

Mekanisme Multitarget Teh Hijau (*Camellia sinensis*) Dalam Intervensi Obesitas: Tinjauan Literatur Satu Dekade Terakhir

Zahra Nur Baity¹, Syifa Khaila Safitri¹, Nayla Fauziah¹, Muhammad Fajril Falah¹, Alina Primasari^{1*}

¹Teknologi 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 – Obesity is a global health problem associated with an increased risk of metabolic disorders, including type 2 diabetes mellitus, dyslipidemia, and cardiovascular disease. Green tea (*Camellia sinensis*) contains bioactive compounds, particularly catechins, epigallocatechin gallate (EGCG), caffeine, and L-theanine, which may exert anti-obesity effects. This research aims to examine the mechanisms of green tea in obesity prevention and management based on current research findings. A literature review approach was used to analyze relevant research articles. The findings indicate that green tea may reduce obesity risk through several mechanisms, including suppression of inflammation and oxidative stress, modulation of gut microbiota, improvement of insulin sensitivity, enhancement of lipid metabolism, increased fat oxidation, and stimulation of thermogenesis. Furthermore, green tea consumption has been associated with reductions in body weight, body fat, waist circumference, and body mass index in overweight and obese individuals. Therefore, green tea has potential as a nutritional intervention to support obesity prevention and management.

Abstrak – Obesitas merupakan permasalahan kesehatan global yang bersangkutan dengan peningkatan risiko sejumlah penyakit metabolik, seperti diabetes melitus tipe 2, dislipidemia, serta penyakit kardiovaskular. Teh hijau (*Camellia sinensis*) mempunyai kandungan senyawa bioaktif, terutama katekin, epigallocatechin gallate (EGCG), kafein, serta L-theanine yang berpotensi memberikan efek antiobesitas. Penelitian ini bertujuan mengkaji mekanisme teh hijau dalam pencegahan dan pengendalian obesitas berdasarkan berbagai hasil penelitian. Metode yang dipakai yakni studi literatur dari artikel penelitian yang relevan. Hasil kajian mengungkapkan bahwa teh hijau bisa menunjang penurunan risiko obesitas melalui berbagai mekanisme yaitu mengurangi inflamasi dan stres oksidatif, memperbaiki komposisi mikrobiota usus, meningkatkan sensitivitas insulin, memperbaiki metabolisme lipid, meningkatkan oksidasi lemak, serta merangsang termogenesis. Selain itu, konsumsi teh hijau diketahui mampu menurunkan berat badan, lemak tubuh, lingkar pinggang, serta indeks massa tubuh pada individu dengan kelebihan berat badan maupun obesitas. Dengan demikian, teh hijau berpotensi menjadi intervensi nutrisi yang mendukung pencegahan dan pengelolaan obesitas.

Keywords – *Camellia Sinensis*, Epigallocatechin Gallate (EGCG), Metabolisme Lipid, Obesitas, Teh Hijau.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang dikenal dengan hasil buminya. Wilayah darat dengan tanah subur serta perairan yang sangat luas menjadi faktor unggulan. Salah satu hasil pertanian yang memberikan pengaruh besar pada era perdagangan adalah teh (*Camellia sinensis*) [1]. Teh mulai

dikenalkan di Indonesia pada tahun 1684 oleh Andreas Clever sebagai tanaman hias. Pada tahun 1728 oleh pemerintah kolonial, teh dikembangkan dengan mendatangkan benih dari Tiongkok. Perkembangan cukup besar terjadi ketika penerapan sistem *Cultuur Stelsel* pada tahun 1830 yang mewajibkan masyarakat menanam teh sehingga produksi teh di Indonesia meningkat pesat. Luas

perkebunan teh di Jawa tercatat sebesar 2.129 ha pada tahun 1841 dan meningkat menjadi 3.193 ha pada tahun 1846, menunjukkan ekspansi budidaya yang cukup pesat [2].

Teh termasuk minuman yang banyak digemari serta dikonsumsi oleh masyarakat di penjuru dunia sesudah air putih. Kebanyakan masyarakat mengonsumsi teh sebagai minuman yang menyehatkan. Berdasarkan Badan Pusat Statistik (2025), produksi daun teh kering Indonesia pada tahun 2024 mencapai 118.895 ton, meningkat sebesar 2.389 ton atau sekitar 2,05% dibandingkan tahun 2023 yang mencapai 116.506 ton [3]. Secara umum daun teh dipetik dua hingga tiga helai beserta pucuk mudanya (*growing apex*). Komponen tersebut melalui pengolahan pangan untuk menghasilkan produk teh. Berdasarkan pengolahannya, teh dibagi menjadi berbagai jenis antara lain teh hitam (*black tea*), teh hijau (*green tea*), teh oolong (*oolong tea*) serta teh putih (*white tea*) [4].

Teh hijau termasuk minuman yang kerap dikonsumsi serta dikenal memiliki berbagai manfaat kesehatan. Teh hijau diolah tanpa tahap fermentasi ataupun oksidasi enzimatis, namun melalui proses penonaktifan enzim fenolase pada pucuk daun teh segar [5]. Teh hitam dihasilkan lewat proses fermentasi, akibat proses fermentasi mayoritas katekin pada teh hitam teroksidasi menjadi teaflavin dan tearubigin [6]. Sedangkan teh oolong hanya mengalami fermentasi sebagian [7]. Di sisi lain, teh putih dihasilkan dari pucuk teh yang belum mekar sempurna, tidak mengalami fermentasi, serta proses penguapan dan pengeringan yang sangat singkat dibanding jenis teh lainnya [8].

Teh hijau merupakan satu diantara jenis teh yang banyak diteliti mengenai potensinya dalam membantu mengintervensi berbagai penyakit seperti obesitas [9], kanker [10], *heart disease* [11], serta berpotensi sebagai neuroprotektif [12] dan anti bakteri [13]. Karena proses pengolahannya yang lebih sederhana dibandingkan jenis teh lainnya, kandungan senyawa bioaktif pada teh hijau relatif tinggi. Kandungan senyawa bioaktif pada teh hijau antara lain flavonoid, kafein dan katekin khususnya *epigallocatechin gallate* (EGCG) dapat berperan dalam membantu mengendalikan obesitas melalui pengaruhnya terhadap metabolisme tubuh [9]. Senyawa-senyawa tersebut juga mempunyai sifat antioksidan yang berfungsi menetralkan radikal bebas serta, melindungi sel dari kerusakan oksidatif. Komposisi dari senyawa bioaktif ini membuat teh

hijau banyak dimanfaatkan sebagai pangan fungsional untuk kesehatan [8].

World Health Organization (WHO) menyatakan bahwa kasus obesitas pada perempuan lebih banyak dibandingkan laki-laki. Angka obesitas di dunia sejak tahun 1975 sampai 2016 meningkat tiga kali lipat atau 13% dari populasi orang dewasa. Di Indonesia angka kasus obesitas pada dewasa lebih dari 18 tahun sejumlah 35,4%, dengan cakupan penyebaran 39,7% di perkotaan serta 30% di pedesaan [14]. Obesitas adalah kondisi yang terjadi akibat ketidakseimbangan energi dalam asupan dan pengeluaran energi pada jangka waktu yang panjang [15]. Pada kondisi tersebut asupan energi yang berlebih tidak disertai dengan aktivitas fisik yang cukup, sehingga mengakibatkan kelebihan energi disimpan menjadi lemak di dalam tubuh pada jaringan adiposa [16].

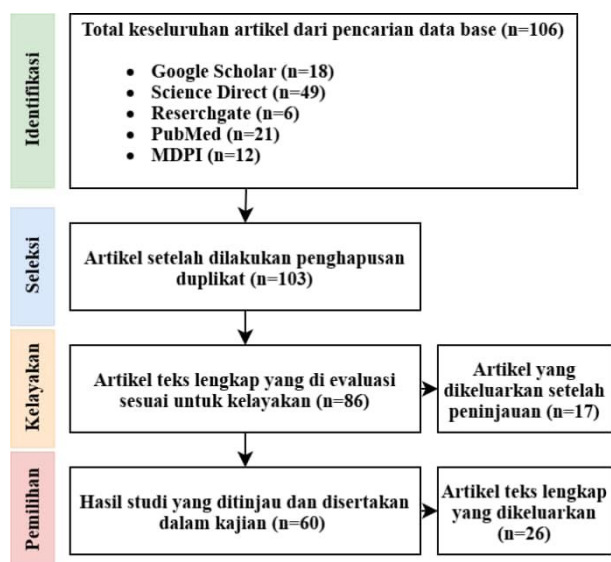
Keseimbangan energi dalam tubuh dapat dikendalikan oleh berbagai interaksi sistem biologis, seperti saraf pusat, hormon, dan saluran pencernaan. Obesitas dapat dicirikan melalui berbagai indikator, seperti kadar hormon, total kolesterol, LDL, kondisi perlemakan hati, ukuran dan jumlah sel adiposit, serta komposisi mikrobiota usus. Menurut penelitian pemberian ekstrak polifenol teh hijau secara *in vivo* pada tikus obesitas mampu menekan respons inflamasi yang berlebihan [17]. Berdasarkan hal-hal tersebut, jurnal ini perlu disusun sebagai bentuk dokumentasi ilmiah guna menggabungkan serta mempertegas informasi terkait korelasi teh hijau dengan obesitas, dan lebih lanjut menjadi referensi bagi masyarakat, peneliti, serta pelaku industri pangan fungsional untuk memajukan konsumsi serta mengembangkan produk teh hijau lebih sehat, *sustainable*, serta bernilai tambah tinggi.

METODE

Artikel ilmiah yang dipakai dalam penelitian *literature review* ini didapat dari beberapa basis data ilmiah, yaitu ScienceDirect, PubMed/NCBI, MDPI, Google Scholar, ResearchGate, dan Scopus dengan rentang publikasi 10 tahun terakhir. Proses pencarian literatur dilakukan menggunakan kata kunci yang berkaitan dengan teh hijau, *green tea*, *Camellia sinensis*, dan senyawa bioaktifnya serupa *catechin*, *epigallocatechin gallate* (EGCG), *green tea polyphenols*, *caffeine*, dan *L-theanine*. Kata kunci tersebut kemudian dikombinasikan dengan istilah yang berkaitan dengan obesitas dan gangguan metabolik, seperti *obesity*, *insulin resistance*, *insulin*

sensitivity, glucose metabolism, adiponectin, lipid metabolism, hepatic steatosis, gut microbiome, inflammation, metabolic disease, dan type 2 diabetes mellitus. Kombinasi kata kunci tersebut digunakan untuk memperoleh artikel yang membahas kandungan bioaktif teh hijau serta pengaruhnya terhadap obesitas dan berbagai parameter metabolik yang terkait.

Sebanyak 106 artikel ilmiah diperoleh melalui proses penelusuran literatur. Setelah dilakukan penghapusan 3 artikel terduplikat, diperoleh 103 artikel yang diteruskan ke tahapan seleksi menurut judul serta abstrak. Di tahapan ini, sebanyak 17 artikel dikecualikan sebab tidak memiliki keterkaitan langsung dengan fokus pembahasan tentang obesitas. Setelah proses penyaringan awal, diperoleh 86 artikel yang diteruskan ke tahapan telaah teks lengkap. Selanjutnya, dilakukan evaluasi terhadap 86 artikel berlandaskan kriteria inklusi yang sudah ditentukan. Kriteria inklusi mencakup, (1) artikel diterbitkan pada rentang waktu 10 tahun terakhir, (2) mengulas teh hijau atau senyawa bioaktif utamanya, (3) mengkaji parameter yang berkaitan dengan obesitas, seperti indeks massa tubuh, berat badan, sensitivitas insulin, metabolisme glukosa, profil lipid, dan parameter metabolik lainnya, (4) menyajikan data hasil penelitian yang relevan, serta (5) tersedia dalam bentuk teks lengkap. Berdasarkan hasil evaluasi tersebut, sebanyak 26 artikel dikeluarkan sebab tidak mencukupi kriteria inklusi yang sudah ditentukan. Sebanyak 60 artikel mencukupi semua kriteria inklusi serta digunakan pada penyusunan kajian literatur ini. Tahapan pencarian serta seleksi artikel disajikan pada diagram alir di gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Pencarian Jurnal Ilmiah

HASIL DAN PEMBAHASAN

Senyawa Bioaktif

Senyawa bioaktif pada teh hijau didominasi oleh golongan katekin, terutama *epigallocatechin gallate* (EGCG), *epigallocatechin* (EGC), *epicatechin gallate* (ECG), *epicatechin* (EC), serta senyawa lain seperti kafein dan theanine. Senyawa-senyawa tersebut berperan penting dalam memberikan aktivitas biologis pada teh hijau, seperti aktivitas antioksidan, anti-inflamasi, serta efek neuroprotektif dan peningkatan konsentrasi [18]. Kandungan katekin yang tinggi pada teh hijau juga berkontribusi terhadap karakteristik sensori, seperti rasa sepat (*astringent*) dan sedikit pahit yang khas pada seduhan teh hijau [19]. Selain memberikan manfaat fungsional, komposisi senyawa bioaktif pada teh hijau dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti varietas tanaman, kondisi geografis, iklim, metode budidaya, serta proses pengolahan daun teh [20]. Proses pengolahan yang minim oksidasi pada teh hijau membantu mempertahankan kandungan katekin dalam jumlah tinggi dibandingkan jenis teh lainnya. Macam-macam senyawa bioaktif serta struktur kimia pada teh hijau disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Senyawa Bioaktif Pada Teh Hijau

Nama Senyawa	Struktur	Sumber
Epigallocatechin gallate (EGCG)		[19]
Epigallocatechin (EGC)		[19]
Epicatechin gallate (ECG)		[19]
Epicatechin (EC)		[19]
Caffeine		[21]
Theanine		[22]

Katekin

Katekin merupakan kelompok senyawa polifenol golongan flavan-3-ol yang banyak terdapat pada teh hijau dan dikenal memiliki berbagai aktivitas biologis, terutama sebagai antioksidan, antiinflamasi, serta berperan dalam regulasi metabolisme energi dan lemak tubuh. Secara struktur, katekin mempunyai kerangka dasar C6-C3-C6 yang tersusun dari dua cincin benzena, yaitu cincin A serta B, serta satu cincin heterosiklik dihidropiran, yaitu cincin C. Senyawa ini terutama terdapat pada daun muda tanaman teh dengan kandungan mencapai 12-24% dari berat kering daun teh dan menyusun sekitar 60-80% total polifenol teh. Berdasarkan konfigurasi ruang substituen pada cincin C, katekin dibedakan menjadi *cis-catechins* atau *epicatechins* dan *trans-catechins* atau *non epicatechins*. Kelompok *cis-catechins* meliputi EGCG, EGC, ECG, serta EC, sedangkan kelompok *trans-catechins* terdiri atas *catechin* (C), *gallocatechin* (GC), dan *gallocatechin gallate* (GCG) [18].

Katekin pada teh hijau diketahui mempunyai aktivitas antioksidan yang tinggi sehingga berpotensi dalam pencegahan berbagai penyakit metabolik, termasuk obesitas. Menurut penelitian, katekin terutama EGCG berperan dalam menghambat stres oksidatif dan inflamasi yang berhubungan dengan perkembangan obesitas. Selain itu, katekin juga diketahui mampu meningkatkan termogenesis dan oksidasi lemak sehingga dapat membantu meningkatkan pengeluaran energi tubuh. Aktivitas tersebut menjadikan teh hijau sebagai salah satu bahan pangan fungsional yang potensial dalam membantu pengendalian obesitas dan gangguan metabolik terkait [23]. Aktivitas biologis katekin juga dipengaruhi oleh interaksinya dengan mikrobiota usus. Sebagian katekin yang dikonsumsi akan mengalami biotransformasi oleh mikrobiota usus menjadi berbagai metabolit fenolik yang lebih mudah diserap tubuh. Proses ini diketahui dapat meningkatkan aktivitas antioksidan serta kemampuan menghambat enzim α -glukosidase, α -amilase dan lipase pankreas yang mempunyai peranan pada metabolisme karbohidrat dan lemak. Selain itu, fermentasi katekin juga meningkatkan pertumbuhan bakteri menguntungkan seperti *Bacteroides*, *Bifidobacterium*, *Lactococcus* dan *Enterococcus*. Temuan tersebut menunjukkan bahwa manfaat katekin tidak hanya berasal dari senyawa aslinya, tetapi juga dari metabolit yang dihasilkan oleh mikrobiota usus sehingga berpotensi mendukung kesehatan metabolik dan pengendalian obesitas [24].

Kafein

Kafein merupakan senyawa alkaloid golongan metilxantin (1,3,7-trimetilksantin) yang secara alami terdapat pada teh hijau dan berperan sebagai salah satu senyawa bioaktif utama selain katekin. Senyawa ini banyak ditemukan dalam minuman populer di dunia, seperti teh, kopi, kakao dan *yerba mate*. Pada tanaman teh, kandungan kafein umumnya lebih tinggi pada pucuk atau ujung tunas daun sekitar 35 mg/g bobot kering daun teh [25].

Kafein diketahui memiliki berbagai efek fisiologis, seperti menstimulasi sistem saraf pusat, meningkatkan kewaspadaan, meningkatkan laju metabolisme energi, merangsang oksidasi lemak, serta memberikan efek diuretik. Dalam teh hijau, kafein bekerja secara sinergis dengan senyawa polifenol, terutama katekin, sehingga memberikan berbagai manfaat fisiologis, termasuk potensi dalam pengendalian obesitas dan gangguan metabolik terkait. Selain berkontribusi terhadap aktivitas biologis teh hijau, keberadaan kafein memengaruhi karakteristik sensori seduhan teh, terutama dalam pembentukan rasa pahit dan aroma khas [26].

Peran kafein terhadap kondisi obesitas didukung oleh berbagai penelitian yang menunjukkan kemampuannya pada membenahi gangguan metabolik diakibatkan konsumsi diet tinggi lemak dan sukrosa (*high-fat high-sucrose diet*). Pada model tikus obesitas, pemberian kafein kronis dilaporkan mampu mencegah peningkatan berat badan, memperbaiki resistensi insulin, serta meningkatkan metabolisme glukosa dan lipid dibandingkan kelompok obesitas tanpa suplementasi kafein. Selain itu, kafein memiliki aktivitas antiinflamasi yang ditunjukkan melalui penurunan infiltrasi makrofag pada jaringan adiposa dan penurunan kadar sitokin proinflamasi, misalnya interleukin-6 (IL-6). Efek tersebut berkaitan dengan kemampuan kafein dalam memodulasi sistem adenosinergik dan menekan respons inflamasi yang berlebihan, yang ditandai dengan penurunan ekspresi penanda neuroinflamasi seperti GFAP (*Glial Fibrillary Acidic Protein*), IBA-1 (*Ionized Calcium-Binding Adapter Molecule 1*), dan reseptor IL-6 [12]. Kafein juga diketahui meningkatkan metabolisme energi melalui induksi ekspresi gen yang berperan dalam termogenesis adaptif dan biogenesis mitokondria, sehingga meningkatkan efisiensi pembakaran energi dalam tubuh. Selain manfaat metabolik, kafein berkontribusi dalam menjaga fungsi kognitif lewat kenaikan ekspresi *brain-derived neurotrophic factor* (BDNF) pada hippocampus, yang berperan dalam

perlindungan terhadap gangguan memori serta dampak negatif obesitas terhadap fungsi otak [27].

Theanin

Theanine atau L-theanine merupakan asam amino non protein utama yang secara khas terdapat pada tanaman teh. Senyawa ini menyusun sekitar 1–2% dari berat kering daun teh dan menjadi salah satu komponen bioaktif penting pada teh hijau selain katekin dan kafein. Secara kimia, L-theanine memiliki nama IUPAC asam 2-amino-4-(*ethylcarbamoyl*) butirat dan memiliki struktur yang mirip dengan asam glutamat yaitu prekursor utama *glutathione* (GSH) sebagai antioksidan endogen dalam tubuh. L-theanine disintesis pada akar tanaman teh kemudian diakumulasi pada daun teh, terutama daun muda yang digunakan dalam produksi teh hijau. L-theanine diketahui memiliki berbagai aktivitas biologis, khususnya antioksidan serta antiinflamasi. Penelitian mengungkapkan bahwa L-theanine bisa melindungi sel dari kerusakan oksidatif dengan mempertahankan kadar GSH dalam sel sehingga membantu menjaga keseimbangan redoks tubuh. Selain itu, L-theanine juga diketahui memiliki efek neuroprotektif, antistres dan berpotensi membantu melindungi tubuh terhadap berbagai gangguan metabolik dan kerusakan jaringan [22].

Peran L-theanine dalam kesehatan metabolik juga didukung oleh penelitian yang mengevaluasi kombinasi L-theanine dan EGCG di tikus obesitas. Temuan analisis memperlihatkan pemberian EGCG maupun kombinasi EGCG dan L-theanine bisa mengurangi kadar trigliserida, kolesterol total, serta glukosa darah juga menaikkan toleransi glukosa. Menariknya, kombinasi EGCG dan L-theanine memberikan efek yang lebih baik dibandingkan EGCG saja, terutama dalam menurunkan kadar trigliserida plasma, glukosa darah, dan mengurangi perlemakan hati (*hepatic steatosis*). L-theanine berperan dalam meningkatkan efek regulasi metabolisme EGCG melalui peningkatan ekspresi enzim yang terlibat dalam metabolisme glukosa serta penghambatan sintesis asam lemak di hati. Temuan tersebut menunjukkan bahwa L-theanine tidak hanya berfungsi sebagai antioksidan dan antiinflamasi, tetapi juga berpotensi mendukung perbaikan metabolisme glukosa dan lipid yang sering mengalami gangguan pada kondisi obesitas [28]. Selain berperan dalam perbaikan metabolisme yang berkaitan dengan obesitas, L-theanine juga diketahui memiliki efek relaksasi dan antistres. Penelitian menunjukkan bahwa teh hijau dengan kandungan L-theanine yang lebih tinggi berpotensi

memberikan efek antistres yang lebih baik. Selain itu, metode penyeduhan juga memengaruhi jumlah L-theanine yang terekstraksi, penyeduhan dengan air dingin menghasilkan kandungan L-theanine yang lebih tinggi dibanding penyeduhan air panas [29].

Kandungan Senyawa Bioaktif Pada Teh Hijau Komersial

Penelitian menunjukkan bahwa teh hijau komersial jenis *gunpowder* dan teh celup memiliki kandungan katekin serta aktivitas antioksidan yang relatif tinggi dibandingkan beberapa produk teh lainnya. Senyawa EGCG diketahui menjadi katekin dominan pada sebagian besar sampel teh hijau, sedangkan kandungan kafein bervariasi tergantung jenis dan proses pengolahannya [30]. Selain itu, katekin dan kafein pada teh hijau diketahui berkaitan dengan aktivitas antioksidan serta potensi dalam membantu pengendalian obesitas melalui peningkatan oksidasi lemak dan pengeluaran energi tubuh [20], [31]. Data kandungan senyawa katekin dan kafein pada beberapa jenis teh hijau komersial dari berbagai penelitian diperlihatkan di tabel 2.

Tabel 2. Kandungan Senyawa Bioaktif Pada Teh Hijau Komersial

Teh Hijau Komersial	Asal	EGCG (mg/g)	EGC (mg/g)	ECG (mg/g)	EC (mg/g)	Kafein (mg/g)
Allergo [30] ^{T1}	Asia Tenggara	46,24	19,47	16,06	6,50	19,96
Lipton Green Tea [30] ^{T1}	Asia, India, Afrika	52,96	24,38	17,37	8,17	23,52
Pure Leaf [30] ^{T1}	Indonesia	70,22	23,83	28,02	7,26	32,38
Twinings [30] ^{T1}	Asia, India, Afrika	38,01	19,57	12,92	7,21	22,45
Xihu Longjing Tea [31] ^{T2}	China	51,85	25,58	24,51	7,10	36,65
Dongting Biluochun Tea [31] ^{T2}	China	52,38	37,42	32,12	7,05	32,45
Duyun Maojian Tea [31] ^{T2}	China	56,12	47,86	22,56	9,13	42,20
Lushan Yunwu Tea [31] ^{T2}	China	57,56	62,56	19,08	9,04	47,46
ÇAYMER* [20] ^{T3}	Turki	0,045	0,057	0,010	0,012	0,024

^{T1} Metode 1: 0,10–0,15 g teh diekstraksi dengan 0,75 mL metanol.

^{T2} Metode 2: 1 g teh diekstraksi dengan 10 mL air.

^{T3} Metode 3: 1 g teh diinfus dalam 100 mL air.

Berdasarkan tabel 2, kandungan katekin dan kafein pada teh hijau komersial bervariasi menurut jenis produk, asal geografis dan metode ekstraksi. Katekin

utama yang ditemukan meliputi EGCG, EGC, ECG dan EC, dengan EGCG sebagai senyawa dominan. Kandungan EGCG tertinggi terdapat pada *Pure Leaf* (*gunpowder*) sebesar 70,22 mg/g, sedangkan terendah pada teh ÇAYMER sebesar 0,045 mg/g yang menunjukkan bahwa bahan baku dan proses pengolahan memengaruhi kadar katekin pada teh hijau [20], [30].

Kandungan EGC, ECG, dan EC juga bervariasi antar produk teh hijau. Teh Lushan Yunwu Tea memiliki kandungan EGC tertinggi (62,56 mg/g), sedangkan Dongting Biluochun Tea memiliki kandungan ECG tertinggi (32,12 mg/g). Perbedaan kadar katekin tersebut dipengaruhi oleh kultivar tanaman, kondisi lingkungan, dan metode ekstraksi yang digunakan [29-30]. Kandungan kafein pada teh hijau komersial bervariasi antar produk, dengan kadar tertinggi pada Lushan Yunwu Tea (47,46 mg/g) dan terendah pada teh ÇAYMER (0,024 mg/g). Secara umum, teh hijau asal Cina memiliki kandungan katekin serta kafein yang lebih tinggi dan berpotensi memberikan aktivitas antioksidan, meningkatkan oksidasi lemak dan pengeluaran energi yang mendukung pengendalian obesitas [20], [29].

Definisi dan Parameter Obesitas

Obesitas adalah keadaan akumulasi lemak tubuh yang berlebihan sehingga memaksimalkan risiko sejumlah penyakit metabolik, misalnya diabetes melitus tipe 2, hipertensi, juga dislipidemia. Obesitas umumnya dinilai berdasarkan indeks massa tubuh (IMT), namun penilaian yang lebih komprehensif dilakukan melalui parameter antropometri lain seperti lingkar pinggang (*waist circumference*), rasio lingkar pinggang-pinggul (*waist-hip ratio*/WHR), serta rasio lingkar pinggang-tinggi badan (*waist-to-height ratio*/WHtR) untuk menggambarkan distribusi lemak tubuh, khususnya lemak visceral yang mempunyai risiko metabolik lebih tinggi [32]. Pada populasi Indonesia, lingkar pinggang ≥ 90 cm pada laki-laki, serta ≥ 80 cm pada perempuan dipakai sebagai indikator obesitas sentral. Selain itu, komposisi tubuh seperti massa lemak serta massa bebas lemak juga berperan dalam menentukan risiko metabolik, karena peningkatan massa lemak berkaitan dengan gangguan sensitivitas insulin, metabolisme glukosa dan peningkatan risiko penyakit kardiometabolik [33].

Penilaian obesitas juga sering dilengkapi dengan berbagai parameter metabolik lainnya, seperti profil lipid, penanda inflamasi, hormon metabolik, kadar glukosa darah, resistensi insulin, serta stres

oksidatif. Parameter-parameter tersebut digunakan untuk mengevaluasi dampak obesitas terhadap fungsi metabolisme tubuh secara menyeluruh, mengingat obesitas juga ditandai oleh berbagai perubahan fisiologis dan biokimia yang akan memengaruhi kesehatan jangka panjang [34].

Penyebab dan Mekanisme Obesitas

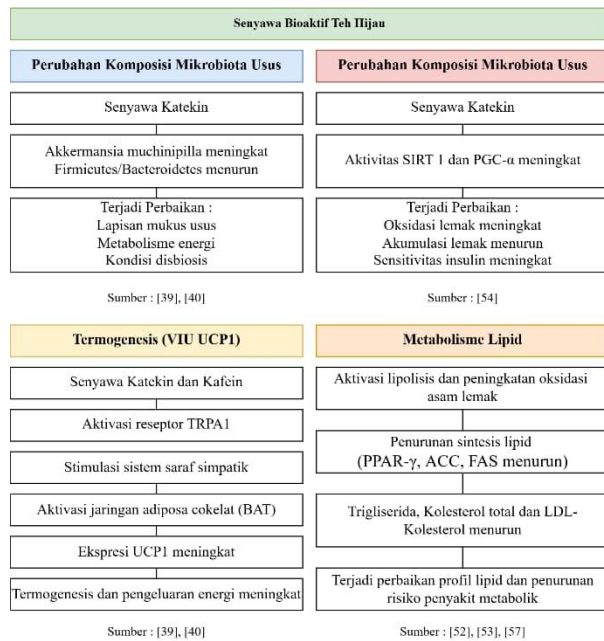
Penyebab obesitas mempunyai sifat multifaktorial, seperti pola makan tinggi kalori, sedikitnya kegiatan fisik, faktor genetik, perubahan hormonal, kondisi psikologis, serta faktor lingkungan, sosioekonomi, dan komersial yang secara bersama-sama menyebabkan ketidakseimbangan energi dan akumulasi lemak tubuh pada individu yang rentan [35-36]. Mekanisme terjadinya obesitas diawali oleh ketidakseimbangan antara asupan energi serta pengeluaran energi yang diatur oleh sistem homeostasis tubuh. Hipotalamus mempunyai peranan pada mengendalikan rasa lapar serta kenyang melalui berbagai sinyal hormonal, salah satunya hormon leptin yang diproduksi oleh jaringan adiposa. Dalam kondisi normal, peningkatan cadangan lemak akan meningkatkan produksi leptin sehingga nafsu makan menurun dan penggunaan energi meningkat, namun pada individu obesitas sering terjadi resistensi leptin yaitu kondisi ketika otak tidak lagi merespons sinyal leptin secara optimal sehingga konsumsi makanan tetap tinggi meskipun cadangan energi sudah berlebih [37].

Akumulasi lemak berlebih menyebabkan disfungsi jaringan adiposa sehingga penyimpanan lemak menjadi tidak normal. Kondisi ini memicu distribusi lemak ke berbagai organ, inflamasi kronis, resistensi insulin, gangguan metabolisme glukosa, serta perubahan profil lipid yang meningkatkan risiko penyakit metabolik. Obesitas berkembang secara progresif, dimulai dari kelebihan adipositas tanpa gangguan organ hingga menjadi obesitas klinis yang ditandai dengan disfungsi jaringan adiposa, kerusakan organ, serta peningkatan risiko diabetes melitus tipe 2, penyakit kardiovaskular, serta gangguan metabolik lainnya [35].

Potensi Manfaat Kesehatan Teh Hijau

Teh hijau memiliki beberapa senyawa bioaktif, terutama katekin seperti *epigallocatechin gallate* (EGCG) yang dapat mempengaruhi berbagai jalur metabolisme yang berkaitan dengan obesitas. Senyawa tersebut berpotensi mempengaruhi metabolisme energi, oksidasi lemak, termogenesis, metabolisme lipid, serta mikrobiota usus. Interaksi dari berbagai jalur tersebut dapat mendukung peningkatan penggunaan energi dan oksidasi lemak

serta mengurangi akumulasi lemak dalam tubuh. Mekanisme utama yang mendasari efek teh hijau terhadap obesitas dirangkum pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram Mekanisme Teh Hijau Dalam Pengendalian Obesitas

Perubahan Komposisi Mikrobiota Usus

Mikrobiota usus merupakan sekelompok mikroorganisme yang hidup di saluran pencernaan serta mempunyai peranan krusial pada metabolisme energi, regulasi sistem imun, serta keseimbangan metabolik. Mikrobiota usus menghasilkan *short-chain fatty acids* (SCFA) yang berfungsi menjaga integritas mukosa usus, menurunkan inflamasi, serta mengoptimalkan sensitivitas insulin. Penelitian pada populasi dewasa di Yogyakarta menunjukkan bahwa individu sehat memiliki komposisi mikrobiota yang lebih beragam dan seimbang, didominasi oleh *Bacteroides* dan *Prevotella*. Sebaliknya, individu obesitas cenderung mengalami disbiosis yang ditandai dengan dominasi *Romboutsia* serta penurunan keanekaragaman mikrobiota. Kondisi ini dapat meningkatkan efisiensi ekstraksi energi dari makanan dan berkontribusi terhadap peningkatan berat badan, sehingga perbaikan keseimbangan mikrobiota usus menjadi salah satu target dalam pengendalian obesitas [38].

Analisis pada tikus obesitas yang diinduksi diet tinggi lemak mengungkapkan bahwa pemberian ekstrak teh hijau mampu mencegah peningkatan berat badan, menurunkan resistensi insulin, serta mengurangi akumulasi lipid di hati dan jaringan adiposa. Efek tersebut disertai perubahan komposisi mikrobiota usus yaitu penurunan bakteri yang

berasosiasi dengan obesitas seperti *Lactobacillus reuteri* dan *Clostridiaceae*, serta peningkatan bakteri yang lebih menguntungkan seperti *Muribaculaceae*. Selain itu, komposisi mikrobiota pada kelompok yang mendapat ekstrak teh hijau lebih mendekati kondisi normal dibandingkan kelompok diet tinggi lemak tanpa perlakuan [39]. Temuan tersebut dikuatkan oleh kajian lain yang menjabarkan bahwa polifenol teh hijau mampu meningkatkan kelimpahan *Akkermansia muciniphila* dan menurunkan rasio *Firmicutes/Bacteroidetes* pada tikus obesitas. Peningkatan *A. muciniphila* dikaitkan dengan perbaikan integritas lapisan mukus usus dan metabolisme energi, sedangkan penurunan rasio *Firmicutes/Bacteroidetes* menunjukkan perbaikan kondisi disbiosis yang umum ditemukan pada obesitas. Perubahan mikrobiota tersebut disertai dengan penurunan berat badan, lemak abdominal dan trigliserida hati, sehingga menunjukkan modulasi mikrobiota usus merupakan salah satu mekanisme yang mendukung efek antiobesitas teh hijau [40].

Berdasarkan hal tersebut, profil mikrobiota individu dapat dipertimbangkan sebagai salah satu faktor yang berpotensi menentukan respons terhadap konsumsi teh hijau dalam pengendalian obesitas. Individu dengan komposisi dan kelimpahan mikrobiota yang berbeda kemungkinan dapat memberikan respons metabolik yang berbeda terhadap polifenol teh. Teh hijau dapat dimanfaatkan sebagai pendekatan nutrisi personal pada identifikasi karakteristik mikrobiota yang berhubungan dengan respons intervensi. Meskipun demikian, pendekatan tersebut masih bersifat potensial karena penelitian yang tersedia masih banyak menggunakan model hewan. Penelitian lebih lanjut pada manusia diperlukan untuk mengevaluasi hubungan antara profil mikrobiota sebelum intervensi, perubahan mikrobiota setelah konsumsi teh hijau dan perubahan parameter obesitas sehingga dapat diketahui apakah bakteri tertentu, termasuk kelompok *Akkermansia* yang dapat digunakan sebagai biomarker untuk memprediksi respons individu terhadap teh hijau. Studi pada tikus juga menunjukkan bahwa mekanisme peningkatan *Akkermansia* oleh polifenol teh masih memerlukan penelitian lebih lanjut [40].

Memperbaiki Kondisi Perlemakan Hati

Perlemakan hati merupakan kondisi penumpukan lemak berlebih di dalam sel hati (hepatosit) yang menjadi ciri utama *Non-Alcoholic Fatty Liver Disease* (NAFLD) atau penyakit hati berlemak yang tidak diakibatkan oleh konsumsi alkohol. Kondisi ini

kerap ditemukan di seseorang dengan obesitas serta resistensi insulin. Pada keadaan obesitas, asupan energi yang berlebihan mengakibatkan kenaikan pelepasan asam lemak bebas dari jaringan adiposa ke hati. Akibatnya, terjadi peningkatan sintesis trigliserida dan penurunan oksidasi asam lemak sehingga lemak terakumulasi di dalam hepatosit. Jika berlangsung dalam jangka panjang, kondisi ini dapat memicu stres oksidatif, peradangan, hingga kerusakan fungsi hati. Penelitian menunjukkan bahwa pemberian polifenol teh hijau mampu memperbaiki kondisi perlemakan hati yang diinduksi oleh diet tinggi lemak. Kelompok yang menerima polifenol teh hijau menunjukkan penurunan akumulasi lemak pada jaringan hati dan perbaikan struktur hepatosit dibandingkan kelompok yang hanya diberikan diet tinggi lemak. Setelah itu, terjadi penurunan kadar enzim hati seperti *Alanine Aminotransferase* (ALT) serta *Aspartate Aminotransferase* (AST) yang umumnya digunakan sebagai indikator kerusakan sel hati. Pemberian polifenol teh hijau mampu menurunkan kadar glukosa darah serta memperbaiki resistensi insulin. Efek tersebut diduga berkaitan dengan aktivasi AMP-Activated Protein Kinase (AMPK), yaitu protein pengatur keseimbangan energi sel yang mempunyai peranan dalam meningkatkan oksidasi asam lemak dan menghambat sintesis lemak di hati. Aktivasi AMPK menyebabkan berkurangnya akumulasi trigliserida sehingga dapat membantu mencegah perkembangan perlemakan hati pada kondisi obesitas [41].

Penelitian tersebut didukung oleh penelitian lain yang mengevaluasi efek ekstrak teh hijau pada pasien NAFLD. Temuan analisis memperlihatkan bahwa konsumsi ekstrak teh hijau selama 12 minggu mampu memperbaiki derajat perlemakan hati yang diamati melalui pemeriksaan ultrasonografi. Selain itu, kelompok perlakuan mengalami pengurangan berat badan, IMT, lingkar pinggang, serta kadar ALT dan AST yang lebih besar dibandingkan kelompok kontrol. Perbaikan tersebut menunjukkan bahwa teh hijau tidak hanya berperan dalam mengurangi akumulasi lemak di hati, tetapi juga membantu memperbaiki fungsi hati yang terganggu akibat obesitas. Kandungan katekin, terutama EGCG, diduga berkontribusi dalam efek tersebut melalui peningkatan oksidasi lemak, penghambatan penyerapan lipid di usus, serta penurunan pembentukan trigliserida di hati. Dengan demikian, teh hijau berpotensi menjadi salah satu agen alami yang dapat membantu mencegah dan memperbaiki perlemakan hati yang berkaitan dengan obesitas [42].

Penelitian lain menunjukkan bahwa pemberian polifenol teh pada tikus yang mengalami diabetes melitus tipe 2 dan NAFLD mampu menurunkan kadar ALT, AST, trigliserida, kolesterol total dan asam lemak bebas. Di samping itu, polifenol teh juga mengurangi akumulasi lipid pada hati, memperbaiki struktur histologis hati, menurunkan infiltrasi sel inflamasi, serta mengurangi kejadian *hepatocyte ballooning*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa polifenol teh berpotensi memperbaiki perlemakan hati, resistensi insulin dan inflamasi yang bersangkutan dengan NAFLD di kondisi diabetes melitus tipe 2 [43].

Mengatur Peningkatan dan Penurunan Hormon

Enzim *Acyl-CoA synthetase 5* (ACSL5) yang banyak ditemukan pada usus memiliki peran dalam metabolisme asam lemak, khususnya pada proses mengaktifkan asam lemak menjadi Acyl-CoA, yang nantinya diserap serta dipakai oleh tubuh sebagai sumber energi ataupun disimpan dalam bentuk lemak. Selain enzim, dalam sistem pencernaan juga terdapat hormon *glucagon-like peptide-1* (GLP-1) serta *peptide YY* (PYY) yang dilepaskan setelah makan dan berfungsi untuk memberikan sinyal kenyang, memperlambat pengosongan lambung, serta menurunkan nafsu makan. Enzim ACSL5 bersama dengan hormon GLP-1 dan PYY memiliki hubungan dalam proses penyerapan lemak di usus. Ketika aktivitas enzim ACSL5 menurun, penyerapan dan pemrosesan lemak di bagian awal usus menjadi berkurang, sehingga lebih banyak asam lemak mencapai bagian distal usus. Kondisi ini merangsang peningkatan sekresi hormon GLP-1 dan hormon PYY yang kemudian memberikan sinyal kenyang lebih kuat. Peningkatan hormon ini menyebabkan penurunan asupan makanan, sehingga secara tidak langsung berpengaruh terhadap keseimbangan energi tubuh. Pada individu obesitas penurunan aktivitas enzim ACSL5 dan peningkatan hormon GLP-1 dan hormon PYY dapat memberikan efek yang bermanfaat dalam mengontrol asupan makanan berlebih [44].

Beberapa penelitian menunjukkan teh hijau berperan dalam mengatur hormon GLP-1 dan PYY. Penelitian menggunakan bubuk daun teh hijau, tikus diberi perlakuan diet tinggi lemak dibagi ke dalam kelompok kontrol serta kelompok perlakuan yang diberi bubuk teh hijau dalam dosis tertentu, kemudian diamati perubahan hormonnya. Sementara untuk penelitian lain menggunakan minuman teh hijau dingin yang diberikan kepada tikus dengan diet tinggi lemak yang kemudian dilakukan pengukuran kadar hormon GLP-1 dan

PYY, asupan makanan, serta perubahan berat badan. Temuan dari kedua penelitian tersebut menunjukkan bahwa pemberian teh hijau, baik dalam bentuk bubuk maupun minuman, mampu meningkatkan sekresi hormon GLP-1 dan PYY secara signifikan. Peningkatan kedua hormon ini memberikan sinyal kenyang yang lebih kuat pada tikus, sehingga menyebabkan penurunan asupan makanan pada tikus diet tinggi lemak. Penurunan konsumsi energi ini berkontribusi terhadap pencegahan peningkatan berat badan dan obesitas [39], [45].

Meningkatkan Sensitivitas Insulin

Peran insulin sangat esensial dalam menjaga kadar gula darah tetap normal dengan merespons peningkatan glukosa hasil akhir pencernaan karbohidrat setelah makan untuk pembentukan energi. Sensitivitas insulin merupakan kemampuan tubuh menghasilkan hormon insulin untuk mengoptimalkan penyerapan glukosa di jaringan perifer, menghalangi produksi glukosa di hati, serta mengatur metabolisme protein dan lemak. Insulin sebagai hormon anabolik berperan penting dalam meningkatkan sintesis protein otot, menekan proteolisis dan mengurangi lipolisis pada jaringan adiposa. Peningkatan sensitivitas insulin memungkinkan regulasi kadar glukosa darah yang lebih efektif dengan kebutuhan insulin yang lebih rendah. Sebaliknya, resistensi insulin mengganggu kerja insulin pada jaringan otot dan lemak yang berpotensi menyebabkan perubahan komposisi tubuh, serupa penurunan massa otot serta peningkatan lemak [46].

Penelitian yang dilakukan pada mencit setelah diberikan diet tinggi lemak menunjukkan gangguan metabolisme glukosa, diindikasikan dengan hiperglikemia serta resistensi insulin. Setelah diberikan kombinasi teh hijau dan isomaltoligosakarida (IMO), terjadi perubahan yang signifikan terhadap metabolisme glukosa, ditandai dengan menurunnya kadar glukosa darah dan meningkatnya sensitivitas insulin. Kandungan EGCG pada teh hijau dapat meningkatkan sensitivitas insulin, sehingga glukosa lebih mudah masuk ke dalam sel dan dipakai sebagai sumber energi. Hal tersebut mengurangi penumpukan glukosa dalam darah dan mencegah konversi menjadi lemak. Selain itu, teh hijau berperan dalam menekan glukoneogenesis, sehingga jumlah glukosa yang dilepaskan ke dalam darah menjadi lebih rendah dan kadar glukosa dalam tubuh menjadi seimbang dan lebih terkontrol [47].

Penelitian yang dilakukan pada manusia menunjukkan bahwa kombinasi ekstrak teh hijau dan latihan *endurance* selama 8 minggu meningkatkan kadar adiponektin dan irisin pada pria dengan kelebihan berat badan. Adiponektin merupakan hormon yang membantu meningkatkan sensitivitas insulin dan metabolisme lipid, sedangkan irisin berperan dalam meningkatkan pembakaran lemak dan penggunaan energi. Pada kondisi obesitas, kadar adiponektin umumnya menurun sehingga meningkatkan risiko gangguan metabolik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kedua hormon tersebut diikuti dengan penurunan berat badan, IMT, lemak tubuh, serta lemak visceral. Temuan ini mengindikasikan bahwa ekstrak teh hijau tidak sekadar mempunyai kontribusi kepada pengurangan berat badan, namun juga membantu memperbaiki regulasi metabolisme yang terganggu pada obesitas [48].

Penelitian lain pada orang dewasa dengan obesitas visceral dengan kombinasi katekin teh hijau dan inulin selama 12 minggu memberikan perbaikan signifikan terhadap sensitivitas insulin. Hal ini ditunjukkan oleh penurunan nilai *Homeostatic Model Assessment of Insulin Resistance* (HOMA-IR) dan kadar insulin puasa pada kelompok perlakuan dibandingkan dengan kelompok plasebo. HOMA-IR merupakan indikator yang digunakan untuk menilai tingkat resistensi insulin, nilai HOMA-IR yang lebih rendah menunjukkan peningkatan sensitivitas insulin dan kemampuan tubuh yang lebih baik dalam memanfaatkan insulin untuk mengontrol kadar glukosa darah. Selain itu, kadar insulin puasa yang lebih rendah merupakan penanda bahwa tubuh tidak memerlukan produksi insulin berlebihan guna mengupayakan kadar glukosa darah normal [49].

Mengatur Metabolisme Lemak

Hati berperan penting dalam mengatur keseimbangan metabolisme lemak, termasuk dalam sintesis asam lemak (lipogenesis), oksidasi lemak, serta pembentukan lipoprotein untuk transportasi lipid dalam darah. Regulasi metabolisme lemak dipengaruhi oleh berbagai hormon, seperti insulin yang berperan dalam meningkatkan penyimpanan lemak dan hormon lain seperti glukagon yang merangsang pemecahan lemak. Ketidakseimbangan antara proses penyimpanan dan pemecahan lemak dapat menyebabkan akumulasi lemak berlebih dalam tubuh yang berkontribusi terhadap terjadinya obesitas dan gangguan metabolik lainnya [50].

Pada penelitian klinis yang melibatkan 126 subjek dewasa dengan kategori kelebihan berat badan hingga obesitas (BMI 25–30), dilakukan intervensi berupa konsumsi minuman teh hijau sebanyak 500 mL per hari selama 12 minggu dengan desain *randomized double-blind placebo-controlled*. Subjek dibagi ke dalam kelompok kontrol serta kelompok perlakuan dengan variasi dosis katekin. Hasil penelitian memperlihatkan konsumsi teh hijau dengan signifikan mengurangi lemak tubuh, baik lemak visceral maupun subkutan, serta diikuti dengan penurunan berat badan serta IMT. Penurunan ini dikaitkan dengan peningkatan oksidasi lemak dan pengeluaran energi yang dipengaruhi oleh kandungan katekin dalam teh hijau [51]. Hasil tersebut didukung oleh penelitian eksperimental menggunakan model tikus yang diinduksi diet tinggi lemak, hewan uji dibagi ke dalam beberapa kelompok yaitu kontrol normal, diet tinggi lemak, serta kelompok perlakuan yang diberikan *compound green tea* (CGT) selama kurang lebih 30 hari. Prosedur penelitian melibatkan pengukuran profil lipid serta analisis metabolit hati menggunakan metode LC-MS/MS. Hasil menunjukkan bahwa pemberian CGT mampu mengurangi kadar trigliserida, kolesterol total, serta LDL, juga menaikkan HDL. Selain itu, terjadi perubahan pada metabolit yang mempunyai peranan pada metabolisme lipid, seperti penurunan *lysophosphatidylcholine*, metabolit inflamasi lipid, serta regulasi jalur metabolisme asam linoleat dan α -linolenat [52].

Kedua temuan tersebut ditunjang oleh penelitian lain yang mengemukakan bahwa teh hijau mampu memperbaiki metabolisme lipid melalui perbaikan profil lipid serum. Konsumsi ekstrak teh hijau sebanyak 800 mg/hari selama 4 minggu pada wanita pascamenopause mampu memperbaiki profil lipid serum secara signifikan. Kelompok yang mengonsumsi ekstrak teh hijau mengalami pengurangan kadar kolesterol total sebesar 18,1 mg/dL, trigliserida sebesar 35,1 mg/dL, serta LDL sebesar 11,7 mg/dL dibandingkan kelompok plasebo, namun tidak ditemukan perubahan yang signifikan pada kadar HDL. Perbaikan profil lipid tersebut diduga bersangkutan dengan kandungan katekin dan EGCG dalam teh hijau yang mampu menghambat penyerapan lemak di saluran pencernaan. Analisis temuan ini semakin menguatkan potensi teh hijau dalam memperbaiki metabolisme lipid sehingga dapat membantu mengurangi risiko komplikasi metabolik yang menyertai obesitas [53].

Selain itu, pada penelitian lain yang mengombinasikan *High-Intensity Interval Training* (HIIT) dengan ekstrak teh hijau selama 10 minggu menunjukkan peningkatan kadar Sirtuin 1, *Peroxisome Proliferator-Activated Receptor Gamma Coactivator 1-Alpha* (PGC-1 α) dan katalase yang disertai dengan penurunan berat badan, IMT, serta persentase lemak tubuh. Temuan ini menunjukkan bahwa teh hijau berpotensi membantu memperbaiki gangguan metabolik yang berkaitan dengan obesitas melalui peningkatan oksidasi lemak dan kapasitas antioksidan tubuh. Selain itu protein juga berpengaruh terhadap metabolisme lemak. Salah satu protein yang berperan dalam mengatur metabolisme energi adalah SIRT1 yang berfungsi meningkatkan oksidasi lemak dan sensitivitas insulin. Aktivasi SIRT1 dapat merangsang PGC-1 α , yaitu protein yang berperan dalam pembentukan mitokondria baru dan peningkatan produksi energi sel. Selain itu, katalase merupakan enzim antioksidan yang mendukung menjaga sel dari kerusakan diakibatkan radikal bebas. Di individu obesitas, aktivitas jalur metabolisme dan sistem antioksidan tersebut umumnya mengalami penurunan [54].

Membantu Proses Termogenesis

Termogenesis merupakan proses produksi panas oleh tubuh yang berperan dalam meningkatkan pengeluaran energi. Peningkatan termogenesis dapat membantu mengurangi akumulasi lemak karena energi yang tersimpan digunakan untuk menghasilkan panas. Salah satu mekanisme antiobesitas teh hijau diduga terjadi lewat aktivasi jaringan adiposa coklat. Penelitian menunjukkan bahwa konsumsi minuman teh hijau yang mengandung 615 mg katekin dan 77 mg kafein mampu meningkatkan pengeluaran energi sebesar 15,24 kkal pada pria sehat. Peningkatan tersebut terjadi karena katekin mengaktifasi saluran *Transient Receptor Potential* (TRP), khususnya TRPA1 yang kemudian merangsang sistem saraf simpatik dan memicu termogenesis pada jaringan adiposa coklat melalui aktivasi *Uncoupling Protein-1* (UCP1). Efek ini semakin diperkuat oleh adanya kafein yang bekerja sinergis dengan katekin [55].

Temuan ini didukung oleh penelitian lain yang menjabarkan bahwa ekstrak teh hijau mampu meningkatkan ekspresi gen-gen termogenik pada jaringan adiposa coklat, termasuk UCP1 yang berperan dalam mengubah energi menjadi panas. Terjadi peningkatan aktivitas jaringan adiposa coklat dan proses *fat browning* yaitu perubahan jaringan adiposa putih menjadi jaringan yang

memiliki karakteristik lebih mirip adiposa coklat sehingga lebih aktif membakar energi. Hasil penelitian tersebut menunjukkan katekin dalam teh hijau tidak hanya meningkatkan pengeluaran energi secara akut, tetapi juga berpotensi meningkatkan kapasitas termogenik tubuh dalam jangka panjang, sehingga berkontribusi terhadap pencegahan dan pengendalian obesitas [56].

Penelitian lain menunjukkan bahwa kombinasi *heat-treated green tea extract* dan *enzymatically modified isoquercitrin* mampu meningkatkan pengeluaran energi serta menurunkan massa lemak tubuh dan volume lemak abdominal di tikus yang diberikan diet tinggi lemak. Penurunan adipositas tersebut berkaitan dengan peningkatan ekspresi gen yang berperan dalam termogenesis dan metabolisme mitokondria pada jaringan adiposa. Selain itu, kelompok perlakuan menunjukkan peningkatan kadar cAMP dan AMPK yang berperan dalam lipolisis serta penggunaan energi [57].

Penurunan Indeks Massa Tubuh

Hubungan IMT dengan obesitas terletak pada kemampuannya dalam merefleksikan akumulasi lemak tubuh secara tidak langsung, semakin tinggi nilai IMT, semakin besar kemungkinan terjadinya kelebihan lemak tubuh, namun IMT mempunyai keterbatasan karena tidak bisa membedakan antara massa lemak serta massa otot, sehingga sering dikombinasikan dengan parameter lain seperti lingkaran pinggang untuk menilai distribusi lemak tubuh, terutama lemak visceral yang lebih berisiko terhadap gangguan metabolik [58]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsumsi ekstrak teh hijau dengan kandungan EGCG dosis tinggi selama 12 minggu mampu mengurangi IMT secara signifikan pada individu obesitas dibanding dengan kelompok plasebo. Penurunan IMT mengindikasikan adanya perbaikan status gizi dan komposisi tubuh yang terjadi seiring dengan penurunan berat badan selama periode intervensi. Hasil ini menunjukkan bahwa EGCG berpotensi membantu pengendalian obesitas melalui peningkatan metabolisme energi dan oksidasi lemak, sehingga mengurangi akumulasi lemak tubuh yang berkontribusi terhadap tingginya nilai IMT [59].

Temuan lain tentang pemberian teh hijau yang dikombinasikan dengan latihan aerobik memberikan pengaruh signifikan kepada penurunan parameter antropometri di remaja obesitas, ditandai dengan pengurangan berat badan sebesar 1,77 kg (2,5%), lingkaran pinggang 5,15 cm (5,5%), lingkaran panggul 3,1 cm (2,9%), serta IMT sebesar 1,09 (3,7%),

dengan seluruh parameter menunjukkan perbedaan signifikan. Penurunan ini dapat dijelaskan melalui mekanisme fisiologis berupa peningkatan metabolisme dan oksidasi lemak akibat kandungan katekin, khususnya EGCG, serta efek termogenik dari kafein dalam teh hijau. Di sisi lain, latihan aerobik meningkatkan pengeluaran energi melalui aktivitas fisik yang melibatkan otot secara kontinu, sehingga mempercepat terjadinya defisit energi. Kombinasi keduanya menghasilkan efek sinergis dalam menurunkan lemak tubuh dan memperbaiki parameter antropometri. Meskipun demikian, ketiadaan kelompok kontrol serta faktor lain seperti pola makan serta gaya hidup yang tidak dikontrol dengan ketat menjadi keterbatasan penelitian ini, sehingga diperlukan penelitian lanjutan dengan desain yang lebih kuat untuk memastikan kontribusi masing-masing faktor secara lebih spesifik [60].

Perbandingan Konsumsi Teh Hijau sebagai Minuman dan Ekstrak Teh Hijau

Efek teh hijau terhadap obesitas dapat dipengaruhi oleh bentuk, jumlah senyawa bioaktif yang dikonsumsi, serta durasi dan cara konsumsinya. Pada penelitian menggunakan teh hijau dapat digunakan dalam bentuk minuman maupun ekstrak yang memungkinkan pemberian senyawa bioaktif seperti katekin dengan jumlah lebih tinggi. Perbedaan metode konsumsi dapat memberikan hasil yang berbeda tergantung dosis dan cara pemberiannya. Pada penelitian dengan konsumsi teh hijau dalam bentuk minuman dengan kandungan katekin yang relatif lebih rendah berpotensi memberikan efek terhadap penurunan lemak visceral dan subkutan yang signifikan [51]. Pada penelitian lain efek konsumsi teh hijau dalam bentuk minuman dapat berpengaruh terhadap mekanisme pengeluaran energi. Pada pemberian selama lima minggu dengan konsumsi dua kali sehari meningkatkan pengeluaran energi melalui aktivitas BAT (*Brown Adipose Tissue*) [55].

Berbeda dengan kedua penelitian tersebut, beberapa penelitian menggunakan ekstrak teh hijau dengan konsentrasi senyawa bioaktif yang lebih tinggi. Pada penelitian dengan perlakuan dua kapsul ekstrak teh hijau masing-masing 400 mg sebanyak dua kali sehari selama 4 minggu, sehingga total ekstrak yang dikonsumsi mencapai 800 mg/hari. Setelah diberikan, kelompok ekstrak mengalami penurunan kolesterol total, trigliserida dan LDL yang lebih besar dibandingkan kelompok kontrol [53]. Penelitian lain menggunakan ekstrak teh hijau dengan kandungan EGCG sebesar 856,8 mg/hari selama 12 minggu. Hasil penelitian menunjukkan

penurunan berat badan dari 76,8 menjadi 75,7 kg, serta penurunan IMT dan lingkaran pinggang setelah intervensi. Selain itu, ditemukan kecenderungan penurunan kolesterol total dan LDL serta perubahan hormon yang berkaitan dengan regulasi obesitas [59].

Sinergi Konsumsi Teh Hijau dengan Gaya Hidup

Secara praktis, konsumsi teh hijau dapat dilakukan sebagai bagian dari pola makan sehari-hari dengan memperhatikan metode penyeduhan dan jumlah konsumsi yang sesuai. Manfaat teh hijau dalam pengendalian obesitas akan lebih optimal apabila dikombinasikan dengan pola makan sehat dan aktivitas fisik yang teratur. Penelitian menunjukkan bahwa konsumsi teh hijau yang dikombinasikan dengan latihan aerobik dapat membantu menurunkan berat badan, lingkaran pinggang, lingkaran panggul, dan indeks massa tubuh. Teh hijau akan lebih tepat digunakan sebagai bagian dari pola hidup sehat, bukan sebagai pengganti pola makan seimbang dan aktivitas fisik [60].

Cara penyeduhan juga perlu diperhatikan karena dapat memengaruhi jumlah senyawa bioaktif yang diperoleh dari teh. Beberapa penelitian menggunakan kondisi penyeduhan dengan air panas, seperti 98°C selama 5 menit untuk menghasilkan infus teh yang menyerupai cara konsumsi masyarakat [31]. Penelitian lain menggunakan 95°C selama 10 menit dan menunjukkan bahwa metode infus dapat digunakan untuk memperoleh senyawa fenolik dari teh [20], namun kedua penelitian tersebut tidak membandingkan berbagai suhu penyeduhan untuk menentukan suhu yang paling optimal. Suhu 95-98°C dapat disebut sebagai kondisi penyeduhan yang digunakan dalam penelitian, tetapi belum dapat dinyatakan sebagai suhu optimal untuk mempertahankan seluruh senyawa bioaktif teh hijau.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil telaah terhadap berbagai hasil penelitian dalam satu dekade terakhir, dapat disimpulkan bahwa teh hijau memiliki potensi yang besar sebagai intervensi nutrisi alami dalam pencegahan dan pengendalian obesitas. Potensi tersebut didukung oleh kandungan senyawa bioaktif utamanya yaitu katekin, terutama EGCG, kafein dan L-theanine yang bekerja melalui berbagai mekanisme, antara lain memperbaiki komposisi mikrobiota usus, memperbaiki kondisi perlemakan hati, mengatur peningkatan dan penurunan hormon,

meningkatkan sensitivitas insulin, mengatur metabolisme lemak, membantu proses termogenesis dan penurunan indeks massa tubuh, sehingga konsumsi teh hijau memiliki potensi kuat menjadi salah satu strategi pendukung dalam upaya pencegahan maupun pengelolaan obesitas apabila diiringi dengan pola makan sehat serta kegiatan fisik yang memadai. Meskipun demikian, kajian ini masih memiliki beberapa keterbatasan. Sebagian besar penelitian yang dianalisis menggunakan desain, dosis, lama intervensi, bentuk sediaan teh hijau, serta karakteristik subjek yang berbeda-beda baik secara genetik, kebiasaan harian, maupun profil mikrobiota, sehingga hasil antar penelitian belum sepenuhnya dapat dibandingkan secara langsung. Selain itu, tingkat bioavailabilitas senyawa bioaktif teh hijau serta uji keamanan dan risiko hepatotoksitas penggunaan ekstrak teh hijau dosis tinggi atau EGCG murni perlu dikaji lebih lanjut.

REFERENSI

- [1] M. Simalango *et al.*, "Analisis Daya Saing Ekspor Teh Indonesia Di Pasar Global Tahun 2017-2021," *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, vol. 9, no. 18, pp. 458–464, 2023, doi: zenodo.org/records/8314828.
- [2] W. L. Qolby *et al.*, "Analisis Dampak Sosial dan Ekonomi Komoditas Teh di Ciwidey Kota Bandung (1870-1874)," *ISTORIA: Jurnal Pendidikan dan Ilmu Sejarah*, vol. 19, no. 2, Aug. 2024, doi: [10.21831/istoria.v19i2.68394](https://doi.org/10.21831/istoria.v19i2.68394).
- [3] Badan Pusat Statistik, "Statistik Tanaman Perkebunan Tahunan Indonesia 2024 (Kelapa Sawit, Kopi, Kakao, Karet, Teh, dan Komoditas Perkebunan Unggulan)," 2025. Accessed: Sep. 03, 2026. [Online]. Available: https://www.bps.go.id/id/publication/2025/08/29/8d2a6ab3510f9828daf73191/statistik-tanaman-perkebunan-tahunan-indonesia-2024-kelapa-sawit-kopi-kakao-karet-teh-dan-komoditas-perkebunan-unggulan-.html?utm_source.
- [4] L. D. Anggraini, R. Rohadi, and A. S. Putri, "Komparasi Sifat Antioksidatif Seduhan Teh Hijau, Teh Hitam, Teh Oolong Dan Teh Putih Produksi Pt Perkebunan Nusantara IX," *Jurnal Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian*, vol. 13, no. 2, pp. 10–21, Jun. 2018, doi: <https://doi.org/10.26623/jtphp.v13i2.2379>.
- [5] C. Liu *et al.*, "Influence of leaf tenderness on the aroma and taste characteristics of green tea from *Camellia sinensis* cv. Chuancha No. 2: integrated sensory and chemical profiling,"

- Food Chem. X*, vol. 35, p. 103754, Apr. 2026, doi: 10.1016/j.fochx.2026.103754.
- [6] S. de Santana Khan *et al.*, “Accumulation of 5-methyltetrahydrofolate and other bioactive compounds, in the course of fermentation of green tea (*Camellia sinensis*) kombucha,” *Heliyon*, vol. 10, no. 13, p. e32809, Jul. 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e32809.
- [7] Q. Li *et al.*, “Exploring the taste code of light-withered tea: the mechanism of nonvolatile metabolite changes in LED light-withered oolong tea (*Camellia sinensis*),” *Food Chem. X*, vol. 30, Aug. 2025, doi: 10.1016/j.fochx.2025.102873.
- [8] A. A. F. Zielinski, C. W. I. Haminiuk, and T. Beta, “Multi-response optimization of phenolic antioxidants from white tea (*Camellia sinensis* L. Kuntze) and their identification by LC-DAD-Q-TOF-MS/MS,” *LWT*, vol. 65, pp. 897–907, 2016, doi: 10.1016/j.lwt.2015.09.020.
- [9] R. Yoshitomi *et al.*, “The combined effect of green tea and α -glucosyl hesperidin in preventing obesity: a randomized placebo-controlled clinical trial,” *Sci. Rep.*, vol. 11, no. 1, Dec. 2021, doi: 10.1038/s41598-021-98612-6
- [10] L. Noraida, M. Bintang, and B. Pontjo, “Ekstrak dan Fraksi N-heksana Teh Hijau sebagai Antiproliferasi Sel Kanker Payudara MCM-B2 In Vitro (N-hexane Extract and Fraction of Green Tea as Antiproliferation of MCM-B2 Breast Cancer Cells In Vitro),” *Current Biochemistry*, vol. 6, no. 2, pp. 92–105, 2019, doi: doi.org/10.29244/cb.6.2.3.
- [11] F. Alsenani *et al.*, “Understanding the role of green tea and matcha consumption in cardiovascular health, obesity, and diabetes: Insights from a Saudi Arabian population,” *Human Nutrition and Metabolism*, vol. 40, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.hnm.2025.200302.
- [12] A. M. Capucho *et al.*, “Chronic caffeine consumption prevents obesity-induced cognitive and memory impairments by reducing neuroinflammation and enhancing neuronal activity in the hippocampus,” *Pharmacol. Res.*, vol. 225, p. 108140, Mar. 2026, doi: 10.1016/j.phrs.2026.108140.
- [13] K. Meremäe, P. Raudsepp, L. Rusalepp, T. Laun, and M. Roasto, “Polyphenolic profiles, antioxidant capacity, and antibacterial activity of green tea, matcha tea, black tea, and yerba mate extracts,” *Applied Food Research*, vol. 5, no. 2, p. 101080, Dec. 2025, doi: 10.1016/j.afres.2025.101080.
- [14] D. S. Kohir, A. Murhan, and S. Sulastri, “Skrining Faktor Risiko Obesitas Usia Produktif,” *Jurnal Wacana Kesehatan*, vol. 9, no. 2, p. 97, Dec. 2024, doi: 10.52822/jwk.v9i2.673.
- [15] H. Liu *et al.*, “Long-Term Impact of Clinical Obesity on Heart Failure Development and Prognosis,” *JACC: Asia*, May 2026, doi: 10.1016/j.jacasi.2026.01.031.
- [16] Á. López-González *et al.*, “Early metabolic alterations in pediatric obesity: Depot-specific insights from untargeted adipose tissue metabolomics,” *J. Clin. Lipidol.*, 2026, doi: 10.1016/j.jacl.2026.03.003.
- [17] K. F. F. S. Albuquerque, M. P. Marinovic, A. C. Morandi, A. P. Bolin, and R. Otton, “Green tea polyphenol extract in vivo attenuates inflammatory features of neutrophils from obese rats,” *European Journal of Nutrition* 2015 55:3, vol. 55, no. 3, pp. 1261–1274, Jun. 2015, doi: 10.1007/S00394-015-0940-Z.
- [18] L. Zeng, X. Zhou, Y. Liao, and Z. Yang, “Roles of specialized metabolites in biological function and environmental adaptability of tea plant (*Camellia sinensis*) as a metabolite studying model,” *J. Adv. Res.*, vol. 34, pp. 159–171, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.jare.2020.11.004.
- [19] C. W. Nain *et al.*, “The Catechins Profile of Green Tea Extracts Affects the Antioxidant Activity and Degradation of Catechins in DHA-Rich Oil,” *Antioxidants*, vol. 11, no. 9, Sep. 2022, doi: 10.3390/antiox11091844.
- [20] M. Atak, E. Y. Kultu, D. Çavus, and M. Çomoğlu, “Handmade green tea: Antioxidant content and activity,” *Applied Food Research*, vol. 4, no. 100626, pp. 2772–5022, 2024, doi: doi.org/10.1016/j.afres.2024.100626.
- [21] A. Babatunde, T. Oluseyi, O. Kehinde, and O. Andrew, “Determination and Characterization of Caffeine in Tea, Coffee and Soft Drinks by Derivative Spectrophotometry and High Performance Liquid Chromatography,” *Biomedicine and Nursing*, vol. 3, no. 2, pp. 92–101, 2017, doi: 10.7537/marsbnj030217.14.
- [22] J. E. Pérez-Vargas *et al.*, “L -Theanine prevents carbon tetrachloride-induced liver fibrosis via inhibition of nuclear factor κ b and down-regulation of transforming growth factor β and connective tissue growth factor,” *Hum. Exp. Toxicol.*, vol. 35, no. 2, pp. 135–146, Feb. 2016, doi: 10.1177/0960327115578864.
- [23] H. Makizako *et al.*, “Effects of catechin-enriched green tea combined with exercise on physical performance and muscle mass in community-dwelling older adults: A cluster-randomized, placebo-controlled trial,” *Arch.*

- Gerontol. Geriatr.*, vol. 147, p. 106260, Aug. 2026, doi: 10.1016/j.archger.2026.106260.
- [24] K. Hu *et al.*, "In Vitro Fermentation of Green Tea by Human Gut Microbiota Enhances Bioactivity and Bidirectionally Modulates Polyphenol Metabolites and Gut Microbiota," *Foods*, vol. 15, no. 10, p. 1732, May 2026, doi: 10.3390/foods15101732.
- [25] T. Chen *et al.*, "Characterization of a new Camellia plant resource with low caffeine and high theobromine for production of a novel natural low-caffeine tea," *Food Chem. X*, vol. 23, p. 101586, Oct. 2024, doi: 10.1016/j.fochx.2024.101586.
- [26] N. Y. Noronha *et al.*, "Low-caffeine green tea supplementation reduced lithium serum levels and the relative abundance of microbiota in women with obesity: A case study," *Clinical Nutrition Open Science*, vol. 58, pp. 252–264, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.nutos.2024.09.012.
- [27] T. Sevenoaks and M. Yeomans, "Does habitual caffeine consumption moderate the association between a high fat and sugar diet and self-reported and episodic memory impairment in humans?," *Physiol. Behav.*, vol. 302, p. 115078, Dec. 2025, doi: 10.1016/j.physbeh.2025.115078.
- [28] G. Wu, T. Han, M. Wang, Z. Du, Z. Xie, and W. Gu, "L-theanine enhances the improvements of EGCG on glucose and lipid metabolism disorders in obese rats," *J. Funct. Foods*, vol. 123, p. 106580, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.jff.2024.106580.
- [29] K. Unno, *et al.*, "Stress-Relieving Effects of Japanese Green Tea: Evaluation Using the Molar Ratio of Caffeine and Epigallocatechin Gallate to Theanine and Arginine as an Indicator," *Foods*, vol. 14, no. 1, p. 103, Jan. 2025, doi: 10.3390/foods14010103.
- [30] B. R. Meyer, H. M. White, J. D. McCormack, and E. D. Niemeyer, "Catechin Composition, Phenolic Content, and Antioxidant Properties of Commercially-Available Bagged, Gunpowder, and Matcha Green Teas," *Plant Foods for Human Nutrition*, vol. 78, no. 4, pp. 662–669, Dec. 2023, doi: 10.1007/s11130-023-01121-2.
- [31] C. N. Zhao *et al.*, "Phenolic profiles and antioxidant activities of 30 tea infusions from green, black, oolong, white, yellow and dark teas," *Antioxidants*, vol. 8, no. 7, 2019, doi: 10.3390/antiox8070215.
- [32] G. H. Anderson *et al.*, "The Effect of Three Daily Servings of Full-Fat Dairy for 12 Weeks on Body Weight, Body Composition, Energy Metabolism, Blood Lipids, and Dietary Intake of Adults with Overweight and Obesity," *Journal of Nutrition*, vol. 156, no. 4, Apr. 2026, doi: 10.1016/j.tjnut.2026.101373.
- [33] M.- Karimah, "Waist-Hip Circumference Ratio as Strongest Factor Correlation with Blood Glucose Level," *Jurnal Berkala Epidemiologi*, vol. 6, no. 3, p. 219, Dec. 2018, doi: 10.20473/jbe.v6i32018.219-226.
- [34] K. Akyildiz, A. Yilmaz, U. Avci, M. N. Toraman, and Z. A. Yazici, "White Tea Consumption Alleviates Anthropometric and Metabolic Parameters in Obese Patients," *Medicina (B. Aires)*, vol. 60, no. 10, p. 1568, Sep. 2024, doi: 10.3390/medicina60101568.
- [35] F. Rubino *et al.*, "Definition and diagnostic criteria of clinical obesity," *Lancet Diabetes Endocrinol.*, vol. 13, no. 3, pp. 221–262, Mar. 2025, doi: 10.1016/S2213-8587(24)00316-4.
- [36] F. C. Stanford *et al.*, "One size does not fit all: Qualitative interviews with individuals with overweight or obesity and healthcare providers on navigating and supporting weight management," *Obesity Pillars*, vol. 18, Jun. 2026, doi: 10.1016/j.obpill.2026.100262.
- [37] G. Martos-Moreno, *et al.*, "A new era in childhood obesity," 2026, *Elsevier Inc.* doi: 10.1016/j.tem.2026.03.006.
- [38] P. Therdtatha *et al.*, "Gut microbiome of indonesian adults associated with obesity and type 2 diabetes: A cross-sectional study in an asian city, yogyakarta," *Microorganisms*, vol. 9, no. 5, May 2021, doi: 10.3390/microorganisms9050897.
- [39] H. Ma *et al.*, "The novel intervention effect of cold green tea beverage on high-fat diet induced obesity in mice," *J. Funct. Foods*, vol. 75, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.jff.2020.104279.
- [40] H. Mei *et al.*, "The Role of Green Tea on the Regulation of Gut Microbes and Prevention of High-Fat Diet-Induced Metabolic Syndrome in Mice," *Foods*, vol. 12, no. 15, Aug. 2023, doi: 10.3390/foods12152953.
- [41] H. M. Xia, J. Wang, X. J. Xie, L. J. Xu, and S. Q. Tang, "Green tea polyphenols attenuate hepatic steatosis, and reduce insulin resistance and inflammation in high-fat diet-induced rats," *Int. J. Mol. Med.*, vol. 44, no. 4, pp. 1523–1530, 2019, doi: 10.3892/ijmm.2019.4285.
- [42] A. Pezeshki, S. Safi, A. Feizi, G. Askari, and F. Karami, "The effect of green tea extract supplementation on liver enzymes in patients with nonalcoholic fatty liver disease," *Int. J. Prev. Med.*, vol. 7, no. 1, p. 28, 2016, doi: 10.4103/2008-7802.173051.

- [43] X. Wang *et al.*, "Tea polyphenols ameliorates insulin resistance and inflammation by modulating macrophage polarization via JAK2/STAT3 pathway in aged T2DM combined with NAFLD rats," *J. Funct. Foods*, vol. 127, p. 106727, Apr. 2025, doi: 10.1016/j.jff.2025.106727.
- [44] J. D. Griffin, Y. Zhu, A. Reeves, K. K. Buhman, and A. S. Greenberg, "Intestinal Acyl-CoA synthetase 5 (ACSL5) deficiency potentiates postprandial GLP-1 & PYY secretion, reduces food intake, and protects against diet-induced obesity," *Mol. Metab.*, vol. 83, May 2024, doi: 10.1016/j.molmet.2024.101918.
- [45] J. Wang *et al.*, "Green tea leaf powder prevents dyslipidemia in high-fat diet-fed mice by modulating gut microbiota," *Food Nutr. Res.*, vol. 64, 2020, doi: 10.29219/fnr.v64.3672.
- [46] H. J. Kim, "Insulin Sensitivity and Muscle Loss in the Absence of Diabetes Mellitus: Findings from a Longitudinal Community-Based Cohort Study," *J. Clin. Med.*, vol. 14, no. 4, Feb. 2025, doi: 10.3390/jcm14041270.
- [47] D. P. Singh *et al.*, "Isomalto-oligosaccharides, a prebiotic, functionally augment green tea effects against high fat diet-induced metabolic alterations via preventing gut dysbacteriosis in mice," *Pharmacol. Res.*, vol. 123, pp. 103–113, Sep. 2017, doi: 10.1016/j.phrs.2017.06.015.
- [48] R. Bagheri *et al.*, "Effects of green tea extract supplementation and endurance training on irisin, pro-inflammatory cytokines, and adiponectin concentrations in overweight middle-aged men," *Eur. J. Appl. Physiol.*, vol. 120, no. 4, pp. 915–923, Apr. 2020, doi: 10.1007/s00421-020-04332-6.
- [49] C. Iino *et al.*, "Green Tea Catechin Plus Inulin Improves Insulin Resistance Without Reducing Visceral Fat and Shows Exploratory Gut Microbiota Signals in Adults with Visceral Obesity: A Double-Blind Randomized Controlled Trial," *Nutrients*, vol. 18, no. 5, p. 851, Mar. 2026, doi: 10.3390/nu18050851.
- [50] X. Fan *et al.*, "Effect of high NEFA concentration on lipid metabolism disorders in hepatocytes based on lipidomics," *Front. Pharmacol.*, vol. 15, 2024, doi: 10.3389/fphar.2024.1372296.
- [51] M. Kobayashi, T. Kawano, Y. Ukawa, Y. M. Sagesaka, and I. Fukuhara, "Green tea beverages enriched with catechins with a galloyl moiety reduce body fat in moderately obese adults: a randomized double-blind placebo-controlled trial," *Food Funct.*, vol. 7, no. 1, pp. 498–507, 2016, doi: 10.1039/C5FO00750J.
- [52] C. Zhou *et al.*, "Compound green tea (CGT) regulates lipid metabolism in high-fat diet induced mice," *RSC Adv.*, vol. 12, no. 37, pp. 24301–24310, Aug. 2022, doi: 10.1039/d2ra02831j.
- [53] M. Tadayon, S. Movahedi, P. Abedi, and A. Syahpoosh, "Impact of green tea extract on serum lipid of postmenopausal women: A randomized controlled trial," *J. Tradit. Complement. Med.*, vol. 8, no. 3, pp. 391–395, Jul. 2018, doi: 10.1016/j.jtcme.2017.07.005.
- [54] E. Ghasemi, M. E. Afzalpour, and S. Nayebifar, "Combined high-intensity interval training and green tea supplementation enhance metabolic and antioxidant status in response to acute exercise in overweight women," *J. Physiol. Sci.*, vol. 70, no. 1, p. 31, Jun. 2020, doi: 10.1186/s12576-020-00756-z.
- [55] T. Yoneshiro *et al.*, "Tea catechin and caffeine activate brown adipose tissue and increase cold-induced thermogenic capacity in humans," *Am. J. Clin. Nutr.*, vol. 105, no. 4, pp. 873–881, Apr. 2017, doi: 10.3945/ajcn.116.144972.
- [56] H. Im, J. Lee, K. Kim, Y. Son, and Y.-H. Lee, "Anti-obesity effects of heat-transformed green tea extract through the activation of adipose tissue thermogenesis," *Nutr. Metab. (Lond.)*, vol. 19, no. 1, p. 14, Dec. 2022, doi: 10.1186/s12986-022-00648-6.
- [57] Y. J. Moon, H. S. Kim, M. J. Kim, H. Y. Im, and Y. H. Lee, "Synergistic Effects of Heat-Treated Green Tea Extract and Enzymatically-Modified Isoquercitrin in Preventing Obesity," *Nutrients*, vol. 15, no. 13, Jul. 2023, doi: 10.3390/nu15132931.
- [58] K. W. F. Ginta, H. Polii, and H. I. S. Wungouw, "Hubungan Indeks Massa Tubuh (IMT) dengan Ketebalan Lemak Viseral pada Remaja," *e-CliniC*, vol. 13, no. 3, pp. 343–347, May 2025, doi: 10.35790/ecl.v13i3.61337.
- [59] I.-J. Chen, C.-Y. Liu, J.-P. Chiu, and C.-H. Hsu, "Therapeutic effect of high-dose green tea extract on weight reduction: A randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial," *Clinical Nutrition*, vol. 35, no. 3, pp. 592–599, Jun. 2016, doi: 10.1016/j.clnu.2015.05.003.
- [60] C. Rismayanthi and Y. O. Purnama, "Pengaruh pemberian teh hijau (camellia sinensis) dengan latihan aerobik terhadap penurunan berat badan pada remaja obesitas," *MEDIKORA*, vol. 20, no. 2, pp. 162–171, Oct. 2021, doi: 10.21831/medikora.v20i2.43187.