

Dampak Konsumsi Gula pada Mikrobiota Usus dan Kesehatan Mental Pada Remaja: Narrative Review

The Impact of Sugar Consumption on Gut Microbiota and Mental Health in Adolescents: A Narrative Review

Ulfi Rahma Yunita^{1*}, Idri Iqra Fikha¹, Rizqy Amanatul Husna Pamungkas²

¹ Program Studi Gizi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

² Program Studi Gizi, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta

*Korespondensi: ulfi.rahma.yunita@uin-suska.ac.id

Abstract

Adolescence is a critical period of neurological development and gut microbiota maturation that coincides with heightened vulnerability to mental health disorders. Current adolescent dietary patterns, characterized by excessive sugar and ultra-processed food consumption, may disrupt gut microbiota homeostasis through the gut brain axis. This narrative review aimed to explore the relationship between sugar consumption, gut microbiota alterations, and mental health outcomes in adolescents, while identifying the underlying biological mechanisms. A systematic literature search was conducted across PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar, covering studies published between 2015 and 2025 that examined adolescents aged 10–19 years. Four studies met the inclusion criteria. High sugar intake was consistently associated with gut microbiota dysbiosis, characterized by reduced microbial diversity, increased pro-inflammatory bacteria, and decreased SCFA-producing bacteria. These alterations impaired intestinal barrier integrity, triggered systemic inflammation, and dysregulated the HPA axis, contributing to depressive and anxiety symptoms. Excessive sugar consumption is mechanistically linked to gut microbiota dysbiosis and mental health impairment in adolescents through neural, endocrine, immune, and metabolic pathways. Dietary interventions emphasizing sugar restriction alongside increased fiber, prebiotic, and probiotic intake represent promising strategies for preventing and managing mental health disorders in this population.

Keywords: adolescent mental health, gut brain axis, gut microbiota, sugar consumption

Pendahuluan

Masa remaja ditandai dengan adanya perubahan fisiologis, kognitif, dan sosial yang signifikan, sekaligus menjadi masa onset utama gangguan psikiatrik seperti depresi dan gangguan kecemasan (1). Data epidemiologi menunjukkan peningkatan prevalensi gangguan kesehatan mental pada remaja secara global, dengan survei kesehatan anak di Amerika mencatat kenaikan insiden sekitar 30% dari tahun 2016 hingga 2020. *World Health Organization* (WHO) melaporkan bahwa secara global satu dari tujuh remaja usia 10-19 tahun mengalami gangguan mental, yang berkontribusi yang berkontribusi terhadap 15% beban penyakit pada kelompok usia tersebut (26). Di Indonesia, Indonesia-National

Adolescent Mental Health Survey (I-NAMHS) tahun 2022 mencatat bahwa satu dari tiga remaja (34,9%), atau setara 15,5 juta remaja, pernah mengalami masalah kesehatan mental, menegaskan bahwa urgensi permasalahan ini turut relevan pada konteks lokal Indonesia (27). Hal ini menegaskan urgensi pemahaman faktor-faktor yang berkontribusi terhadap krisis kesehatan mental remaja.

Pola makan remaja saat ini, dicirikan dengan konsumsi tinggi makanan ultra-proses, minuman manis, dan rendah serat (2). Tren diet bergaya barat yang kaya lemak jenuh dan gula tambahan semakin meluas, didorong dengan penggunaan pemanis murah seperti sirup jagung tinggi fruktosa (3). Selain meningkatkan resiko

obesitas dan gangguan metabolik, konsumsi gula berlebih juga berkaitan dengan kesehatan mental yang lebih buruk, termasuk depresi, kecemasan, dan penurunan fungsi kognitif (2,4)

Mikrobiota usus manusia merupakan ekosistem kompleks dengan sekitar 100 triliun mikroorganisme yang berperan dalam imun, metabolisme, integritas usus, dan fungsi kognitif (3,5,6). Konsumsi gula tambahan yang berlebihan mendorong pertumbuhan bakteri pro-inflamasi seperti *Proteobacteria* dan menekan bakteri penghasil SCFA seperti *Faecalibacterium*, sehingga memicu terjadinya disbiosis (9). Gangguan keseimbangan mikroba (disbiosis) dapat mempengaruhi komunikasi *gut-brain axis*, mengganggu produksi neurotransmitter, meningkatkan inflamasi, dan memicu stress oksidatif (5). *Gut-brain axis* merupakan sistem komunikasi bidireksional antara saluran gastrointestinal dan sistem saraf pusat melalui jalur neural, endokrin, imun, dan metabolik dengan mikrobiota *short-chain fatty acids* (SCFA) serta modulasi respon inflamasi (7). Pada masa remaja, sistem ini berada dalam fase plastisitas tinggi sehingga lebih rentan terhadap pola makan yang tidak sehat (8).

Penelitian menunjukkan bahwa konsumsi gula selama masa remaja dapat mengubah mikrobiota usus dan berhubungan dengan gangguan fungsi hipokampus (9). Studi pada remaja juga menunjukkan bahwa konsumsi makanan padat energi tetapi rendah zat gizi berkorelasi negatif dengan kelimpahan bakteri penghasil SCFA (*short-chain fatty acids*) (10). Disbiosis mikrobiota usus memicu disregulasi respons imun dan inflamasi kronis sistemik, yang mempengaruhi suasana hati melalui beberapa mekanisme, antara lain, meningkatnya permeabilitas dinding usus yang memicu peradangan sistemik termasuk di otak, disregulasi sistem respons stres, gangguan produksi neurotransmitter seperti serotonin, serta berkurangnya produksi SCFA oleh bakteri yang menguntungkan (2).

Remaja lebih rentan terhadap gangguan ini karena otak yang masih mengalami *remodeling neuroanatomis*, pelindung otak (*blood brain barrier*) belum

matang, serta adanya perubahan hormonal pubertas dan mikrobiota usus yang masih berkembang (11). Namun, periode kritis ini membuka peluang intervensi yang tepat untuk mendukung perkembangan otak dan kesehatan mental jangka panjang.

Sebagian besar penelitian mengenai hubungan konsumsi gula dan kesehatan mental selama ini banyak dilakukan pada populasi dewasa, sementara studi yang secara komprehensif mengintegrasikan peran mikrobiota usus dan jalur *gut-brain axis* pada populasi remaja, dengan karakteristik neurobiologis dan mikrobiota yang unik pada masa tersebut, masih terbatas. Meskipun faktor genetik, psikososial, dan lingkungan turut berperan dalam kesehatan mental remaja, pola makan merupakan salah satu faktor modifikasi yang paling potensial untuk diintervensi.

Narrative review ini bertujuan merangkum literatur terkini mengenai efek konsumsi gula terhadap mikrobiota usus dan dampaknya pada kesehatan mental remaja. Selain itu, review ini menjelaskan mekanisme hubungan konsumsi gula dengan disbiosis melalui *gut brain axis*, mengidentifikasi faktor kerentanan remaja, serta membahas implikasi strategi intervensi berbasis zat gizi sebagai pendekatan preventif dan terapeutik.

Metode

a. Desain Review

Review ini menggunakan metode pendekatan *narrative review* untuk mensintesis dan menganalisis literatur terkini mengenai hubungan antara konsumsi gula, mikrobiota usus dan kesehatan mental pada populasi remaja. Pencarian literatur dilakukan secara sistematis melalui empat database elektronik utama, meliputi *PubMed*, *Scopus*, *Web of Science*, dan *Google Scholar*. Pencarian dilakukan untuk artikel yang diterbitkan sepuluh tahun terakhir dari tahun 2015 hingga 2025 untuk memastikan kebaruan informasi. Pencarian literatur tersebut dilakukan pada bulan Januari 2026.

Kata kunci yang digunakan meliputi kombinasi: "gut microbiota" OR "gut microbiome" OR "intestinal microbiota" AND "sugar consumption" OR "sugar intake" OR "dietary sugar" OR "sugar-sweetened beverages" AND "adolescent*" OR "teenager*" OR "youth" AND "mental health" OR "depression" OR "anxiety" OR "mood disorder" AND "gut-brain axis" OR "microbiota-gut-brain axis". Selain itu, pencarian manual juga dilakukan untuk mengidentifikasi studi tambahan yang relevan.

b. Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria inklusi untuk *narrative review* ini meliputi: 1. Studi meneliti populasi remaja 10 – 19 tahun atau mayoritas subjek pada rentang usia tersebut (2) Mengeksplorasi hubungan antara konsumsi gula, komposisi mikrobiota usus, dan/atau kesehatan mental (3) Artikel penelitian asli (studi observasional, eksperimental, klinis), systematic review, meta analisis, dan artikel review yang berkualitas tinggi yang diterbitkan di jurnal terindeks seperti Scopus, PubMed, atau Web of Science (4) Studi melaporkan mekanisme *gut-brain axis*, inflamasi, atau jalur neurobiologis (5) Artikel berbahasa Inggris atau bahasa Indonesia. (6) Artikel diterbitkan dalam rentang tahun 2015 – 2025. Studi eksperimental dengan model hewan diinklusi secara selektif apabila memberikan bukti mekanistik yang relevan atau implikasi kasal terhadap manusia.

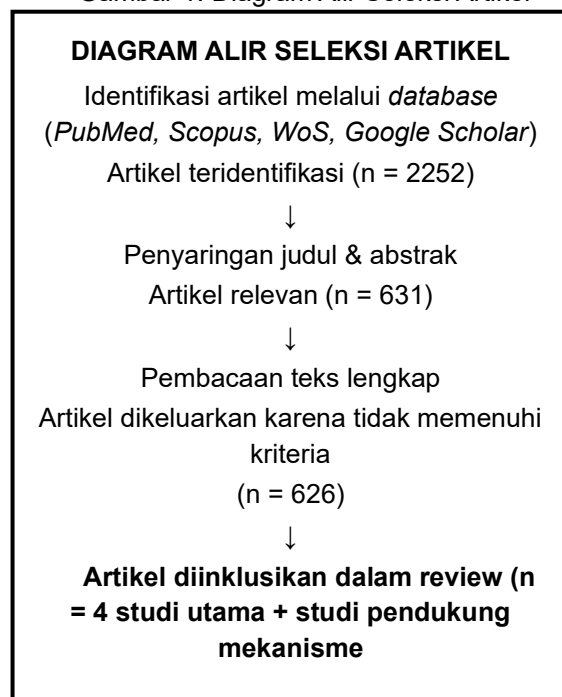
Kriteria eksklusi meliputi: (1) Studi tidak relevan, misalnya studi membahas konsumsi gula dalam konteks diabetes atau karies gigi tanpa kaitan dengan mikrobiota atau kesehatan mental (2) Artikel tanpa akses teks lengkap (3) Studi pada populasi dengan kondisi klinis spesifik (misalnya penyakit usus stadium lanjut) yang tidak dapat digeneralisasikan pada remaja umum. (4) Studi dengan populasi yang seluruhnya terdiri dari

remaja dengan obesitas. Studi dengan populasi yang seluruhnya terdiri dari remaja dengan obesitas dieksklusi untuk menghindari efek perancu (*confounding effect*) dari adipositas itu sendiri terhadap komposisi mikrobiota dan marker inflamasi, sehingga efek spesifik konsumsi gula dapat diisolasi secara lebih murni.

c. Alur Seleksi Artikel

Seleksi artikel dilakukan melalui empat tahapan: (1) Identifikasi artikel melalui pencarian database dan pencarian manual (2) Penyaringan judul dan abstrak berdasarkan relevansi (3) Pembacaan teks lengkap untuk verifikasi kesesuaian dengan kriteria inklusi dan eksklusi (4) Ekstraksi data dari artikel yang memenuhi syarat. Seluruh tahapan seleksi dilakukan secara independent oleh peneliti untuk memastikan konsistensi penerapan kriteria. Diagram alir proses seleksi disajikan pada gambar 1. Dari 2.252 artikel yang teridentifikasi, sebanyak 631 artikel lolos penyaringan judul dan abstrak, dan 4 artikel memenuhi kriteria inklusi setelah pembacaan teks lengkap.

Gambar 1. Diagram Alir Seleksi Artikel



d. Ekstraksi Data

Data yang diekstraksi meliputi nama penulis dan tahun publikasi, desain studi, karakteristik populasi, metode penelitian, tujuan, serta temuan utama yang relevan. Sintesis dilakukan secara naratif dengan mengelompokkan temuan berdasarkan tema utama, yaitu efek konsumsi gula terhadap mikrobiota usus, mekanisme *gut-brain axis* yang dimediasi mikrobiota, kerentanan spesifik pada remaja dan implikasi intervensi diet. Tema-tema utama ditentukan berdasarkan kerangka konseptual yang mengacu pada jalur *gut-brain axis* (neural, endokrin, imun, dan metabolik), kemudian dikelompokkan secara induktif berdasarkan temuan dari studi yang diinklusi.

(10 – 19 tahun) (12). Namun tetap dirujuk dalam pembahasan sebagai pembanding lintas kelompok usia untuk memperkuat pemahaman mengenai konsistensi pola disbiosis pada kelompok usia yang berbeda.

Hasil Dan Pembahasan

Berdasarkan hasil identifikasi, terdapat empat studi yang memenuhi kriteria inklusi dan menjadi studi utama dalam review ini yang dilampirkan pada tabel 1. Studi Liu et al (2022) dengan populasi anak usia 7 – 17 tahun tidak dimasukkan sebagai studi utama karena berada di luar rentang usia kriteria inklusi

Tabel 1. Ringkasan Studi yang Diikutsertakan dalam *Narrative Review*

Penulis dan tahun	Judul	Jenis penelitian	Rangkuman Hasil
Noble et al, 2021	Gut Microbial Taxa Elevated by Dietary Sugar Disrupt Memory Function	Experimental Study (Animal Model + Microbial Transplantation)	Konsumsi gula berlebih pada masa remaja dapat mengubah mikrobiota usus khususnya dapat meningkatkan <i>Parabacteroides</i> yang secara kausal berkontribusi pada kerusakan fungsi memori hipokampus hingga usia dewasa melalui perubahan jalur dopaminergic dan <i>sympatric signaling</i> .
Cheng et al, 2025	Alterations in Fecal Microbiota Composition and Cytokine Expression Profiles in Adolescents with Depression: a Case Control Study	Case Control	Remaja dengan depresi menunjukkan disbiosis mikrobiota usus yang ditandai penurunan diversitas bakteri, peningkatan bakteri proinflamasi seperti <i>Streptococcus</i> , serta penurunan bakteri antiinflamasi seperti <i>Faecalibacterium</i> . Kondisi ini disertai disfungsi imun sistemik

				berupa peningkatan sitokin proinflamasi (IL-5, TNF- α) dan kemokin (Eotaxin, RANTES, IP-10, MCP-1). Perubahan komposisi mikrobiota tersebut berkorelasi kuat dengan profil inflamasi dan menunjukkan peran mikrobiota dalam patofisiologi depresi remaja melalui jalur <i>gut-brain axis</i> .
Kemp, et al, 2024	Association Between Dietary Habits, Socio-demographics and Gut Microbial Composition in Adolescents	Cross Observational Study	Sectional	Diet remaja saat ini, khususnya tingginya konsumsi <i>processed food</i> tinggi gula, dapat menurunkan diversitas mikrobiota dan jumlah bakteri penghasil SCFA. Selain itu, faktor sosiodemografi seperti ras, status sosial ekonomi (SES), dan lokasi geografis juga berpengaruh independen terhadap komposisi mikrobiota. Masa remaja merupakan <i>critical window</i> untuk intervensi diet guna membentuk mikrobiota sehat dengan manfaat jangka panjang
Salcudean et al, 2025	Dietary Habits and Their Influence on the Microbiome and Mental Health in Adolescent	Narrative Review		Mikrobiota usus berperan penting dalam kesehatan fisik dan mental remaja. Diet tinggi gula dan rendah serat dapat memicu disbiosis yang berkontribusi terhadap gangguan mental. Sebaliknya, intervensi diet seperti prebiotik, probiotik, omega-3, polifenol, dan serat dapat membantu memulihkan keseimbangan mikrobiota dan meningkatkan kesehatan mental
Liu et al, 2022	Sugar Sweetened Beverages and Depressive and Social Anxiety Symptoms Among Children and Adolescents Aged 7 – 17 Years, Stratified by Body Composition	Cross Sectional Study		tudi pada anak dan remaja usia 7–17 tahun di Beijing (n=3.590) menunjukkan bahwa konsumsi <i>sugar sweetened beverages</i> (SSB) ≥ 1 porsi/hari berhubungan dengan peningkatan gejala depresi (OR=2,28) dan kecemasan sosial (OR=1,62). Hubungan ini tetap konsisten pada remaja dengan berat badan normal, menunjukkan bahwa efek SSB terhadap kesehatan mental bersifat independen dari status obesitas.

Hasil *narrative review* ini menunjukkan konsistensi dalam mengidentifikasi perubahan mikrobiota terkait dengan konsumsi gula yang tinggi dan efeknya pada kesehatan mental remaja. Secara konsisten dilaporkan terjadi penurunan bakteri penghasil SCFA, (*Faecalibacterium*, *Bacteroides*, dan *Roseburia*) dan peningkatan bakteri pro-

inflamasi seperti *Streptococcus*, *Escheria/Shigella*, dan *Bifidobacterium* pada remaja dengan depresi atau gangguan kesehatan mental lainnya (9,13). Bukti epidemiologis juga menunjukkan hubungan antara konsumsi SSB dengan gejala depresi dan kecemasan sosial yang tidak bergantung pada status obesitas (12).

A. Masa Remaja sebagai Periode Kritis

Masa remaja merupakan periode kritis ketika konsumsi gula berpotensi memicu perubahan mikrobiota usus dan gangguan fungsi neurokognitif yang dapat bertahan hingga dewasa. Studi eksperimental pada tikus menunjukkan bahwa konsumsi *sugar-sweetened beverages* (SSB) selama masa remaja menyebabkan gangguan memori hipokampus yang persisten bahkan setelah konsumsi dihentikan (9).

Periode ini juga ditandai oleh perkembangan otak yang pesat, pematangan mikrobiota, serta meningkatnya kerentanan terhadap gangguan kesehatan. Pada saat yang sama, meningkatnya otonomi dalam pemilihan makanan sering diikuti konsumsi makanan olahan dan minuman tinggi gula. Bukti menunjukkan bahwa disbiosis sejak awal kehidupan meningkatkan risiko autisme, ADHD, serta penyakit radang usus yang berkaitan dengan kecemasan dan depresi pada remaja (14). Temuan serupa pada anak usia 7–17 tahun dengan depresi menunjukkan peningkatan *Streptococcus* dan penurunan *Faecalibacterium* yang berkorelasi dengan peningkatan sitokin proinflamasi seperti IL-17, IL-1 β , IL-8, dan TNF- α (12). Konsistensi temuan ini menegaskan bahwa periode anak hingga remaja merupakan *critical window* yang rentan sekaligus responsif terhadap intervensi berbasis diet sebagai strategi pencegahan dini gangguan kesehatan mental.

B. Mekanisme Gut Brain Axis: Hubungan Konsumsi Gula, Mikrobiota, dan Kesehatan Mental.

Review ini mengidentifikasi empat jalur utama yang menunjukkan hubungan antara konsumsi gula, disbiosis mikrobiota, dan gangguan kesehatan mental pada remaja melalui mikrobiota *gut brain axis* (15). Berdasarkan sintesis literatur,

terdapat empat jalur utama yang relevan dalam konteks review ini:

1. Jalur saraf melalui nervus vagus

Nervus vagus merupakan jalur utama komunikasi bidireksional antara usus dan otak. *Short-chain fatty acids* (SCFA), terutama butirir yang diproduksi bakteri menguntungkan, mengaktifasi aferen vagal yang berperan dalam regulasi suasana hati dan fungsi kognitif (14). Penurunan bakteri penghasil SCFA akibat konsumsi gula berlebih dapat mengurangi stimulasi jalur ini. Selain itu, butirir meningkatkan ekspresi *Brain Derived Neurotrophic Factor* (BDNF) melalui inhibisi *Histone Deacetylase* (HDAC), sehingga meningkatkan ekspresi BDNF di korteks frontal dan hipokampus (16,17). Temuan ini konsisten dengan studi utama Noble et al. (2021) yang menunjukkan bahwa peningkatan kelimpahan *Parabacteroides* akibat konsumsi gula berlebih pada masa remaja secara kausal berkontribusi pada gangguan fungsi memori hipokampus melalui perubahan jalur pensinyalan dopaminergik dan sinaptik.

2. Jalur endokrin melalui aksis HPA

Aksis hipotalamus hipofisis adrenal (HPA) merupakan sistem respons stres yang dipengaruhi mikrobiota usus. Disbiosis akibat konsumsi gula berlebih dapat meningkatkan sekresi kortisol kronis, yang berkontribusi terhadap depresi dan kecemasan serta menekan neurogenesis hipokampus (18,19). Hal ini sejalan dengan temuan studi utama Sălcudean et al. (2025) yang menunjukkan bahwa diet tinggi gula dan rendah serat pada remaja memicu disbiosis yang berkontribusi terhadap gangguan kesehatan mental, sebagian melalui disregulasi respons stres pada aksis HPA.

3. Jalur imun melalui neuroinflammasi

Remaja dengan depresi menunjukkan peningkatan sitokin proinflamasi seperti IL-5, TNF- α , Eotaxin, RANTES, IP-10, dan MCP-1 (13,20). Temuan serupa pada anak usia 7 – 17 tahun juga terjadi peningkatan IL-1 β , IL-4, IL-8, IL17, IP-10, MCP-1, MIP-1 α , dan TNF- α (12). Profil inflamasi ini berkaitan erat dengan peningkatan bakteri gram negatif seperti *Escherichia/Shigella* yang melepaskan lipopolisakarida (LPS). Secara epidemiologis konsumsi SSB ≥ 1 porsi/hari berkaitan dengan peningkatan gejala depresi (OR=2.28) dan kecemasan sosial (OR=1.62) bahkan setelah penyesuaian BMI dan komposisi tubuh (12). Temuan ini sejalan dengan hasil studi utama Cheng et al. (2025) yang menunjukkan peningkatan sitokin proinflamasi IL-5 dan TNF- α pada remaja dengan depresi.

4. Jalur metabolik melalui SCFA dan neurotransmitter

SCFA (butirat, propionat, dan asetat) berperan dalam regulasi epigenetic sel saraf dan mikroglia melalui metilasi DNA dan asetilasi histon yang meningkatkan ekspresi *Brain Derived Neurotrophic Factor* (BDNF), menghambat apoptosis neuronal, dan menurunkan produksi sitokin proinflamasi (16). Mikrobiota usus juga berperan dalam sintesis serotonin perifer oleh sel enterokromafin (15). Penurunan *Faecalibacterium* secara konsisten pada remaja dengan depresi, menunjukkan bahwa defisiensi butirat merupakan salah satu mekanisme yang menghubungkan disbiosis dengan gejala depresi (13,20). Hal ini didukung oleh studi utama Kemp et al. (2024) yang menunjukkan bahwa tingginya konsumsi *processed food* tinggi gula pada remaja berhubungan dengan penurunan diversitas mikrobiota dan jumlah bakteri penghasil SCFA.

Selain faktor diet, temuan Kemp et al. (2024) menunjukkan bahwa faktor

sosiodemografi seperti status sosial ekonomi dan lokasi geografis turut mempengaruhi komposisi mikrobiota remaja. Hal ini mengindikasikan bahwa intervensi diet perlu mempertimbangkan konteks sosial dan aksesibilitas pangan sehat.

C. Gangguan Permeabilitas Usus sebagai Titik Kritis Patofisiologi

Peningkatan permeabilitas usus (*leaky gut*) merupakan mekanisme penting yang menghubungkan disbiosis mikrobiota akibat konsumsi gula berlebih dengan neuroinflamasi (21). Asupan gula tinggi merusak integritas *tight junction* epitel usus, ditandai peningkatan zonulin dan *Fatty Acid Binding Protein* (FABP2), sehingga memungkinkan translokasi lipopolisakarida (LPS) ke sirkulasi sistemik dan memicu respons inflamasi yang mempengaruhi fungsi otak (22). Pada remaja, kondisi ini diperberat oleh imaturitas *Blood Brain Barrier* (BBB). Kolonisasi bakteri penghasil butirat, seperti *Clostridium tyrobutyricum*, terbukti memperbaiki permeabilitas BBB, menegaskan peran mikrobiota usus dan butirat dalam menjaga integritas BBB (17). Kombinasi peningkatan permeabilitas usus dan imaturitas BBB menciptakan kondisi *double vulnerability* terhadap dampak neurobehavioral pola makan tinggi gula (11).

Selain faktor diet, disbiosis juga berkaitan dengan *Adverse Childhood Experiences* (ACEs), yang berkontribusi terhadap perubahan komposisi mikrobiota dan patofisiologi depresi pada remaja (25). Temuan ini menunjukkan bahwa disbiosis dipengaruhi oleh interaksi faktor diet dan psikososial dalam aksis gut brain. Intervensi diet meliputi pembatas gula serta peningkatan asupan serat, makanan fermentasi, omega 3 dan polifenol. Serat serta prebiotik seperti FOS dan GOS meningkatkan *Bifidobacterium*,

Lactobacillus, dan produksi SCFA. Pola diet Mediterania juga dikaitkan dengan diversitas mikrobiota yang lebih tinggi dibanding diet Barat. Kebijakan kesehatan publik perlu mengintegrasikan edukasi gizi berbasis bukti di sekolah dengan mempertimbangkan faktor sosiodemografi dan pengaruh media

D. Keterbatasan Review dan Arah Penelitian Mendatang

Keterbatasan review ini meliputi: (1) sebagian besar studi eksperimental menggunakan model hewan; (2) dominasi desain cross-sectional membatasi penetapan kausalitas; (3) variasi metode penilaian asupan gula dan platform sekuensing membatasi perbandingan langsung antar studi; (4) confounding factors seperti aktivitas fisik dan status sosioekonomi belum sepenuhnya dikontrol. Penelitian mendatang perlu memprioritaskan studi longitudinal, uji klinis terkontrol, serta integrasi faktor psikososial seperti ACEs ke dalam model analisis. Sebagai contoh, penelitian longitudinal dengan pengukuran asupan gula, komposisi mikrobiota, dan skor depresi pada titik waktu yang berbeda, misalnya setiap 6 bulan selama 3 tahun diperlukan untuk menetapkan hubungan temporal dan kausalitas.

Kesimpulan

Bukti yang terakumulasi menunjukkan hubungan mekanistik antara konsumsi gula berlebih, disbiosis mikrobiota usus, dan gangguan kesehatan mental pada remaja melalui empat jalur utama yang melibatkan jalur saraf (nervus vagus), endokrin (aksis HPA), imun (neuroinflamasi dan *leaky gut*), serta metabolik (SCFA dan neurotransmitter), yang secara konsisten didukung oleh penurunan bakteri penghasil SCFA seperti *Faecalibacterium*, *Bacteroides*, *Roseburia*,

dan peningkatan neuroinflamasi melalui sitokin pro inflamasi (15,16,24,25).

Masa remaja merupakan masa *critical window* yang meningkatkan kerentanan terhadap diet tinggi gula sekaligus responsive terhadap intervensi berbasis gizi. Strategi diet komprehensif, pembatasan gula tambahan, peningkatan serat, diversifikasi pangan nabati, serta konsumsi prebiotik dan probiotik memiliki potensi besar sebagai pendekatan preventif sekaligus adjuvant terapeutik. Temuan ini menegaskan urgensi integrasi edukasi gizi berbasis bukti ke dalam kebijakan kesehatan mental remaja yang lebih holistik, dengan mempertimbangkan faktor biologis, psikososial, dan lingkungan.

Daftar Pustaka

1. Michaelis L, Berg L, Maier L. Confounder or Confederate? The Interactions Between Drugs and the Gut Microbiome in Psychiatric and Neurological Diseases. *Biol Psychiatry*. 2024 Feb;95(4):361–9. doi:10.1016/j.biopsych.2023.06.004
2. Merlo G, Bachtel G, Sugden SG. Gut microbiota, nutrition, and mental health. *Front Nutr*. 2024 Feb 9;11:1337889. doi:10.3389/fnut.2024.1337889
3. Westerbeke FHM, Attaye I, Rios-Morales M, Nieuwdorp M. Glycaemic sugar metabolism and the gut microbiota: past, present and future. *FEBS J*. 2025 Mar;292(6):1421–36. doi:10.1111/febs.17293
4. Jacka FN, O'Neil A, Opie R, Itsiopoulos C, Cotton S, Mohebbi M, et al. A randomised controlled trial of dietary improvement for adults with major depression (the 'SMILES' trial). *BMC Med*. 2017 Dec;15(1):23. doi:10.1186/s12916-017-0791-y
5. Anand N, Gorantla VR, Chidambaram SB. The Role of Gut Dysbiosis in the Pathophysiology of Neuropsychiatric Disorders. *Cells*. 2022 Dec 23;12(1):54. doi:10.3390/cells12010054

6. McVey Neufeld KA, Luczynski P, Dinan TG, Cryan JF. Reframing the Teenage Wasteland: Adolescent Microbiota-Gut-Brain Axis. *Can J Psychiatry*. 2016 Apr;61(4):214–21. doi:10.1177/0706743716635536
7. Bautista J, Hidalgo-Tinoco C, Di Capua Delgado M, Viteri-Recalde J, Guerra-Guerrero A, López-Cortés A. The gut–brain–circadian axis in anxiety and depression: a critical review. *Front Psychiatry*. 2025 Oct 30;16:1697200. doi:10.3389/fpsyt.2025.1697200
8. Freimer D, Yang TT, Ho TC, Tymofiyeva O, Leung C. The gut microbiota, HPA axis, and brain in adolescent-onset depression: Probiotics as a novel treatment. *Brain Behav Immun - Health*. 2022 Dec;26:100541. doi:10.1016/j.bbih.2022.100541
9. Noble EE, Olson CA, Davis E, Tsan L, Chen YW, Schade R, Liu C, Suarez A, Jones RB, Serre C, Yang X, Hsiao, EY, Kanoski SE. Gut microbial taxa elevated by dietary sugar disrupt memory function. *Transl Psychiatry*. 2021 Mar 31;11(1):194. doi:10.1038/s41398-021-01309-7
10. Kemp KM, Orihuela CA, Morrow CD, Judd SE, Evans RR, Mrug S. Associations between dietary habits, socio-demographics and gut microbial composition in adolescents. *Br J Nutr*. 2024 Mar 14;131(5):809–20. doi:10.1017/S0007114523002271
11. Liu H, Li X, Shi Y, Hong K, Wang X, Huang C. Gut-brain axis in adolescent depression: a systematic review of psychological implications and behavioral interventions. *Front Nutr*. 2025 Sep 4;12:1644245. doi:10.3389/fnut.2025.1644245
12. Liu J, Chen T, Chen M, Ma Y, Ma T, Gao D, Li , Ma Qi, Chen L, Wang X, Zhang Y, Ma Jun, Dong Y. Sugar-Sweetened Beverages and Depressive and Social Anxiety Symptoms Among Children and Adolescents Aged 7–17 Years, Stratified by Body Composition. *Front Nutr*. 2022 May 23;9:888671. doi:10.3389/fnut.2022.888671
13. Ling Z, Cheng Y, Chen F, Yan X, Liu X, Shao L, Jin G, Zhou D, Jiang G, Li H, Zhao L, Song Q. Changes in fecal microbiota composition and the cytokine expression profile in school-aged children with depression: A case-control study. *Front Immunol*. 2022 Aug 19;13:964910. doi:10.3389/fimmu.2022.964910
14. Sălcudean A, Cîmpian DM, Popovici RA, Forna N, Corodan-Comiati DM, Sasu AB, Cozma MM, Bodo CR, Enache EC, Păcurar M, Crăciun RE, Blidaru A, Jinga V, Pasca MD, Lukacs EE, Tilinca MC, Strete EG, Crisan AL, Osz BE, Muntean DL. Dietary Habits and Their Influence on the Microbiome and Mental Health in Adolescents. *Nutrients*. 2025 Apr 29;17(9):1496. doi:10.3390/nu17091496
15. Cryan JF, O’Riordan KJ, Cowan CSM, Sandhu KV, Bastiaansen TFS, Boehme M, Cadagnone MG, Cusotto S, Fulling C. The Microbiota-Gut-Brain Axis. *Physiol Rev*. 2019 Oct 1;99(4):1877–2013. doi:10.1152/physrev.00018.2018
16. Cheng J, Hu H, Ju Y, Liu J, Wang M, Liu B, et al. Gut microbiota-derived short-chain fatty acids and depression: deep insight into biological mechanisms and potential applications. *Gen Psychiatry*. 2024 Feb;37(1):e101374. doi:10.1136/gpsych-2023-101374
17. Stilling RM, Van De Wouw M, Clarke G, Stanton C, Dinan TG, Cryan JF. The neuropharmacology of butyrate: The bread and butter of the microbiota-gut-brain axis? *Neurochem Int*. 2016 Oct;99:110–32. doi:10.1016/j.neuint.2016.06.011
18. Misiak B, Łoniewski I, Marlicz W, Frydecka D, Szulc A, Rudzki L, Samochowiec J. The HPA axis dysregulation in severe mental illness: Can we shift the blame to gut microbiota? *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*. 2020 Aug;102:109951. doi:10.1016/j.pnpbp.2020.109951
19. Loh JS, Mak WQ, Tan LKS, Ng CX, Chan HH, Yeow SH, Foo JB, Ong YS, How, CW, Khaw KY. Microbiota–gut–brain axis and its therapeutic

- applications in neurodegenerative diseases. *Signal Transduct Target Ther.* 2024 Feb 16;9(1):37. doi:10.1038/s41392-024-01743-1
20. Cheng Y, Zhu Z, Yang Z, Liu X, Qian X, Zhu J, Hu X, Jlang P, Cui T, Wang Y, Ding W, Lei W, Gao, J, Zhang J, Li Y, Shao L, Ling Z, Hu W. Alterations in fecal microbiota composition and cytokine expression profiles in adolescents with depression: a case-control study. *Sci Rep.* 2025 Apr 9;15(1):12177. doi:10.1038/s41598-025-97369-6
 21. Guney C, Bal NB, Akar F. The impact of dietary fructose on gut permeability, microbiota, abdominal adiposity, insulin signaling and reproductive function. *Heliyon.* 2023 Aug 9;9(8):e18896. doi:10.1016/j.heliyon.2023.e18896
 22. Veres-Székely A, Szász C, Pap D, Szebeni B, Bokrossy P, Vannay Á. Zonulin as a Potential Therapeutic Target in Microbiota-Gut-Brain Axis Disorders: Encouraging Results and Emerging Questions. *Int J Mol Sci.* 2023 Apr 19;24(8):7548. doi:10.3390/ijms24087548
 23. Bai Y, Shu C, Hou Y, Wang GH. Adverse childhood experience and depression: the role of gut microbiota. *Front Psychiatry.* 2024 Apr 2;15:1309022. doi:10.3389/fpsy.2024.1309022
 24. Ahmed F, Arshad MT, Maqsood S, Ikram A, Gnedeka KT. Gut-Brain Axis in Obesity: How Dietary Patterns Influence Psychological Well-Being and Metabolic Health? *Food Sci Nutr.* 2025 Jul;13(7):e70689. doi:10.1002/fsn3.70689
 25. Xiong J, Wang L, Huang H, Xiong S, Zhang S, Fu Q, Tang R, Zhang Q. Association of sugar consumption with risk of depression and anxiety: a systematic review and meta-analysis. *Front Nutr.* 2024 Oct 16;11:1472612. doi:10.3389/fnut.2024.1472612
 26. World Health Organization. Mental health of adolescents [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2025 [cited 2026 Aug 6]. Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/adolescent-mental-health>
 27. Center for Reproductive Health, Universitas Gadjah Mada. Indonesia – National Adolescent Mental Health Survey (I-NAMHS) Report. Yogyakarta: Center for Reproductive Health, Faculty of Medicine, Public Health and Nursing, Universitas Gadjah Mada; 2022 [cited 2026 Aug 6]. Available from: <https://publichealth.jhu.edu/sites/default/files/2025-05/I-NAMHS-Report-English.pdf>