

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Fermentasi Pangan Tradisional

Fermentasi pangan tradisional merupakan teknik pengolahan yang telah digunakan sejak masa lampau dengan memanfaatkan mikroorganisme alami, khususnya bakteri asam laktat (BAL), untuk meningkatkan mutu, keamanan, dan daya simpan makanan. Selama prosesnya, BAL memetabolisme karbohidrat menjadi asam laktat sehingga menurunkan pH dan menciptakan kondisi yang tidak menguntungkan bagi mikroorganisme patogen. Proses fermentasi ini umumnya berlangsung secara spontan karena dipengaruhi oleh mikroflora yang terdapat secara alami pada bahan baku dan lingkungan, yang menyebabkan variasi komposisi mikroba serta mutu produk antar daerah (Padang and Ismail, 2023).

Pada berbagai produk fermentasi tradisional Indonesia, isolat BAL yang ditemukan menunjukkan beragam sifat fungsional, seperti aktivitas antimikroba dan kemampuan bertahan pada kondisi asam. Karakteristik ini menunjukkan bahwa BAL lokal memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai kultur starter maupun probiotik dalam produk pangan tradisional (Austin *et al.*, 2024).

B. Bakteri Asam Laktat (BAL)

Bakteri Asam Laktat (BAL) adalah kelompok bakteri Gram positif, katalase-negatif, tidak membentuk spora, dan bersifat anaerob fakultatif. BAL memanfaatkan jalur glikolisis untuk menghasilkan energi, dengan asam laktat sebagai produk dominan. Secara taksonomi, BAL mencakup genus *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Enterococcus*, *Streptococcus*, dan *Pediococcus* (Bintsis, 2018).

Selain sebagai agen fermentasi, BAL juga berperan sebagai mikroorganisme fungsional. Beberapa strain BAL terbukti menghasilkan bakteriosin, seperti nisin dari *Lactococcus lactis*, yang memiliki aktivitas antimikroba luas terhadap patogen Gram positif (Magalhaes *et al.*, 2024).

Selain itu, BAL diketahui dapat mensintesis vitamin B kompleks, termasuk folat (vitamin B9), yang berperan dalam metabolisme sel dan kesehatan manusia (Hossain, 2022).

Perhatian dunia terhadap BAL semakin meningkat karena potensinya sebagai probiotik. Probiotik didefinisikan sebagai “mikroorganisme hidup yang bila dikonsumsi dalam jumlah cukup memberikan manfaat kesehatan bagi inang” (Samedi and Charles, 2019). Dengan demikian, isolasi BAL dari sumber-sumber unik termasuk pangan fermentasi tradisional, merupakan langkah penting untuk memperkaya koleksi kandidat probiotik baru.

C. Autoagregasi

Autoagregasi merupakan salah satu karakteristik penting pada bakteri asam laktat (BAL) yang berkaitan dengan potensi probiotik. Autoagregasi adalah kemampuan sel bakteri untuk saling berikatan dan membentuk agregat antarsel. Kemampuan ini berperan dalam proses adhesi dan kolonisasi bakteri pada mukosa saluran pencernaan. Salah satu mekanisme probiotik dalam menjaga kesehatan saluran cerna adalah kemampuannya berkolonisasi pada permukaan usus dan menghambat perlekatan bakteri patogen. Kemampuan tersebut berkaitan erat dengan sifat autoagregasi yang dimiliki bakteri. Autoagregasi yang baik memungkinkan bakteri probiotik membentuk agregat sehingga lebih efektif dalam berkompetisi dengan mikroorganisme patogen di saluran pencernaan (Sembiring *et al.*, 2024).

BAL dengan kemampuan autoagregasi yang tinggi cenderung lebih mampu bertahan dalam saluran cerna serta berkompetisi dengan bakteri patogen untuk menempati permukaan epitel usus. Selain itu, autoagregasi juga berkontribusi dalam pembentukan lapisan pelindung yang dapat menghambat kolonisasi mikroorganisme patogen pada saluran gastrointestinal (Liu, Wang and Wu, 2021). Tingkat autoagregasi yang tinggi dianggap sebagai indikator penting dalam menilai potensi kolonisasi BAL pada mukosa usus sehingga sering digunakan sebagai parameter awal dalam seleksi kandidat probiotik (Leksono, Ningsih, 2024).

Leksono dan Ningsih (2024) melaporkan bahwa BAL dengan tingkat autoagregasi lebih dari 40% dalam waktu 4 jam dikategorikan sebagai kandidat probiotik yang baik. Hal ini menunjukkan bahwa sel-sel BAL yang mampu membentuk agregat lebih cepat memiliki potensi adhesi yang lebih baik terhadap sel epitel usus. Selain itu, penelitian oleh Krausova, Hyrslova, dan Hynstova (2019) menemukan bahwa *Lactobacillus fermentum* mampu menunjukkan kemampuan autoagregasi hingga 65%, yang menandakan kemampuan kompetitif yang baik terhadap mikrobiota lain di lingkungan usus.

Dengan demikian, pengukuran autoagregasi menjadi salah satu parameter penting dalam karakterisasi BAL sebagai calon probiotik karena berkaitan langsung dengan kemampuan adhesi, stabilitas kolonisasi, serta kemampuan bakteri dalam menghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen di saluran pencernaan.

D. Eksopolisakarida (EPS) BAL

Selain struktur dinding sel, bakteri asam laktat (BAL) juga menghasilkan eksopolisakarida ekstraseluler (EPS), yaitu polisakarida yang diekskresikan ke luar sel dengan jumlah produksi berkisar antara 50–500 mg/L (Krausova, Hyrslova and Hynstova, 2019). EPS berperan penting dalam mendukung autoagregasi, yaitu kemampuan BAL untuk saling berikatan dan membentuk agregat sel, yang menjadi indikator potensial kemampuan kolonisasi pada mukosa usus (Leksono, Ningsih, 2024). Dengan adanya EPS, adhesi antar sel BAL menjadi lebih stabil, memfasilitasi pembentukan biofilm, serta melindungi sel dari stres lingkungan seperti perubahan pH dan osmotik. Selain itu, EPS juga mendukung interaksi imunomodulator dengan inang, meningkatkan potensi probiotik BAL (Nguyen *et al.*, 2020).

Selain berperan pada autoagregasi, EPS dari BAL juga memiliki potensi kesehatan tambahan. Penelitian menunjukkan bahwa EPS dari *Lactobacillus plantarum* dapat menghambat aktivitas enzim α -glukosidase, sehingga berpotensi dalam pengendalian diabetes (Priadi *et al.*, 2020). Kombinasi kemampuan membentuk agregat melalui autoagregasi dan efek

fungsi EPS menjadikan BAL kandidat unggul sebagai probiotik, dengan aplikasi tidak hanya pada kolonisasi usus tetapi juga pada pengembangan pangan fungsional dan terapi metabolik. Studi lebih lanjut mengenai hubungan antara EPS dan autoagregasi penting untuk seleksi isolat BAL yang efektif dan bermanfaat bagi kesehatan manusia.

E. BAL sebagai Probiotik

Bakteri asam laktat (BAL) yang memiliki potensi sebagai probiotik harus dapat bertahan dalam kondisi pencernaan, termasuk lingkungan asam lambung dan adanya empedu, mampu melekat pada epitel usus, aman untuk dikonsumsi, serta mampu memberikan manfaat kesehatan yang nyata. Beberapa isolat BAL yang diperoleh dari pangan fermentasi lokal telah menunjukkan karakteristik ini, sehingga berpeluang digunakan sebagai starter culture maupun probiotik (Sarita and Kovaleva, 2025). Beberapa strain tertentu, seperti *Lactobacillus reuteri*, mampu memproduksi *reuterin*, senyawa antimikroba yang efektif melawan patogen usus, dan juga berperan dalam modulasi sistem imun (Amenu and Bacha, 2023).

Menurut Assad Moon, BAL sebagai probiotik juga mampu menghambat masuknya virus dan mikroorganisme patogen melalui interaksi pada permukaan mukosa saluran pencernaan. BAL yang dikonsumsi secara oral dapat bertahan melewati saluran cerna dan berinteraksi dengan lapisan mukus usus, sehingga mendukung proses adhesi dan kolonisasi pada epitel usus. Selain itu, BAL diketahui dapat meningkatkan respons imun mukosa melalui stimulasi produksi mukin, aktivasi sel imun, serta peningkatan antibodi sekretori IgA yang berperan dalam perlindungan terhadap infeksi patogen. Kemampuan adhesi dan kolonisasi tersebut berkaitan erat dengan sifat autoagregasi BAL, yaitu kemampuan sel untuk saling menempel dan membentuk agregat yang mendukung pembentukan biofilm pelindung pada mukosa usus. Oleh karena itu, karakteristik autoagregasi menjadi salah satu parameter penting dalam penentuan potensi probiotik suatu isolat BAL (Moon *et al.*, 2022).

F. Naniura dan Trites sebagai Sumber BAL Lokal

Indonesia merupakan salah satu negara megabiodiversitas dengan potensi mikroba lokal yang sangat besar, namun sebagian besar masih belum dieksplorasi secara ilmiah. Dua makanan fermentasi khas Sumatera Utara yang unik adalah naniura dan trites.

Naniura merupakan hidangan tradisional berbahan ikan air tawar, umumnya ikan mas, yang difermentasi menggunakan asam dari jeruk jungga (*Citrus hystrix*) dan rempah-rempah lokal. Proses pembuatannya diawali dengan pembersihan ikan dari sisik, insang, dan isi perut, kemudian dicuci bersih dan difillet atau dipotong sesuai ukuran konsumsi tanpa melalui proses pemasakan. Daging ikan selanjutnya direndam dalam perasan jeruk jungga atau jeruk nipis hingga seluruh permukaan ikan terendam dan dibiarkan selama beberapa jam sampai teksturnya melunak akibat aktivitas asam, kemudian ditiriskan. Setelah itu, bumbu tradisional yang telah dihaluskan, meliputi andaliman, bawang merah, bawang putih, jahe, kunyit, lengkuas, kemiri, dan kecombrang, ditambahkan dan dicampurkan hingga merata, kemudian difermentasi secara alami dan spontan tanpa penambahan starter pada suhu ruang dalam wadah tertutup selama $\pm$ 6–24 jam. Kondisi pH yang rendah, ketersediaan substrat kaya protein, serta lingkungan tanpa pemanasan menciptakan habitat yang mendukung pertumbuhan bakteri asam laktat (BAL) dengan ketahanan tinggi terhadap stres asam, sehingga naniura berpotensi sebagai sumber isolasi BAL (Hewani, Dan and Review, 2022).

Trites adalah produk fermentasi tradisional berbahan dasar rumen sapi yang populer di masyarakat Karo. Substrat ini mengandung komunitas mikroba yang kompleks, termasuk bakteri asam laktat (BAL), yang telah beradaptasi dengan lingkungan rumen yang kaya serat, protein, serta senyawa volatil hasil fermentasi (Purba and Silalahi, 2018). Dalam proses pembuatannya, rumput hasil fermentasi alami dari dalam rumen sapi dikumpulkan dalam kondisi segar, kemudian dipisahkan dari cairan rumen dan dicuci secara kasar untuk menghilangkan kotoran. Rumput selanjutnya dipotong kecil-kecil untuk memperluas permukaan fermentasi dan disimpan dalam wadah tertutup tanpa penambahan kultur starter. Fermentasi

berlangsung secara spontan pada suhu ruang selama beberapa hari dalam kondisi anaerob, sehingga BAL dari mikroflora alami rumen berkembang secara dominan, dan produk trites yang dihasilkan siap digunakan sebagai pangan tradisional maupun sebagai sumber isolasi BAL (Nuraida, 2015).

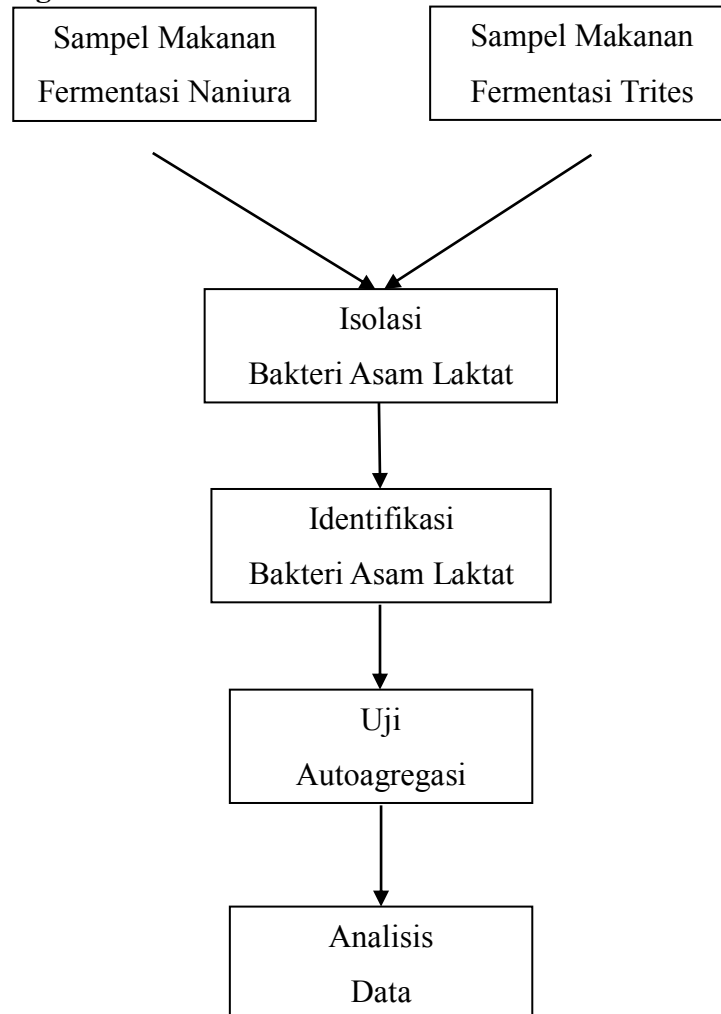
Kedua produk ini merepresentasikan ekosistem fermentasi khas Indonesia yang jarang dipelajari. BAL yang diisolasi dari naniura dan trites berpotensi memiliki sifat unik, misalnya ketahanan asam tinggi, kemampuan adhesi optimal, serta metabolit bioaktif yang tidak ditemukan pada BAL dari sumber lain. Oleh karena itu, eksplorasi BAL dari naniura dan trites dapat membuka peluang besar bagi pengembangan pangan fungsional probiotik berbasis kearifan lokal.

G. Relevansi Penelitian

Penelitian ini relevan karena bakteri asam laktat (BAL) merupakan mikroorganisme yang berperan penting sebagai probiotik, dengan kemampuan untuk mendukung kesehatan saluran pencernaan melalui kolonisasi mukosa usus, produksi metabolit fungsional, serta kompetisi dengan mikrobiota patogen (Krausova, Hyrslova and Hynstova, 2019). Salah satu karakteristik penting BAL yang berhubungan langsung dengan potensi probiotik adalah autagregasi, yaitu kemampuan sel untuk saling berikatan dan membentuk agregat. Tingkat auto-agregasi yang tinggi dapat menjadi indikator kemampuan adhesi BAL terhadap sel epitel usus dan kemampuan bersaing dengan mikroorganisme lain, sehingga mempengaruhi efektivitasnya sebagai probiotik (Leksono, Ningsih, 2024).

Selain itu, penelitian ini memiliki relevansi lokal dan aplikatif karena mengkaji BAL dari produk fermentasi tradisional Indonesia, yaitu naniura dan trites, yang belum banyak dieksplorasi. Hasil uji autoagregasi dari isolat BAL ini dapat menjadi dasar pemilihan kandidat probiotik lokal yang potensial, serta membuka peluang pengembangan pangan fungsional berbasis BAL asli Indonesia. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi terhadap ilmu mikrobiologi dasar, tetapi juga memiliki implikasi praktis dalam seleksi probiotik lokal dan pemanfaatan produk fermentasi tradisional.

H. Kerangka Penelitian



Gambar 1 Kerangka Penelitian