MINI REVIEW: MENYUSUI SEBAGAI FAKTOR PERKEMBANGAN MIKROBIOMA ORAL BAYI

Hafsan*[1], Fatmawati Nur[2], St. Aisyah S[3], Afryanti Pratiwi[4]
[1,2,3]*Department of Biology, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar, Indonesia.*
[4]*Professional Pharmacist Program Student, Universitas Halu Oleo, Kendari, Indonesia.*
e-mail: hafsan.bio@uin-alauddin.ac.id[1], fate.nurkhalik@uin-alauddin.ac.id[2], aisyah.sijid@uin-alauddin.ac.id[3], afriyantip@gmail.com[4]

Abstrak:

Perkembangan mikrobioma oral pada awal kehidupan merupakan proses biologis yang dinamis dan dipengaruhi oleh pola pemberian makan, cara persalinan, paparan antibiotik, faktor maternal, serta lingkungan. Menyusui merupakan salah satu paparan awal yang berpotensi memengaruhi proses tersebut karena bayi terpapar mikroorganisme dan berbagai komponen bioaktif dari air susu ibu (ASI). Mini-review ini bertujuan mensintesis bukti ilmiah mengenai hubungan menyusui dengan pembentukan mikrobioma oral bayi, dengan fokus pada perubahan komposisi komunitas mikroba, karakteristik paparan ASI, mekanisme biologis yang mungkin terlibat, serta implikasinya terhadap kesehatan oral. Penelusuran literatur dilakukan secara terstruktur pada PubMed, Scopus, Web of Science, dan Google Scholar dengan fokus utama pada publikasi 2021–2026. Bukti yang ditelaah menunjukkan bahwa paparan ASI berhubungan dengan pola perkembangan mikrobioma oral yang berbeda pada sebagian studi, terutama selama bulan-bulan awal kehidupan. Studi longitudinal menunjukkan dominasi awal kelompok Streptococcus pada bayi yang terpapar ASI, sedangkan karakteristik menyusui seperti durasi, frekuensi, dan jumlah ASI yang dikonsumsi juga berhubungan dengan struktur komunitas mikrobioma oral. Namun, bukti eksperimental tidak selalu menunjukkan perubahan komunitas yang konsisten. Efek komponen ASI seperti *human milk oligosaccharides* (HMO) dan laktoferin juga tampak bergantung pada konteks dan, pada beberapa penelitian, memiliki besar efek yang terbatas. Hubungan antara menyusui, mikrobioma oral, dan risiko karies dini tidak dapat dipandang sebagai hubungan sebab-akibat sederhana karena dipengaruhi oleh berbagai faktor perancu. Penelitian longitudinal dengan pengukuran paparan yang lebih rinci dan pendekatan multi-omics diperlukan untuk memperjelas mekanisme dan hubungan kausal.

Kata Kunci: *Mikrobioma oral bayi; menyusui; mikrobiota ASI; kolonisasi mikroba awal; kesehatan oral anak; early childhood caries.*

Abstract

The infant oral microbiome develops dynamically under the influence of feeding pattern, delivery mode, antibiotic exposure, maternal factors, and the home environment. Breastfeeding is one of the earliest exposures that may shape this process because infants are exposed to microorganisms and bioactive components present in human milk. This mini-review synthesizes current evidence on the relationship between breastfeeding and infant oral microbiome development, focusing on microbial community composition, breastfeeding characteristics, proposed biological mechanisms, and implications for oral health. A structured literature search was conducted in PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar, with primary emphasis

on publications from 2021 to 2026. Current evidence indicates that exposure to human milk is associated with a distinct pattern of oral microbiome development in some studies, particularly during early infancy. Longitudinal studies have reported early dominance of Streptococcus-associated communities among breastfed infants, while breastfeeding characteristics such as duration, frequency, and volume of human milk consumed are also associated with oral microbiome structure. However, experimental evidence is not uniformly consistent. The effects of specific human milk components, including human milk oligosaccharides and lactoferrin, appear context-dependent and modest in magnitude in some studies. The relationship between breastfeeding, oral microbiome development, and early childhood caries should therefore not be interpreted as a simple causal pathway because multiple confounding factors influence both microbial development and oral health. Longitudinal studies with detailed exposure measurements and multi-omics approaches are needed to clarify the underlying mechanisms and causal relationships.

Keywords: *Infant oral microbiome; breastfeeding; human milk microbiota; early microbial colonization; child oral health; early childhood caries.*

PENDAHULUAN

Mikrobioma oral merupakan komunitas mikroorganisme yang berkembang secara dinamis sejak awal kehidupan. Rongga mulut termasuk ekosistem mikroba yang sangat beragam, dan kajian mengenai mikrobioma oral manusia telah mengidentifikasi ratusan taksa bakteri. Pada bayi, komunitas tersebut mengalami proses suksesi sejak setelah kelahiran dan berubah mengikuti maturasi jaringan oral, erupsi gigi, pola makan, serta berbagai paparan lingkungan (Arishi, 2023; Kilian, 2016; Stinson, 2025). Pada bayi, kolonisasi mikroorganisme oral dimulai segera setelah kelahiran dan berkembang secara progresif selama bulan-bulan pertama kehidupan. Proses kolonisasi ini tidak terjadi secara acak, melainkan mengikuti pola suksesi mikrobiologis yang dipengaruhi oleh faktor biologis dan lingkungan (Liu, 2024).

Pada periode sebelum erupsi gigi, komunitas mikroba oral terutama berasosiasi dengan permukaan mukosa dan saliva. Kelompok Streptococcus merupakan bagian penting dari komunitas awal, bersama genus lain seperti Gemella, Rothia, Haemophilus, dan Veillonella. Studi longitudinal menunjukkan bahwa komunitas awal tersebut kemudian mengalami perubahan keragaman dan komposisi seiring pertambahan usia serta perubahan lingkungan oral (Arishi, 2023; Butler et al., 2022).

Perkembangan mikrobioma oral pada masa awal kehidupan memiliki implikasi terhadap kesehatan oral karena komunitas mikroba berkembang bersamaan dengan maturasi jaringan, erupsi gigi, dan perubahan pola makan. Hubungan mikrobioma dengan *early childhood caries* (ECC) bersifat ekologis dan multifaktorial. Studi pada anak prasekolah menunjukkan bahwa tanda-tanda mikrobioma tertentu serta faktor kehidupan awal dapat berhubungan dengan risiko karies, tetapi temuan tersebut tidak dengan sendirinya membuktikan bahwa satu faktor awal merupakan penyebab langsung karies (Eriksen et al., 2024; Xu et al., 2023) .

Kolonisasi awal mikrobioma oral dipengaruhi oleh berbagai faktor biologis dan lingkungan yang saling berinteraksi. Cara persalinan, paparan antibiotik, penggunaan

empeng, faktor maternal, lingkungan rumah, serta pengenalan makanan padat dapat memengaruhi komposisi komunitas mikroba. Pada kohort BLOSOM, misalnya, komposisi mikrobioma oral bayi terutama yang mendapat ASI berhubungan dengan beberapa faktor maternal, bayi, dan lingkungan, sementara pengenalan makanan padat merupakan salah satu titik perubahan penting dalam perkembangan komunitas mikroba (Arishi, Cheema, Lai, et al., 2025).

Pemberian makan merupakan salah satu faktor yang mendapat perhatian khusus karena ASI tidak hanya menyediakan nutrien, tetapi juga membawa mikroorganisme, oligosakarida, protein antimikroba, dan molekul imunologis yang berpotensi berinteraksi langsung dengan lingkungan oral bayi. Tinjauan Arishi (2023) menempatkan menyusui dan pengenalan makanan padat sebagai determinan penting perkembangan mikrobioma oral pada awal kehidupan.

Bukti empiris yang lebih langsung diperoleh dari Butler et al. (2022), yang membandingkan 39 bayi dari kohort longitudinal, terdiri atas 13 bayi yang tidak pernah disusui dan 26 bayi yang disusui lebih dari 10 bulan. Dengan sekuensing V4 16S rRNA, penelitian tersebut menemukan perbedaan perkembangan mikrobioma oral antara kedua kelompok. Temuan ini memperkuat dasar untuk membahas menyusui sebagai salah satu faktor pembentuk trajektori mikrobioma oral, meskipun bukan satu-satunya determinan.

Studi yang lebih baru juga memperlihatkan bahwa pertanyaan ilmiahnya tidak cukup dijawab hanya dengan membandingkan ASI dan formula. Karakteristik menyusui, termasuk durasi, frekuensi, dan volume ASI yang dikonsumsi, dapat berhubungan dengan struktur komunitas mikrobioma oral (Arishi, Gridneva, et al., 2025). Selain itu, hubungan antara komponen ASI dan mikrobioma oral mulai dapat diuji secara lebih spesifik, misalnya melalui pengukuran HMO dan profil mikroba menggunakan full-length 16S rRNA (Arishi, Cheema, McEachran, et al., 2025; Cheema et al., 2022).

Meski demikian, bukti yang tersedia belum sepenuhnya seragam. Studi intervensi pada bayi dengan berat lahir sangat rendah yang menerima pemberian ASI orofaringeal tidak menemukan perbedaan bermakna dalam keragaman komunitas oral antara kelompok intervensi dan kontrol pada titik waktu yang diamati (Liu, 2024). Temuan tersebut penting karena menunjukkan bahwa hubungan biologis antara paparan ASI dan kolonisasi oral tidak dapat disederhanakan menjadi efek langsung yang selalu menghasilkan perubahan komunitas yang sama.

Artikel mini-review ini bertujuan mensintesis temuan penelitian terbaru mengenai peran menyusui dalam pembentukan dan perkembangan mikrobioma oral bayi. Pembahasan difokuskan pada perbedaan perkembangan komunitas mikroba berdasarkan paparan menyusui, kemungkinan jalur transmisi mikroorganisme dan peran mikrobiota ASI, modulasi oleh komponen bioaktif ASI, serta implikasinya terhadap kesehatan oral dan risiko ECC.

METODOLOGI

Artikel ini disusun sebagai mini-review naratif dengan penelusuran literatur

terstruktur. Penelusuran dilakukan pada PubMed, Scopus, Web of Science, dan Google Scholar menggunakan kombinasi kata kunci "breastfeeding", "human milk", "human milk microbiome", "infant oral microbiome", "oral microbiota", "early microbial colonization", "human milk oligosaccharides", dan "early childhood caries", yang dikombinasikan dengan operator Boolean AND dan OR.

Literatur diprioritaskan apabila berupa penelitian primer, studi longitudinal, studi intervensi, atau artikel tinjauan yang secara langsung membahas mikrobioma oral bayi, paparan ASI/ menyusui, atau komponen ASI yang memiliki relevansi langsung terhadap mikrobioma oral. Publikasi tahun 2021–2026 menjadi fokus utama agar sintesis merepresentasikan bukti mutakhir, sedangkan beberapa sumber yang lebih lama tetap digunakan sebagai landasan konseptual untuk topik yang bersifat fundamental, seperti perkembangan mikrobioma oral, komponen bioaktif ASI, laktoferin, dan hipotesis *entero-mammary*.

Studi yang hanya membahas mikrobioma usus tanpa luaran mikrobioma oral tidak digunakan sebagai bukti langsung untuk menjelaskan komposisi mikrobioma oral bayi. Studi yang tidak memiliki teks lengkap, tidak membahas populasi bayi, atau tidak menyediakan hubungan yang relevan dengan paparan menyusui maupun komponen ASI juga tidak dijadikan dasar sintesis utama. Informasi dari setiap artikel dibandingkan kembali pada sumber aslinya, terutama terkait desain penelitian, jumlah sampel, metode analisis mikrobioma, dan temuan utama.

Karena artikel ini merupakan mini-review naratif dan bukan systematic review, proses seleksi tidak diperlakukan sebagai protokol PRISMA. Tabel 1 digunakan untuk memperlihatkan studi-studi kunci yang menjadi dasar sintesis dan untuk menjaga keterlacakan antara narasi, karakteristik penelitian, dan sumber rujukan.

PERBEDAAN KOMPOSISI MIKROBIOMA ORAL PADA BAYI YANG DISUSUI EKSKLUSIF DAN BAYI YANG MENGONSUMSI SUSU FORMULA

Pola pemberian makan pada awal kehidupan merupakan salah satu determinan yang dapat memodulasi pembentukan komunitas mikrobioma oral bayi. Perbedaan antara bayi yang menerima ASI dan bayi yang tidak terpapar ASI telah dilaporkan pada beberapa penelitian, tetapi besar dan bentuk perbedaannya bergantung pada usia, karakteristik sampel, metode sekuensing, serta faktor lingkungan lain yang menyertai paparan tersebut. Sejumlah studi yang meneliti hubungan antara pola pemberian makan dan perkembangan mikrobioma oral bayi dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Studi kunci mengenai pengaruh menyusui dan komponen ASI terhadap perkembangan mikrobioma oral bayi

Studi, desain & sampel	Metode analisis mikrobioma	Temuan utama
Butler et al. (2022); longitudinal, 39 bayi	V4 16S rRNA	Perkembangan mikrobioma oral berbeda antara 13 bayi yang tidak pernah disusui dan 26 bayi yang

Studi, desain & sampel	Metode analisis mikrobioma	Temuan utama
		disusui >10 bulan; 519 taksa diidentifikasi.
Cheema et al. (2022); longitudinal, 10 ibu-bayi	Full-length 16S rRNA; analisis HMO	Mikrobioma oral berubah sepanjang empat bulan pertama; beberapa HMO berasosiasi dengan taksa oral, tetapi relevansi klinisnya masih belum jelas.
(Arishi, 2023) ; review	Sintesis studi oral microbiome	Menyusui dan pengenalan makanan padat merupakan determinan penting, bersama faktor maternal, bayi, dan lingkungan.
(Li et al., 2023) ; longitudinal pilot, 32 bayi	HOMINGS/16S rRNA; 116 sampel saliva	Keragaman mikrobioma bayi meningkat menurut usia; efek menyusui terhadap keragaman tidak terdeteksi pada kohort ini.
(Xu et al., 2023) ; observasional, anak dengan/tanpa ECC	16S rRNA	Komunitas mikrobioma oral berbeda antara kelompok dengan dan tanpa ECC, mendukung keterkaitan mikrobioma dengan ekologi karies.
(Eriksen et al., 2024) ; cohort, 260 anak	16S rRNA; saliva usia 2, 3, 5 tahun	Perkembangan mikrobioma dan faktor kehidupan awal berhubungan dengan tanda tangan mikroba yang terkait dengan risiko karies.
(Arishi, Cheema, Lai, et al., 2025) ; longitudinal BLOSOM, 84 bayi/667 sampel	Full-length 16S rRNA	Streptococcus mitis, Gemella haemolysans, dan Rothia mucilaginosa dominan; komposisi dipengaruhi banyak faktor dan berubah nyata setelah makanan padat diperkenalkan.
(Arishi, Gridneva, et al., 2025) ; cross-sectional, 55 bayi usia 3 bulan	Full-length 16S rRNA	Durasi, frekuensi, dan volume ASI yang dikonsumsi berasosiasi dengan struktur mikrobioma oral.
(Anticona et al., 2025) ; *randomized controlled trial*, kelompok formula + referensi ASI	Oxford Nanopore 16S rRNA/eHOMD	Efek suplementasi laktoferin dan pengurangan besi pada formula terhadap mikrobioma oral secara keseluruhan tidak konklusif.
(Arishi, Cheema, McEachran, et al., 2025) ; 56 dyad ibu-bayi	Full-length 16S rRNA + analisis HMO	Beberapa HMO berasosiasi dengan keragaman dan taksa oral tertentu, tetapi besar efek biologisnya terbatas.
(Sánchez-Morán et al., 2026) ; longitudinal, 48 bayi	16S rRNA amplicon sequencing	Komunitas oral berubah dari lahir hingga 12 bulan; pola menyusui dan cara persalinan berhubungan dengan perubahan taksa tertentu.

Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1, sebagian besar studi observasional dan

longitudinal melaporkan bahwa bayi yang disusui secara eksklusif menunjukkan dominasi bakteri komensal dari genus *Streptococcus* dan *Veillonella*, yang berperan sebagai koloniser awal dalam ekosistem mikrobioma oral. Sebaliknya, bayi yang menerima susu formula cenderung menunjukkan komposisi mikrobiota yang lebih heterogen dan dalam beberapa kasus menunjukkan peningkatan bakteri oportunistik tertentu.

Butler et al. (2022) memberikan bukti longitudinal yang relatif langsung mengenai hubungan paparan ASI dengan perkembangan mikrobioma oral. Dalam 39 bayi yang diikuti pada beberapa usia, 519 taksa bakteri diidentifikasi dari saliva menggunakan sekuensing V4 16S rRNA. Perkembangan mikrobioma oral berbeda antara bayi yang tidak pernah disusui dan bayi yang disusui lebih dari 10 bulan. Pada usia dua bulan, bayi yang tidak pernah disusui menunjukkan keragaman lebih tinggi yang terutama berkaitan dengan peningkatan Veillonella dan kelompok Bacteroidetes, sedangkan kelompok yang terpapar ASI menunjukkan pola komunitas yang berbeda.

Temuan tersebut konsisten dengan sintesis Arishi (2023), yang menempatkan menyusui sebagai salah satu faktor penting dalam pembentukan mikrobioma oral bayi. Namun, review tersebut juga menekankan bahwa perkembangan mikrobioma oral dipengaruhi oleh banyak faktor, termasuk pengenalan makanan padat, erupsi gigi, cara persalinan, paparan antibiotik, penggunaan empeng, dan karakteristik maternal. Dengan demikian, efek menyusui perlu dipahami dalam konteks ekologi perkembangan, bukan sebagai faktor tunggal.

Bukti yang lebih baru memperlihatkan bahwa karakteristik paparan ASI juga penting. Arishi, Gridneva, et al., (2025) menganalisis 55 bayi pada usia tiga bulan menggunakan sampel oral dan data menyusui selama 24 jam. Durasi menyusui, frekuensi menyusui, dan volume ASI yang dikonsumsi berhubungan dengan karakteristik komunitas mikrobioma oral. Penelitian ini bersifat *cross-sectional* dan oleh penulisnya sendiri diposisikan sebagai studi pembentuk hipotesis, sehingga hubungan tersebut belum dapat diartikan sebagai hubungan kausal.

Studi BLOSOM oleh Arishi, Cheema, Lai, et al. (2025) memperluas perspektif longitudinal. Sebanyak 667 sampel oral dikumpulkan dari 84 bayi pada sepuluh titik waktu sejak minggu pertama hingga usia dua tahun dan dianalisis dengan full-length 16S rRNA. *Streptococcus mitis*, *Gemella haemolysans*, dan *Rothia mucilaginosa* termasuk taksa dominan. Komposisi komunitas berhubungan dengan berbagai faktor maternal, bayi, dan lingkungan, sementara pengenalan makanan padat merupakan salah satu titik perubahan yang nyata dalam perkembangan komunitas oral. Hasil ini menunjukkan bahwa paparan ASI berlangsung dalam ekosistem perkembangan yang terus berubah.

Studi Sánchez-Morán et al. (2026) pada 48 bayi juga memperlihatkan bahwa mikrobioma oral berkembang secara temporal selama tahun pertama kehidupan. Dengan sekuensing 16S rRNA pada lima titik waktu, Streptococcus, Ralstonia, Gemella, dan Rothia menjadi kelompok awal yang menonjol. Bayi yang menerima ASI mempertahankan dominasi Streptococcus lebih lama dibanding kelompok mixed feeding pada beberapa titik waktu, sedangkan cara persalinan juga berhubungan dengan

perubahan taksa tertentu. Temuan ini memperkuat bahwa menyusui berasosiasi dengan perkembangan komunitas oral, tetapi efeknya berjalan bersama faktor klinis lain.

Studi Li et al. (2023) yang melibatkan 32 bayi dan ibu biologisnya menunjukkan bahwa mikrobioma oral bayi berkembang secara dinamis dan menjadi semakin beragam seiring usia. Menariknya, penelitian tersebut tidak menemukan pengaruh menyusui terhadap keragaman mikrobioma dalam kohortnya, sehingga kembali menegaskan bahwa hubungan antara menyusui dan mikrobioma oral tidak selalu konsisten di semua populasi.

Meskipun demikian, hubungan antara menyusui dan perkembangan mikrobioma oral bayi tidak sepenuhnya bersifat linear. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa faktor lain, seperti kebersihan rongga mulut ibu, penggunaan antibiotik, cara persalinan, serta lingkungan rumah tangga, juga dapat memengaruhi komposisi mikrobiota bayi. Oleh karena itu, pola pemberian makan sebaiknya dipahami sebagai salah satu komponen dalam jaringan faktor biologis dan lingkungan yang secara bersama-sama memengaruhi perkembangan mikrobioma oral pada awal kehidupan.

Bukti ilmiah yang tersedia menunjukkan bahwa menyusui berpotensi berkontribusi terhadap pembentukan komunitas mikrobiota oral yang lebih stabil dan didominasi oleh bakteri komensal pada bayi. Kondisi ini dapat memberikan dasar ekologi yang lebih protektif terhadap kolonisasi bakteri patogen serta berpotensi memengaruhi kesehatan rongga mulut pada tahap perkembangan selanjutnya.

MEKANISME TRANSFER MIKROORGANISME MELALUI JALUR *ENTERO-MAMMARY*

ASI mengandung komunitas mikroorganisme yang berasal dari berbagai sumber dan berpotensi berinteraksi dengan mikrobioma bayi. Dalam konteks mikrobioma oral, proses menyusui memberikan paparan berulang pada rongga mulut terhadap mikroorganisme dan komponen molekuler dalam ASI. Arishi et al. (2023) merangkum bukti bahwa mikroorganisme dalam ASI dapat menjadi salah satu sumber potensial bagi kolonisasi oral, meskipun arah transmisi dan kontribusi relatif setiap sumber belum dapat ditentukan secara pasti.

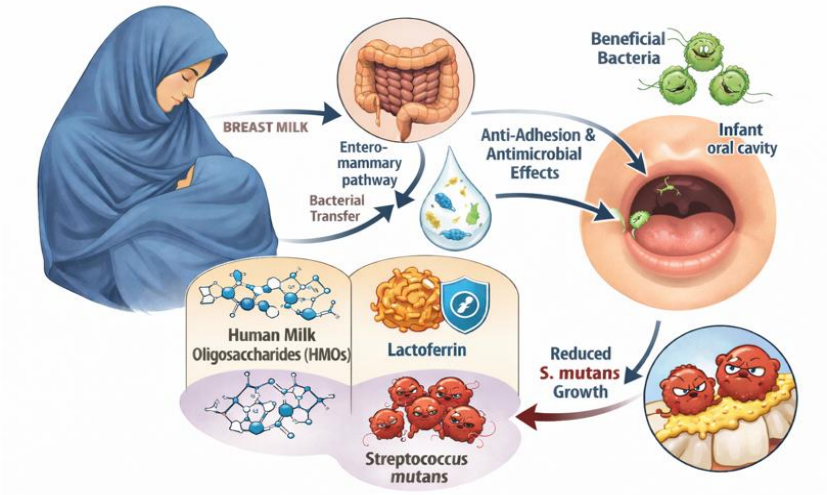
Konsep jalur *entero-mammary* sering digunakan untuk menjelaskan kemungkinan hubungan antara mikrobiota usus ibu, kelenjar mammae, ASI, dan bayi. Namun, jalur tersebut harus diposisikan sebagai hipotesis biologis yang masih diteliti, bukan sebagai mekanisme yang telah terbukti secara definitif. (Rodriguez (2014) membahas kemungkinan adanya jalur *entero-mammary* berdasarkan bukti mengenai asal bakteri dalam ASI, sedangkan Kordy (2020) menempatkan transfer tersebut dalam konteks hubungan antara mikrobiota ibu dan bayi.

Selain hipotesis *entero-mammary,* mikrobiota ASI kemungkinan merupakan hasil kontribusi dari berbagai sumber, termasuk mikrobiota kulit ibu, lingkungan, serta kontak langsung ibu-bayi. Oleh karena itu, kemiripan antara mikrobiota ibu, ASI, dan bayi tidak secara otomatis membuktikan satu arah transmisi. Studi mengenai mikrobiota susu manusia menunjukkan bahwa komposisinya dipengaruhi oleh faktor maternal dan awal

kehidupan, sehingga sumber mikroorganisme harus dipertimbangkan sebagai jaringan interaksi yang kompleks (Moossavi, 2019) .

Penelitian pada pasangan ibu-bayi juga menunjukkan bahwa transmisi mikroorganisme oral maternal merupakan bagian penting dari pembentukan mikrobioma bayi. Li et al. (2023), misalnya, menemukan bahwa komunitas oral bayi berbeda dari komunitas ibu tetapi mengalami perubahan bertahap sepanjang tahun pertama kehidupan. Dengan demikian, proses kolonisasi oral tidak dapat dijelaskan hanya oleh mikroorganisme yang berasal dari ASI.

Pada bayi yang belum mengalami erupsi gigi, rongga mulut terutama menyediakan permukaan mukosa sebagai habitat mikroba. Seiring pertumbuhan dan munculnya gigi, terbentuk permukaan baru yang memungkinkan perubahan struktur komunitas dan biofilm. Karena itu, pengaruh menyusui harus ditempatkan dalam konteks jendela perkembangan yang mencakup usia, erupsi gigi, makanan padat, dan paparan mikroba lain (Arishi, 2023; Arishi, Cheema, Lai, et al., 2025) .



Gambar 1. Ilustrasi konseptual kemungkinan transfer mikroorganisme dan interaksi komponen bioaktif ASI dengan mikrobioma oral bayi. (Sumber: dibuat oleh penulis dengan bantuan AI generatif sebagai alat visualisasi konseptual berdasarkan sintesis literatur; gambar bukan reproduksi atau adaptasi langsung dari gambar yang diterbitkan pada sumber lain).

Dalam konteks mikrobioma oral bayi, proses menyusui memberikan peluang bagi mikroorganisme dari ASI untuk berinteraksi langsung dengan lingkungan rongga mulut bayi. Mikroorganisme yang ditransfer melalui ASI dapat berkontribusi terhadap pembentukan komunitas mikroba awal dalam rongga mulut serta memengaruhi dinamika kolonisasi mikroorganisme pada tahap perkembangan selanjutnya. Interaksi antara mikrobiota ASI dan lingkungan oral bayi ini dapat menciptakan kondisi ekologis yang mendukung pertumbuhan bakteri komensal sekaligus membatasi kolonisasi mikroorganisme patogen.

Meskipun bukti yang mendukung konsep jalur *entero-mammary* semakin berkembang, mekanisme biologis yang mendasari proses ini masih belum sepenuhnya dipahami. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa faktor seperti komposisi mikrobiota usus ibu, pola makan ibu, serta kondisi kesehatan ibu dapat memengaruhi komposisi mikrobiota dalam ASI. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami secara lebih komprehensif bagaimana interaksi antara mikrobiota ibu, ASI, dan bayi berkontribusi terhadap pembentukan mikrobioma pada awal kehidupan.

Konsep *entero-mammary pathway* memberikan kerangka biologis yang penting untuk memahami bagaimana menyusui dapat memfasilitasi transmisi mikroorganisme dari ibu kepada bayi. Mekanisme ini mendukung gagasan bahwa ASI tidak hanya berfungsi sebagai sumber nutrisi, tetapi juga sebagai medium biologis yang berperan dalam pembentukan ekosistem mikrobioma awal pada bayi.

KOMPONEN BIOAKTIF ASI DAN MODULASI EKOLOGI MIKROBIOMA ORAL

Selain mentransfer mikroorganisme, air susu ibu juga mengandung berbagai komponen bioaktif yang berperan penting dalam membentuk lingkungan mikrobiologis pada bayi. Komponen-komponen tersebut tidak hanya mendukung pertumbuhan mikroorganisme komensal, tetapi juga dapat menghambat kolonisasi mikroorganisme patogen. Dua komponen yang paling banyak dipelajari dalam konteks modulasi mikrobioma adalah *human milk oligosaccharides (HMO)* dan laktoferin, yang keduanya memiliki fungsi biologis penting dalam pembentukan ekosistem mikroba pada awal kehidupan.

Human Milk Oligosaccharides (HMO)

Human milk oligosaccharides merupakan kelompok karbohidrat kompleks yang terdapat secara alami dalam ASI dan merupakan salah satu komponen padat terbesar setelah laktosa dan lipid. HMO diketahui tidak dapat dicerna secara langsung oleh sistem pencernaan bayi, namun berfungsi sebagai prebiotik selektif yang mendukung pertumbuhan bakteri komensal tertentu. Dalam konteks mikrobioma bayi, HMO terutama mendukung pertumbuhan bakteri seperti *Bifidobacterium* dan *Lactobacillus*, yang dikenal memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem mikrobiota (Bode, 2012).

Selain berfungsi sebagai substrat bagi mikroorganisme komensal, HMO juga memiliki kemampuan untuk menghambat adhesi patogen pada permukaan mukosa. Struktur molekul HMO dapat bertindak sebagai reseptor analog yang meniru reseptor pada sel epitel, sehingga mikroorganisme patogen cenderung berikatan dengan HMO daripada dengan sel inang. Mekanisme ini dapat membantu mencegah kolonisasi bakteri patogen pada berbagai permukaan mukosa, termasuk mukosa oral bayi (Triantis, 2018).

Cheema et al. (2022) memberikan salah satu bukti langsung dengan menganalisis sampel ibu dan bayi selama empat bulan pertama menyusui eksklusif. Menggunakan full-length 16S rRNA, penelitian tersebut menemukan bahwa mikrobioma oral bayi berubah

sepanjang waktu dan beberapa pola HMO berasosiasi dengan taksa oral tertentu. Penulis menekankan bahwa relevansi klinis dari asosiasi tersebut masih belum diketahui.

Temuan yang lebih baru dari (Arishi, Cheema, McEachran, et al., 2025) pada 56 dyad ibu-bayi menunjukkan adanya hubungan antara konsentrasi atau asupan beberapa HMO dengan keragaman dan taksa mikrobioma oral. Namun, efek yang terukur secara statistik relatif kecil secara biologis. Karena itu, HMO lebih tepat dipandang sebagai salah satu komponen yang dapat memodulasi ekologi mikroba, bukan sebagai faktor tunggal yang menentukan komposisi mikrobioma oral.

Secara teoritis, HMO juga dapat menghambat adhesi mikroorganisme tertentu dengan bertindak sebagai analog reseptor pada permukaan mukosa. Mekanisme ini telah banyak dibahas pada konteks sistem mukosa dan mikrobioma, tetapi bukti langsung bahwa mekanisme tersebut secara dominan mengendalikan mikrobioma oral bayi masih terbatas (Sanchez, 2021; Triantis, 2018) .

Laktoferin

Laktoferin merupakan glikoprotein pengikat besi yang terdapat dalam ASI dan memiliki aktivitas antimikroba serta imunomodulator. Kemampuan mengikat besi secara teoritis dapat membatasi ketersediaan nutrien bagi mikroorganisme tertentu, sedangkan interaksi langsung dengan permukaan sel bakteri juga telah dilaporkan pada berbagai sistem eksperimental (Legrand et al., 2005).

Salah satu mekanisme utama laktoferin adalah kemampuannya untuk mengikat ion besi, yang merupakan nutrisi penting bagi pertumbuhan bakteri. Dengan mengurangi ketersediaan besi dalam lingkungan mikrobiologis, laktoferin dapat menghambat pertumbuhan bakteri tertentu yang bergantung pada unsur tersebut untuk metabolisme dan proliferasi. Selain itu, beberapa penelitian menunjukkan bahwa laktoferin juga dapat berinteraksi langsung dengan membran sel bakteri, yang dapat menyebabkan kerusakan struktural pada mikroorganisme patogen (Legrand et al., 2005).

Dalam konteks kesehatan oral, laktoferin sering dibahas karena kemungkinan pengaruhnya terhadap bakteri kariogenik, termasuk *Streptococcus mutans*. Namun, bukti mengenai efek laktoferin terhadap mikrobioma oral bayi tidak dapat disamakan dengan bukti aktivitas antimikroba in vitro. Studi randomized controlled trial oleh Anticona et al. (2025) menunjukkan bahwa suplementasi laktoferin pada formula, dengan pengurangan besi, menghasilkan efek yang secara keseluruhan tidak konklusif terhadap komposisi mikrobioma oral.

Temuan tersebut penting untuk menjaga interpretasi tetap proporsional. Laktoferin memiliki dasar biologis yang kuat sebagai protein antimikroba, tetapi kontribusi spesifiknya terhadap pembentukan mikrobioma oral bayi masih memerlukan penelitian longitudinal dan intervensi yang secara langsung mengukur paparan laktoferin serta respons mikrobioma.

Interaksi antara Komponen Bioaktif dan Mikrobiota Oral

Interaksi antara HMO, laktoferin, serta mikroorganisme yang ditransfer melalui ASI menciptakan suatu ekosistem mikrobiologis yang kompleks pada rongga mulut bayi. Kombinasi antara transfer mikroorganisme komensal dan modulasi lingkungan mikrobiologis oleh komponen bioaktif ASI dapat membantu membentuk komunitas mikrobiota yang lebih stabil dan seimbang pada tahap awal kehidupan.

Proses ini berpotensi memiliki implikasi jangka panjang terhadap kesehatan rongga mulut anak. Lingkungan mikrobiologis yang didominasi oleh bakteri komensal pada tahap awal kehidupan dapat membantu mencegah kolonisasi bakteri patogen serta mendukung stabilitas ekosistem mikroba pada masa pertumbuhan selanjutnya. Oleh karena itu, komponen bioaktif dalam ASI tidak hanya berperan dalam aspek nutrisi dan imunologi, tetapi juga memiliki kontribusi penting dalam pembentukan mikrobioma oral pada bayi.

DAMPAK JANGKA PANJANG MIKROBIOMA AWAL TERHADAP PENCEGAHAN KARIES DINI DAN KESEHATAN SISTEMIK

Pembentukan mikrobioma oral pada masa awal kehidupan tidak hanya merupakan proses kolonisasi mikroorganisme yang bersifat sementara, tetapi juga dapat memengaruhi kesehatan rongga mulut dan kesehatan sistemik pada tahap perkembangan selanjutnya. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa komposisi mikrobiota pada periode awal kehidupan dapat menentukan stabilitas ekosistem mikroba oral serta memengaruhi kerentanan terhadap penyakit oral, terutama karies gigi pada anak usia dini atau *early childhood caries* (ECC).

Karies gigi merupakan penyakit multifaktorial yang melibatkan interaksi kompleks antara mikroorganisme, substrat nutrisi, host, dan waktu. Dalam konteks mikrobiologi oral, perkembangan karies sangat berkaitan dengan dominasi bakteri kariogenik seperti *Streptococcus mutans* dan Lactobacillus yang mampu memproduksi asam dari metabolisme karbohidrat fermentabel. Namun demikian, kolonisasi bakteri patogen tersebut tidak terjadi secara tiba-tiba, melainkan dipengaruhi oleh komposisi komunitas mikrobiota yang terbentuk pada tahap awal kehidupan (Tanner, 2011).

Penelitian mengenai perkembangan mikrobioma oral menunjukkan bahwa bayi yang memiliki komunitas mikroba oral yang lebih beragam dan didominasi oleh bakteri komensal cenderung memiliki risiko karies yang lebih rendah pada masa kanak-kanak. Sebaliknya, ketidakseimbangan komunitas mikrobiota atau disbiosis mikrobioma oral dapat menciptakan lingkungan ekologis yang mendukung kolonisasi bakteri kariogenik. Dengan demikian, kondisi mikrobioma awal dapat memengaruhi stabilitas ekosistem mikroba oral dan menentukan kerentanan terhadap perkembangan ECC di kemudian hari (Kilian, 2016).

Dalam konteks ini, menyusui diperkirakan memiliki kontribusi protektif melalui beberapa mekanisme biologis. Selain memfasilitasi transfer mikroorganisme komensal dan komponen bioaktif yang dapat memodulasi mikrobiota, proses menyusui juga

berpotensi mendukung pembentukan komunitas mikrobiota yang lebih stabil pada rongga mulut bayi. Komunitas mikroba yang seimbang dapat menghambat kolonisasi bakteri patogen melalui mekanisme kompetisi ekologis, seperti kompetisi terhadap nutrisi dan ruang adhesi pada permukaan mukosa.

Selain implikasinya terhadap kesehatan oral, mikrobioma awal juga memiliki hubungan erat dengan perkembangan sistem imun bayi. Interaksi antara mikroorganisme komensal dan sistem imun mukosa merupakan bagian penting dari proses maturasi sistem imun pada awal kehidupan. Paparan terhadap mikroorganisme komensal dapat membantu sistem imun bayi mengenali mikroorganisme yang bersifat non-patogen serta mengatur respons imun yang lebih seimbang. Oleh karena itu, komposisi mikrobiota awal tidak hanya berpengaruh terhadap kesehatan rongga mulut, tetapi juga dapat memengaruhi perkembangan sistem imun secara keseluruhan (Dzidic & Abrahamsson, 2018).

Beberapa penelitian bahkan menunjukkan bahwa perubahan komposisi mikrobiota pada masa awal kehidupan dapat berkaitan dengan berbagai kondisi sistemik, seperti alergi, penyakit inflamasi kronis, serta gangguan metabolik. Meskipun sebagian besar penelitian mengenai hubungan tersebut masih berfokus pada mikrobioma usus, semakin banyak bukti yang menunjukkan bahwa mikrobioma oral juga dapat berkontribusi terhadap interaksi mikrobiota–host yang memengaruhi kesehatan sistemik.

Dalam konteks pengembangan ilmu kesehatan masyarakat dan kesehatan ibu-anak yang menjadi fokus kajian Jurnal Sipakalebbi, pemahaman mengenai faktor-faktor yang memengaruhi pembentukan mikrobioma oral bayi memiliki relevansi yang signifikan. Menyusui tidak hanya dipandang sebagai praktik pemberian nutrisi, tetapi juga sebagai determinan biologis yang berperan dalam pembentukan ekosistem mikrobiota awal yang dapat memengaruhi status kesehatan anak secara jangka panjang. Oleh karena itu, temuan dalam tinjauan ini memberikan kontribusi penting dalam memperkuat dasar ilmiah bagi upaya promotif dan preventif, khususnya dalam mendukung praktik menyusui sebagai bagian dari strategi peningkatan kesehatan ibu dan anak.

Dalam konteks pelayanan kesehatan dan edukasi masyarakat, hasil sintesis ini dapat menjadi landasan bagi tenaga kesehatan untuk mengintegrasikan aspek mikrobioma dalam promosi kesehatan, terutama dalam pencegahan penyakit oral sejak dini seperti early childhood caries. Dengan demikian, artikel ini tidak hanya memiliki nilai akademik, tetapi juga relevansi praktis dalam mendukung kebijakan dan intervensi kesehatan berbasis bukti yang berfokus pada periode awal kehidupan.

KESIMPULAN

Menyusui berhubungan dengan perkembangan mikrobioma oral bayi dan dapat memengaruhi trajektori kolonisasi mikroba terutama pada awal kehidupan. Bukti longitudinal menunjukkan bahwa bayi yang terpapar ASI dapat memiliki pola komunitas oral yang berbeda, termasuk dominasi kelompok Streptococcus pada fase awal.

Karakteristik menyusui seperti durasi, frekuensi, dan volume ASI juga berhubungan dengan struktur mikrobioma dalam beberapa penelitian.

Namun, hubungan tersebut tidak bersifat sederhana maupun seragam. Bukti intervensi menunjukkan bahwa pemberian ASI secara langsung tidak selalu menghasilkan perubahan komunitas yang signifikan, sedangkan efek HMO dan laktoferin pada mikrobioma oral tampak kontekstual dan pada beberapa studi memiliki efek biologis yang terbatas. Hipotesis *entero-mammary* dapat digunakan sebagai kerangka untuk menjelaskan kemungkinan sumber mikroorganisme, tetapi mekanismenya masih perlu dibuktikan lebih lanjut.

Implikasi terhadap pencegahan ECC dan kesehatan sistemik juga perlu ditafsirkan dalam kerangka multifaktorial. Menyusui merupakan salah satu komponen dalam ekologi perkembangan mikrobioma oral dan tidak dapat diposisikan sebagai satu-satunya penentu kesehatan oral. Penelitian longitudinal dengan ukuran sampel lebih besar, pengukuran paparan menyusui yang rinci, analisis full-length 16S atau shotgun metagenomics, serta pengukuran komponen bioaktif ASI secara simultan diperlukan untuk menjelaskan mekanisme dan hubungan kausal secara lebih kuat.

REFERENSI

Anticona, C., Esberg, A., & Berglund, S. K. (2025). Impact of bovine lactoferrin supplementation and reduced iron in formula on infant oral microbiome: A randomized controlled trial. *Journal of Oral Microbiology*, *17*(1), 2561212. https://doi.org/10.1080/20002297.2025.2561212

Arishi, R. A. (2023). Impact of breastfeeding and other early-life factors on the development of the oral microbiome. *Frontiers in Microbiology*, *14*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1236601

Arishi, R. A., Cheema, A. S., Lai, C. T., Payne, M. S., Geddes, D. T., & Stinson, L. F. (2025). Development of the breastfed infant oral microbiome over the first two years of life in the BLOSOM Cohort. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, *15*, 1534750. https://doi.org/10.3389/fcimb.2025.1534750

Arishi, R. A., Cheema, A. S., McEachran, J. L., Gridneva, Z., Furst, A., Roman, A., Bode, L., Lai, C. T., Payne, M. S., Geddes, D. T., & Stinson, L. F. (2025). Development of the breastfed infant oral microbiome is associated with concentrations and intakes of human milk oligosaccharides. *Nutrients*, *17*(22), 3622. https://doi.org/10.3390/nu17223622

Arishi, R. A., Gridneva, Z., & Cheema, A. S. (2025). Breastfeeding patterns and total volume of human milk consumed influence the development of the infant oral microbiome. *Journal of Oral Microbiology*, *17*(1), 2469892. https://doi.org/10.1080/20002297.2025.2469892

Bode, L. (2012). Human milk oligosaccharides: Every baby needs a sugar mama. *Glycobiology*, *22*(9), 1147–1162. https://doi.org/10.1093/glycob/cws074

Butler, C. A., Adams, G. G., Blum, J., Byrne, S. J., Carpenter, L., Gussy, M. G., Calache, H., Catmull, D. V, Reynolds, E. C., & Dashper, S. G. (2022). Breastmilk influences development and composition of the oral microbiome. *Journal of Oral Microbiology*, *14*(1), 2096287. https://doi.org/10.1080/20002297.2022.2096287

Cheema, A. S., Trevenen, M. L., Turlach, B. A., Furst, A. J., Roman, A. S., & Bode, L. (2022). Exclusively breastfed infant microbiota develops over time and is associated with human milk oligosaccharide intakes. *International Journal of Molecular Sciences*, *23*(5), 2804. https://doi.org/10.3390/ijms23052804

Dzidic, M., & Abrahamsson, T. R. (2018). Oral microbiota maturation during the first 7 years of life in relation to allergy development. *Microbiome*, *6*, 1–14. https://doi.org/10.1186/s40168-018-0455-x

Eriksen, C., Boustedt, K., Sonne, S. B., Dahlgren, J., Kristiansen, K., Twetman, S., Brix, S., & Roswall, J. (2024). Early life factors and oral microbial signatures define the risk of caries in a Swedish cohort of preschool children. *Scientific Reports*, *14*, 8463. https://doi.org/10.1038/s41598-024-59126-z

Kilian, M. (2016). The oral microbiome – An update for oral healthcare professionals. *British Dental Journal*, *221*(10), 657–666. https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2016.865

Kordy, K. (2020). Breast milk microbiome and enteromammary transfer of Bifidobacterium breve. *PLoS ONE*, *15*(1). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219633

Legrand, D., Elass, E., Carpentier, M., & Mazurier, J. (2005). Lactoferrin. *Cellular and Molecular Life Sciences*, *62*(22), 2549. https://doi.org/10.1007/s00018-005-5370-2

Li, Y., Saraithong, P., Zhang, L., Dills, A., Paster, B. J., Xiao, J., Wu, T. T., & Jones, Z. (2023). Dynamics of oral microbiome acquisition in healthy infants: A pilot study. *Frontiers in Oral Health*, *4*, 1152601. https://doi.org/10.3389/froh.2023.1152601

Liu, J. (2024). Oropharyngeal administration of mother's milk and oral microbiota. *Immunity Inflammation and Disease*, *12*(4). https://doi.org/10.1002/iid3.1247

Moossavi, S. (2019). Composition and variation of the human milk microbiota are influenced by maternal and early-life factors. *Cell Host & Microbe*, *25*(2), 324–335. https://doi.org/10.1016/j.chom.2019.01.011

Rodriguez, J. M. (2014). The origin of human milk bacteria: Is there a bacterial entero-mammary pathway during late pregnancy and lactation? *Advances in Nutrition*, *5*(6), 779–784. https://doi.org/10.3945/an.114.007229

Sanchez, C. (2021). Human milk oligosaccharides and infant microbiota. *Foods*, *10*(6), 1429. https://doi.org/10.3390/foods10061429

Sánchez-Morán, M., Valverde-Benítez, I., Corcuera Tejada, J., Velasco, O., Aurrekoetxea-Oribe, J., Saso-Jiménez, L., Martinez de Lapiscina, I., & Castaño, L. (2026). Oral microbiota assessment at different time points during the first year of life: Delivery mode and breastfeeding shape the bacterial community. *International Breastfeeding Journal*, *21*, 35. https://doi.org/10.1186/s13006-026-00813-0

Stinson, L. F. (2025). Seeding and feeding: microbiome assembly in breastfed infants. *Gut Microbes*, *17*(1). https://doi.org/10.1080/19490976.2025.2557981

Tanner, A. C. R. (2011). Microbiota of severe early childhood caries before and after therapy. *Journal of Dental Research*, *90*(11), 1298–1305. https://doi.org/10.1177/0022034511421201

Triantis, V. (2018). Immunological effects of human milk oligosaccharides. *Frontiers in Pediatrics*, *6*, 190. https://doi.org/10.3389/fped.2018.00190

Xu, X., Shan, B., Zhang, Q., Lu, W., Zhao, J., Zhang, H., & Chen, W. (2023). Oral microbiome characteristics in children with and without early childhood caries. *The Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, *47*(2). https://doi.org/10.22514/jocpd.2023.012