

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Asam laktat atau disebut *2-hydroxypropanoic acid* dengan rumus kimia  $C_3H_6O_3$  merupakan asam hidroksi organik turunan asam karboksilat. Asam laktat bisa dalam bentuk dua isomer optik, yakni D (-) dan L (+) atau campuran dari keduanya membentuk reseмик DL – asam laktat. Isomer D (-) dan L (+) dari asam laktat memiliki tingkat kemurnian relatif tinggi serta menunjukkan aktivitas optik (memutar bidang polarisasi cahaya). Oleh sebab itu asam laktat D (-) dan L (+) memiliki banyak manfaat. Sedangkan DL – asam laktat memiliki sifat amorf dan tidak menunjukkan aktivitas optik, sehingga produksinya relatif terbatas. Dalam dunia industri asam laktat dimanfaatkan sebagai *acidulan*, kosmetik, obat-obatan, dan pengawet makanan (E270) (Agasha, 2021). Selain itu, asam laktat kini menjadi *platform chemical* esensial dengan permintaan global yang terus menanjak tajam. Fakta ini terlihat dari meningkatnya permintaan impor asam laktat di setiap tahun berdasarkan sumber Badan Pusat Statistik per Oktober 2025 pada Tabel 1.1 (Badan Pusat Statistik, 2025):

**Tabel 1.1** Data Impor Asam Laktat 5 Tahun Terakhir

<b>Tahun</b>	<b>Jumlah (Kg/Tahun)</b>
2021	7.286.022
2022	9.856.173
2023	10.209.148
2024	11.414.747
2025	7.395.152,54

Lonjakan permintaan ini didorong oleh perannya sebagai monomer utama dalam sintesis *biodegradable Polylactic Acid* (PLA). Penggunaan PLA tidak hanya sebagai bahan utama bioplastik, melainkan dapat juga digunakan sebagai kemasan makanan, kapsul obat, bahan baku industri medis serta industri tekstil (Nurhaliza and Anasyah, 2024).

Asam laktat bisa diproduksi melalui dua metode yakni sintesis kimia atau fermentasi biologis. Asam laktat yang diproduksi secara kimia dengan bahan dasar minyak bumi akan menghasilkan campuran resemit. Produksi asam laktat dengan cara fermentasi biologis lebih disukai di tingkat industri karena menghasilkan produk dengan kemurnian optik tinggi (spesifik L(+) atau D(-)). Kemurnian optik ini adalah prasyarat teknis yang tidak dapat dinegosiasikan. Hanya isomer yang murni secara optik yang dapat dipolimerisasi menjadi PLA dengan sifat mekanik dan termal yang sesuai. Selain itu, fermentasi menawarkan keuntungan operasional seperti suhu rendah dan penggunaan bahan baku terbarukan, menjadikannya proses yang unggul secara ekonomi maupun ekologis (Pujasari, 2019).

Mikroorganisme yang dipilih untuk proses fermentasi harus memiliki efisiensi konversi yang tinggi. *Lactobacillus delbrueckii* merupakan mikroorganisme pilihan utama industri karena sifatnya yang unik. *Lactobacillus delbrueckii* bersifat homofermentatif obligat di mana secara ketat mengonversi hampir seluruh heksosa (gula C<sub>6</sub>) menjadi asam laktat. Efisiensi ini memastikan rendemen produk yang tinggi dan minimalnya produk sampingan (etanol atau asam asetat) yang dapat mempersulit dan meningkatkan biaya pemurnian hilir. Selain itu, *Lactobacillus delbrueckii* bersifat termofilik di mana suhu pertumbuhan optimalnya yang tinggi (40-45°C) memberikan keunggulan selektif yang krusial. Operasi pada

suhu ini secara alami menekan pertumbuhan sebagian besar kontaminan mesofilik yang mungkin ada dalam *molasses* atau lingkungan, sehingga meningkatkan kemurnian kultur selama fermentasi. Meskipun efisien, kinerja *Lactobacillus delbrueckii* dalam media kompleks seperti *molasses* rentan terhadap inhibisi dan fluktuasi lingkungan sehingga menuntut adanya optimasi variabel proses (Devi *et al.*, 2019).

Salah satu tantangan terbesar dalam fermentasi skala industri adalah biaya substrat yang mencapai 50-60% dari total biaya produksi. Solusinya adalah beralih dari gula murni yang mahal ke sumber karbon alternatif yang melimpah dan ekonomis. Berbagai peneliti telah menggunakan banyak bahan baku *bio-refinery* murah seperti *molasses*, gandum hitam, jagung, *whey*, dan tepung kentang untuk memproduksi asam laktat sebagai sumber utama substrat (Srivastava *et al.*, 2014; Deng *et al.*, 2025; Srivastava and Tripathi, 2025). *Molasses* atau tetes tebu merupakan *by-product* atau hasil samping dari salah satu proses di industri gula yang tidak memungkinkan untuk dikristalkan kembali. *Molasses* mengandung gula yang cukup tinggi di antaranya sukrosa 34,19%, glukosa dan fruktosa 21,7%, gula ini sudah dalam bentuk yang siap dikonversi oleh mikroorganisme (Agasha, 2021). Selain itu *molasses* juga mengandung mineral (seperti  $Mg^{2+}$  dan  $Mn^{2+}$ ) dan vitamin B yang berfungsi sebagai faktor pertumbuhan esensial serta berpotensi mengurangi kebutuhan akan penambahan nutrisi sintesis yang mahal (Salatein *et al.*, 2025).

Terdapat beberapa penelitian terdahulu mengenai pemanfaatan *molasses* menjadi asam laktat. Di antaranya penelitian oleh Puspitarini, Yulia Dyah (2004) yang melakukan fermentasi asam laktat menggunakan bakteri *Lactobacillus delbrueckii*, *yield* asam laktat tertinggi yang dihasilkan sebesar 0,37% pada

konsentrasi *molasses* 15% dan waktu fermentasi pada hari ke-5. Selain itu Laita, Nurjannah (2017) melakukan penelitian dengan konsentrasi *molasses* 0,5% menggunakan bakteri *Lactobacillus delbrueckii*, *yield* asam laktat yang dihasilkan sebesar 2,8% dengan waktu fermentasi optimum 24 jam. Putri, Mardina Rahayu Ciptiani (2018) menyimpulkan bahwa asam laktat tertinggi sebesar 8,49% diperoleh pada variasi konsentrasi *molasses* 10% dengan penambahan inokulum *Lactobacillus casei Fnc 0090 Nrrl B-1922* 5%. Sedangkan percobaan yang dilakukan oleh Sabrina, Efriza Putri (2018) menyimpulkan bahwa kombinasi konsentrasi *molasses* 10% dengan inokulum *Lactobacillus plantarum* 5% dengan waktu fermentasi selama 24 jam menghasilkan kadar asam laktat sebesar 8,80%.

PG Glenmore merupakan satu-satunya pabrik gula yang ada di Banyuwangi di mana pabrik ini menghasilkan *molasses* rata-rata 170 ton perhari. *Molasses* PG Glenmore hanya ditampung dan masih belum dimanfaatkan menjadi produk yang lebih bernilai. Maka dari itu pemanfaatan *molasses* tidak hanya mengurangi biaya produksi asam laktat secara drastis tetapi juga mengimplementasikan prinsip ekonomi sirkular dengan mengubah limbah industri atau hasil samping bervolume besar menjadi produk bernilai ekonomi tinggi.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini mencoba menggabungkan dengan beberapa perbedaan perlakuan. Di mana penelitian ini akan menggunakan bakteri *Lactobacillus delbrueckii* dengan konsentrasi *molasses* 10%, 15%, dan 20%, serta waktu fermentasi selama 24, 48, dan 72 jam. Pemilihan rentang konsentrasi tersebut didasarkan pada prinsip kinetika fermentasi bahwa peningkatan jumlah substrat pada batas tertentu dapat meningkatkan laju pertumbuhan mikroorganisme dan pembentukan produk. Akan tetapi, apabila konsentrasi substrat terlalu tinggi, maka

tekanan osmotik media akan meningkat sehingga dapat menghambat aktivitas enzimatis dan menurunkan efisiensi produksi asam laktat (Kumar *et al.*, 2022). Dengan demikian, variasi konsentrasi 10%, 15%, dan 20% diharapkan mampu menunjukkan hubungan optimum antara ketersediaan substrat dan hasil biokonversi, sehingga diperoleh kondisi fermentasi yang paling efektif untuk produksi asam laktat dari *molasses*. Sedangkan waktu fermentasi 24, 48, dan 72 jam dipilih karena mewakili tahapan pertumbuhan *Lactobacillus delbrueckii* selama proses fermentasi. Fermentasi 24 jam digunakan untuk mengamati fase awal adaptasi dan pembentukan asam laktat, 48 jam untuk melihat kondisi optimum saat aktivitas metabolisme bakteri berlangsung maksimal, sedangkan 72 jam digunakan untuk mengevaluasi kemungkinan penurunan produksi akibat berkurangnya nutrisi, penurunan pH, dan akumulasi metabolit (Nurjannah *et al.*, 2017). Variasi waktu tersebut digunakan untuk menentukan waktu fermentasi optimum dalam menghasilkan asam laktat dari biokonversi *molasses*. Selain itu, pada penelitian ini bukan hanya untuk mengetahui kadar asam laktat saja melainkan juga pH akhir fermentasi dan biomassa sel yang dihasilkan.

Fermentasi adalah proses yang sensitif terhadap kondisi operasional. Penelitian ini secara spesifik berfokus pada optimasi dua variabel independen yang paling fundamental dalam menentukan *yield* dan efisiensi proses yakni konsentrasi *molasses* (substrat) dan waktu fermentasi. Pengujian variasi konsentrasi *molasses* sangat diperlukan untuk menemukan keseimbangan optimal yang memungkinkan *Lactobacillus delbrueckii* mengkonversi gula secara efisien tanpa mengalami penghambatan. Sedangkan variasi waktu fermentasi bertujuan untuk menentukan waktu panen kinetik yang tepat sehingga dapat dipastikan bahwa asam laktat

diisolasi pada kadar maksimum. *Metode Response Surface Methodology* (RSM) *Face Centered Central Composite Design* (FCCCD) digunakan untuk menentukan kondisi optimum dari masing-masing variabel.

Penelitian skala laboratorium menuntut sterilitas media yang sempurna. Dalam menghadapi keterbatasan ketiadaan autoklaf (sterilisasi uap bertekanan suhu 121°C), penelitian ini mengadopsi dan memvalidasi metode sterilisasi bertingkat atau tindalisasi. Tindalisasi adalah solusi yang tepat untuk media cair kompleks yang mengandung gula seperti *molasses*. Prinsipnya adalah memanfaatkan pemanasan berulang pada 100°C yang diselingi periode inkubasi 24 jam (Keratimanoch *et al.*, 2021). Metode ini sangat cocok untuk *molasses* karena menghindari paparan panas bertekanan yang dapat menyebabkan karamelisasi gula (membentuk senyawa maillard) dan merusak nutrisi termolabil, yang pada akhirnya dapat menghambat pertumbuhan *Lactobacillus delbrueckii*. Penelitian ini secara inheren juga memvalidasi efektivitas protokol sterilisasi bertingkat untuk laboratorium dengan fasilitas terbatas.

## 1.2. Rumusan Masalah

Mengacu pada uraian latar belakang di atas, maka rumusan masalah penelitian ini adalah:

1. Bagaimana efek perbedaan konsentrasi *molasses* (substrat) terhadap hasil kadar asam laktat oleh *Lactobacillus delbrueckii*?
2. Bagaimana waktu fermentasi optimum yang diperlukan *Lactobacillus delbrueckii* untuk menghasilkan kadar asam laktat maksimum?;
3. Bagaimana pemodelan empiris yang sesuai dengan hasil percobaan berdasarkan analisis RSM-FCCCD?.

### 1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah ditetapkan untuk memastikan penelitian optimasi biokonversi *molasses* menjadi asam laktat oleh *Lactobacillus delbrueckii* tetap fokus, *feasible*, dan memiliki hasil yang valid. Batasan masalah pada penelitian ini yakni:

1. Konsentrasi *molasses* dengan variasi 10%, 15%, dan 20%;
2. Waktu fermentasi dengan variasi 24, 48, dan 72 jam;
3. *Molasses* yang digunakan dari PG Glenmore;
4. Bakteri yang digunakan *Lactobacillus delbrueckii*;
5. Lokasi penelitian di Laboratorium PG Glenmore;
6. Kinerja biokonversi diukur dari analisis kadar asam laktat, pH akhir fermentasi, dan biomassa sel OD<sub>600</sub>.

### 1.4. Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Menentukan konsentrasi *molasses* (substrat) optimum yang menghasilkan kadar asam laktat tertinggi oleh *Lactobacillus delbrueckii*;
2. Menentukan waktu fermentasi optimum yang memberikan *yield* asam laktat maksimal;
3. Menentukan pemodelan empiris yang sesuai dengan hasil percobaan berdasarkan analisis RSM-FCCCD.

### 1.5. Manfaat

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

a. Manfaat ilmiah

Menyajikan data empiris mengenai kinetika fermentasi *Lactobacillus delbrueckii* pada substrat *molasses* dan menambah referensi ilmiah mengenai protokol sterilisasi non-autoklaf (Tindalisasi) dalam bioteknologi.

b. Manfaat praktis

Menawarkan protokol yang efisien dan murah untuk memproduksi asam laktat dari limbah industri yang dapat di replikasi di laboratorium dengan fasilitas terbatas.

