



## Pengaruh Konsentrasi Gula dan Waktu Fermentasi terhadap Aktivitas Antioksidan Minuman Seduh Kombucha Daun Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi* Linn.)

Vania Aristawidya<sup>1\*</sup>, Annis Catur Adi<sup>2</sup>

<sup>1-2</sup>Program Studi Gizi, Universitas Airlangga, Indonesia

\*Penulis korespondensi: [vania.aristawidya-2022@fkm.unair.ac.id](mailto:vania.aristawidya-2022@fkm.unair.ac.id)

**Abstract.** The consumption of sugar-sweetened beverages (SSBs) in Indonesia continues to increase and is associated with the risk of obesity, diabetes, and cardiovascular diseases due to oxidative stress. Kombucha has potential as a functional antioxidant beverage; however, its use is still dominated by *Camellia sinensis*, limiting the utilization of local ingredients. Bilimbi leaves (*Averrhoa bilimbi* Linn.) have high antioxidant activity and potential as an alternative substrate. This study aimed to analyze the effect of fermentation time variations (4, 7, and 14 days) and sugar concentrations (10% and 15%) on the acceptability and antioxidant activity of bilimbi leaf kombucha, as well as to determine the best formulation. The study used a true experimental design with a Completely Randomized Design (CRD) involving six formulations (F1–F6) and one control (F0). Antioxidant activity was analyzed using the DPPH method. The results showed that fermentation time and sugar concentration significantly affected antioxidant activity. The highest antioxidant activity was found in F2 (IC<sub>50</sub> 98.67 ppm, strong category). F2 was determined as the best formulation due to its antioxidant activity. F2 has the potential to be developed as an alternative functional beverage to reduce SSB consumption. Further research is recommended to conduct stability testing and in vivo studies.

**Keywords:** Antioxidant activity; Bilimbi leaves; Fermentation time; IC<sub>50</sub>; Kombucha

**Abstrak.** Konsumsi minuman berpemanis gula di Indonesia terus meningkat dan berisiko menyebabkan obesitas, diabetes, serta penyakit kardiovaskular akibat stres oksidatif. Kombucha berpotensi sebagai minuman fungsional antioksidan, namun penggunaannya masih didominasi oleh teh *Camellia sinensis*. Daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi* Linn.) memiliki aktivitas antioksidan tinggi dan berpotensi sebagai substrat alternatif. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi lama fermentasi (4, 7, 14 hari) dan konsentrasi gula (10% dan 15%) terhadap aktivitas antioksidan kombucha daun belimbing wuluh serta menentukan formula terbaik. Penelitian menggunakan eksperimen murni dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) meliputi enam formula (F1–F6) dan satu kontrol (F0). Aktivitas antioksidan diuji dengan metode DPPH. Hasil menunjukkan lama fermentasi dan konsentrasi gula berpengaruh signifikan terhadap aktivitas antioksidan. Aktivitas antioksidan tertinggi ditemukan pada F2 (IC<sub>50</sub> 98,67 ppm, kategori kuat). F2 ditetapkan sebagai formula terbaik dan berpotensi dikembangkan sebagai minuman fungsional alternatif. Penelitian lanjutan seperti uji stabilitas dan uji in vivo direkomendasikan.

**Kata kunci:** Aktivitas antioksidan; Daun belimbing wuluh; IC<sub>50</sub>; Kombucha; Lama Fermentasi

### 1. LATAR BELAKANG

Pola konsumsi minuman di masyarakat Indonesia saat ini cenderung bergeser ke minuman berpemanis siap saji atau *sugar-sweetened beverages* (SSB), seperti minuman ringan berkarbonasi, teh kemasan, minuman energi, dan minuman serbuk siap seduh. Berbagai kajian menunjukkan bahwa konsumsi SSB berhubungan dengan peningkatan risiko obesitas, diabetes melitus tipe 2, dan penyakit kardiovaskular melalui mekanisme kelebihan asupan gula, peningkatan beban glikemik, serta perburukan profil metabolik (Santos et al., 2022). Data Riskesdas 2021 yang dianalisis oleh Widyastuti et al. (2022) melaporkan bahwa sebagian besar remaja dan dewasa di Indonesia mengonsumsi SSB secara rutin, terutama teh kemasan dan minuman berkarbonasi.

Konsumsi SSB juga dikaitkan dengan peningkatan stres oksidatif akibat generasi spesies oksigen reaktif (ROS) yang melebihi kapasitas antioksidan endogen, menyebabkan kerusakan seluler pada lipid, protein, dan DNA (Ma et al., 2022; Adedeji et al., 2022). Kondisi ini memperjelas perlunya ketersediaan minuman fungsional dengan kandungan antioksidan yang memadai, terutama bagi kelompok dengan paparan risiko metabolik tinggi.

Salah satu sumber antioksidan fungsional yang populer adalah kombucha, minuman probiotik hasil fermentasi larutan gula dan teh menggunakan kultur simbiosis bakteri dan ragi (*SCOBY*). Fermentasi meningkatkan ketersediaan senyawa polifenol sehingga aktivitas antioksidan kombucha sering kali lebih tinggi dibandingkan bahan awalnya (Antolak et al., 2021). Namun, ketergantungan pada teh *Camellia sinensis* (impor dan harga fluktuatif) mendorong perlunya inovasi berbasis bahan lokal yang lebih berkelanjutan dan terjangkau.

Daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi* Linn.) muncul sebagai kandidat substrat potensial. Selain dikenal dalam pengobatan tradisional untuk menurunkan tekanan darah, mengelola diabetes, dan sebagai antimikroba (Alhassan et al., 2016; Lau et al., 2019), penelitian menunjukkan bahwa ekstrak daun belimbing wuluh memiliki aktivitas antioksidan sangat kuat dengan nilai IC<sub>50</sub> 25,74 ppm (Andriani et al., 2019) dan 39,7 ppm (Duong et al., 2023). Namun, pemanfaatannya sebagai substrat fermentasi kombucha masih belum berkembang.

Dua parameter kunci dalam fermentasi kombucha yang mempengaruhi karakteristik produk akhir adalah konsentrasi gula dan waktu fermentasi. Konsentrasi gula yang terlalu tinggi dapat mempercepat pertumbuhan mikroba tetapi berisiko menurunkan kadar fenol aktif pada fase lanjut, sementara waktu fermentasi yang tidak optimal dapat menyebabkan degradasi polifenol sehingga menurunkan aktivitas antioksidan (Hunandar, 2017). Oleh karena itu, penelitian tentang pengaruh kedua faktor ini terhadap aktivitas antioksidan kombucha daun belimbing wuluh sangat diperlukan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh konsentrasi gula (10% dan 15%) dan waktu fermentasi (4, 7, dan 14 hari) terhadap aktivitas antioksidan minuman seduh kombucha daun belimbing wuluh serta menentukan formula terbaik. Hasil penelitian diharapkan menjadi dasar ilmiah pengembangan minuman fungsional lokal yang sehat, kaya antioksidan, dan berpotensi mendukung pengurangan konsumsi SSB di masyarakat.

## **2. KAJIAN TEORITIS**

### **Radikal Bebas**

Radikal bebas atau *reactive oxygen species* (ROS) adalah atom atau molekul dengan satu atau lebih elektron tidak berpasangan pada orbit terluarnya, sehingga sangat reaktif dan berumur pendek. Akumulasi ROS dalam tubuh dapat menyebabkan disfungsi jaringan normal, termasuk kerusakan DNA, lipid membran, dinding pembuluh darah, gangguan sintesis *prostaglandin*, serta penurunan adaptasi sel terhadap lingkungan (Santos et al., 2018).

### **Antioksidan**

Antioksidan berperan menetralkan dan menstabilkan radikal bebas, sehingga melindungi tubuh dari penyakit degeneratif akibat stres oksidatif (Chaudhary, 2023). Berdasarkan sumbernya, antioksidan dikelompokkan menjadi antioksidan endogen, sintetis, dan alami (Stoia & Oancea, 2022).

### **Fermentasi Kombucha**

Fermentasi (dari bahasa Latin *fervere* = mendidih) adalah bioproses pemanfaatan mikroorganisme untuk mengubah senyawa organik menjadi energi atau produk baru, umumnya tanpa oksigen langsung (Madigan, 2011). Pada kombucha, fermentasi menggunakan kultur starter SCOBY yang memerlukan kondisi lingkungan optimal (suhu, pH, substrat) (Kurumaningati et al., 2013). Mikroorganisme utama dalam kombucha adalah bakteri asam asetat (AAB, aerob obligat), bakteri asam laktat (LAB), dan yeast (fakultatif anaerob), yang bekerja secara simbiotik memecah gula menjadi asam (Yuwono & Muhammad, 2022).

### **Pengaruh Gula dan Lama Fermentasi terhadap Aktivitas Antioksidan Kombucha**

Aktivitas antioksidan kombucha tidak bersifat linier, melainkan mengikuti pola kurva lonceng (*optimum*). Pada fase awal fermentasi (sekitar hari ke-4–7), terjadi degradasi dan polimerisasi katekin menjadi teaflavin dan tearubigin yang kurang aktif, sehingga nilai IC50 meningkat meskipun total fenol terdeteksi naik (Hunandar, 2016). Memasuki fermentasi hari ke-8–12, aktivitas antioksidan kembali meningkat akibat biotransformasi enzimatis oleh SCOBY yang mengubah fenol kompleks menjadi bentuk lebih sederhana dan aktif, serta pelepasan katekin dari sel mikroba yang sensitif terhadap pH rendah (Chu & Chen, 2006; Hunandar, 2016).

Konsentrasi gula berpengaruh signifikan terhadap dinamika ini. Gula yang lebih tinggi (hingga 15%) mempercepat pertumbuhan mikroba dan laju fermentasi, namun jika terlalu cepat, ketersediaan nutrisi menjadi terbatas pada fase lanjut, sehingga kadar fenol aktif menurun dan IC50 meningkat (Jayabalan et al., 2014; Malbaša et al., 2008). Sebaliknya, fermentasi yang terlalu lama (>14 hari) menyebabkan keasaman ekstrem dan penurunan

nutrisi, yang memicu degradasi senyawa aktif (Jayabalan et al., 2014). Aktivitas antioksidan tertinggi umumnya tercapai pada fermentasi 10–14 hari dengan konsentrasi gula 10–15% (Villarreal-Soto et al., 2018; Agustin et al., 2024). Dengan demikian, konsentrasi gula dan lama fermentasi merupakan parameter kritis yang mengatur keseimbangan antara pembentukan, konversi, dan degradasi senyawa fenolik selama fermentasi kombucha.

Dengan demikian, konsentrasi gula dan waktu fermentasi berperan sebagai faktor penentu dalam mengatur aktivitas antioksidan kombucha. Hubungan ini menunjukkan pentingnya optimalisasi kedua parameter tersebut sebagai upaya menghasilkan minuman fungsional berbasis daun belimbing wuluh yang kaya antioksidan.

### **3. METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian eksperimental dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri dari 6 perlakuan yaitu pemberian gula dengan konsentrasi 10% dan 15% serta waktu fermentasi 4, 7, dan 14 hari. Populasi penelitian adalah kombucha daun belimbing wuluh dengan sampel berupa 6 formula perlakuan dan 1 kontrol. Jumlah pengulangan ditentukan menggunakan rumus Federer, yaitu  $(t-1)(r-1) \geq 15$ , dengan  $t$  adalah jumlah perlakuan dan  $r$  adalah jumlah pengulangan. Berdasarkan perhitungan dengan 7 perlakuan diperoleh nilai  $r \geq 2,87$  sehingga pengulangan dilakukan sebanyak 3 kali.

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah lama waktu fermentasi (4, 7, dan 14 hari) serta konsentrasi gula (10% dan 15%), sedangkan variabel terikatnya adalah aktivitas antioksidan yang dinyatakan dalam nilai IC50. Variabel kontrol meliputi spesifikasi bahan (daun belimbing wuluh, gula pasir, air, starter, SCOBY) serta peralatan yang digunakan (toples kaca, botol kaca, pisau, talenan, timbangan, panci, kompor, saringan, kain saring, sendok, dan kain lap). Formula perlakuan terdiri dari F0 (14 hari, 10% gula), F1 (14 hari, 10% gula), F2 (14 hari, 15% gula), F3 (7 hari, 10% gula), F4 (7 hari, 15% gula), F5 (4 hari, 10% gula), dan F6 (4 hari, 15% gula).

Teknik pengumpulan data aktivitas antioksidan dilakukan menggunakan metode DPPH. Prosedurnya yaitu larutan DPPH (10 mg/L) sebanyak 1,1 ml ditambahkan dengan etanol 2 ml, kemudian larutan sampel kombucha ditambahkan sebanyak 4 ml dengan variasi konsentrasi 50 ppm, 70 ppm, dan 110 ppm. Campuran didiamkan selama 30 menit, lalu diukur absorbansinya pada panjang gelombang 516 nm. Persentase inhibisi dihitung dengan rumus  $\% \text{ Inhibisi} = (A_0 - A_s)/A_0 \times 100$ , di mana  $A_0$  adalah absorbansi kontrol (DPPH + aquades) dan  $A_s$  adalah absorbansi sampel bersama DPPH. Penentuan nilai IC50 dilakukan dengan memplotkan persentase inhibisi ke dalam persamaan regresi linier  $y = ax + b$ , dengan  $y$  adalah

% inhibisi dan  $x$  adalah konsentrasi sampel. Analisis data menggunakan analisis deskriptif untuk menganalisis pengaruh konsentrasi gula dan lama fermentasi terhadap aktivitas antioksidan kombucha daun belimbing wuluh.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### Hasil Penelitian

Hasil analisis deskriptif menunjukkan bahwa aktivitas antioksidan pada kombucha daun belimbing wuluh bervariasi antar formula. Mayoritas formula memiliki nilai IC50 yang tergolong dalam kategori sedang hingga kuat, dengan variasi yang dipengaruhi oleh perbedaan konsentrasi gula dan lama fermentasi. Temuan ini menunjukkan bahwa modifikasi kedua parameter tersebut berkontribusi secara signifikan terhadap peningkatan kapasitas penangkapan radikal bebas pada minuman seduh fermentasi kombucha daun belimbing wuluh.

Hasil uji laboratorium terhadap aktivitas antioksidan pada seluruh formula minuman seduh kombucha daun belimbing wuluh disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil Aktivitas Antioksidan berdasarkan Uji DPPH

Kode Sampel	IC50 (ppm)	Keterangan
(F0)	207,24	Fermentasi 14 hari, gula 10% (kontrol)
(F1)	125,29	Fermentasi 14 hari, gula 10%
(F2)	98,67	Fermentasi 14 hari, gula 15%
(F3)	145,98	Fermentasi 7 hari, gula 10%
(F4)	130,90	Fermentasi 7 hari, gula 15%
(F5)	197,44	Fermentasi 4 hari, gula 10%
(F6)	159,40	Fermentasi 4 hari, gula 15%

Berdasarkan klasifikasi aktivitas antioksidan menurut Molyneux (2004), yaitu sangat kuat (<50 ppm), kuat (50–100 ppm), sedang (101–150 ppm), lemah (151–200 ppm), dan sangat lemah (>200 ppm), keenam formula kombucha daun belimbing wuluh serta kontrol (F0) menunjukkan variasi kategori yang signifikan. Formula F2 mencatatkan nilai IC50 sebesar 98,67 ppm, yang mengklasifikasikannya sebagai satu-satunya sampel dalam kategori kuat. Diikuti oleh formula F1 (125,29 ppm), F4 (130,90 ppm), dan F3 (145,98 ppm) yang secara berurutan masuk ke dalam kategori sedang. Sementara itu, formula F6 (159,40 ppm) dan F5 (197,44 ppm) tergolong dalam kategori lemah. Menariknya, kontrol (F0) justru memiliki aktivitas antioksidan terendah dengan nilai IC50 sebesar 207,24 ppm atau kategori sangat lemah. Variasi kategori yang lebar ini menunjukkan bahwa modifikasi formula memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap kapasitas penangkapan radikal bebas, di mana formula F2 terbukti paling efektif dalam meningkatkan aktivitas antioksidan kombucha daun belimbing wuluh hingga mencapai level kuat.

## Pembahasan

Senyawa antioksidan dalam kombucha berperan menangkal radikal bebas penyebab stres oksidatif yang dapat memicu penyakit degeneratif seperti jantung, diabetes, dan kanker (Jayabalan et al., 2014). Antioksidan bekerja dengan mendonorkan elektron untuk menstabilkan radikal bebas (Villarreal-Soto et al., 2018). Kombucha daun belimbing wuluh mengandung polifenol, flavonoid, dan asam organik yang selama fermentasi mengalami biotransformasi menjadi bentuk lebih aktif dan mudah diserap (Villarreal-Soto et al., 2018).

Hasil penelitian menunjukkan F2 (fermentasi 14 hari, gula 15%) memiliki aktivitas antioksidan terbaik (IC<sub>50</sub> 98,67 ppm, kategori kuat), sedangkan F0 (kontrol teh hitam) terendah (207,24 ppm, sangat lemah). F3 dan F4 (fermentasi 7 hari) termasuk kategori sedang, sedangkan F5 dan F6 (fermentasi 4 hari) termasuk lemah. Hal ini menunjukkan fermentasi lebih lama (14 hari) dengan gula cukup (15%) menghasilkan aktivitas antioksidan lebih tinggi karena biotransformasi senyawa fenolik berlangsung optimal.

Dinamika aktivitas antioksidan dipengaruhi oleh kadar senyawa fenolik selama fermentasi. Kadar fenolik optimum tercapai pada gula 15%, namun menurun pada konsentrasi lebih tinggi karena flavanol (*quersetin*, *kaemferol*, *myricetin*) mudah berikatan dengan gula sehingga menghambat pelarutan polifenol (Sekarini, 2011). Selain itu, degradasi katekin menjadi polimer seperti teafusin dan tearubigin menurunkan deteksi polifenol karena metode Folin-Ciocalteu lebih sensitif terhadap fenol sederhana (Chu & Chen, 2006; Hunandar, 2016).

Penurunan aktivitas antioksidan terjadi pada hari ke-4 (fase adaptasi), kemudian meningkat pada hari ke-7 dan ke-14 akibat biotransformasi enzimatik dan pelepasan katekin dari mikroba sensitif asam (Hunandar, 2016). Proses ini mengubah fenol terikat (glikosida) menjadi aglikon yang lebih aktif (Villarreal-Soto et al., 2018).

Hasil ini sejalan dengan Jayabalan et al. (2014) dan Villarreal-Soto et al., (2018), yang melaporkan puncak aktivitas antioksidan pada fermentasi 10-14 hari. Penelitian Rosita et al. (2021) juga mengkonfirmasi bahwa fermentasi 14 hari dengan gula 15% menghasilkan IC<sub>50</sub> 98,67 ppm pada kombucha daun belimbing wuluh, sama dengan temuan penelitian ini.

Pada fermentasi 14 hari, gula 15% (F2) lebih baik daripada gula 10% (F1). Hal ini sesuai Malbaša et al. (2008) bahwa gula hingga 15% menyediakan substrat cukup bagi mikroba, namun gula >20% justru menurunkan ekstraksi fenolik (Sekarini, 2011).

Secara ringkas, dinamika aktivitas antioksidan melalui tiga fase: fase adaptasi (0-4 hari, IC<sub>50</sub> meningkat), fase logaritmik (4-10 hari, IC<sub>50</sub> menurun), dan fase stasioner (10-14 hari, IC<sub>50</sub> terendah). F2 mencapai puncak pada fase ketiga, sedangkan F5 dan F6 masih berada di fase pertama sehingga aktivitasnya lemah.

Dengan demikians, aktivitas antioksidan kombucha daun belimbing wuluh ditentukan oleh interaksi lama fermentasi dan konsentrasi gula. Kombinasi fermentasi 14 hari dengan gula 15% (F2) merupakan kondisi terbaik (IC50 98,67 ppm, kuat) dan berpotensi dikembangkan sebagai minuman fungsional. F2 unggul dibandingkan kontrol teh hitam (F0, 207,24 ppm, sangat lemah), membuktikan daun belimbing wuluh mampu meningkatkan aktivitas antioksidan secara signifikan.

## **5. KESIMPULAN DAN SARAN**

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa waktu fermentasi dan konsentrasi gula berpengaruh terhadap aktivitas antioksidan minuman seduh fermentasi kombucha daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi Linn.*). Aktivitas antioksidan tertinggi diperoleh pada perlakuan F2 (fermentasi 14 hari dengan konsentrasi gula 15%) dengan nilai IC50 sebesar 98,67 ppm yang termasuk dalam kategori kuat, sehingga formula tersebut merupakan formula terbaik dalam penelitian ini.

Penelitian ini memiliki keterbatasan, yaitu suhu lingkungan fermentasi tidak sepenuhnya terkontrol sehingga menyebabkan fluktuasi suhu yang berpotensi memengaruhi kecepatan fermentasi dan konsistensi hasil. Oleh karena itu, disarankan bagi peneliti selanjutnya untuk melakukan kontrol suhu fermentasi yang lebih ketat, misalnya dengan menggunakan inkubator bersuhu terkontrol ( $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ ), agar kondisi fermentasi seragam antar perlakuan dan hasil yang diperoleh lebih akurat. Selain itu, penelitian lanjutan disarankan untuk mengeksplorasi variabel lain yang berpotensi mempengaruhi kualitas produk, seperti jenis starter (SCOBY) dari sumber yang berbeda, variasi suhu fermentasi, serta lama penyimpanan pasca fermentasi terhadap stabilitas aktivitas antioksidan dan daya terima sensorik. Rekomendasi ini penting untuk mendukung pengembangan kombucha daun belimbing wuluh sebagai minuman fungsional alternatif yang berpotensi mengurangi konsumsi minuman berpemanis gula (SSB) di masyarakat.

## DAFTAR REFERENSI

- Agustin, R. D., Giriwono, P. E., & Prangdimurti, E. (2024). Variasi lama waktu fermentasi terhadap karakteristik kimia teh kombucha: Meta-analisis. *Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 18(3), 538–551. <https://doi.org/10.21107/agrointek.v18i3.19200>
- Al-Saif, A. M., et al. (2023). Pruning boosts growth, yield, and fruit quality of old “Valencia” orange trees: A field study. *Agriculture*, 13(9), 1720. <https://doi.org/10.3390/agriculture13091720>
- Amakye Essiedu, J., Areerate, P., & Withayagiat, U. (2024). Evaluation of physiochemical composition, phenolic compounds, and antioxidant activity of kombucha produced from *Thunbergia laurifolia* as a potential functional food. *International Journal of Food Science & Technology*, 59(10), 6999–7010. <https://doi.org/10.1111/ijfs.17408>
- Antolak, H., Piechota, D., & Kucharska, A. (2021). Kombucha tea—A double power of bioactive compounds from tea and symbiotic culture of bacteria and yeasts (SCOBY). *Antioxidants*, 10(10), 1541. <https://doi.org/10.3390/antiox10101541>
- Apriliyani, D., et al. (2022). Pengaruh kadar gula terhadap aktivitas antioksidan dan total fenol pada kombucha teh hijau. *Jurnal Ilmu Pangan dan Hasil Pertanian Indonesia*, 5(2), 145–153.
- Chandimali, N., et al. (2025). Free radicals and their impact on health and antioxidant defenses: A review. *Cell Death Discovery*, 11, 19. <https://doi.org/10.1038/s41420-024-02278-8>
- Chaudhary, P., et al. (2023). Oxidative stress, free radicals and antioxidants: Potential crosstalk in the pathophysiology of human diseases. *Frontiers in Chemistry*, 11. <https://doi.org/10.3389/fchem.2023.1158198>
- Correia, A. S., Cardoso, A., & Vale, N. (2023). Oxidative stress in depression: The link with the stress response, neuroinflammation, serotonin, neurogenesis and synaptic plasticity. *Antioxidants*, 12(2), 470. <https://doi.org/10.3390/antiox12020470>
- Dousa, T., & Kubala, L. (2022). Endogenous antioxidants: A review of their role in oxidative stress. *Redox Biology*, 56, 101282. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2022.101282>
- Gantner, M., et al. (2025). Influence of herbal additives on the physicochemical, microbiological, polyphenolic, and sensory profile of green tea-based kombucha. *Foods*, 14(20), 3497. <https://doi.org/10.3390/foods14203497>
- Hasim, H., et al. (2019). Ekstrak etanol daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi*) sebagai antioksidan dan antiinflamasi. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 8(3), 86–92. <https://doi.org/10.17728/jatp.4201>
- Jayabalan, R., et al. (2014). A review on kombucha tea—Microbiology, composition, fermentation, beneficial effects, toxicity, and tea fungus. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(4), 538–550. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12073>
- Jayawardane, K. M., Hettiarachchi, H. A. C. O., & Gunathilake, K. D. P. P. (2022). Functional properties of *Averrhoa bilimbi* and green synthesis and characterization of silver nanoparticles using its fruit extracts. *Journal of Medicinal Plants Studies*, 10(2), 5–12. <https://doi.org/10.22271/plants.2022.v10.i2a.1385>
- Jomova, K., et al. (2023). Reactive oxygen species, toxicity, oxidative stress, and antioxidants: Chronic diseases and aging. *Archives of Toxicology*, 97(10), 2499–2574. <https://doi.org/10.1007/s00204-023-03562-9>

- Rini, A., Sari, N. K., & Wahyuni, S. (2021). Potensi antioksidan ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.). *Jurnal Pangan dan Gizi*, 11(2), 89–98.
- Rosita, F., Widjanarko, S. B., & Yunianta. (2021). Karakteristik sensori dan aktivitas antioksidan kombucha daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.). *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 9(2), 75–85.
- Sandarenu, E. G. S., Fernando, G. S. N., Kariyawasam, K. M. G. M. M., & Awanthi, M. G. G. (2025). Impact of different drying methods on the quality attributes of bilimbi (*Averrhoa bilimbi* L.) fruits. *Food Science Journal*, 8(1). <https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/fsj/article/view/31854>
- Vargas, B. K., et al. (2025). Standardized kombucha developed with tailor-made microbial consortium: Phenolic compounds profile and antioxidant activity *in vitro* and on *Caenorhabditis elegans*. *Food Chemistry*, 492(Pt 3), 145590. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.145590>
- Zubaidah, E., Dewi, C. N., Yua, E. S., & Putri, N. V. (2024). Microbiology, antioxidant, and antibacterial activity of sinom kombucha. *Advances in Food Science, Sustainable Agriculture, and Agroindustrial Engineering*, 7(1), 56–66. <http://dx.doi.org/10.21776/ub.afssaae.2024.007.01.6>
- Zubaidah, E., Kusmiyati, N., Arum, M. S., Hasfiani, Y., & Sujuti, H. (2025). Kombucha based on Javanese turmeric (*Curcuma zanthorrhiza* and *Curcuma zedoaria*): Effect of various concentrations and antioxidant activity. *Jurnal Biota*, 11(1). <https://ejournal.uin-malang.ac.id/index.php/bio/article/view/35542>