

Pharmacology and Pharmacoeconomics of Kombucha as a Functional Immunomodulatory Food for Children with Special Needs at Elementary School Level: Literature Review

Siti Jubaedah¹, Yugga Tri Surahman², Firman Rezaldi^{3*}, Fahmi Alamil Huda⁴, Erni Suminar⁵, Syariful Mubarak⁵

¹Program Studi Pendidikan Khusus, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Doktor Nugroho Magetan, Jawa Timur, Indonesia;

²Program Studi Pendidikan Guru Sekolah Dasar, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Doktor Nugroho Magetan, Jawa Timur, Indonesia;

³Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Pertanian, Universitas Doktor Nugroho Magetan, Jawa Timur, Indonesia;

⁴Program Studi Sosial Ekonomi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Doktor Nugroho Magetan, Jawa Timur, Indonesia;

⁵Program Studi Budidaya Tanaman, Departemen Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran, Jatinangor, Jawa Barat, Indonesia;

Article History

Received : January 25th, 2026

Revised : February 10th, 2026

Accepted : February 22th, 2026

*Corresponding Author:

Firman Rezaldi, Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Pertanian, Universitas Doktor Nugroho Magetan, Jawa Timur, Indonesia;

Email: firmarezaldi4@gmail.com

Abstract: Kombucha is a fermented tea-based beverage containing various bioactive compounds such as polyphenols, flavonoids, organic acids (acetic, gluconic, and glucuronic acids), and probiotic microorganisms produced by the *Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast* (SCOBY). These compounds exhibit antioxidant, anti-inflammatory, and immunomodulatory activities that may support immune function. This study aimed to analyze the pharmacological and pharmacoeconomic aspects of kombucha as a functional immunomodulatory food for elementary-level children with special needs through a systematic literature review approach. Data were collected from Scopus-indexed journals and other reputable scientific databases published between 2016 and 2025. The findings indicate that kombucha exerts pharmacological effects by modulating pro-inflammatory and anti-inflammatory cytokines, enhancing antioxidant activity, and improving gut microbiota balance, thereby contributing to immune homeostasis. From a pharmacoeconomic perspective, kombucha shows potential as a cost-effective preventive functional food intervention with relatively low production costs and potential long-term healthcare cost efficiency. However, direct clinical evidence in children with special needs remains limited, highlighting the need for further experimental and clinical studies to establish safety, efficacy, and comprehensive cost-benefit evaluation.

Keywords: Children with special needs, functional food, immunomodulator, kombucha, pharmacology, pharmacoeconomics.

Pendahuluan

Kombucha adalah minuman hasil fermentasi teh manis menggunakan kultur simbiotik bakteri dan ragi (SCOBY), yang dikenal karena kandungan senyawa bioaktifnya seperti asam organik, polifenol, flavonoid, vitamin, serta mikroba fermentasi yang bermanfaat. Proses fermentasinya tidak

hanya memodifikasi komposisi kimia teh asli, tetapi juga meningkatkan aktivitas antioksidan dan probiotik yang potensial meningkatkan kesehatan tubuh hingga berperan sebagai pangan fungsional (Khamidah *et al.*, 2020). Kajian ilmiah, kombucha sering dideskripsikan sebagai minuman fungsional karena sifat biologisnya yang dapat mendukung keseimbangan sistem imun dan mikrobiota

usus melalui aktivitas antioksidan, antimikroba, dan antiinflamasi, yang semuanya merupakan komponen penting dalam modulasi respon imun (Hananta *et al.*, 2025).

Hasil Penelitian juga menunjukkan bahwa varietas kombucha yang dimodifikasi (misalnya memakai ekstrak buah atau herbal) dapat menurunkan sitokin pro-inflamasi seperti IL-1 β dan IL-6 serta meningkatkan sitokin anti-inflamasi seperti IL-10, menunjukkan aktivitas imunomodulator yang signifikan di tingkat molekuler (Sornkayazit *et al.*, 2024). Senyawa bioaktif yang dihasilkan selama fermentasi berperan sebagai agen antioksidan yang mampu menghambat radikal bebas dan membantu menghentikan kerusakan oksidatif sel, suatu mekanisme yang sangat relevan dalam kesehatan dan perkembangan anak secara umum (Pujiyanti & Ilmi, 2025).

Kombucha sebagai pangan fungsional juga menunjukkan potensi probiotik dan prebiotik melalui mikroba fermentasinya yang terlibat dalam modulasi mikrobiota usus (Ningtyas, 2025). Polifenol dan asam organik yang terkandung di dalamnya diasosiasikan dengan peningkatan keseimbangan bakteri usus yang mendukung sistem kekebalan tubuh (Khamidah *et al.*, 2020). Aktivitas imunomodulator kombucha berdasarkan perspektif farmakologi ditentukan oleh kombinasi senyawa bioaktif dan metabolit mikroba yang dihasilkan dari fermentasi jangka panjang serta komposisi *SCOPY* (Kusmiati *et al.*, 2025). Polifenol, asam organik seperti asam asetat dan asam glukuronat, serta mikroba probiotik yang menunjukkan sinergi dalam menurunkan induksi sitokin pro-inflamasi dan menguatkan mekanisme pertahanan tubuh (Sornkayazit *et al.*, 2024).

Sementara itu dari sisi farmakoekonomi, peningkatan minat terhadap kombucha sebagai minuman kesehatan turut mendorong pertumbuhan pasar global produk ini. Analisis pasar global menunjukkan kombucha sebagai salah satu segmen minuman fungsional dengan pertumbuhan yang pesat dan nilai ekonomi yang meningkat, didorong oleh kesadaran konsumen terhadap kesehatan pencernaan dan kekebalan tubuh. Pertumbuhan industri ini menunjukkan nilai ekonomis yang potensial dalam penyediaan produk fungsional di

berbagai pasar termasuk untuk segmen anak (Sandambi, 2021).

Konteks anak kebutuhan khusus level sekolah dasar, potensi kombucha sebagai pangan fungsional dengan sifat imunomodulator memberikan peluang penelitian tambahan tentang dampaknya terhadap kesehatan anak yang memiliki kebutuhan imun atau metabolik khusus. Anak-anak di tahap perkembangan ini memerlukan asupan nutrisi yang mendukung pertumbuhan, imunitas, dan pencegahan penyakit, sehingga pemahaman farmakologis dan nilai ekonomis konsumsi kombucha dalam kelompok ini perlu ditelaah lebih lanjut. Studi ini bertujuan untuk menganalisis aspek farmakologis dan farmakoekonomi kombucha sebagai makanan imunomodulator fungsional untuk anak-anak berkebutuhan khusus tingkat sekolah dasar melalui pendekatan tinjauan pustaka sistematis.

Bahan dan Metode

Jenis dan Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kajian pustaka (literature review) dengan metode *systematic literature review* (SLR) yang bertujuan untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mensintesis bukti ilmiah terkait aspek farmakologi dan farmakoekonomi kombucha sebagai pangan fungsional imunomodulator, khususnya dalam konteks potensi aplikasinya pada anak berkebutuhan khusus (ABK) tingkat sekolah dasar. Pendekatan ini dipilih untuk memperoleh gambaran komprehensif mengenai Mekanisme farmakologi kombucha sebagai imunomodulator, Kandungan bioaktif dan aktivitas biologisnya, Efektivitas klinis dan keamanan konsumsi, dan Analisis biaya-manfaat (cost-effectiveness) dalam konteks pangan fungsional.

Sumber Data

Data diperoleh dari artikel ilmiah bereputasi internasional yang terindeks Scopus, serta basis data ilmiah lainnya seperti *PubMed*, *ScienceDirect*, *SpringerLink*, *Wiley Online Library*, *Google Scholar* (sebagai sumber tambahan). Artikel yang digunakan diprioritaskan terbit dalam 10 tahun terakhir (2016–2025) untuk memastikan kebaruan

literatur, dengan fokus pada jurnal terindeks Scopus Q1–Q3 (Rezaldi *et al.*, 2026).

Strategi Penelusuran Literatur

Penelusuran dilakukan menggunakan kombinasi kata kunci berikut: “*Kombucha pharmacology*”, “*Kombucha immunomodulatory activity*”, “*Fermented tea immune response*”, “*Kombucha bioactive compounds*”, “*Functional food immunomodulator*”, “*Pharmacoeconomics functional food*”, “*Probiotic children immunity*”, “*Special needs children immune system*” Operator Boolean yang digunakan: AND, OR.

Kriteria Inklusi

Kriteria inklusi dalam penelitian ini diantaranya adalah Artikel penelitian asli (*original research*) dan review sistematis, Terindeks Scopus, Terbit tahun 2016–2025. Pokok bahasan yang diawali terdiri atas: Aktivitas farmakologi kombucha, Mekanisme imunomodulator, Kandungan bioaktif, Aspek keamanan, Analisis ekonomi pangan fungsional. Artikel berbahasa Inggris atau Indonesia (Rezaldi *et al.*, 2025).

Kriteria Eksklusi

Kriteria eksklusi dalam penulisan ini terdiri atas Artikel non-ilmiah (opini, editorial, blog), Artikel tanpa full text, Duplikasi artikel, dan Penelitian yang tidak relevan dengan imunomodulasi atau farmakoeкономи.

Proses dan Seleksi Literatur

Proses seleksi dilakukan melalui tahapan berikut:

- Identifikasi** : Mengumpulkan seluruh artikel dari database berdasarkan kata kunci.
- Screening** : Menyaring berdasarkan judul dan abstrak.
- Eligibility** : Membaca full text untuk memastikan kesesuaian dengan topik penelitian.
- Inklusi** : Artikel yang memenuhi kriteria dianalisis lebih lanjut. Proses ini mengikuti alur PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) untuk meningkatkan transparansi dan validitas kajian.

Teknik Analisis Data

Teknik analisis data terdiri dari analisis data kualitatif, analisis sintesis naratif, dan analisis farmakoeкономи. Analisis data kualitatif

(deskripsi) digunakan untuk menguraikan mengenai mekanisme kombucha sebagai imunomodulator, menjelaskan mengenai peran senyawa bioaktif utama dalam kandungan kombucha seperti polifenol, asam organik, dan probiotik, dan mendeskripsikan efek secara biologis bagi sistem imun. Analisis sintesis naratif dilakukan bertujuan untuk mengintegrasikan hasil berbagai hasil penelitian. Membandingkan temuan antar studi. Mengidentifikasi kesenjangan penelitian (*research gap*). Analisis farmakoeкономи merupakan salah satu pendekatan yang digunakan meliputi *Cost-effectiveness analysis* (CEA), *Cost-benefit analysis* (CBA), Analisis komparatif antara kombucha dan suplemen imunomodulator konvensional. Parameter yang dianalisis dalam analisis farmakoeconomy meliputi biaya produksi, biaya distribusi, biaya konsumsi anak dalam setiap bulan, dan potensi pengurangan biaya kesehatan secara preventif.

Validitas dan Realibilitas Data

Validitas dan realibilitas data bertujuan untuk memanfaatkan jurnal bereputasi *Scopus*, melakukan *cross-check* antar sumber, dan mengutamakan penelitian melalui metode eksperimental dan uji klinis.

Kerangka Konseptual Penelitian

Penulisan ini didasarkan pada hubungan antara kandungan senyawa bioaktif pada kombucha, aktivitas farmakologi, modulasi sistem imun, potensi bagi anak berkebutuhan khusus, dan analisis efisiensi biaya (farmakoeconomy).

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Bioaktif Kombucha dan Mekanisme Farmakologi

Berdasarkan kajian pustaka, kombucha merupakan minuman fermentasi hasil dari teh manis yang difermentasi oleh kultur simbiotik bakteri dan ragi (*SCOBY*), menghasilkan berbagai senyawa bioaktif seperti asam organik (*acetic, gluconic, glucuronic acids*), polifenol, flavonoid, serta metabolit lain yang memiliki aktivitas biologis potensial. Senyawa ini diketahui memiliki aktivitas antioksidan, anti-inflamasi, dan modulasi mikrobiota usus yang menjadi dasar mekanisme farmakologinya

(Hanata *et al.*, 2025).

Lebih lanjut, studi eksperimental menunjukkan bahwa kombucha dapat menghambat produksi sitokin pro-inflamasi seperti IL-1 β dan IL-6 serta meningkatkan ekspresi sitokin anti-inflamasi, menunjukkan aktivitas imunomodulator yang relevan terhadap respon imun tubuh (Sornkayasit *et al.*, 2024). Kandungan antioksidan yang tinggi berupa polifenol dan flavonoid juga berkontribusi terhadap kemampuan kombucha dalam menetralkan radikal bebas, yang secara tidak langsung mendukung sistem imun dengan mengurangi stres oksidatif (Rezaldi *et al.*, 2024). Senyawa antioksidan bekerja sebagai *scavenger* radikal bebas sehingga dapat menurunkan kerusakan sel imun dan non-sel imun. Asam organik seperti glukuronik acid terlibat dalam detoxifikasi dan modulasi respon sel imun. Modifikasi mikroflora usus (*gut microbiota*) berkontribusi pada modulasi immuno-homeostasis melalui produksi SCFA (*short-chain fatty acids*).

Kombucha dan Imunitas: Bukti Empiris Efek Imunomodulator dalam Studi Eksperimental dan Review

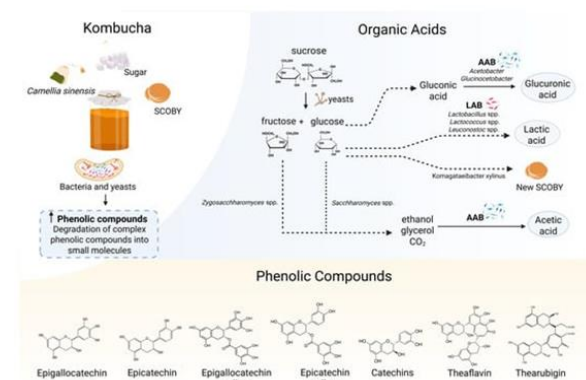
Beberapa studi ilmiah modern menunjukkan bukti bahwa kombucha dapat berperan dalam respon imun:

1. Studi *ex vivo* dan *in vitro* menunjukkan bahwa kombucha yang dimodifikasi (misalnya dengan bahan tambahan buah) dapat menurunkan ekspresi sel imun senescent dan memodulasi populasi bakteri probiotik, mengindikasikan potensi penguatan respon imun (Sornkayasit *et al.*, 2024).
2. Uji preklinikal pada model hewan dengan kombinasi bahan tambahan seperti kunyit menunjukkan peningkatan status imun adaptif (mis. peningkatan CD4⁺, TNF- α , IFN- γ) dan penurunan indikator inflamasi (IL-6), menegaskan potensi imunomodulator kombucha *in vivo* (Zubaidah *et al.*, 2021).

Bukti Klinis pada Konsumsi Kombucha

Secara klinis, bukti langsung konsumsi kombucha pada manusia masih terbatas, tetapi beberapa uji klinis menunjukan bahwa kombinasi mikroba dan metabolit dalam

kombucha dapat memodulasi komposisi mikrobiota usus yang berhubungan dengan penurunan peradangan usus dan potensi imunomodulator (misalnya perubahan proporsi *Bacteroidota*, *Akkermansiaceae*, dan *Saccharomyces*) (Fraiz *et al.*, 2025). Hal ini relevan secara tidak langsung pada anak berkebutuhan khusus yang sering menunjukkan disrupsi mikrobiota usus yang berkaitan dengan status imun, pencernaan, dan kesehatan umum (Gambar 1).



Gambar 1. Mekanisme fermentasi kombucha

Mekanisme yang terlibat dalam fermentasi kombucha dan komposisi akhir yang kaya akan senyawa fenolik dan asam organik. Selama fermentasi teh Camellia sinensis yang diberi gula, interaksi simbiosis antara ragi dan bakteri diaktifkan. Ragi menghidrolisis sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa, yang selanjutnya dimetabolisme menjadi etanol dan CO₂ (karbon dioksida). Bakteri kemudian mengubah glukosa dan etanol menjadi berbagai asam organik (misalnya, asam glukuronat, asam asetat) dan mensintesis selulosa bakteri, yang berkontribusi pada pembentukan biofilm kultur simbiosis bakteri dan ragi (SCOBY) yang baru. Selain itu, senyawa fenolik kompleks yang ada dalam teh dipecah menjadi molekul yang lebih kecil (misalnya, katekin), yang menyebabkan peningkatan konsentrasi senyawa fenolik yang tersedia secara hayati. Transformasi biokimia ini bertanggung jawab atas sifat antioksidan dan anti-inflamasi minuman tersebut (Fraiz *et al.*, 2025).

Potensi Farmakoeкономи Kombucha

Kajian farmakoeкономи terkait kombucha masih terbatas secara empiris; namun beberapa

aspek dapat ditarik dari literatur terkait ekonomi produksi minuman fermentasi ini:

1. Pertumbuhan pasar global kombucha menunjukkan kombucha sebagai minuman fungsional dengan pertumbuhan pesat dan nilai pasar bernilai miliaran dolar. Pertumbuhan ini mencerminkan permintaan konsumen terhadap produk yang berkontribusi pada kesehatan (de Oliveira *et al.*, 2023).
2. Analisis biaya-manfaat produksi kombucha menunjukkan bahwa produksi minuman ini memberikan rasio keuntungan yang layak (benefit-cost ratio > 1) serta potensi efisiensi biaya seiring skala produksi yang lebih besar (Mohammadshirazi & Kalhor, 2016).
3. Dari sisi kebutuhan kesehatan masyarakat, konsumsi pangan fungsional yang dapat mendukung sistem imun seperti kombucha berpotensi mengurangi beban biaya kesehatan preventif, khususnya pada kelompok anak berkebutuhan khusus yang sering kali memerlukan layanan kesehatan lebih intensif.

Pemaknaan Terhadap Anak Berkebutuhan Khusus (ABK)

Walaupun belum ada penelitian klinis yang secara khusus menguji efek kombucha pada anak berkebutuhan khusus, bukti farmakologis dari studi pre-klinis dan review bioaktif memberikan dasar hipotesis bahwa:

1. Kombucha dapat mendukung keseimbangan mikrobiota usus, yang berperan dalam modulasi imun, metabolisme, dan regulasi neuroendokrin yang sering terganggu pada beberapa kondisi kebutuhan khusus.
2. Aktivitas imunomodulator melalui penurunan sitokin pro-inflamasi dapat membantu dalam mengurangi inflamasi sistemik atau respon imun hiperaktif yang sering menjadi masalah pada kondisi tertentu.

Namun demikian, perlunya penelitian klinis yang valid pada pemasukan kombucha dalam diet anak, terutama ABK, sangat penting untuk memastikan keamanan, dosis, dan efektivitasnya dalam konteks nutrisi dan kesehatan anak.

Kesimpulan

Kombucha memiliki profil bioaktif yang kuat berupa polifenol, asam organik, dan metabolit yang mendukung aktivitas antioksidan, anti-inflamasi, dan imunomodulator. Kajian farmakologi mendukung bahwa kombucha mampu mempengaruhi respon imun melalui modulasi inflamasi dan mikrobiota usus, menjadikannya pangan fungsional imunomodulator yang menjanjikan sebagai bagian dari diet sehat. Kajian farmakoeкономи awal menunjukkan prospek positif dari produksi dan pemanfaatan kombucha, meskipun masih diperlukan data spesifik mengenai analisis biaya-manfaat di konteks anak dan intervensi kesehatan masyarakat. Adapun penerapan pada anak berkebutuhan khusus masih bersifat hipotesis dan memerlukan penelitian klinis tersendiri untuk verifikasi keamanan dan efektivitasnya dalam konteks tersebut.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih penulis ucapkan kepada Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Pertanian, Universitas Doktor Nugroho Magetan yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan artikel ini.

Referensi

- De Oliveira, P. V., da Silva Júnior, A. H., de Oliveira, C. R. S., Assumpção, C. F., & Ogeda, C. H. (2023). Kombucha benefits, risks and regulatory frameworks: A review. *Food Chemistry Advances*, 2, 100288.
<https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100288>
- Hananta, L., Kurniawan, S. V., Arieselia, Z., Surjono, E., Setiawan, J., Lieputra, A. A., ... & Dewi, R. (2025). Antioxidant, Antimicrobial, Anti-Inflammatory, and Gut Microbiota Modulation Effects of Kombucha: a Literature Review. *Journal of Urban Health Research*, 3(2), 1-9.
<https://ejournal.atmajaya.ac.id/index.php/juhr/article/view/6445>
- Khamidah, A., Antarlina, S. S., Pengkajian, B., Pertanian, T., & Timur, J. (2020). Peluang Minuman Kombucha Sebagai Pangan

- Fungsional Opportunities Of Kombucha Drinking As A Functional Food. *Agrika: Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*, 14(2), 184-200.
<https://doi.org/10.31328/ja.v14i2.1753>
- Kusmiati, M., Aritonang, S., Imbrani, H., Sakova, M., Aritonang, A. A. D., Aritonang, H. S., & Sudrajat, M. H. (2025). Intervensi Minuman Fermentasi Kombucha untuk Meningkatkan Imunitas Perempuan Menopause: Program Pengabdian Masyarakat sebagai Bagian dari Diplomasi Kesehatan Nirmiliter. *Dinamika Sosial: Jurnal Pengabdian Masyarakat dan Transformasi Kesejahteraan*, 2(4), 303-317.
<https://doi.org/10.62951/dinsos.v2i4.2609>
- Mohammadshirazi, A., & Kalhor, E. B. (2016). Energy and cost analyses of kombucha beverage production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 668-673.
 10.1016/j.rser.2015.11.022
- Ningtyas, R. (2025). Tinjauan Sistematis tentang Mekanisme Antidiabetik Kombucha dalam Regulasi Kendali Glikemik. *Jejak digital: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 1(6), 4582-4598.
<https://doi.org/10.63822/b3cez170>
- Pujiyanti, A. S., & Ilmi, A. N. (2025). Potensi antioksidan kombucha bunga Telang (*Clitoria ternatea*) sebagai minuman fungsional. *Jurnal Ilmiah Pangan Halal*, 7(2), 258-269.
<https://doi.org/10.30997/jiph.v7i2.19537>
- Rezaldi, F., Agustina, N., Wisnuwardhani, P., Huda, F. A., & Suminar, E. (2026). Various Pharmacological Activities in the Development of Kombucha as A Functional Food Ingredient with Economic Potential: A Literature Review. *Jurnal Biologi Tropis*, 26(1), 282-300.
 10.29303/jbt.v26i1.11417
- Rezaldi, F., Nabilla, J., Nurmaulawati, R., Ayuwardani, N., Suminar, E., Zulkarnain, M., ... & Somantri, U. W. (2025). Manfaat Kefir Dan Yoghurt Sebagai Prospek Masa Depan Bahan Baku Kosmetik Antiaging Dan Ramah Lingkungan. *Jurnal Kesehatan Tujuh Belas (Jurkes TB)*, 6(1).
<https://ojs.stikestujuhbelas.ac.id/index.php/jurkestb/article/view/299>
- Rezaldi, F., Utami, A. W., Wijayanti, F. E. R., Purbanova, R., Wati, D. R., Suminar, E., ... & Yenny, R. F. (2024). Aktivitas Antioksidan Pada Sediaan Kombucha Bunga Telang Yang Diracik Dari Formulasi Gula Aren Dan Madu Sr12 Sebagai Produk Bioteknologi Pangan Dan Farmasi. *Agribios*, 22(2), 165-175.
<https://doi.org/10.36841/agribios.v22i2.5209>
- Sandambi, N. (2025). The Kombucha Market in Portugal Until 2021. *Lett Econ Res Updates*, 1(2), 01-08.
- Sornkayasit, K., Jumnainsong, A., Srijampa, S., Ruknarong, L., Buddhisa, S., Thanonkeo, P., ... & Tippayawat, P. (2024). Immunomodulatory potentials of modified kombucha with pineapple by-products in aging: An ex vivo study. *Journal of Functional Foods*, 112, 105933.
- Zubaidah, E., Nisak, Y. K., Susanti, I., Widyaningsih, T. D., Srianta, I., & Tewfik, I. (2021). Turmeric Kombucha as effective immunomodulator in Salmonella typhi-infected experimental animals. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 37, 102181.
<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102181>