50 ppm

### Terpenoid sebagai antivirus

Terpenoid telah dimanfaatkan oleh Tanaman teh dalam mencegah infeksi virus yakni TMV (*Tobacco mosaic virus*) yang ditandai dengan peningkatan kandungan total diterpene secara akumulatif (Zhou *et al.*, 2020). Penelitian mimojarabian pada tahun 2022 menunjukan bahwa ekstrak teh hijau mampu menghambat proses proliferasi pada sel yang terinfeksi adenovirus dengan dosis IC50 pada 25,16 ppm (Mirmojarabian *et al.*, 2022).

Terpenoid diketahui mampu menghambat replikasi virus dengan mekanisme degradasi mRNA sehingga proses transkripsi pada virus akan terhambat. Kandungan terpenoid seperti linalool dan geraniol diketahui merupakan senyawa terpenoid yang bekerja dengan katekin dalam proses inaktivasi virus serta menghambat perkembangan virus (Hun *et*

*al.*, 2022). Senyawa geraniol dan linalool bekerja dengan jalan mendisrupsi membrane lipid virus dan sehingga menghambat proses absorpsi virus pada sel inang (Rahayu *et al.*, 2018).

### Terpenoid sebagai antikanker

Terpenoid dapat memiliki aktivitas sebagai antikanker. Penelitian Teixeira dan Sousa (2021) menunjukkan adanya aktivitas antitumor pada terpenoid dengan mekanisme sitotoksitas terhadap model sel kanker LLC dan sel HL 60 dengan nilai IC50 25,2 hingga 21,7  $\mu$ M. Terpenoid dalam teh memiliki aktivitas antikanker yang signifikan melalui berbagai mekanisme molekuler. Senyawa nerolidol dan taxol dalam teh hijau diketahui mampu menghambat pertumbuhan sel kanker dengan menginduksi apoptosis dan menghambat proliferasi sel (Wang *et al.*, 2020; Sheikh *et al.*, 2021; Pereira *et al.*, 2022).

Penelitian Rafique *et al.*, (2023) menyatakan bahwa terpenoid bekerja dengan menargetkan berbagai jalur sinyal kanker, seperti jalur NF- $\kappa$ B dan PI3K/Akt, yang berperan dalam kelangsungan hidup sel kanker. Selain itu, senyawa terpenoid seperti nerolidol dan taxol juga memiliki aktivitas antioksidan yang kuat, yang membantu mengurangi stres oksidatif dan mencegah kerusakan DNA yang dapat memicu kanker (Yang and Zhang, 2019; Ajmal *et al.*, 2022; Yan *et al.*, 2022).

### SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dapat diketahui bahwa analisis kualitatif menunjukan ekstrak teh mengandung

sekitar 50-130 jenis terpenoid yang berbeda. Hasil analisis kuantitatif menunjukkan bahwa metode GC-MS merupakan salah satu metode yang baik dalam proses analisis terpenoid. Kandungan terpenoid yang telah diteliti dan memiliki manfaat farmakologis meliputi alfa-oleostearic dan alfa linoneic memiliki aktivitas antioksidan, geraniol dan linalool yang berpotensi sebagai imunomodulator dan antikolesterol, beta caryophyllene dan alfa terpineol dan d-limonene sebagai anti inflamasi, naringenin dan squalene sebagai antidiabetes dan Camsisaponin A dan B sebagai antimikroba untuk penanganan bakteri, jamur dan virus.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ajmal, S. *et al.* (2022) 'Evaluation of Anti-cancer and Anti-proliferative Activity of Medicinal Plant Extracts (Saffron, Green Tea, Clove, Fenugreek) on Toll Like Receptors Pathway', *Natural Product Sciences*, 28(3), pp. 121–129.
- Andrew, I. *et al.* (2022) 'Bioactive Components and Antioxidant Properties of Aqueous Leaf Extract of Fresh and Processed *Camellia sinensis* in Alloxan-induced Albino Rats', *Asian Journal of Biotechnology and Bioresource Technology*, pp. 62–74. DOI: <https://doi.org/10.9734/ajb2t/2022/v8i330130>.
- B, S., R, P. and Jayaraman, S. (2024) 'In Vitro Analysis of *Camellia sinensis* Leaf Extract Against Diabetes Mellitus', *Cureus*, 16(6). DOI: <https://doi.org/10.7759/cureus.62794>.
- Bag, S. *et al.* (2022) 'Tea and its phytochemicals: Hidden health benefits & modulation of signaling cascade by phytochemicals', *Food Chemistry*, 371, p. 131098. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131098>.
- Bashiru, I., Aminu I., Umar, C.A.O. and S.A.A. (2020) 'Phytochemical Screening , Proximate Analysis and Antioxidant Vitamins of Green Tea', *Caliphate Journal of Science & Technology*, 1(March 2019), pp. 1–5.
- Cañellas-Santos, M. *et al.* (2023) 'Anti-Inflammatory and Anti-Quorum Sensing Effect of *Camellia sinensis* Callus Lysate for Treatment of Acne', *Current Issues in Molecular Biology*, 45(5), pp. 3997–4016. DOI: <https://doi.org/10.3390/cimb45050255>
- Chen, C. *et al.* (2022) 'Comparative Transcriptome and Phytochemical Analysis Provides Insight into Triterpene Saponin Biosynthesis in Seeds and Flowers of the Tea Plant (*Camellia sinensis*)', *Metabolites*, 12(3). DOI: <https://doi.org/10.3390/metabo12030204>.
- Chen, P. *et al.* (2022) 'Quantitatively Unravelling the Impact of High Altitude on Oolong Tea Flavor from *Camellia sinensis* Grown on the Plateaus of Tibet', *Horticulturae*, 8(6). DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae8060539>.
- Chen, S. *et al.* (2023) 'Identification of QTL controlling volatile terpene contents in

- tea plant (*Camellia sinensis*) using a high-aroma “Huangdan” x “Jinxuan” F1 population’, *Frontiers in Plant Science*, 14(March), pp. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1130582>.
- Dai, X. *et al.* (2020) ‘Discovery and characterization of tannase genes in plants: roles in hydrolysis of tannins’, *New Phytologist*, 226(4), pp. 1104–1116. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.16425>.
- El-Aswad, A.F., Aisu, J. and Khalifa, M.H. (2023) ‘Biological activity of tannins extracts from processed *Camellia sinensis* (black and green tea), *Vicia faba* and *Urtica dioica* and *Allium cepa* essential oil on three economic insects’, *Journal of Plant Diseases and Protection*, 130(3), pp. 495–508. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41348-022-00680-x>.
- Fahmi, A. *et al.* (2024) ‘PHYTOCHEMICAL, ANTIMICROBIAL, ANTIOXIDANT, AND CATECHIN ANALYSIS OF GREEN TEA (*Camellia sinensis* var *assamica*) FROM NORTH SUMATERA, INDONESIA’, *Rasayan Journal of Chemistry*, 17(2), pp. 417–424. DOI: <https://doi.org/10.31788/RJC.2024.1728738>.
- Feng, Z. *et al.* (2020) ‘Characterization of the orchid-like aroma contributors in selected premium tea leaves’, *Food Research International*, 129, p. 108841. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108841>.
- Gholamali, S. *et al.* (2022) ‘Evaluation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in bottled water samples (non-carbonated, mineral, carbonated and carbonated flavored water) in Tehran with MSPE-GC/MS method: a health risk assessment’, *Applied Biological Chemistry*, 65(3), pp. 1–12. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13765-022-00696-9>.
- Göksu Sürücü, C. *et al.* (2024) ‘Brewing method-dependent changes of volatile aroma constituents of green tea (*Camellia sinensis* L.)’, *Food Science and Nutrition*, (4), pp. 7186–7201. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.4307>.
- Hasan, M.R. *et al.* (2024) ‘Antioxidant activity study and GC-MS profiling of *Camellia sinensis* Linn’, *Heliyon*, 10(1), p. e23514. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23514>.
- Hosen, M.E. *et al.* (2024) ‘Evaluation of biological activities of *Camellia sinensis* and in silico approach against Rgg2 protein of *Streptococcus dysgalactiae*’, *Arabian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 10(1), pp. 20–51. DOI: <https://doi.org/10.48347/IMIST.PRSM/ajmap-v10i1.50223>.
- Hsu, Y.-W., Chen, W.-K. and Tsai, C.-F. (2022) ‘Senescence-Mediated Redox Imbalance in Liver and Kidney: Antioxidant Rejuvenating Potential of Green Tea Extract’, *INTERNATIONAL*

- JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RESEARCH AND PUBLIC HEALTH*, 19(1). DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph19010260>.
- Huang, W. *et al.* (2022) ‘Sensomics analysis of the effect of the withering method on the aroma components of Keemun black tea’, *Food Chemistry*, 395, p. 133549. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133549>.
- Huang, Y. *et al.* (2021) ‘Research progress in biosynthesis and regulation of plant terpenoids’, *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 35(1), pp. 1800–1809. DOI: <https://doi.org/10.1080/13102818.2021.2020162>.
- Hun, C.J. *et al.* (2022) ‘Confirmation of plant-derived exosomes as bioactive substances for skin application through comparative analysis of keratinocyte transcriptome’, *Applied Biological Chemistry*, 65(1), pp. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13765-022-00676-z>.
- Jeong, H.W. *et al.* (2021) ‘Antihypertriglyceridemia activities of naturally fermented green tea, Heukcha, extract through modulation of lipid metabolism in rats fed a high-fructose diet’, *Food Science and Biotechnology*, 30(12), pp. 1581–1591. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10068-021-00979-9>.
- Jiang, H. *et al.* (2019) ‘Dynamic change in amino acids, catechins, alkaloids, and gallic acid in six types of tea processed from the same batch of fresh tea (*Camellia sinensis* L.) leaves’, *Journal of Food Composition and Analysis*, 77, pp. 28–38. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.01.005>.
- Jiang, H. *et al.* (2020) ‘Chemical composition of a supercritical fluid (Sfe-CO<sub>2</sub>) extract from baeckea frutescens L. leaves and its bioactivity against two pathogenic fungi isolated from the tea plant (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze)’, *Plants*, 9(9), pp. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants9091119>.
- Jin, J. *et al.* (2020) ‘Scenarios of genes-to-terpenoids network led to the identification of a novel  $\alpha/\beta$ -farnesene/ $\beta$ -ocimene synthase in *Camellia sinensis*’, *International Journal of Molecular Sciences*, 21(2), pp. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms21020655>.
- Kim, T. *et al.* (2020) ‘Therapeutic potential of volatile terpenes and terpenoids from forests for inflammatory diseases’, *International Journal of Molecular Sciences*, 21(6). DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms21062187>.
- Liu, Y. *et al.* (2022) ‘Gui Shao Tea Extracts Inhibit Gastric Cancer Growth in Vitro and in Vivo and Prolong Survival in Nude Mice’, *Frontiers in Bioscience - Landmark*, 27(8). DOI: <https://doi.org/10.31083/j.fbl2708250>.
- Majumder, S., Ghosh, A. and Bhattacharya, M. (2020) ‘Natural anti-inflammatory terpenoids in *Camellia japonica* leaf and probable biosynthesis pathways of

- the metabolome', *Bulletin of the National Research Centre*, 44(1). DOI: <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00397-7>.
- Mirmojarabian, S. *et al.* (2022) 'Phytochemical properties and antiviral effect of green tea (*Camellia sinensis*) extract on adenovirus in vitro', *Journal of Shahrekord University of Medical Sciences*, 24(3), pp. 104–110. DOI: <https://doi.org/10.34172/jsums.2022.17>.
- De Moraes, M.D.R. *et al.* (2021) 'Protective effect of green tea catechins on eroded human dentin: an in vitro/in situ study', *Brazilian Oral Research*, 35, pp. e108–e108. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2021.vol35.0108>.
- Nie, C. *et al.* (2019) 'Comparison of different aroma-active compounds of Sichuan Dark brick tea (*Camellia sinensis*) and Sichuan Fuzhuan brick tea using gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS) and aroma descriptive profile tests', *European Food Research and Technology*, 245(9), pp. 1963–1979. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03304-1>.
- Ninkuu, V. *et al.* (2021) 'Biochemistry of terpenes and recent advances in plant protection', *International Journal of Molecular Sciences*, 22(11). DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms22115710>.
- Niu, S. *et al.* (2019) 'Genetic diversity, linkage disequilibrium, and population structure analysis of the tea plant (*Camellia sinensis*) from an origin center, Guizhou plateau, using genome-wide SNPs developed by genotyping-by-sequencing', *BMC Plant Biology*, 19(1), p. 328. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-019-1717-5>.
- Omran, A.M., Al Sa'ady, A.T. and Saleh, R.H. (2023) 'Phytochemical Screening, Antibacterial Activity, and Chromatographic Study of *Camellia sinensis*', *Medical Journal of Babylon*, 20(4), pp. 790–796. DOI: [https://doi.org/10.4103/MJBL.MJBL\\_455\\_23](https://doi.org/10.4103/MJBL.MJBL_455_23).
- Parveen, A. *et al.* (2023) 'The Chemistry, Sensory Properties and Health Benefits of Aroma Compounds of Black Tea Produced by *Camellia sinensis* and *Camellia assamica*', *Horticulturae*, 9(12). DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9121253>.
- Pereira, A.G. *et al.* (2022) 'Camellia japonica: A phytochemical perspective and current applications facing its industrial exploitation', *Food Chemistry: X*, 13(February), p. 100258. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100258>.
- Del Prado-Audelo, M.L. *et al.* (2021) 'Therapeutic Applications of Terpenes on Inflammatory Diseases', *Frontiers in Pharmacology*, 12(August), pp. 1–7. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.704197>.
- Prayoga, M.K. *et al.* (2022) 'Quality diversity of 35 tea clones (*Camellia sinensis* var. *sinensis*) processed for

- green tea', *Biodiversitas*, 23(2), pp. 810–816. DOI: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230227>.
- Qin, C. *et al.* (2024) 'Chemical profile and in-vitro bioactivities of three types of yellow teas processed from different tenderness of young shoots of Huoshanjinjizhong (*Camellia sinensis* var. *sinensis*)', *Food Chemistry: X*, 24(May), p. 101809. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101809>.
- Rafique, S. *et al.* (2023) 'Investigation of the antimicrobial, antioxidant, hemolytic, and thrombolytic activities of *Camellia sinensis*, *Thymus vulgaris*, and *Zanthoxylum armatum* ethanolic and methanolic extracts', *Food Science and Nutrition*, 11(10), pp. 6303–6311. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.3569>.
- Rahayu, R.P. *et al.* (2018) 'The immunomodulatory effect of green tea (*Camellia sinensis*) leaves extract on immunocompromised Wistar rats infected by *Candida albicans*', *Veterinary World*, 11(6), pp. 765–770. DOI: <https://doi.org/10.14202/vetworld.2018.765-770>.
- Ren, H. *et al.* (2022) 'Integrative Transcriptome and Proteome Analysis Reveals the Absorption and Metabolism of Selenium in Tea Plants [*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze]', *Frontiers in Plant Science*, 13(February), pp. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.848349>.
- Rizka, G.A., Makmum, A. and Safei, I. (2025) 'Pengaruh Pemberian Seduhan Daun Teh Hijau (*Camellia sinensis*) terhadap Kadar Kolesterol Total dan High Density Lipoprotein (HDL) pada Mencit (*Mus Musculus*) yang Menderita Diabetes Melitus Tipe 2', *The Indonesian Journal of General Medicine*, 13(3), pp. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.70070/6rwmvs60>.
- Rubab, S., Rizwani, Ghazala H., *et al.* (2022) 'Establishment of Pharmacognostic Standards of Different Morphological Parts of *Camellia sinensis* L. Grown in Pakistan', *Pakistan Journal of Botany*, 54(4), pp. 1557–1565. DOI: [https://doi.org/10.30848/PJB2022-4\(29\)](https://doi.org/10.30848/PJB2022-4(29)).
- Rubab, S., Rizwani, Ghazala H, *et al.* (2022) 'Phytochemical and Pharmacological Potential of *Camellia sinensis* L.', *Pakistan Journal of Zoology*, 55(2), pp. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.17582/journal.pjz/20210815170852>.
- Sheikh, I. *et al.* (2021) 'Cancer chemoprevention by flavonoids, dietary polyphenols and terpenoids', *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 11(1), pp. 8502–8537. DOI: <https://doi.org/10.33263/BRIAC111.85028537>.
- Shi, L. *et al.* (2021) 'Effect of a combined microwave-assisted drying and air drying on improving active nutraceutical compounds, flavor quality, and antioxidant properties of *Camellia sinensis* L. (cv. Longjing 43)

- flowers', *Food Quality and Safety*, 5, pp. 1–7. DOI: <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyaa040>.
- Sil, S.K. and Mukherjee, N. (2021) 'Bioactive Compounds of Tea (*Camellia sinensis*) Flowers', *International Journal of Research in Applied, Natural and Social Sciences*, 9(3), pp. 11–22.
- Singh, M.K. *et al.* (2022) 'A review on Immunostimulatory and antioxidant potential of herbs, *Curcuma longa* L., *Camellia sinensis* L. *Zingiber officinale* and *Allium sativum* Linn. in fish health: a sustainable approach for a healthy aquaculture', *Ecology, Environment and Conservation*, pp. 1431–1445. DOI: <https://doi.org/10.53550/EEC.2022.v28i03.047>.
- Sobhanian, S.A. *et al.* (2024) 'Glucose and Lipid-Lowering Activities of Some Bioactive Extracted Components from Herbs (*Camellia sinensis*, *Matricaria Chamomilla* and *Carum Carvi*) in Streptozotocin-diabetic Rats: Intelligent Method for Herbal Medicines Production with Selected Active Ing'. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-5321019/v1>.
- Suksathan, R. *et al.* (2021) 'Phytochemical and nutritional compositions and antioxidants properties of wild edible flowers as sources of new tea formulations', *NFS Journal*, 24(March), pp. 15–25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2021.06.001>.
- Tang, Jiandong *et al.* (2024) 'Bioactivity-Guided Isolation of Secondary Metabolites from *Camellia fascicularis*: Antioxidative Antibacterial Activities and Anti-Inflammatory Hypoglycemic Molecular Docking', *Foods*, 13(21). DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13213435>.
- Teixeira, A.M. and Sousa, C. (2021) 'A review on the biological activity of camellia species', *Molecules*, 26(8), pp. 1–25. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26082178>.
- Thelma, E.I. *et al.* (2020) 'Haematology, serum biochemistry and histopathological findings associated with sub-chronic administration of methanol leaf extract of *Pterocarpus santalinoides* DC in albino rats', *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 14(5), pp. 136–146. DOI: <https://doi.org/10.5897/ajpp2020.5143>.
- Uba, J.O. *et al.* (2022) 'Bioactive and nutrient composition of *Camellia sinensis* (Tea plant) leaves', *Journal of Medicinal Plants Studies*, 10(6), pp. 06–14. DOI: <https://doi.org/10.22271/plants.2022.v10.i6a.1481>.
- Urme, S.R.A. *et al.* (2024) 'Antimicrobial Activity of Tea and Agarwood Leaf Extracts Against Multidrug-Resistant Microbes', *BioMed research international*, 2024, p. 5595575. DOI: <https://doi.org/10.1155/bmri/5595575>.

- Wang, S.-T. *et al.* (2020) ‘Tea polyphenols and their chemopreventive and therapeutic effects on colorectal cancer’, *World Journal of Gastroenterology*, 26(6), pp. 562–597. DOI: <https://doi.org/10.3748/wjg.v26.i6.562>.
- Wei, J. *et al.* (2023) ‘Biosynthesis and the Transcriptional Regulation of Terpenoids in Tea Plants (*Camellia sinensis*)’, *International Journal of Molecular Sciences*, 24(8). DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms24086937>.
- Widowati, W. *et al.* (2021) ‘Potential of Black Tea (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) Extract as Anti-oxidant and Skin Anti-aging’, in Proceedings of the 1st International Conference on Emerging Issues in Technology, Engineering and Science. *SCITEPRESS - Science and Technology Publications*, pp. 65–73. DOI: <https://doi.org/10.5220/0010744400003113>.
- Wu, S. *et al.* (2023) ‘Histone deacetylase CsHDA6 mediates the regulated formation of the anti-insect metabolite  $\alpha$ -farnesene in tea (*Camellia sinensis*)’, *Plant Science*, 326, pp. 1–19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2022.111501>.
- Xu, K. *et al.* (2022) ‘Non-Targeted Metabolomics Analysis Revealed the Characteristic Non-Volatile and Volatile Metabolites in the Rougui Wuyi Rock Tea (*Camellia sinensis*) from Different Culturing Regions’, *Foods*, 11(12). DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11121694>
- Yan, L. *et al.* (2022) ‘Anticancer Activity of Erianin: Cancer-Specific Target Prediction Based on Network Pharmacology’, *Frontiers in Molecular Biosciences*, 9(March), pp. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmolb.2022.862932>.
- Yang, C.S. and Zhang, J. (2019) ‘Studies on the Prevention of Cancer and Cardiometabolic Diseases by Tea: Issues on Mechanisms, Effective Doses, and Toxicities’, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(19), pp. 5446–5456. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b05242>.
- Yang, P. *et al.* (2022) ‘Characterization of Key Aroma-Active Compounds in Rough and Moderate Fire Rougui Wuyi Rock Tea (*Camellia sinensis*) by Sensory-Directed Flavor Analysis and Elucidation of the Influences of Roasting on Aroma’, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(1), pp. 267–278. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c06066>.
- Yazdanpanah, Z. *et al.* (2023) ‘The effect of green tea (*Camellia sinensis*) on lipid profiles and renal function in people with type 2 diabetes and nephropathy: a randomized controlled clinical trial’, *Frontiers in Nutrition*, 10(December), pp. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1253275>.

- Ye, J. *et al.* (2023) 'Effect of processing on aroma intensity and odor characteristic of Shuixian (*Camellia sinensis*) tea', *Food Chemistry*: X, 17(November 2022), pp. 100616. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100616>.
- Yun, J. *et al.* (2021) 'Use of headspace GC/MS combined with chemometric analysis to identify the geographic origins of black tea', *Food Chemistry*, 360, p. 130033. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130033>.
- Zeng, H. *et al.* (2023) 'Metabolomics Analysis Reveals the Accumulation Patterns of Flavonoids and Volatile Compounds in *Camellia oleifera* Petals with Different Color', *Molecules*, 28(21). DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28217248>.
- Zhou, H.-C. *et al.* (2020) 'Analysis of Terpene Synthase Family Genes in *Camellia sinensis* with an Emphasis on Abiotic Stress Conditions', *Scientific Reports*, 10(1), p. 933. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-57805-1>.
- Zhou, X. *et al.* (2020) 'Metabolism of gallic acid and its distributions in tea (*Camellia sinensis*) plants at the tissue and subcellular levels', *International Journal of Molecular Sciences*, 21(16), pp. 1–13. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms21165684>.
- Zhou, X. *et al.* (2024) 'The Changes in Metabolites, Quality Components, and Antioxidant Activity of Tea (*Camellia sinensis*) Infected with *Exobasidium* vexans by Applying UPLC-MS/MS-Based Widely Targeted Metabolome and Biochemical Analysis', *Phytopathology*, 114(1), pp. 164–176. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-03-23-0105-R>.
- Zong, J.F. *et al.* (2025) 'Two New Triterpenoid Saponins with Antifungal Activity from *Camellia sinensis* Flowers', *International Journal of Molecular Sciences*, 26(3). DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms26031147>.