

Tinjauan Literatur: Komponen Bioaktif dan Manfaat Kesehatan Kunyit yang Berpotensi Sebagai Bahan Pangan Fungsional

Rohmat Ananda Rofi'i Hidayatullah¹, Alya Husna¹, Nabila Khoirunnisa¹, Alina Primasari^{1*}

¹Program studi Teknologi Pangan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Al Azhar Indonesia, Jl. Sisingamangaraja RT.2/RW.1, Selong, Kebayoran Baru, Jakarta Selatan, 12110.

Penulis untuk korespondensi/E-mail: alina.priambudi@gmail.com

Abstract – *Curcuma sp.*, popularly known as turmeric, is a medicinal plant and spice that has long been used in traditional medicine and Indonesian cuisine. Turmeric is rich in various bioactive compounds primarily curcuminoids (curcumin, demethoxycurcumin, bisdemethoxycurcumin), flavonoids, terpenoids (ar-turmerone, α -turmerone, β -turmerone), and phytosterols that contribute to diverse pharmacological activities such as antioxidant, anti-inflammatory, anticancer, antidiabetic, hepatoprotective and antimicrobial. These active compounds can be extracted using miscellaneous conventional and modern methods, such as maceration, Soxhlet extraction, ultrasonic extraction, microwave-assisted extraction, and solvents such as ethanol, methanol, or ethyl acetate. The effectiveness of extraction is influenced by a number of factors, including solvent polarity, temperature, extraction time, and plant matrix characteristics. The purpose of this paper is to comprehensively review the main bioactive components in turmeric and their pharmacological mechanisms based on the latest scientific literature. This literature review was conducted by narrative review with systematic search by accessing Google Scholar, MDPI, ResearchGate, and ScienceDirect, focusing on scientific publications from the last ten years. The results of the study show that turmeric has broad therapeutic potential, with complex molecular mechanisms of action, although there are still challenges in terms of bioavailability and product formulation. Turmeric and its components show promising prospects as safe natural therapeutic agents, both as alternatives and as potential functional foods in the prevention and management of chronic disease.

Abstrak - *Curcuma sp.*, yang dikenal sebagai kunyit, merupakan tanaman obat dan rempah yang telah lama dimanfaatkan dalam pengobatan tradisional dan kuliner Indonesia. Kunyit kaya akan berbagai senyawa bioaktif terutama kurkuminoid (kurkumin, demetoksikurkumin, bisdemetoksikurkumin), flavonoid, terpenoid (ar-turmeron, α -turmeron, β -turmeron), serta fitosterol yang berkontribusi terhadap beragam aktivitas farmakologis seperti antioksidan, antiinflamasi, antikanker, antidiabetes, hepatoprotektif dan antimikroba. Senyawa-senyawa aktif tersebut dapat diekstraksi menggunakan berbagai metode konvensional dan modern, seperti maserasi, soxhlet, ekstraksi ultrasonik, ekstraksi berbantuan gelombang mikro, dengan berbagai pelarut seperti etanol, metanol, atau etil asetat. Efektivitas ekstraksi dipengaruhi oleh sejumlah faktor, termasuk polaritas pelarut, suhu, waktu ekstraksi, dan karakteristik matriks tanaman. Tujuan tinjauan ini untuk mengulas secara komprehensif berbagai komponen bioaktif utama dalam kunyit serta mekanisme farmakologisnya berdasarkan literatur ilmiah terkini. Telaah pustaka dilakukan melalui ulasan naratif dengan pencarian sistematis dengan mengakses Google Scholar, MDPI, ResearchGate dan ScienceDirect, dengan fokus pada publikasi ilmiah dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir. Hasil kajian menunjukkan bahwa kunyit memiliki potensi terapeutik yang luas dengan mekanisme aksi molekuler yang kompleks, meskipun masih terdapat tantangan dalam hal bioavailabilitas dan formulasi produk. Kunyit dan komponennya menunjukkan prospek menjanjikan sebagai agen terapeutik alami yang aman, baik sebagai alternatif maupun potensi pangan fungsional dalam pencegahan dan pengelolaan penyakit kronis.

Keywords – Bioactive Compounds, *Curcuma sp.*, Functional Food, Health Benefits, Turmeric.

PENDAHULUAN

Kunyit disebut juga kunir (*Curcuma* sp.) adalah salah satu tanaman obat dan rempah asli Indonesia yang telah lama dimanfaatkan dalam pengobatan tradisional dan masakan daerah. Penggunaan kunyit secara turun-temurun dalam dalam bentuk jamu, menunjukkan adanya kepercayaan masyarakat terhadap khasiat farmakologisnya yang beragam. Kunyit memiliki manfaat dalam melancarkan peredaran darah, meredakan peradangan (antiinflamasi) terutama pada kondisi nyeri menstruasi (dismenore), serta bersifat antibakteri dan membantu mengecilkan pori-pori kulit wajah sehingga juga digunakan dalam perawatan kecantikan [1].

Kunyit bubuk dan ekstrak kunyit dapat digunakan sebagai suplemen pangan dan kunyit dalam berbagai bentuk ekstrak mentah, menunjukkan kemanjuran antibakteri yang mengesankan terhadap beberapa spesies bakteri Gram-negatif dan positif, termasuk *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, dan *Escherichia coli*. Ekstrak heksana dan diklorometana dari rimpang kunyit menunjukkan aktivitas antibakteri signifikan terhadap isolat klinis *Methicillin-resistant Staphylococcus aureus* /MRSA dengan *Minimum Inhibitory Concentration*/MIC rendah dan zona hambat hingga 11 mm, serta mampu menurunkan pembentukan biofilm dan total protein bakteri [2]. Pada masakan Asia bubuk kunyit populer digunakan sebagai bumbu untuk memperkaya rasa. Kunyit juga banyak digunakan sebagai pewarna dan pengawet makanan di seluruh belahan dunia [3]. Berbagai efek farmakologis dari kunyit telah dilaporkan yaitu sebagai antiinflamasi, antioksidan, antibakteri, antivirus, antifungi, antimalaria, antikarsinogen, dan penyembuhan luka [4].

Kunyit termasuk ke dalam famili *Zingiberaceae* atau suku temu-temuan, yang dikenal akan kandungan senyawa bioaktifnya, terutama kurkumin, yang memberikan warna kuning khas pada rimpangnya [5]. Kunyit memiliki rimpang bercabang, berwarna kuning cerah hingga oranye, berbentuk silinder, dan beraroma. Daun kunyit terdapat dalam dua baris dan bergantian. Bagian daun terdiri dari selubung daun, tangkai daun, dan bilah daun. Batang palsu dibuat dari selubung daun. Panjang tangkai daun berkisar antara 50 hingga 115 cm dengan bilah daun sederhana memiliki panjang antara 76 hingga 115 cm, dengan beberapa mencapai hingga 230 cm. Bunga kunyit

hermafrodit berlipat ganda dan *zygomorphic*, ketiga sepal berwarna putih, bersatu dan mengandung rambut halus. Ketiga gigi kelopak tidak rata. Tiga kelopak kuning cerah disatukan menjadi tabung mahkota sepanjang 3 sentimeter. Tiga lobus mahkota berbentuk segitiga dengan ujung atas berduri lembut dan berukuran panjang 1,0 hingga 1,5 cm [6]. Menurut klasifikasi taksonomi, tanaman kunyit merupakan tanaman semak dengan tinggi antara 40 hingga 100 cm. Batangnya bersifat semu, tegak, dan berbentuk silindris yang tersusun dari pelepah daun dan berfungsi sebagai struktur penopang tanaman. Bagian bawah batang membentuk rimpang berwarna kuning cerah yang merupakan organ utama yang dimanfaatkan [7].

Kunyit memiliki potensi besar baik dari segi produksi, nilai jual, maupun manfaat kesehatan bagi masyarakat Indonesia. Menurut data Badan Pusat Statistik, Indonesia mencatatkan produksi kunyit nasional sebesar 205,65 ribu ton pada tahun 2023. Kunyit asal Indonesia juga diekspor ke Malaysia, Singapura, dan India dengan nilai ekspor sebesar 8,47 juta Dolar Amerika [8]. Sentra budidaya tanaman kunyit adalah pulau Jawa. Sebagai salah satu tanaman herbal unggulan di Indonesia, kunyit tidak hanya sebagai bumbu masakan tapi juga diolah menjadi jamu. Kandungan kurkumin serta senyawa bioaktif lainnya terbukti memiliki beragam manfaat kesehatan bagi manusia [9].

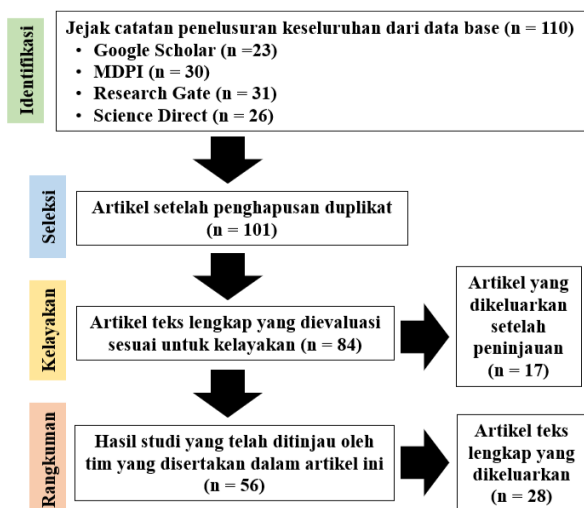
Selain bernilai ekonomi, kunyit juga memiliki kedudukan istimewa dalam kearifan lokal masyarakat Indonesia. Sejak berabad-abad lalu, kunyit telah digunakan dalam ramuan jamu tradisional seperti kunyit asam yang dipercaya bermanfaat untuk menjaga stamina tubuh, meredakan nyeri menstruasi, hingga memperbaiki kesehatan pencernaan [10]. Di berbagai daerah, kunyit juga menjadi bagian dari praktik budaya dan perawatan tradisional, baik dalam ritual adat maupun pemakaian luar untuk kecantikan [11]. Penggunaan luas ini menunjukkan bahwa kunyit bukan sekadar rempah dapur, tetapi juga bagian dari identitas budaya dan pengetahuan tradisional bangsa.

Melekatnya kunyit sebagai bagian dari masyarakat Indonesia menjadi latar belakang penting pembahasan manfaat kesehatan kunyit yang beragam. Oleh karena itu, artikel ini dibuat dengan tujuan mengulas secara komprehensif berbagai komponen bioaktif utama dalam kunyit serta mekanisme farmakologisnya berdasarkan literatur ilmiah terkini. Kajian literatur ini diharapkan dapat

memberikan dasar ilmiah untuk pengembangan aplikasi terapeutik dan kunyit sebagai pangan fungsional.

METODE

Pengumpulan literatur dilakukan fokus pada beberapa artikel penelitian ilmiah yang berkaitan dengan topik kajian. Artikel penelitian yang digunakan dari penelusuran pustaka dalam rentang 10 tahun terakhir (2015-2025) dari pencarian melalui Google Scholar, MDPI, ResearchGate, dan Science Direct dengan kata kunci “Kunyit (*Curcuma*)”, “Ekstraksi Kunyit (*Curcuma extraction*)”, “Kunyit (*Curcuma longa*) dan fitokimia”, “Kunyit (*Curcuma longa*) dan sifat farmakologis”, “Kunyit (*Curcuma longa*) dan antikanker”, “Kunyit (*Curcuma longa*) dan antioksidan”, “Kunyit (*Curcuma longa*) dan penyakit kardiovaskular”, “Kunyit (*Curcuma longa*) dan antibakteri”, “Kunyit (*Curcuma longa*) dan penyakit hati” disertakan dalam pencarian.



Gambar 1. Diagram alir pencarian data

Terdapat total 110 jurnal ilmiah yang dikumpulkan pada awal penelusuran. Setelah proses penghapusan 9 artikel duplikat, diperoleh 101 artikel yang dilanjutkan ke tahap penilaian kelayakan berdasarkan teks lengkap. Sebanyak 17 artikel dikeluarkan karena tidak relevan setelah peninjauan judul dan abstrak, dan 28 artikel lainnya dikeluarkan setelah evaluasi lebih lanjut karena tidak menunjukkan kesesuaian data pembahasan yang dibutuhkan atau hanya menjelaskan senyawa bioaktif secara umum tanpa data yang relevan. Kriteria inklusi utama meliputi: (1) artikel dipublikasikan dalam rentang waktu 10 tahun

terakhir, (2) membahas ekstraksi kunyit, komponen bioaktif, dan manfaat kesehatan kunyit, (3) penyajian data empiris atau hasil penelitian relevan, serta (4) ketersediaan artikel dalam format teks lengkap. Maka dari itu, jumlah akhir artikel yang ditinjau dan dimasukkan ke dalam kajian sebanyak 56 artikel yang memenuhi kriteria inklusi akhir. Proses pencarian dan seleksi artikel ditampilkan dalam diagram alir pada Gambar 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ekstraksi Kunyit

Manfaat kesehatan dari kunyit terutama terletak pada bagian rimpangnya. Rimpang kunyit bisa langsung dimanfaatkan atau melalui proses ekstraksi untuk mengambil komponen bioaktif. Metode yang dilakukan untuk mengekstrak komponen bioaktif pada kunyit dapat menggunakan enzim atau berbagai pelarut dengan teknik seperti maserasi, pemanasan, Soxhlet, ekstraksi cairan superkritis, tekanan tinggi, ultrasonikasi, dan *microwave*. Pelarut yang dapat dipakai untuk proses ekstraksi juga beragam, antara lain heksana, etanol, isopropil alkohol, aseton, maupun cecair ion (*ionic liquid*) yang dianggap sebagai pelarut “hijau” karena sifat-sifatnya yang unik. Pelarut etanol banyak digunakan karena alasan keamanan dan efikasinya yang tinggi. Selain jenis pelarut dan metode, berbagai faktor lain juga mempengaruhi hasil dan efisiensi proses ekstraksi seperti suhu, waktu, dan perbandingan jumlah pelarut dan padatan [12]. Metode ekstraksi komponen bioaktif dalam kunyit dapat dilihat pada Tabel 1.

Metanol dengan perbandingan berat sampel terhadap volume pelarut 1/30 mampu mengekstrak hampir semua kurkuminoid dengan bantuan ultrasonikasi selama 20 menit, jika dibandingkan pelarut organik lain seperti aseton dan etanol. Kandungan kurkuminoid dalam kunyit dapat beragam dan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kondisi geografis dan iklim yang dapat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan kunyit, kandungan nutrisi dalam tanah yang dapat mempengaruhi penyerapan dan kematangan kurkuminoid, serta praktik pertanian seperti penggunaan pupuk dan pestisida yang mempengaruhi pembentukan kurkuminoid [7]. Ekstraksi kurkumin dapat juga dilakukan dengan metode maserasi pada suhu ruang menggunakan pelarut n-heksana, etanol, dan etil asetat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kunyit kuning menghasilkan rendemen dan kadar kurkuminoid

lebih tinggi dibandingkan kunyit putih. Perlakuan terbaik diperoleh pada ekstrak kunyit kuning dengan pelarut etil asetat, dengan kadar kurkuminoid mencapai 8,13 mg/L. Keberhasilan etil asetat sebagai pelarut disebabkan oleh sifatnya yang semi polar, sehingga efektif melarutkan senyawa kurkuminoid yang juga bersifat semi polar. Selain jenis pelarut, faktor lain yang memengaruhi hasil ekstraksi adalah ketebalan dinding sel, umur rimpang, dan struktur kimia kurkuminoid itu sendiri [13].

Tabel 1. Metode Ekstraksi Komponen Bioaktif dalam Kunyit

Metode Ekstraksi	Pelarut yang Digunakan	Kondisi Ekstraksi (Suhu/Waktu)	Sumber
Ultrasonikasi	Metanol, Aseton, Etanol	20 menit, suhu kamar	[12]
Pelarut "Hijau" (Ionic Liquid)	Cairan ionik alami	Kondisi ambient, efisiensi tinggi	[12]
Maserasi	n-Heksana, Etanol, Etil asetat	Suhu ruang	[13]
Soxhlet	Etanol 95%	60 menit, $\pm 78^{\circ}\text{C}$	[14]
Microwave-assisted	Etanol 95%	3 menit, suhu tinggi terkontrol	[14]
Supercritical Fluid Extraction	CO_2 superkritis	Tekanan tinggi, suhu rendah	[15]
Solid State Fermentation	Menggunakan <i>Aspergillus sp.</i>	Suhu ruang, waktu fermentasi 48–72 jam	[16]
Destilasi Uap Air	Air	Suhu $>100^{\circ}\text{C}$, tekanan uap	[17]
Fermentasi oleh <i>Lactobacillus paracasei</i>	Etanol fermentasi	37°C selama 16 minggu (uji hewan)	[18]

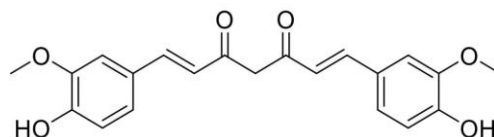
Jika dibandingkan konsentrasi kurkumin hasil ekstraksi dengan metode Soxhlet, ultrasonikasi, dan *microwave* menggunakan pelarut etanol 95% maka penggunaan *microwave* selama 3 menit dapat menghasilkan ekstrak kurkumin paling tinggi, yaitu sebesar 52,25 mg kurkumin/gram kunyit. Penggunaan metode Soxhlet selama satu jam dapat menghasilkan 45,16 mg kurkumin/gram kunyit, sedangkan ultrasonikasi selama 15 menit menghasilkan 40,59 mg kurkumin/gram kunyit. Hal ini menunjukkan bahwa energi panas yang dihasilkan dari gelombang mikro dapat menghasilkan pemanasan internal pada pelarut dan kunyit serta gangguan seluler pada kunyit yang cukup efisien sehingga meningkatkan kelarutan kurkumin. Energi dari gelombang mikro sekaligus

menghindari degradasi termal yang terjadi pada pemanasan berlebihan pada metode Soxhlet [14]. Hasil ini menunjukkan bahwa metode *microwave* lebih efisien dalam mengekstrak kurkumin dibandingkan metode lainnya, baik dari segi waktu maupun hasil. Namun, penggunaan *microwave* memerlukan teknologi khusus dan belum umum digunakan dalam skala industri, sehingga perlu dikaji lebih lanjut untuk aplikasinya secara luas.

Komponen Bioaktif Kunyit

Kurkumin

Kurkumin disebut sebagai senyawa fenolik utama yang terdapat pada rimpang kunyit. Kurkumin berwarna kuning cerah pada pH asam dan pada pH basa memiliki warna kemerahan. Secara kimia kurkumin memiliki nama 7-bis(4-hidroksi-3-metoksifenil)-1,6-heptadiena-3,5-dion atau disebut juga diferuloylmetana (Gambar 2). Kandungan kurkumin pada kunyit berkisar antara 3-8% dari berat kunyit. Meskipun kurkumin murni tidak memiliki rasa yang signifikan, kunyit memiliki rasa yang sedikit pahit. Kurkumin dapat rusak oleh berbagai faktor lingkungan seperti suhu, cahaya, oksigen, maupun pH [14].



Gambar 2. Struktur kimia senyawa kurkumin [19]

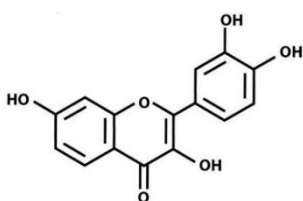
Selain diferuloylmetana, kurkuminoid utama yang ada dalam kunyit yaitu demetoksikurkumin, juga dikenal sebagai kurkumin II, bisdemetoksikurkumin, juga dikenal sebagai kurkumin III, dan siklokurkumin, yang baru-baru ini ditemukan. Komponen utama kurkumin komersial adalah kurkumin I (77%), kurkumin II (17%), dan kurkumin III (3%). Kurkumin bersifat tidak larut pada eter maupun air, namun larut dalam etanol, dimetilsulfoksida, dan aseton. Titik leleh kurkumin adalah 183°C . Rumus kimianya adalah $\text{C}_{21}\text{H}_{20}\text{O}_6$, dan berat molekulnya adalah 368,37 gram/mol. Kurkumin stabil pada pH asam tetapi pada pH netral dan basa kurkumin terdegradasi menjadi asam ferulat dan feruloilmetana [11]. Selain itu, terdapat lebih dari 50 jenis kurkumin lain seperti bisabokurkumin, curcupalongin, cyclokurkumin, dan terpekurkumin yang telah diidentifikasi dalam kunyit [20].

Kurkumin memiliki berbagai manfaat kesehatan seperti sifat antioksidan, anti-inflamasi, anti-bakteri, anti-diabetes, anti-depresi, dan anti-kanker.

Kurkumin mempunyai sifat antiinflamasi dan antioksidan yang baik untuk mencegah dan mengurangi efek aterosklerotik yang diakibatkan oleh tingginya kadar lemak dalam darah [8]. Kurkumin juga telah terbukti memiliki aktivitas sitotoksik terhadap sel kanker hati manusia (HepG2) [21].

Flavonoid

Flavonoid merupakan salah satu kelompok senyawa bioaktif yang terdapat dalam kunyit yang berperan penting sebagai antioksidan alami (Gambar 3). Senyawa ini termasuk dalam kelompok polifenol dan diketahui mampu menangkalkan radikal bebas yang dapat merusak sel-sel tubuh. Flavonoid pada kunyit berkontribusi dalam meningkatkan aktivitas biologis tanaman tersebut, termasuk efek antiinflamasi, antibakteri, dan kardioprotektif [1]. Selain itu, flavonoid juga mendukung sistem imun dan berpotensi dalam pencegahan penyakit degeneratif seperti kanker dan penyakit jantung. Flavonoid bekerja dengan berbagai mekanisme, antara lain menghambat penyerapan glukosa di usus, mengganggu pembentukan glukosa di hati (glukoneogenesis), meningkatkan pengambilan glukosa oleh jaringan perifer, serta menstimulasi sekresi insulin dari sel pankreas [22].

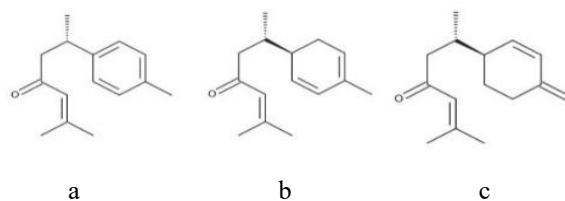


Gambar 3. Struktur kimia senyawa flavonoid [23]

Kandungan total senyawa flavonoid pada berbagai genotipe kunyit menunjukkan variasi yang cukup signifikan, menunjukkan potensi biokimia yang beragam di antara genotipe tersebut. Berdasarkan penelitian terhadap 25 genotipe kunyit menggunakan metode Folin-Ciocalteu, kadar flavonoid terukur pada rentang 0,376 OD hingga 1,699 OD [24]. Penelitian tentang karakterisasi kunyit yang berasal dari Bangladesh menunjukkan kandungan fenolik pada sampel kunyit sebesar 26,37 mg GAE/g tepung kunyit atau 70,53 mg QE/g ekstrak kering [25]. Penelitian yang lain menunjukkan kandungan senyawa flavonoid sebesar 549,2 mg QE/g ekstrak kasar beku-kering untuk ekstraksi dengan aseton 80% [26].

Terpenoid

Minyak atsiri dari rimpang *Curcuma longa* secara alami mengandung senyawa golongan monoterpenoid dan seskuiterpenoid, dengan komponen utama berupa ar-turmeron, α -turmeron, dan β -turmeron (Gambar 4). Senyawa-senyawa ini diketahui sebagai konstituen khas dan dominan dalam minyak kunyit dan pada ekstrak dari rimpang segar tanpa perlakuan fermentasi. Kandungan total minyak atsiri dalam rimpang kunyit umumnya mencapai 5–6% dari berat kering, di mana sebagian besar fraksi volatilnya terdiri atas senyawa seskuiterpenoid aromatik, yang berperan penting dalam karakteristik aroma, bioaktivitas, dan potensi farmakologis minyak kunyit [16].



Gambar 4. Struktur kimia senyawa (a) ar-turmeron, (b) α -turmeron, (c) β -turmeron [15]

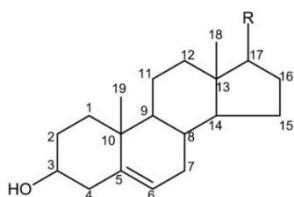
Hasil penelitian pada delapan belas varietas kunyit yang ditanam di Pulau Jeju, Korea Selatan, menunjukkan bahwa kandungan turmeron sangat beragam, serta dipengaruhi asal geografis, metode ekstraksi, dan bagian yang digunakan. Rimpang kunyit tersebut mengandung ar-turmeron sebesar 19,54-32,24%, α -turmeron sebesar 3,72-6,50%, dan β -turmeron sebesar 2,86-5,60% [27]. Penelitian yang dilakukan terhadap minyak atsiri yang diekstrak dari daun kunyit yang tumbuh di Nigeria mengandung ar-turmeron yang sangat tinggi, yaitu mencapai 63,4% dari total keseluruhan minyak atsiri. Kandungan ini jauh lebih tinggi dibandingkan dengan minyak atsiri dari rimpang kunyit yang biasanya memiliki kadar ar-turmeron antara 19,54 hingga 32,24%. [28].

Minyak kunyit yang diperoleh dari fermentasi padat rimpang kunyit oleh tiga spesies *Aspergillus* (yaitu *A. niger*, *A. oryzae*, dan *A. awamori*) diketahui mengandung 30 senyawa volatil yang terdiri atas golongan monoterpenoid dan seskuiterpenoid, berdasarkan hasil analisis GC-MS. Meskipun senyawa utama dalam fraksi volatil ini didominasi oleh seskuiterpenoid, beberapa senyawa monoterpenoid juga berhasil teridentifikasi sebagai komponen minor. Senyawa-senyawa monoterpenoid yang terdeteksi meliputi 1-phellandrene, α -terpinolene, γ -terpinene, α -terpinene, 1,8-cineole, β -myrcene, δ -3-carene, dan (-)- α -pinene [18].

Ekstrak rimpang kunyit jenis *Curcuma soloensis* Val. yang merupakan tanaman endemik Indonesia telah diidentifikasi mengandung senyawa golongan terpenoid, khususnya seskuiterpenoid berupa ar-turmeron. Senyawa ini diperoleh melalui rangkaian proses isolasi dan pemurnian, diawali dengan ekstraksi menggunakan metode Soxhlet dan pelarut organik untuk melarutkan senyawa bioaktif dari bahan kering. Ekstrak kasar kemudian dipisahkan menggunakan kromatografi kolom dan kromatografi lapis tipis (KLT) berdasarkan perbedaan polaritas. Senyawa murni yang diperoleh dianalisis menggunakan spektroskopi resonansi magnetik inti (NMR). Penggunaan ^1H NMR dan ^{13}C NMR, serta analisis lanjutan dengan 2D-NMR (*Heteronuclear Single Quantum Coherence*/HSQC dan *Heteronuclear Single Quantum Coherence*/HMBC), memberikan informasi mengenai struktur kerangka karbon, posisi gugus fungsional, dan konektivitas antar atom. Hasil spektrum menunjukkan adanya akumulasi aromatik, rantai alifatik tidak jenuh, dan gugus karbonil yang khas pada ar-turmeron [19]. Dengan demikian, hasil pengujian memberikan bukti keberadaan senyawa seskuiterpenoid, dan menjadi salah satu laporan awal yang berhasil mengisolasi ar-turmeron dari spesies *C. Soloensis*.

Fitosterol

Fitosterol yang terkandung dalam rimpang kunyit, antara lain kampesterol, β -sitosterol, dan stigmasterol, dengan struktur kimia seperti pada Gambar 5 berperan sebagai prekursor hormon seks, khususnya estrogen. Estrogen berpengaruh besar terhadap proliferasi endometrium dan regulasi siklus menstruasi. Dengan demikian, kandungan fitosterol dalam kunyit mendukung pemulihan fungsi reproduksi melalui stimulasi hormon estrogen, yang mempercepat terjadinya ovulasi dan menstruasi pasca penggunaan kontrasepsi hormonal seperti Depo Medroxyprogesterone Acetate/DMPA [29].



Gambar 5. Struktur kimia senyawa fitosterol [30]

Struktur tiga dimensi senyawa fitosterol yang teridentifikasi pada kunyit yakni 1,8 Cineole (CID_2758), 3,7-dimethyl, 3,6-octatriene (CID_5281553), Champene (CID_6616), Decanal

(CID_8175), selina-6-en-4-ol (CID_527220) dan Zingiberene (CID_92776). Fitosterol yang terkandung dalam kunyit berperan dalam menghambat enzim asetilkolinesterase, sehingga mencegah pemecahan asetilkolin menjadi kolin dan asetil-KoA [31]

Peran fitosterol sebagai penghambatan ini membantu mencegah kerusakan sel otak dan kehilangan memori, yang umum terjadi pada kondisi seperti Alzheimer. Mekanisme ini didukung oleh senyawa aktif seperti 1,8-cineole dan zingiberene yang bekerja dengan mengikat residu aktif enzim melalui interaksi hidrogen, khususnya pada residu tirosin85 dan glisin293. Selain itu, senyawa tersebut juga diprediksi mampu menstimulasi sel HT22 (lini sel neuron hipokampus tikus) yang mengekspresikan reseptor TrkB (Tropomyosin receptor kinase B) dari BDNF (*Brain-Derived Neurotrophic Factor*), yang berperan penting dalam memori dan neurogenesis [31].

Studi *in silico* mengidentifikasi enam senyawa fitosterol dari kunyit yaitu 1,8-cinole, 3,7-diemthyl-1,3,6-octatriene, chempene, decanal, selina-6-en-4-ol, dan zingiberene yang memiliki afinitas pengikatan kuat terhadap enzim acetylcholine esterase dengan energi ikatan antara 4,6 hingga 6,6 kcal/mol. Interaksi dengan residu aktif seperti tirosin85, metionin84, dan histidin324 menunjukkan potensi senyawa ini sebagai agen anti-Alzheimer dengan mekanisme penghambatan enzim tanpa toksisitas terhadap sel saraf [32].

Potensi Manfaat Kesehatan Kunyit

Antikanker

Kanker merupakan penyebab kematian tertinggi di dunia dengan hampir 10 juta kematian pada tahun 2020 [33]. *World Health Organization/WHO* memperkirakan jumlah kasus baru akan meningkat dari 19,3 juta pada tahun 2020 menjadi 28,4 juta kasus pada tahun 2040, naik sebesar 47% dalam dua dekade [33]. Salah satu kandidat agen antikanker alami yang potensial adalah kurkumin, senyawa bioaktif utama dalam kunyit, yang telah banyak diteliti karena aktivitas sitotoksik dan antiproliferasinya terhadap berbagai jenis sel kanker. Beberapa studi melaporkan bahwa ekstrak kunyit yang mengandung kurkumin mampu menurunkan viabilitas sel kanker ovarium OVCAR-3 secara signifikan setelah 24 dan 48 jam perlakuan, tergantung pada konsentrasi [34].

Selain itu, kurkumin memicu apoptosis melalui peningkatan ekspresi protein pro-apoptosis seperti p53, Bax, dan caspase-3, serta penurunan ekspresi protein antiapoptosis seperti Bcl-2. Efek ini telah diamati pada beberapa tipe kanker, termasuk kanker lambung dan kanker payudara. Pada kanker lambung, kurkumin terbukti menekan jalur molekuler penting dalam tumorigenesis seperti STAT3 dan Akt/mTOR yang berperan dalam resistensi apoptosis, proliferasi, dan angiogenesis [35]. Sedangkan pada kanker payudara, kurkumin juga menunjukkan efek antimetastasis melalui penghambatan jalur sinyal Hedgehog/Gli1, yang ditunjukkan dengan penurunan ekspresi protein Shh, Smo, dan Gli1 [36]. Meskipun berbagai penelitian menunjukkan efek sitotoksik dan antiproliferatif kurkumin terhadap sel kanker, sebagian besar studi masih terbatas pada uji *in vitro* dan model hewan. Uji klinis berskala besar masih sangat terbatas, sehingga efektivitas terapeutik pada manusia belum dapat diklaim secara menyeluruh.

Penyakit Kardiovaskular

Penyakit jantung koroner, gagal jantung, hipertensi dan stroke merupakan penyakit kardiovaskuler. Aterosklerosis dapat menjadi penyebab penyakit kardiovaskuler. Salah satu terapi yang dapat dilakukan untuk membantu menanggulangi aterosklerosis adalah senyawa kurkumin. Kurkumin merupakan senyawa aktif pada kunyit jenis *Curcuma domestica* yang berfungsi dalam menurunkan kadar kolesterol, zat antioksidan, antitoksin dan antiinflamasi. Efek potensial kurkumin tersebut dapat menjadi terapi alternatif untuk menurunkan risiko aterosklerosis [37].

Terdapat penelitian yang mendesain uji coba terkontrol secara acak dengan metode paralel, di mana partisipan secara acak dibagi menjadi dua kelompok, yaitu kelompok yang tersuplementasi ekstrak kunyit dan kelompok plasebo selama 8 hari. Sebelum dan sesudah intervensi, dilakukan pengukuran tekanan darah, kecepatan gelombang nadi, biomarker stres oksidatif seperti *Ferric Reducing Antioxidant Power*/FRAP, total fenolik, *Thiobarbituric Acid Reactive Substances*/TBARS, serta kinerja olahraga dinilai melalui jarak tempuh dalam 30 menit dan skala Borg terhadap persepsi kelelahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelompok kunyit mengalami peningkatan signifikan dalam kekuatan antioksidan urin dan kadar polifenol total, serta penurunan tekanan darah dan kecepatan gelombang nadi setelah olahraga. Selain itu, kelompok ini juga menunjukkan peningkatan performa olahraga dan penurunan

persepsi kelelahan, sedangkan kelompok plasebo tidak menunjukkan perubahan yang signifikan [38].

Selain efek protektifnya terhadap sistem kardiovaskular melalui peningkatan status antioksidan dan perbaikan profil tekanan darah, studi eksperimental lanjutan juga menyoroti potensi derivat kurkumin dalam menangani komplikasi kardiometabolik yang lebih kompleks. Salah satunya adalah senyawa C66, analog sintetik kurkumin, yang diteliti dalam konteks disfungsi jantung akibat obesitas. Berdasarkan hasil penelitian, C66 menunjukkan efek protektif terhadap jantung melalui mekanisme penghambatan aktivasi jalur JNK (c-Jun N-terminal kinase), yang diketahui berperan penting dalam respons inflamasi dan stres oksidatif pada jaringan kardiak. Pemberian C66 pada tikus obesitas menghasilkan perbaikan fungsi jantung dan penurunan ekspresi biomarker inflamasi, tanpa menimbulkan toksisitas yang berarti [39]. Dengan demikian, penelitian ini memperkuat bukti bahwa kurkumin baik dalam bentuk alami maupun derivatif sintesis memiliki potensi besar sebagai agen terapeutik dalam pencegahan dan pengelolaan penyakit kardiovaskular, termasuk yang dipicu oleh proses inflamasi kronis seperti aterosklerosis.

Antiinflamasi

Efek antiinflamasi banyak ditemukan pada bahan alami, contohnya rimpang kunyit yang mengandung bermacam-macam senyawa kimia yang terbagi menjadi 2 kelompok besar, kurkuminoid dan minyak atsiri [40]. Aktivitas antiinflamasi dari kurkumin telah dibuktikan dengan kemampuannya menghambat pembentukan prostaglandin dan menekan aktivitas enzim siklooksigenase [41].

Pengujian efek antiinflamasi kunyit dilakukan pada lima kelompok tikus putih. Kelompok pertama sebagai kontrol yang diberi suspensi CMC 0,5%, kelompok kontrol positif diberikan obat antiinflamasi non-steroid dosis 100 mg/kg BB, dan tiga kelompok uji yang menggunakan ekstrak kunyit dengan dosis masing-masing 400, 500, dan 600 mg/kg BB secara oral. Pengujian dilakukan dengan mengukur volume bengkak pada telapak kaki tikus selama 6 jam setelah peradangan. Hasil penelitian menunjukkan ekstrak kunyit mampu secara signifikan menekan inflamasi dengan efek paling besar ditunjukkan pada dosis 600 mg/kg BB [42].

Kunyit memiliki senyawa aktif seperti kurkumin, turmeronol, calebin A, dan quercetin yang berperan sebagai antiinflamasi. Senyawa tersebut menargetkan protein penting seperti EGFR, TLR4, IFNG, dan AGTR2 yang berperan dalam respon inflamasi. Kurkumin diketahui menghambat jalur pensinyalan TLR4, JAK/STAT, dan PI3K/Akt yang berkontribusi dalam produksi sitokin proinflamasi seperti IL-6 dan TNF- α . Penghambatan ini mencegah aktivasi NF- κ B dan mengurangi risiko badai sitokin, terutama pada kondisi inflamasi sistemik seperti diakibatkan karena COVID-19. Aktivitas multi-target ini menunjukkan bahwa kunyit bekerja secara sinergis untuk menekan peradangan [43].

Ekstrak etanol tepung kunyit terbukti memiliki aktivitas antiinflamasi pada pengujian denaturasi BSA (Bovine Serum Albumin) dengan nilai IC_{50} antara 114,73 – 236,11 μ g/mL. Kemampuan ekstrak tepung kunyit untuk menghambat denaturasi protein, dalam hal ini BSA, menunjukkan kemampuannya untuk menghambat inflamasi karena denaturasi protein merupakan salah satu penyebab utama terjadinya inflamasi [3].

Antioksidan

Senyawa antioksidan penting dalam kunyit antara lain kurkumin, minyak atsiri, vitamin C, vitamin E dan selenium, di mana peran antara satu dengan yang lainnya saling mendukung sebagai antioksidan alami. Antioksidan merupakan senyawa yang dapat menghambat reaksi oksidasi, dengan mengikat radikal bebas dan molekul yang sangat reaktif sehingga kerusakan sel akan dihindari. Antioksidan terdapat dalam beberapa bentuk, diantaranya vitamin, mineral, dan fitokimia. Berbagai tipe antioksidan bekerjasama melindungi sel normal dan menetralkan radikal bebas [44].

Evaluasi aktivitas antioksidan minyak atsiri dari rimpang dan daun kunyit menggunakan metode DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) di mana ekstraksi dilakukan dengan destilasi uap air, dan analisis senyawa menggunakan GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*), menunjukkan bahwa minyak atsiri rimpang mengandung senyawa utama seperti β -tumerone (41,87%), α -tumerone, dan ar-tumerone, sementara daun mengandung I-phellandrene (47,70%), α -terpinolene, dan 1,8-cineole [17]. Uji DPPH menunjukkan nilai IC_{50} sebesar 101,39 μ g/mL untuk rimpang (kategori sedang) dan 95,41 μ g/mL untuk daun (kategori kuat). Aktivitas antioksidan

ini dikaitkan dengan kandungan senyawa terpenoid yang mampu meredam radikal bebas, sehingga minyak atsiri kunyit berpotensi sebagai sumber antioksidan alami [26].

Ekstrak etanol tepung kunyit terbukti memiliki aktivitas antioksidan karena kandungannya yang kaya akan senyawa fenolik, flavonoid, dan tanin dengan nilai IC_{50} terhadap aktivitas penangkapan DPPH berkisar antara 144,44 - 258,29 μ g/mL [3]. Aktivitas antioksidan total pada sampel kunyit dari Bangladesh yang diuji dengan metode fosfomolibdenum menunjukkan nilai sebesar 105,85 mg AAE/g. Kapasitas penangkapan radikal dengan metode DPPH menunjukkan nilai IC_{50} sebesar 13,46 μ g/mL jika dibandingkan dengan nilai IC_{50} dari BHT sebesar 3,70 μ g/mL. Nilai IC_{50} yang berada di bawah nilai 30 μ g/mL menunjukkan bahwa kunyit berpotensi memiliki kandungan antioksidan yang tinggi [25]. Aktivitas antioksidan kunyit telah terbukti secara luas, namun hasil pengukuran sangat bergantung pada jenis pelarut, metode ekstraksi, dan sumber geografis tanaman. Selain itu, efektivitas antioksidan secara *in vivo* belum banyak diteliti secara sistemik.

Hepatoprotektif

Ekstrak kunyit jenis *Curcuma domestica* Val. menunjukkan aktivitas hepatoprotektif terhadap kerusakan hati akibat induksi parasetamol. Pemberian ekstrak kunyit dengan dosis 100 mg/kg BB pada tikus mampu mengurangi tingkat kerusakan hati, meskipun masih ditemukan multifokal nekrosis dengan keparahan sedang. Mekanisme perlindungan ini dikaitkan dengan kandungan kurkuminoid, terutama kurkumin, yang dikenal memiliki sifat antioksidan kuat. Kurkumin mampu meningkatkan aktivitas enzim antioksidan seperti superoksida dismutase (SOD), katalase (CAT), glutathione peroksidase (GPx), dan glutathione S-transferase (GST), serta meningkatkan kadar glutathione (GSH), yang berperan penting dalam menetralkan senyawa toksik di hati. Selain itu, kurkumin juga diketahui mampu menurunkan pembentukan malondialdehid (MDA), penanda stres oksidatif yang menyebabkan peroksidasi lipid [45].

Studi lain pada ekstrak kunyit jenis *Curcuma longa* terbukti memiliki efek hepatoprotektif terhadap kerusakan hati akibat konsumsi alkohol akut. Studi menunjukkan bahwa pemberian ekstrak kunyit sebelum paparan etanol meningkatkan aktivitas enzim ADH (Alkohol Dehidrogenase) dan ALDH (Aldehid Dehidrogenase) yang merupakan enzim

kunci dalam metabolisme alkohol, serta menurunkan kadar etanol dan asetaldehida dalam darah. Selain itu, kunyit menekan ekspresi enzim CYP2E1 (peningkatan aktivitas enzim CYP2E1 menunjukkan terjadinya kerusakan hati akibat alkohol dan perkembangan kanker), produksi ROS, serta meningkatkan enzim antioksidan seperti SOD, katalase, dan GPx. Aktivitas ini diikuti dengan penurunan stres oksidatif, peradangan (IL-1 β , IL-6, TNF- α), dan sinyal apoptosis pada jaringan hati. Hal ini menunjukkan bahwa kunyit bekerja melalui mekanisme antioksidan dan antiinflamasi untuk melindungi sel hati dari kerusakan [46].

Antiobesitas

Ekstrak rimpang kunyit yang diberikan kepada tikus yang diberi makan tinggi lemak selama 8 minggu terbukti dapat menghambat akumulasi lemak dalam sel adiposit putih dan mampu mengaktifkan gen terkait termogenesis dalam sel adiposit coklat. Pemberian ekstrak rimpang kunyit juga mampu menekan peningkatan berat badan dan massa lemak. Hal ini menunjukkan potensi kunyit sebagai anti-obesitas [47].

Kunyit dari spesies *Curcuma longa* yang difermentasi oleh *Lactobacillus paracasei* diuji potensi efek antiobesitasnya. Sebanyak 5% kunyit hasil fermentasi dan non-fermentasi diberikan secara oral melalui makanan selama 16 minggu pada tikus jantan obesitas yang diinduksi diet tinggi lemak (HFD/High Fat Diet). Proses fermentasi mengakibatkan penurunan kurkuminoid kunyit. Penambahan berat badan, berat lemak hati, dan jaringan visceral secara signifikan menghambat dan mengurangi parameter metabolik plasma pada kelompok eksperimen tanpa fermentasi dan dengan fermentasi. Efek dengan kunyit fermentasi lebih signifikan daripada kunyit yang tidak difermentasi. Selain itu, pemberian kunyit hasil fermentasi menunjukkan penurunan ekspresi adipogenesis, lipogenesis, dan protein terkait inflamasi, tetapi meningkatkan protein β -oksidasi hati SIRT 1, PPAR α , dan PGC-1 α dalam jaringan adiposa perigonad. Kunyit hasil fermentasi juga memperbaiki resistensi insulin dengan mengaktifkan ekspresi protein jalur reseptor insulin di jaringan adiposa visceral, serta meningkatkan pertumbuhan bakteri menguntungkan di usus [18].

Kurkumin, senyawa polifenol aktif yang berasal dari kunyit, telah terbukti memiliki potensi terapeutik terhadap obesitas dan gangguan metabolik terkait, terutama melalui modulasinya terhadap jalur metabolisme lipid dan sensitivitas

insulin. Penggunaan analog sintetis kurkumin yaitu CUR5–8 menunjukkan efektivitas yang lebih tinggi dibandingkan kurkumin dalam bentuk murni dalam mengatasi obesitas akibat diet tinggi lemak pada model tikus. CUR5-8 tidak hanya mampu menghambat peningkatan berat badan dan akumulasi trigliserida hepatic, tetapi juga secara signifikan memperbaiki resistensi insulin serta menurunkan kadar Alanine Aminotransferase/ALT, penanda kerusakan hati. Efek ini dihubungkan dengan penurunan ekspresi gen lipogenik seperti SREBP1 dan PPAR- γ , serta peningkatan aktivitas Adenosine Monophosphate Kinase/AMPK yang berperan penting dalam homeostasis energi dan oksidasi asam lemak. Dengan demikian, intervensi berbasis kurkumin, khususnya dalam bentuk turunannya yang telah dimodifikasi seperti CUR5-8, terbukti sebagai agen fitoterapi yang efektif untuk menghambat progresi obesitas dan komplikasi metabolik yang menyertainya, termasuk penyakit hati berlemak non-alkoholik (NAFLD) [48].

Antibakteri

Berdasarkan pengujian kuantitatif *in vitro* menggunakan metode cakram Kirby-Bauer membuktikan efektivitas antibakteri kurkumin terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kurkumin memiliki zona hambat rata-rata 19,67 mm terhadap *S. aureus* dan 7 mm terhadap *E. coli*. Mekanisme antibakteri kurkumin meliputi penghambatan faktor virulensi bakteri, pembentukan biofilm, adhesi bakteri ke reseptor inang, serta regulasi bakteri *quorum sensing*. Selain itu, kurkumin juga dapat memberikan efek sinergis bila dikombinasikan dengan senyawa antibakteri lainnya. Namun, dibandingkan dengan asam tanat, kurkumin menunjukkan efektivitas antibakteri yang lebih rendah terhadap kedua bakteri tersebut [49]. Kurkumin dalam ekstrak rimpang kunyit terbukti memiliki aktivitas antibakteri terhadap *S. aureus* dan *E. coli*, meskipun lebih efektif terhadap bakteri Gram-positif [50]. Perbedaan efektivitas ini disebabkan oleh struktur dinding sel bakteri Gram-negatif yang lebih kompleks daripada bakteri Gram-positif. Dengan demikian, kunyit berpotensi digunakan sebagai agen antibakteri alami, terutama dalam menahan ancaman resistensi antibiotik sintetis. Mekanisme kerja kurkumin sebagai antibakteri mirip dengan senyawa fenolik lainnya, yaitu dengan cara merusak membran sitoplasma dan mendenaturasi protein sel, yang menyebabkan kebocoran nutrisi serta gangguan fungsi vital

bakteri, hingga akhirnya menyebabkan kematian sel atau hambatan pertumbuhan [51].

Hasil pengujian antibakteri menggunakan metode difusi cakram pada bakteri Gram-negatif (*E. coli*-0157:H7) dan bakteri Gram-positif (*Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, dan *Enterococcus faecium*) menunjukkan bahwa ekstrak etanol kunyit memiliki aktivitas antimikroba yang signifikan. Zona penghambatan berkisar antara 8 hingga 17 mm dengan konsentrasi ekstrak sebesar 62,5, 125, 250, dan 500 mg/mL. Sifat anti-bakteri pada kunyit disebabkan oleh kandungan senyawa fenolik kurkuminoid [3].

Minyak atsiri yang dihasilkan dari *Curcuma xanthoriza* menunjukkan aktivitas antimikroba yang signifikan terhadap berbagai bakteri klinis, khususnya yang berasal dari kelompok Gram-positif. Berdasarkan metode mikrodilusi minyak ini memiliki daya hambat kuat terhadap *Bacillus subtilis* (Minimum Inhibitory Concentration/MIC = 7,8 mg/mL; Minimum Bactericidal Concentration/MBC = 15,6 mg/mL) dan sedang terhadap *Staphylococcus aureus* (MIC = 31,2 mg/mL). Sementara itu, aktivitasnya terhadap bakteri Gram-negatif seperti *Escherichia coli* dan *Klebsiella pneumonia* relatif lemah, yang kemungkinan disebabkan oleh struktur membran luar yang lebih kompleks dan resisten terhadap senyawa lipofilik. Ketika dikombinasikan dengan antibiotik ampicilin melalui uji *checkerboard*, minyak atsiri ini menunjukkan efek sinergis terhadap *B. subtilis* (Fractional Inhibitory Concentration Index/FICI = 0,37) dan efek aditif terhadap *S. aureus* (FICI = 0,75), tanpa menunjukkan interaksi antagonistik terhadap keempat jenis bakteri uji [52].

Minyak atsiri *C. xanthorrhiza* juga menunjukkan aktivitas sebagai agen antibiofilm, baik dalam menghambat pembentukan biofilm maupun menghancurkan biofilm yang telah terbentuk. Pada konsentrasi 1/4 MIC hingga 2 MIC, minyak ini mampu menekan pembentukan biofilm pada *B. subtilis* dan *S. aureus* secara signifikan. Selain itu, pada konsentrasi 2 MIC dan 4 MIC, minyak atsiri ini juga efektif dalam mengurangi viabilitas biofilm matang, menunjukkan potensinya untuk mengatasi infeksi kronis yang sulit ditangani akibat keberadaan biofilm [52]. Temuan ini memperkuat peran minyak atsiri kunyit sebagai kandidat kuat dalam strategi penanganan infeksi bakteri, terutama yang berkaitan dengan resistensi antibiotik dan biofilm.

Antidiabetes

Kurkuminoid dari rimpang kunyit terutama kurkumin, demetoksikurkumin, dan bisdemetoksikurkumin, telah menunjukkan aktivitas hipoglikemik yang signifikan dan efek sensitisasi insulin baik *in vitro* maupun *in vivo*. Pada formulasi Nishamalaki (EmbliQur), yang menggabungkan ekstrak *Emblica officinalis* dan *Curcuma longa* dengan perbandingan 2:1, kandungan total kurkuminoid diukur sebesar 23,89%. Melalui analisis *High Performance Liquid Chromatography/HPLC*, formulasi ini secara signifikan mengurangi resistensi insulin pada tikus diabetes yang diinduksi oleh diet tinggi lemak dan streptozotocin. Pemberian oral EmbliQur dengan dosis 500–1000 mg/kg berat badan selama 28 hari menyebabkan penurunan signifikan pada kadar glukosa darah puasa dan kadar insulin plasma, sehingga menormalkan indeks HOMA-IR, QUICKI, dan Matsuda. Aksi antioksidan dan antiinflamasi melindungi sel β pankreas dan jaringan perifer dari stres oksidatif dan sitokin proinflamasi [53]. Secara keseluruhan, hasil tersebut menyoroti potensi kurkuminoid *C. longa* sebagai agen antidiabetes yang efektif melalui modulasi metabolisme glukosa dan peningkatan sensitivitas insulin.

Pada model tikus Wistar diabetes tipe 2 yang diinduksi oleh streptozotocin dan nikotinamida, pengobatan oral dengan ekstrak kunyit yang diperkaya secara biologis (BTE/*Bio-enhanced Turmeric Extract*) pada dosis 30 dan 60 mg/kg selama 30 hari menghasilkan efek hipoglikemik yang signifikan, menurunkan kadar glukosa darah puasa secara signifikan dan meningkatkan nilai tes toleransi glukosa oral pada jam pertama dan kedua dibandingkan dengan kelompok kontrol diabetes dan ekstrak kunyit biasa (RTE/*Regular Turmeric Extract*). Pemberian BTE juga menormalkan HOMA-IR, meningkatkan sensitivitas insulin dan memperkuat fungsi sel β , mencerminkan pembalikan resistensi insulin dan mempertahankan aktivitas sel β pankreas. Peningkatan metabolik ini bertepatan dengan peningkatan signifikan kadar kurkumin bebas dan turunannya di pankreas tikus yang diberi perlakuan dengan BTE dibandingkan dengan RTE [54]. Temuan ini menyoroti peran kritis peningkatan bioavailabilitas dalam memediasi efektivitas antidiabetes kunyit.

Toksisitas

Toksisitas oral akut dari bubuk kunyit instan yang dikapsul mikro (ICP/*Instant Curcuma Powder*) dievaluasi pada tikus betina Holtzman yang belum

pernah melahirkan menggunakan dosis tunggal sebesar 2000 mg/kg berat badan. Selama periode pengamatan 15 hari, tidak ada kematian atau gejala toksisitas yang jelas tercatat, dan berat badan akhir tidak berbeda secara signifikan antara kelompok kontrol ($199,2 \pm 15,61$ g) dan kelompok yang diberi perlakuan ($199,8 \pm 8,87$ g). Profil biokimia komprehensif, termasuk panel lipid, ginjal, dan hati, menunjukkan tidak ada perubahan signifikan, sementara analisis hematologi menunjukkan peningkatan ringan namun signifikan pada kadar hemoglobin dan hematokrit pada kelompok ICP. Hasil tersebut menunjukkan kemungkinan modulasi hematopoietik tanpa konsekuensi merugikan. Pemeriksaan histopatologi jaringan hati, ginjal, dan limpa menunjukkan struktur organ yang utuh tanpa lesi patologis, mengonfirmasi tidak adanya kerusakan organ target pada dosis yang diberikan. Berdasarkan konversi dosis antar spesies, dosis setara manusia dari regimen ini diperkirakan 324 mg/kg, menunjukkan LD₅₀ di atas level ini dan mendukung profil keamanan akut yang baik untuk formulasi ICP [55].

Keamanan ekstrak kunyit dievaluasi melalui ekstrak *Curcuma longa* yang mengandung turmerosakarida pada tikus Wistar dengan dosis 250, 500, dan 1000 mg/kg BB selama 90 hari. Hasil dari semua dosis tidak terdapat tanda-tanda klinis toksisitas baik dari berat badan, konsumsi pakan, hormon, biokimia darah, serta analisis urin tidak berbeda signifikan dibanding kontrol. Tidak terdapat pula perubahan patologis makroskopik maupun histopatologi organ, tingkat dosis tanpa efek merugikan (NOAEL/*no-observed-adverse-effect level*) teramati sebesar 1000 mg/kg BB tikus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian jangka panjang ekstrak kunyit hingga dosis 1000 mg/kg BB tidak menimbulkan efek toksis, sehingga aman untuk aplikasi pengobatan lebih pada manfaat-manfaat kunyit [56].

Penelitian lain pada dosis tunggal hingga 5000 mg/kg BB ekstrak etanolik kunyit yang diujikan pada tikus Wistar tidak ditemukan gangguan baik secara perilaku maupun perubahan makroskopik organ selama 14 hari. Pemberian harian ekstrak kunyit pada rentang dosis 30, 60, 120, dan 240 mg/kg BB tidak menimbulkan gejala toksisitas, sebaliknya terjadi peningkatan asupan pakan dan berat badan yang lebih baik dibandingkan tikus kontrol. Terjadi penurunan signifikan terhadap aktivitas transaminase, keratinin serum, LDL kolestrol, sedangkan keratinin urin dan HDL kolestrol meningkat tanpa perubahan signifikan

pada eritrosit dan trombosit [57]. Dapat disimpulkan dari berbagai penelitian tersebut bahwa konsumsi kunyit memiliki toksisitas yang rendah serta manfaat yang lebih tinggi dibandingkan risikonya.

KESIMPULAN

Kunyit merupakan tanaman obat yang kaya akan senyawa bioaktif seperti kurkumin, flavonoid, terpenoid, dan fitosterol yang menunjukkan berbagai aktivitas farmakologis termasuk antioksidan, antiinflamasi, antikanker, antidiabetes, hepatoprotektif, antiobesitas, dan antimikroba. Efek terapeutik tersebut didukung oleh berbagai mekanisme molekuler, meskipun keterbatasan uji klinis berskala besar masih menjadi tantangan utama.

Hasil tinjauan ilmiah ini juga menegaskan bahwa kemajuan dalam teknik ekstraksi dan formulasi sediaan berpotensi meningkatkan efektivitas terapi kunyit, terutama dalam pengembangan pangan fungsional dan fitofarmaka. Diperlukan penelitian interdisipliner lanjutan dan validasi klinis untuk merealisasikan potensi kunyit sebagai terapi alami yang aman dalam pengelolaan penyakit kronis terutama berkaitan dengan uji klinisnya.

REFERENSI

- [1] A. W. Ningsih, I. H. Nurrosyidah, and A. Hisbiyah, 'Pengaruh Perbedaan Metode Ekstraksi Rimpang Kunyit (*Curcuma domestica*) Terhadap Rendemen dan Skrining Fitokimia', *Journal of Pharmaceutical-care Anwar Medika*, vol. 2, no. 2, 2018. doi <http://dx.doi.org/10.36932/jpcam.v2i2.27>
- [2] S. Wang, M. C. Kim, O. H. Kang, and D. Y. Kwon, 'The Mechanism of Bisdemethoxycurcumin Enhances Conventional Antibiotics Against Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus*', *Int J Mol Sci*, vol. 21, no. 21, 2020. doi <https://doi.org/10.3390/ijms21217945>
- [3] M. Khatun, M. A. Nur, S. Biswas, M. Khan, and M. Z. Amin, 'Assessment of The Anti-Oxidant, Anti-Inflammatory and Anti-Bacterial Activities of Different Types of Turmeric (*Curcuma longa*) Powder in Bangladesh', *J Agric Food Res*, vol. 6, 2021. doi <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100201>.

- [4] H. Fadhillah, K. Rachmani, and N. Hajaring, 'Aktifitas Kunyit (*Curcuma domestica* Val.) Sebagai Antiinflamasi Ditinjau Dari Berbagai Literatur', *Edu Masda Journal*, vol. 5, no. 1, 2021, doi: 10.52118/edumasda.v5i1.120.
- [5] D. Kusbiantoro and Y. Purwaningrum, 'Pemanfaatan Kandungan Metabolit Sekunder Pada Tanaman Kunyit Dalam Mendukung Peningkatan Pendapatan Masyarakat', *Kultivasi*, vol. 17, no. 1, 2018. doi: <https://doi.org/10.24198/kultivasi.v17i1.15669>
- [6] K. Kandiannan, M. Anandaraj, D. Prasath, T. J. Zachariah, K. S. Krishnamurthy, and V. Srinivasan, 'Evaluation of Short and Tall True Turmeric (*Curcuma longa*) Varieties for Growth, Yield and Stability', *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, vol. 85, no. 5, 2015. doi 10.56093/ijas.v85i5.48514.
- [7] T. D. C. M. Vinh *et al.*, 'Chemical Fingerprint Analysis for Quality Assessment and Control of *Curcuma longa* L. Rhizomes from Vietnam Using a High-Performance Liquid Chromatography-Diode Array Detector (HPLC-DAD)', *Pharmacia*, vol. 71, pp. 1–9, 2024. doi <https://doi.org/10.3897/pharmacia.71.e124050>
- [8] Badan Pusat Statistik Indonesia. Produksi Tanaman Biofarmaka Menurut Jenis Tanaman, 2023 [Online]. Tersedia di: <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/3/TmtaU01tVkdkaZFSZHpoNFFtOHZMMVJCUzNOBIVUMDkJMw%3D%3D/produksi-tanaman-biofarmaka-menurut-jenis-tanaman--2023.html?year=2023> (Diakses pada 18 Januari 2026).
- [9] S. Mattiro, Ismawati, V. Pratiwi, M. Partono, and M. J. Abdi, 'Sosialisasi Pembuatan Jamu Kunyit Sebagai Obat Tradisional Masyarakat di Desa Belimbing Baru, Kecamatan Sungai Pinang, Kabupaten Banjar', *Jurnal Pendidikan Sosiologi Antropologi*, vol. 2, no. 2, 2020. doi <https://doi.org/10.20527/padaringan.v2i2.2153>.
- [10] L. Fatmawati, Y. Syaiful, and K. Nikmah, 'Kunyit Asam (*Curcuma domestica* Val.) Menurunkan Intensitas Nyeri Haid', *Journals of Ners Community*, vol. 11, no. 1, 2020. doi <https://doi.org/10.55129/jnerscommunity.v11i1.1002>.
- [11] Z. M. Ramadhania, 'Edukasi dan Pemanfaatan Herbal Sebagai Bahan Kosmetika Alami di Kecamatan Ciwaringin Kabupaten Cirebon', *Dharmakarya*, vol. 7, no. 3, 2018. doi <https://doi.org/10.24198/dharmakarya.v7i3.19497>.
- [12] M. Nisoa, S. Kaewpradit, P. Nahar, S. Sarker, R. Charoensup, P. Puttarak, G. Yusakul, 'Extraction of Curcumin and Curcuminoids: From Conventional Methods to Innovative Extraction Using Deep Eutectic Solvents', *Microchemical Journal*, p. 114269., 2025. Doi 10.1016/j.microc.2025.114269.
- [13] N. Malahayati, T. W. Widowati, and A. Febrianti, 'Karakterisasi Ekstrak Kurkumin dari Kunyit Putih (*Kaemferia rotunda* L.) dan Kunyit Kuning (*Curcuma domestica* Val.)', *agriTECH*, vol. 41, no. 2, 2021. doi <https://doi.org/10.22146/agritech.41345>.
- [14] S. Laocharoen, P. Phetcharat, K. Chareekhot, and S. Nuanpeng, 'Applying Optimized Curcumin Extraction Techniques in The Development of Novel Curcumin-Infused Products', *Applied Food Research*, p. 100992. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.100992>.
- [15] S. G. Jaiswal and S. N. Naik, 'Turmeric Oil: Composition, Extraction, Potential Health Benefits and Other Useful Applications', *Avicenna Journal of Medical Biochemistry*, vol. 9, no. 2, 2021. doi: 10.34172/ajmb.2021.15.
- [16] M. Y. Abduh, A. I. Rahmawati, T. Komariyah, and Y. Theda, 'Solid State Fermentation of Turmeric Rhizomes with *Aspergillus* sp. To Improve Yield and Composition of Extracted Turmeric Oil', *IJUM Engineering Journal*, vol. 24, no. 1, 2023. doi 10.31436/iiumej.v24i1.1629.
- [17] V. J. Anggraeni, D. Kurnia, D. Djuanda, and S. Mardiyani, 'Komposisi Kimia dan Penentuan Senyawa Aktif Antioksidan dari Minyak Atsiri Kunyit (*Curcuma longa* L.)', *Jurnal Farmasi Higea*, vol. 15, no. 1, 2023. doi 10.52689/higea.v15i1.508.
- [18] W. S. Lin, S. E. Hwang, Y. C. Koh, P. Y. Ho, and M. H. Pan, 'Modulatory Effects of *Lactobacillus paracasei*-Fermented Turmeric on Metabolic Dysregulation and Gut Microbiota in High-Fat Diet-Induced Obesity in Mice', *J Agric Food Chem*, vol. 72, no. 32, pp. 17924-17937., 2024. doi 10.1021/acs.jafc.4c01501.
- [19] S. A. Riyadi, F. F. Abdullah, F. Fadhillah, and N. Assidiqiah, 'Anticancer Activity of Curcuminoids Against B16-F10 Melanoma Cell Lines', *Jurnal Ilmiah Farmako Bahari*, vol. 13, no. 2, 2022.
- [20] K. Thangavel and K. Dhivya, 'Determination of Curcumin, Starch and Moisture Content in

- Turmeric by Fourier Transform Near Infrared Spectroscopy (FT-NIR)', *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, vol. 12, no. 2, 2019. doi <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2019.02.003>.
- [21] J. G. Ç. A. de Oliveira Filho, M. J. de Almeida, T. L. Sousa, D. C. Dos Santos, and M. B. Egea, 'Bioactive Compounds of Turmeric (*Curcuma longa* L.)', *Reference Series in Phytochemistry*, 2020. doi 10.1007/978-3-030-44578-2_37-1.
- [22] M. Asthariq, B. T. Dita, and F. M. Wardhani, 'Efek Ekstrak *Curcuma Zedoaria* Terhadap Gula Darah Dengan Model Tikus Diabetes Tipe 2', (*Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kesehatan Masyarakat*), vol. 5, no. 4, 2020. doi 10.37887/jimkesmas.v5i4.15058.
- [23] E. M. Gloriana, L. Sagita, and S. Chempro, 'Karakterisasi Flavonoid Daun Kitolod dengan Metode Maserasi dan Enkapsulasi', *Chempro*, vol. 2, no. 2, 2023. doi <https://doi.org/10.33005/chempro.v2i02.103>.
- [24] V. Burman, H. Kanaujia, K. Lehari, Aastha, N. P. Singh, and Vaishali, 'Characterization of Phenolic Compounds of Turmeric Using TLC', *J Pharmacogn Phytochem*, vol. 2, 2019.
- [25] S. P. Moulick et al., 'Nutritional Characteristics and Antiradical Activity of Turmeric (*Curcuma longa* L.), Beetroot (*Beta vulgaris* L.), and Carrot (*Daucus carota* L.) Grown in Bangladesh', *Heliyon*, vol. 9, no. 11, 2023. doi <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21495>
- [26] S. Sepahpour, J. Selamat, M. Y. A. Manap, A. Khatib, and A. F. A. Razis, 'Comparative Analysis of Chemical Composition, Antioxidant Activity and Quantitative Characterization of Some Phenolic Compounds in Selected Herbs and Spices in Different Solvent Extraction Systems', *Molecules*, vol. 23, no. 2, 2018. doi 10.3390/molecules23020402.
- [27] K. W. Hwang, D. Son, H. W. Jo, C. H. Kim, K. C. Seong, and J. K. Moon, 'Levels of Curcuminoid and Essential Oil Compositions in Turmeric (*Curcuma longa* L.) Grown in Korea', *Appl Biol Chem*, vol. 59, no. 2, 2016. doi 10.1007/s13765-016-0156-9.
- [28] E. Essien, J. Newby, T. Walker, W. Setzer, and O. Ekundayo, 'Chemotaxonomic Characterization and in-Vitro Antimicrobial and Cytotoxic Activities of the Leaf Essential Oil of *Curcuma longa* Grown in Southern Nigeria', *Medicines*, vol. 2, no. 4, 2015. doi 10.3390/medicines2040340.
- [29] A. I. Afriani, N. Khayati, and J. E. P. Utama, 'Pengaruh Serbuk Kunyit (*Curcuma domestica* Val.) Terhadap Kecepatan Reversibilitas Kesuburan Wanita Pasca Menggunakan KB Suntik DMPA', *Jurnal SMART Kebidanan*, vol. 8, no. 1, 2021. doi 10.34310/sjkb.v8i1.450.
- [30] X. Li, Y. Xin, Y. Mo, P. Marozik, T. He, and H. Guo, 'The Bioavailability and Biological Activities of Phytosterols as Modulators of Cholesterol Metabolism', 2022. doi 10.3390/molecules27020523.
- [31] Y. Bare, 'Analisis Senyawa Fitosterol *Cymbopogon citratus* dan *Curcuma longa* sebagai Antialzheimer', *Biopendik Jurnal Biologi, Pendidikan dan Terapan*, vol. 7, no. 2, 2021. doi <https://doi.org/10.30598/biopendixvol7issue2page153-159>.
- [32] M. B. Tamam, N. S. Aini, A. A. A. Murtadlo, D. D. R. Turista, S. W. Naw, and Md. E. Ullah, 'Antiviral and Anticancer Activity from *Curcuma longa* L. and *Tamarindus indica* Bioactive Compounds through In Silico Analysis', *SAINSTEK International Journal on Applied Science, Advanced Technology and Informatics*, vol. 2, no. 01, 2023. doi <https://doi.org/10.24036/sainstek/vol2-iss01/21>.
- [33] H. Sung et al., 'Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries', *CA Cancer J Clin*, vol. 71, no. 3, 2021. doi 10.3322/caac.21660.
- [34] H. G. Gurer, O. O. Gursoy, C. Y. Eren, and C. V. Sezer, 'Antitumor Effects of Turmeric on OVCAR-3 Ovarian Cancer Cell Lines', *Anticancer Agents Med Chem*, vol. 22, no. 16, 2022. doi 10.2174/1871520622666220426103332.
- [35] A. M. T. Siregar, I. C. Lestari, I. Y. Rangkuti, and S. Oktaria, 'Uji Efektifitas Antibakteri Ekstrak Etanol Rimpang Kunyit (*Curcuma domestica* Val.) Terhadap Pertumbuhan *Vibrio cholera* Secara In Vitro', *Jurnal Kedokteran STM (Sains dan Teknologi Medik)*, vol. 8, no. 1, pp. 61–71, 2025. doi <https://doi.org/10.30743/stm.v8i1.801>.
- [36] M. Li et al., 'Curcumin Inhibits the Invasion and Metastasis of Triple Negative Breast Cancer Via Hedgehog/Gli1 Signaling Pathway', *J Ethnopharmacol*, vol. 283, 2022. doi 10.1016/j.jep.2021.114689.
- [37] A. H. Ar Rahmah, 'Efektivitas Rimpang Kunyit (*Curcuma domestica*) Terhadap

- Penurunan Resiko Aterosklerosis', *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, vol. 10, no. 2, pp. 113–120, 2021.
- [38] M. N. A. Hajleh and E. A. S. Al-Dujaili, 'Effects of Turmeric Concentrate on Cardiovascular Risk Factors and Exercise-Induced Oxidative Stress in Healthy Volunteers; An exploratory study', *Adv Pharm Bull*, vol. 13, no. 3, 2023. doi 10.34172/apb.2023.052.
- [39] L. Ye *et al.*, 'Curcumin Analogue C66 Attenuates Obesity-Induced Myocardial Injury by Inhibiting JNK-mediated Inflammation', *Biomedicine and Pharmacotherapy*, vol. 143, 2021. doi 10.1016/j.biopha.2021.112121
- [40] A. Cahyani, D. I. Anggraini, T. U. Soleha, and A. Tjiptaningrum, 'Uji Efektivitas Antibakteri Ekstrak Rimpang Kunyit (*Curcuma domestica* Val.) terhadap Pertumbuhan *Propionibacterium acnes* In Vitro', *Jurnal Kesehatan*, vol. 11, no. 3, 2020. doi <https://doi.org/10.26630/jk.v11i3.2241>.
- [41] D. O. Winardi *et al.*, 'Studi In Silico dan In Vitro Senyawa Aktif pada Rimpang Kunyit (*Curcuma domestica*) sebagai Antiinflamasi pada Cyclooxygenase-2 (COX-2)', *Indonesian Journal of Pharmaceutical Science and Technology*, 2023. doi <https://doi.org/10.24198/ijpst.v0i0.47171>.
- [42] R. Meilina and R. Mukhtar, 'Efek Antiinflamasi Ekstrak Etanol Rimpang Kunyit (*Curcuma domestica* Val.) pada Tikus Putih yang Diinduksi Karagenan', *Journal of Healthcare Technology and Medicine*, vol. 4, no. 1, 2019. doi <https://doi.org/10.33143/jhtm.v4i1.173>.
- [43] R. B. Indradi, D. A. E. Pitaloka, and Suryani, 'Network Pharmacology to Uncover Potential Anti-Inflammatory and Immunomodulatory Constituents In *Curcuma longa* Rhizome As Complementary Treatment in COVID-19', *Pharmacia*, vol. 69, no. 4, 2022. <https://doi.org/10.3897/pharmacia.69.e89799>.
- [44] A. H. Suparmajid, S. M. Sabang, and R. Ratman, 'Pengaruh Lama Penyimpanan Rimpang Kunyit (*Curcuma domestica* Val.) Terhadap Daya Hambat Antioksidan', *Jurnal Akademika Kimia*, vol. 5, no. 1, 2017.
- [45] A. Novianto, A. Nurrochmad, and I. Puspitasari, 'Aktivitas Hepatoprotektif Ekstrak Kunyit (*Curcuma domestica* Val.) dan Ekstrak Meniran (*Phyllanthus niruri* Linn.) Pada Tikus yang Diinduksi Parasetamol: Kajian Histopatologi Liver', *Jurnal Farmasi (Journal of Pharmacy)*, vol. 3, no. 1, 2019. doi 10.37013/jf.v3i1.21.
- [46] H. Y. Lee *et al.*, 'Turmeric Extract (*Curcuma longa* L.) Regulates Hepatic Toxicity in A Single Ethanol Binge Rat Model', *Heliyon*, vol. 8, no. 9, 2022. Doi 10.1016/j.heliyon.2022.e10737
- [47] H. Bin Lee *et al.*, 'Curcuma longa Rhizome Extract Activates Brown Adipocytes and Inhibits Lipogenesis in High-Fat Diet-Fed Mice', *J Funct Foods*, vol. 122, 2024. doi <https://doi.org/10.1016/j.jff.2024.106490>.
- [48] E. S. Lee, M. H. Kwon, H. M. Kim, H. B. Woo, C. M. Ahn, and C. H. Chung, 'Curcumin Analog CUR5–8 Ameliorates Nonalcoholic Fatty Liver Disease in Mice with High-Fat Diet-Induced Obesity', *Metabolism*, vol. 103, 2020. doi 10.1016/j.metabol.2019.154015
- [49] R. Rahardjoputro, J. Santoso, and N. R. Widyaningrum, 'Efektivitas Antibakteri Kurkumin dan Asam Tanat terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli* in Vitro', *Indonesian Journal of Pharmacy and Natural Product*, vol. 7, no. 1, pp. 32–40, 2024. doi <https://doi.org/10.35473/ijpnp.v7i01.2997>.
- [50] I. Isnawati, D. S. Hidayati, H. Herlinawati, and A. Andriana, 'Uji Daya Hambat Ekstrak Etanol Rimpang Kunyit (*Curcuma domestica* Val.) terhadap Pertumbuhan Bakteri *Pseudomonas aeruginosa*', *Jurnal Ilmiah Permas: Jurnal Ilmiah STIKES Kendal*, vol. 12, no. 3, pp. 457–464, 2022.
- [51] M. U. Ulfah, 'Aktivitas Antibakteri Ekstrak Aseton Rimpang Kunyit (*Curcuma domestica*) terhadap Bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*', *Jurnal FARMAKU (Farmasi Muhammadiyah Kuningan)*, vol. 5, no. 1, 2020.
- [52] A. W. Septama, A. N. Tasfiyati, R. Kristiana, and A. Jaisi, 'Chemical Profiles of Essential Oil from Javanese Turmeric (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb.), Evaluation of Its Antibacterial and Antibiofilm Activities Against Selected Clinical Isolates', *South African Journal of Botany*, vol. 146, 2022.
- [53] V. Panda, A. Deshmukh, S. Singh, T. Shah, and L. Hingorani, 'An Ayurvedic Formulation of *Emblica officinalis* and *Curcuma longa* Alleviates Insulin Resistance in Diabetic Rats: Involvement of Curcuminoids and Polyphenolics', *J Ayurveda Integr Med*, vol. 12, no. 3, 2021.
- [54] V. K. Sayeli and A. K. Shenoy, 'Antidiabetic Effect of Bio-Enhanced Preparation of

- Turmeric in Streptozotocin-nicotinamide Induced Type 2 Diabetic Wistar Rats', *J Ayurveda Integr Med*, vol. 12, no. 3, 2021.
- [55] M. Barriga-Sánchez, G. González-Aspajo, G. Sanchez-Gonzales, C. Barreto-Salcedo, and J. A. Aranda-Ventura, 'In Vitro and in Vivo Evaluation of Hypoglycemic Potential and Acute Toxicity of Microencapsulated Turmeric Instant Powder', *Phytomedicine Plus*, vol. 4, no. 4, Nov. 2024.
- [56] S. Murugan, H. Solanki, D. Purusothaman, B. Bethapudi, M. Ravalji, and D. Mundkinajeddu, 'Safety Evaluation of Standardized Extract of *Curcuma longa* (NR-INF-02): A 90-Day Subchronic Oral Toxicity Study in Rats', *Biomed Res Int*, vol. 2021, 2021.
- [57] G. T. Kamsu, S. C. F. Pierre, R. S. Tagne, N. Kodjio, A. L. N. Fakam, and D. Gatsing, 'Evaluation of the Acute and Sub-chronic Toxicity of the Ethanolic Extract of *Curcuma longa* (Zingiberaceae) in Wistar Albino Rats Modern Chemistry & Applications', *Modern Chemistry & Applications*, vol. 7, no. 1, 2019.