

Submitted : 2 Oktober 2019

Revised : 8 November 2019

Accepted : 23 Desember 2019

PENGARUH LAJU PEMBEBANAN SUBSTRAT TERHADAP PRODUKSI ASAM LAKTAT BERBAHAN BAKU MOLASE

Rahmayetty*, Nufus Kanani, Intan Fauziah, Nurul Ukhdiya

Jurusan Teknik kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jalan Jendral Sudirman Km. 3, cilegon-Banten

Email: rahmayetty@untirta.ac.id

Abstrak

Asam laktat merupakan bahan baku untuk industri polimer PLA (poliasam laktat) yang bersifat *biodegradable* dan *biocompatible*. Harga PLA masih di atas harga plastik konvensional. Upaya terus dilakukan untuk mengurangi harga produksi PLA agar bisa bersaing dengan plastik konvensional, salah satunya adalah mencari alternatif bahan baku yang murah. Bahan baku yang menjanjikan adalah molase. Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan laju pembebanan substrat molase yang menghasilkan asam laktat optimum. Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu inokulasi *Lactobacillus acidophilus*, fermentasi molase dan pemurnian asam laktat. Bioreaktor yang digunakan adalah bioreaktor anaerobik dengan volume 1000 ml. Inokulasi *Lactobacillus acidophilus* dilakukan dalam medium MRS pada suhu 38 °C selama 12 jam. Pada sistem *fed batch*, substrat dimasukkan secara simultan, dengan variasi laju alir pembebanan substrat 22,2; 33,3; 44,4; dan 66,7 ml/jam. Temperatur fermentor dijaga konstan pada 38°C selama 72 jam. Proses pemisahan asam laktat dilakukan dengan menambahkan kalsium hidroksida (Ca(OH)₂) dan diasamkan dengan larutan asam sulfat 0,01M pada temperatur 70 °C sehingga menghasilkan asam laktat dan kalsium sulfat (gypsum). Gypsum dan asam laktat disaring sehingga asam laktat terpisah dari gypsum. Laju spesifik pembentukan produk (q_p) tertinggi adalah 16,065 gP/gS dengan konsentrasi asam laktat sebesar 8,3 g/L pada laju pembebanan substrat sebesar 33,3 mg/L.

Kata Kunci: Asam laktat, *Fed batch*, *Lactobacillus acidophilus*, Molase

Abstract

Lactic acid is a raw material for the biodegradable and biocompatible PLA (polylactic acid) polymer industry. PLA prices are more expensive than conventional plastic. Efforts continue to be made to reduce the cost of PLA production in order to compete with conventional plastics, one of which is to find alternative raw materials that are inexpensive. A promising raw material is molasses. The purpose of this study is to obtain the rate of loading of molasses substrate which produces optimum lactic acid. This research was conducted in stages, namely inoculation of *Lactobacillus acidophilus*, fermentation of molasses and purification of lactic acid. The bioreactor used in this study was an anaerobic bioreactor with a volume of 1000 ml. *Lactobacillus acidophilus* inoculation was carried out in MRS medium at 38°C for 12 hours. In fed batch system the substrate was put simultaneously, with variations in the substrate loading flow rate of 22.2; 33.3; 44.4 and 66.7 ml/hr. The temperature of the fermenter was kept constant at 38°C for 72 hours. The purification process was carried out by adding calcium hydroxide (Ca(OH)₂) and acidifying with 0.01 M sulfuric acid solution at a temperature of 70°C to produce lactic acid and calcium sulfate (gypsum). Gypsum and lactic acid were filtered so that lactic acid was separated from gypsum. The highest specific rate of product formation (q_p) is 16.065 gP/gS with lactic acid concentration is 8,3 g/L at substrate loading rate of 33.3 m/hr.

Keywords: *Fed batch*, Lactic acid, *Lactobacillus acidophilus*, Molasses

1. PENDAHULUAN

Asam laktat merupakan salah satu bahan kimia yang penggunaannya sangat luas. Asam laktat digunakan untuk aroma dan pengawet dalam industri makanan, obat-obatan, kosmetik, detergen, dan susu. Saat ini, asam laktat juga digunakan sebagai bahan baku industri polimer PLA (poli asam laktat) yang bersifat *biodegradable* dan *biocompatible* sebagai alternatif pengganti plastik *non-biodegradable* yang dihasilkan dari minyak bumi, batu bara, atau gas alam (Huang et al., 2005; Zhou et al., 1999; Efremenko et al., 2006). Dengan perkembangan dan komersialisasi biopolimer ini, penggunaan asam laktat meningkat sangat pesat. Permintaan global asam laktat untuk bahan baku biopolimer pada tahun 2016 sebesar 1220 kt (kilo ton) diperkirakan akan meningkat menjadi 1960 kt (kilo ton) pada tahun 2025 (de Oliveira et al., 2018). Peningkatan penggunaan asam laktat sebagai bahan baku biopolimer, memicu para peneliti untuk mengembangkan penelitian di bidang produksi bahan kimia tersebut.

Kendati prospek asam laktat sebagai bahan baku bioplastik sangat menjanjikan, namun upaya masih diperlukan untuk mengurangi biaya produksi PLA agar dapat bersaing dengan plastik konvensional berbasis petrokimia. Salah satunya adalah mengurangi biaya produksi bahan baku berupa asam laktat. Diperkirakan bahwa biaya produksi asam laktat harus dikurangi sebesar 50% agar PLA menjadi kompetitif di pasaran (Wee et al., 2004; Okano et al., 2010). Beberapa aspek dalam pengurangan biaya produksi asam laktat telah banyak diteliti. Mulai dari bahan baku, jenis mikroorganisme, substrat, metode produksi, aplikasi, dan lain-lain.

Bahan baku pembuatan asam laktat dapat berasal dari gula dalam bentuk murni seperti glukosa, sukrosa, laktosa, gula yang berasal dari molase, pati-patian, selulosa, dan gliserin sisa biodiesel (Lasprilla, Martinez, Lunelli, & Jardini, 2012). Asam laktat dapat dihasilkan melalui proses kimiawi dan juga biologis (fermentasi). Pembuatan asam laktat dengan proses fermentasi memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan sintesis secara kimia yaitu biaya produksi rendah karena beroperasi pada temperatur rendah (John et al., 2007). Selain itu pemilihan bahan baku juga sangat mempengaruhi biaya produksi. Penggunaan polisakarida seperti pati dan selulosa membutuhkan tahapan proses yang kompleks yaitu proses delignifikasi untuk menghilangkan ligin pada selulosa, sakarifikasi untuk memecahkan ikatan karbohidrat menjadi glukosa serta fermentasi untuk menghasilkan asam laktat. Rahmayetty, dkk (2015) melaporkan bahwa sintesis asam laktat dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dengan metode sakarifikasi fermentasi simultan menghasilkan konsentrasi asam laktat yang masih rendah yaitu sebesar 0,568 g/L. Penggunaan glukosa pada pembuatan asam laktat hanya membutuhkan satu tahapan proses yaitu fermentasi. Penggunaan substrat murni glukosa dan laktosa tidak ekonomis karena harganya yang sangat mahal. Bahan baku yang murah dan dapat dikembangkan untuk memproduksi asam laktat adalah limbah yang

mengandung glukosa diantaranya adalah limbah industri gula berupa molase (Nandasana & Kumar, 2007). Molase mengandung 50% (b/b) dari total gula (Wee et al, 2004). Fermentasi glukosa dapat dilakukan oleh bakteri asam laktat dan beberapa jamur berfilamen diantaranya adalah *Lactobacilli amylophilus*, *Lactobacilli bavaricus*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus maltaromicus*, dan *Salivarius lactobacilli*, *Lactobacillus delbrueckii jensenii*, dan *Lactobacillus acidophilus*.

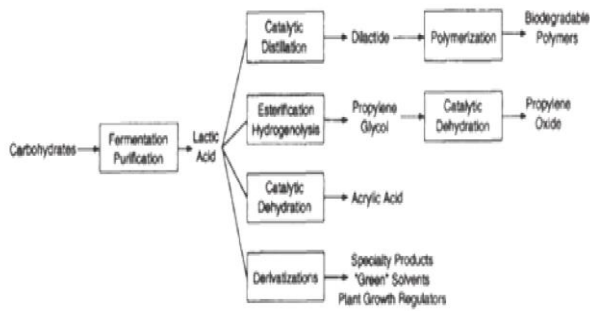
Keberhasilan proses fermentasi sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah jenis dan konsentrasi substrat, pH, dan konsentrasi bakteri. Wee et al., (2004) melaporkan bahwa penggunaan substrat molase untuk sintesis asam laktat dengan fermentasi *batch* menggunakan *Enterococcus faecalis* menghasilkan konsentrasi asam laktat maksimum sebesar 134,9 g/L. Kelemahan fermentasi *batch* adalah konsentrasi dan produktifitas asam laktat menurun karena terhambat oleh konsentrasi substrat yang tinggi (Hujanen et al., 2001).

Metode *fed batch* adalah metode pemasukkan substrat yang dilakukan secara bertahap atau terus menerus. Metode ini merupakan salah satu solusi untuk mengurangi pembebanan substrat yang berlebih pada awal proses. Hingga saat ini belum ditemukan adanya laporan mengenai penggunaan metode *fed batch* untuk produksi asam laktat dari molase. Berdasarkan uraian di atas maka penelitian mengenai pengaruh sistem pemasukkan substrat terhadap konsentrasi asam laktat yang dihasilkan pada fermentasi molase menggunakan *Lactobacillus achidopilus* perlu dilakukan untuk mendapatkan sistem *feeding* terbaik.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Asam Laktat

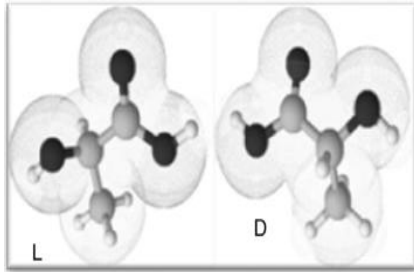
Asam laktat merupakan senyawa serbaguna yang banyak digunakan untuk aroma dan pengawet dalam industri makanan, obat-obatan, kosmetik, detergen, dan susu. Asam laktat selain digunakan sebagai bahan pengawet juga merupakan bahan baku industri polimer *biodegradable*, *oxygenated chemicals*, pengatur pertumbuhan tanaman, dan pelarut yang ramah lingkungan. Salah satu terapan yang paling menjanjikan dari asam laktat adalah sebagai bahan baku pembuatan PLA (*polylactic acid*) yang bersifat *biodegradable* dan *biocompatible* sebagai alternatif pengganti plastik *non-biodegradable* yang dihasilkan dari minyak bumi, batu bara, atau gas alam (Huang, et al. 2005; Zhou, et al. 1999; Efremenko, et al. 2006). Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai sifat fisik dan kimia dari asam laktat serta produksi asam laktat melalui fermentasi dan sintesis kimiawi.



Gambar 1. Potensi Produk dan Teknologi Asam Laktat (Vaidya, 2005)

2.1.1 Sifat fisik dan kimia asam laktat

Asam laktat yang memiliki nama resmi (IUPAC) 2-hydroxypropanoic acid dengan rumus kimia CH₃CHOHCOOH. Senyawa ini termasuk asam lemah dengan tingkat penguapan yang rendah. Asam ini memiliki sebuah atom asimetri, dimana di alam terdapat dalam bentuk D-, L-, dan DL-. (Lasprilla, et al., 2012; Madhavan Nampoothiri, et al. 2010).



Gambar 2. L- dan D- asam laktat (Lasprilla, et al., 2012; Madhavan Nampoothiri et al., 2010)

Walaupun asam laktat memiliki dua bentuk enansiomer, namun secara umum kedua enansiomer asam laktat memiliki sifat fisik yang sama. Sifat fisik asam laktat terangkum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Sifat Fisik Asam Laktat

Sifat Fisik	Simbol	Nilai	Satuan
Rumus molekul	C ₃ H ₆ O ₃	-	-
Berat molekul	Mr	90,098	gram/mol
Titik leleh (D atau L)	Tm	52,8-54	°C
Kelarutan dalam air (20°C, monomer L- asam laktat)		86	%(b)
Titik didih (14 mmHg)	Td	122	°C
Densitas (20°C)	ρ	1,224	gram/ml
Viskositas (25°C)	μ	28,5	mPa.s
Kapasitas panas (Cp pada 20°C)	Cp	190	J/mol°C

2.1.2 Produksi asam laktat

Asam laktat dapat dihasilkan melalui proses fermentasi dan kimiawi. Fermentasi merupakan metoda yang paling banyak digunakan oleh industri untuk menghasilkan asam laktat. Sekitar 90 % total produksi asam laktat di seluruh dunia dibuat melalui fermentasi oleh bakteri dan sisanya diproduksi melalui

hidrolisis *lactonitrile* (Lasprilla, et al., 2012; Lopes & Jardini, 2012). Proses fermentasi untuk mendapatkan asam laktat dapat diklasifikasikan sesuai dengan jenis bakteri yang digunakan. Fermentasi bisa berlangsung dengan kondisi anaerob atau aerob (Matsumoto & Taguchi, 2010). Sumber karbon mikroba dalam memproduksi asam laktat dapat berupa gula dalam bentuk murni seperti glukosa, sukrosa, laktosa, gula yang berasal dari molase, *whey*, ampas tebu, singkong, dan gula dari bahan tepung dari ubi, gandum, dan barley. Ampas tebu digunakan untuk memproduksi asam laktat oleh *Rhizopus oryzae* dan *Lactobacillus* dalam fermentasi *solid-state* dengan menambah gula atau hidrolisat pati sebagai sumber karbon (Lopes & Jardini, 2012).

Sumber utama mikroba asam laktat adalah bakteri asam laktat dan beberapa jamur berfilamen. Organisme utama yang menghasilkan L-asam laktat adalah *Lactobacilli amylophilus*, *Lactobacilli bavaricus*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus maltaromicus*, dan *Salivarius lactobacilli*. Strain seperti *Lactobacilli*, *Lactobacillus delbrueckii jensenii* atau *Lactobacillus acidophilus* menghasilkan D-asam laktat atau campuran dari keduanya (Madhavan Nampoothiri et al., 2010). Kisaran pH untuk memproduksi asam laktat adalah 5,4-6,4 dan suhu 38-42 °C serta konsentrasi oksigen rendah.

2.2 Molase

Molase merupakan produk samping dari proses pembuatan gula. Molase umumnya mengandung sekitar 50% (b/b) dari total gula. Saat ini molase hanya digunakan sebagai pakan ternak. Beberapa penelitian yang dilaporkan sebelumnya mengenai produksi asam laktat dari molase, didapatkan asam laktat sebesar 17-90 g/l dan produktivitas volumetrik sebesar 2-4 g/L.jam dalam fermentasi *batch*. Selain itu, *pretreatment* tambahan molase, seperti asam sulfat, *tricalcium phosphate*, *potassium ferrocyanide*, dan EDTA, mungkin diperlukan untuk meningkatkan efisiensi fermentasi, karena molase mengandung logam berat sampai taraf tertentu (misalnya besi, seng, tembaga, mangan, magnesium, kalsium, dan lain-lain), yang mungkin menghambat pertumbuhan sel, mempengaruhi pH medium, dan menonaktifkan enzim yang terkait dengan pembentukan produk. Namun, langkah-langkah tambahan itu untuk *pretreatment* secara ekonomi tidak menguntungkan karena mereka dapat mempersulit proses fermentasi (Wee et al., 2004).

2.3 Sistem Pemasukkan Substrat dalam Fermentor

Saat ini, sebagian besar fermentasi asam laktat di industri terjadi dalam sistem *batch*. Fermentasi secara *batch* membutuhkan waktu yang lama dengan produktivitas rendah dan biaya modal tinggi (Abdel-Rahman et al., 2013). Selain itu, prosesnya bisa berkurang karena asidikasi media dan penghambatan substrat (Castillo, 2013). Sistem fermentasi berkelanjutan berpotensi meningkatkan kapasitas produksi asam laktat dan mengurangi masalah yang berkaitan dengan biaya produksi. Selain keterbatasan

umum dari proses *batch*, ada beberapa karakteristik yang melekat dari produksi asam laktat yang mendorong pengembangan proses yang berkelanjutan. Pada sistem berkelanjutan, konstanta penghambatan produk bisa dihilangkan. Tidak seperti dalam proses *batch*, proses kontinu ataupun *fed batch* dapat dioperasikan dalam periode waktu yang lebih lama tanpa perlu berhenti. Dari sudut pandang ekonomi, sistem berkelanjutan memberikan manfaat karena terbentuk produk dengan jumlah yang besar dengan hanya menggunakan satu inokulum. Meskipun menguntungkan namun dari beberapa literatur menyatakan bahwa penerapan proses produksi asam laktat berkelanjutan di industri hanya sedikit (Mimitsuka et al., 2015).

Pengembangan sistem *fed batch* merupakan upaya untuk menghilangkan kendala dalam sistem *batch*. Pada sistem *fed batch* substrat akan dialirkan dengan laju tertentu secara simultan sehingga kendala penghambatan substrat pada proses fermentasi dapat dihilangkan. Teratasinya kendala substrat sebagai penghambat maka akan meningkatkan pertumbuhan dan laju pembentukan produk fermentasi (Lopez-Gomez et al., 2018).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Operasi Teknik Kimia Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Adapun bahan-bahan dan prosedurnya diuraikan pada subbab di bawah ini.

3.1 Bahan dan Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah *water batch*, pengaduk, erlenmeyer, dan leher angsa. Bahan yang digunakan adalah molase yang didapat dari salah satu pabrik gula yang berada di kawasan Cilegon, Banten. *Lactobacillus achidopillus* didapatkan dari Laboratorium Mikrobiologi Institut Teknologi Bandung (ITB).

3.2 Prosedur Penelitian

3.2.1 Inokulasi *Lactobacillus achidopillus*

Inokulum *Lactobacillus achidopillus* dimasukkan ke dalam erlenmeyer yang berisikan 100 ml media yang mengandung 20 g/L glukosa, 10 g/L pepton bakteriologis, 10 g/L ekstrak daging sapi, 5 g/L ekstrak yeast, 5 g/L natrium asetat, 2 g/L natrium sitrat, 2 g/L K_2HPO_4 , 1 mL/L Tween 80, 0,58 g/L $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0,12 g/L $MnSO_4 \cdot H_2O$, dan 20 g/L agar (pH 6,4). *Lactobacillus achidopillus* dibiakkan pada suhu 38 °C selama 12 jam, agar mikroorganisme mencapai fase pertumbuhan eksponensial.

3.2.2. Fermentasi asam laktat

Proses pemasukkan substrat dilakukan secara *fed batch* dengan mengisi fermentor dengan substrat molase 500 ml. Kemudian medium fermentasi (molase) disterilisasi pada temperatur 120 °C selama 15 menit. Setelah medium kembali pada temperatur ruang, maka dimasukkan 10% inokulum ke dalam fermentor. Selanjutnya substrat dimasukkan secara simultan menggunakan pompa dosing dengan laju pembebanan

bervariasi yaitu 22,2; 33,3; 44,4; dan 66,7 ml/jam, hingga volume total mencapai 1000 ml. Nilai pH kultur dipertahankan pada 6,0 dengan menambahkan 10 M NaOH. Temperatur fermentor dijaga konstan pada 38 °C dan pengadukan dilakukan dengan kecepatan 150 rpm agar kaldu fermentasi tercampur sempurna. Fermentasi dilakukan selama 72 jam dengan pengambilan sampel setiap 8 jam.

3.2.3 Pemurnian asam laktat

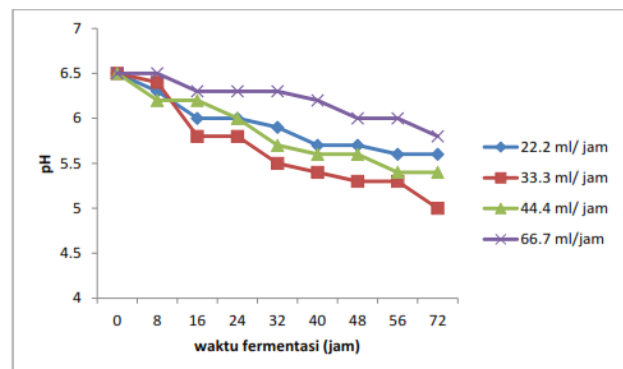
Proses pemurnian dilakukan dengan menambahkan kalsium hidroksida ($Ca(OH)_2$) 1% b/b dari cairan hasil fermentasi, sehingga terbentuk Ca-laktat. Kemudian dilakukan penyaringan. Untuk mendapatkan asam laktat, kalsium laktat selanjutnya diasamkan dengan menambahkan larutan asam sulfat 0,01M pada temperatur 70 °C sehingga menghasilkan asam laktat dan kalsium sulfat (gypsum). Gypsum dan asam laktat disaring sehingga asam laktat terpisah dari gypsum.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Fermentasi molase secara *fed batch* menggunakan konsentrasi bakteri 5% (v/v) dengan variasi laju pembebanan substrat. Substrat diberikan sebesar 22,2 ml/jam; 33,3 ml/jam; 44,4 ml/jam, dan 66,7 ml/jam. Nilai pH, konsentrasi asam laktat, dan konsentrasi sel selama fermentasi berlangsung dijelaskan dalam subbab berikut.

4.1 Nilai pH Selama Proses Fermentasi

Nilai pH dengan variasi pemasukkan substrat (*fed batch*) selama proses fermentasi terlihat pada Gambar 3.



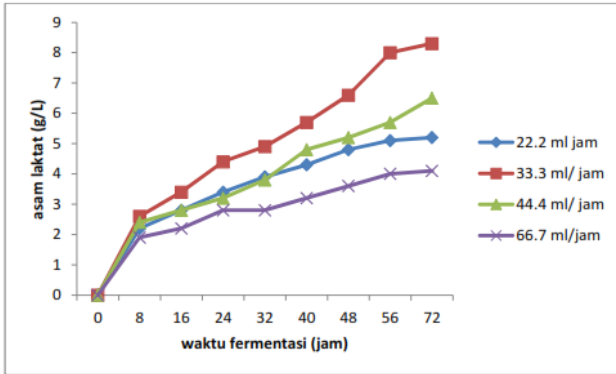
Gambar 3. Perubahan pH Selama Proses Fermentasi

Selama proses fermentasi berlangsung pH sistem menurun. Penurunan pH disebabkan oleh terakumulasinya asam laktat. Penurunan pH terbesar terjadi pada pemasukkan umpan 33,3 ml yaitu dari 6,5-5,0. pH sistem masih dalam batas toleransi kondisi hidup *Lactobacillus acidophilus*. Hasil yang sama juga dilaporkan oleh Tay and Yang (2002), dimana pembentukan asam laktat, etanol, dan asam fumarat menurunkan pH dari 6-4.

4.2 Konsentrasi Asam Laktat Selama Fermentasi

Pada metode *fed batch* konsentrasi asam laktat mengalami kenaikan setiap waktu. Konsentrasi asam

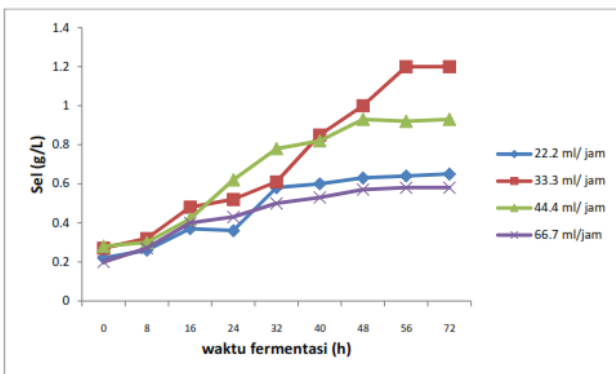
laktat tertinggi didapat pada laju pembebanan 33.3 ml/jam yaitu sebesar 8,3 g/L. Laju pembebanan yang terlalu kecil menyebabkan mikroorganisme kekurangan substrat dalam perkembangbiakannya, sebaliknya laju pembebanan substrat yang terlalu besar menyebabkan mikroorganisme akan mengalami fase lag (adaptasi) yang cukup panjang. Kedua hal ini akan mempengaruhi metabolisme sel sehingga produksi asam laktat menjadi tidak maksimum.



Gambar 4. Pengaruh Laju Pembebanan Terhadap Konsentrasi Asam Laktat

4.3 Konsentrasi Sel Selama Proses Fermentasi

Konsentrasi sel selama proses fermentasi untuk setiap variasi laju pembebanan terlihat mengalami kenaikan, seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Dari hasil analisa konsentrasi sel terlihat bahwa fase lag (adaptasi) tidak membutuhkan waktu yang lama. Pertumbuhan sel terlihat mengalami fase eksponensial mulai jam ke-8. Kenaikan konsentrasi sel secara cepat disebabkan oleh laju pembebanan yang tidak begitu besar di awal sehingga sel/mikroorganisme mudah beradaptasi dengan laju substrat yang diberikan. Konsentrasi tertinggi sel yang didapatkan pada laju pembebanan 33,3 ml/jam yaitu sebesar 1,2 g/L. Tingginya konsentrasi sel seiring dengan bertambahnya waktu fermentasi dan konsentrasi asam laktat yang dihasilkan.



Gambar 5. Konsentrasi Sel Selama Proses Fermentasi

4.4 Kinetika Reaksi Pembentukan Asam Laktat

Pada kultur *fed batch*, nutrisi diberikan secara kontinu dan *effluent* dikeluarkan diskontinu. Dalam metode *fed batch* volume kultur berubah setiap waktu. Pada substrat molase yang digunakan dengan

melakukan pengenceran 100x, didapatkan konsentrasi substrat awal sebesar 56 g/l.

Persamaan yang digunakan dalam perhitungan:

$$\mu_{net} = \frac{\ln X_2 - \ln X_1}{t_2 - t_1}$$

$$S = \frac{K_s D}{\mu_m - D}$$

$$X = X_o + Y_{X/S}^M (S_o - S)$$

$$P = P_o \frac{V_o}{V} + q_p X_m \left(\frac{V_o}{V} + \frac{Dt}{2} \right) t$$

Tabel 2. Parameter kinetika reaksi pembentukan asam laktat

Parameter	Laju pembebanan substrat (ml/jam)			
	22,2	33,3	44,4	66,7
So (g/L)	56	56	56	56
Xo (g/L)	0,22	0,27	0,28	0,2
X (g/L)	0,65	1,2	0,93	0,58
P (g/L)	5,2	8,3	6,5	4,1
μ_g (jam ⁻¹)	0,0150	0,0207	0,0167	0,0148
μ_m (jam ⁻¹)	0,0226	0,0337	0,0451	0,0683
q_p (gproduk/gsel)	10,174	16,065	12,447	7,687

Dari hasil perhitungan kinetika reaksi pembentukan produk didapatkan bahwa laju pertumbuhan sel tertinggi μ_g sebesar 0,0207 jam⁻¹ pada laju pembebanan 33,3 ml/jam. Laju maksimum pertumbuhan sel μ_m tertinggi pada laju pembebanan 66,7 ml/jam sebesar 0,0683 jam⁻¹. Laju pembentukan produk spesifik tertinggi q_p pada laju pembebanan 33,3 ml/jam sebesar 16,065 gP/g Sel). Tinggi laju pembentukan produk asam laktat menandakan bahwa aktifitas bakteri dalam mendegradasi substrat semakin baik. Hal ini juga didukung oleh kondisi lingkungan yang sesuai. Laju maksimum pertumbuhan sel μ_m menunjukkan seberapa banyak substrat digunakan untuk pembentukan sel. Seiring dengan meningkatnya laju maksimum pertumbuhan, semakin banyak juga substrat yang digunakan untuk membentuk sel, sehingga pembentukan produk sekunder semakin kecil. Hal ini bisa dilihat dengan perolehan asam laktat.

5. KESIMPULAN

Laju pembebanan substrat mempengaruhi konsentrasi produk asam laktat yang dihasilkan. Semakin tinggi laju pembebanan substrat, mikroorganisme akan mengalami fase lag yang semakin lama. Laju pembentukan produk tertinggi dihasilkan pada laju pembebanan substrat sebesar 33,3 ml/jam dengan nilai $q_p = 16,065$ gP/gS. Konsentrasi asam laktat tertinggi dihasilkan sebesar 8,3 g/L pada laju pembebanan 33,3 ml/jam.

6. DAFTAR PUSTAKA

Abdel-Rahman, Y. Tashiro, K. Sonomoto. 2013. Recent advances in lactic acid production by microbial

- fermentation processes, *Biotechnol. Adv.* 31 877–902.
- A. Tay, S.T. Yang. 2002. Production of l(+)-lactic acid from glucose and starch by immobilized cells of *Rhizopus oryzae* in a rotating fibrous bed bioreactor, *Biotechnol. Bioeng.* 80, 1–12.
- de Oliveira, Regiane Alves, Komesu, Andrea, Rossell, Carlos Eduardo Vaz, & Maciel Filho, Rubens. 2018. Challenges and opportunities in lactic acid bioprocess design—From economic to production aspects. *Biochemical Engineering Journal*, 133, 219–239.
- Castillo Martinez, E.M. Balciunas, J.M. Salgado, J.M. Domínguez González, A. Converti, R.P. de S. Oliveira. 2013. Lactic acid properties, applications and production: a review, *Trends Food Sci. Technol.* 30 70–83
- Efremenko, Elena N, Spiricheva, Olga V, Veremeenko, Dmitri V, Baibak, Alena V, & Lozinsky, Vladimir I. 2006. L (+)-Lactic acid production using poly (vinyl alcohol)-cryogel-entrapped *Rhizopus oryzae* fungal cells. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 81(4), 519-522.
- Huang, Li Ping, Jin, Bo, Lant, Paul, & Zhou, Jiti. 2005. Simultaneous saccharification and fermentation of potato starch wastewater to lactic acid by *Rhizopus oryzae* and *Rhizopus arrhizus*. *Biochemical Engineering Journal*, 23(3), 265-276.
- Hujanen, M, Linko, S, Linko, Y-Y, & Leisola, M. 2001. Optimisation of media and cultivation conditions for L (+)(S)-lactic acid production by *Lactobacillus casei* NRRL B-441. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 56(1-2), 126-130
- John, R.P., K.M. Nampoothiri, and A. Pandey. 2007. Fermentative production of lactic acid from biomass: an overview on process developments and future perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 74(3): p. 524-534.
- Lasprilla, Astrid JR, Martinez, Guillermo AR, Lunelli, Betânia H, & Jardim, André L. 2012. Poly-lactic acid synthesis for application in biomedical devices— A review. *Biotechnology advances*, 30(1), 321-328
- Lopes, M Savioli, & Jardim, A L. 2012. Poly (lactic acid) production for tissue engineering applications. *Procedia Engineering*, 42, 1530-1542.
- López-Gómez, José Pablo, Alexandri, Maria, Schneider, Roland, & Venus, Joachim. 2018. A review on the current developments in continuous lactic acid fermentations and case studies utilising inexpensive raw materials. *Process Biochemistry*.
- Madhavan Nampoothiri, K, Nair, Nimisha Rajendran, & John, Rojan Pappy. 2010. An overview of the recent developments in polylactide (PLA) research. *Bioresource Technology*, 101(22), 8493-8501
- Matsumoto, Ken'ichiro, & Taguchi, Seiichi. 2010. Enzymatic and whole-cell synthesis of lactate-containing polyesters: toward the complete biological production of polylactate. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(4), 921-932.
- Mimitsuka, K. Sawai, K. Kobayashi, T. Tsukada, N. Takeuchi, K. Yamada, H. Ogino, T. Yonehara. 2015. Production of d-lactic acid in a continuous membrane integrated fermentation reactor by genetically modified *Saccharomyces cerevisiae*: enhancement in d-lactic acid carbon yield, *J. Biosci. Bioeng.* 119 65–71
- Nandasana, Anjana D, & Kumar, Surendra. 2008. Kinetic modeling of lactic acid production from molasses using *Enterococcus faecalis* RKY1. *Biochemical Engineering Journal*, 38(3), 277-284.
- Okano, Kenji, Tanaka, Tsutomu, Ogino, Chiaki, Fukuda, Hideki, & Kondo, Akihiko. 2010. Biotechnological production of enantiomeric pure lactic acid from renewable resources: recent achievements, perspectives, and limits. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(3), 413-423.
- Rahmayetty, Dwi Prasetio, Rosalia, Misri Gozan. 2014. Pembuatan asam laktat berbahan baku tandan kosong kelapa sawit menggunakan metode sakarifikasi fermentasi simultan. *Prosiding Seminar Nasional Integrasi Proses*.
- Rasrendra, Carolus B, Fachri, Boy A, Makertihartha, IGBN, Adisasmito, Sanggono, & Heeres, Hero J. 2011. Catalytic conversion of dihydroxyacetone to lactic acid using metal salts in water. *ChemSusChem*, 4(6), 768-777.
- Vaidya, A., et al.. 2005. *Production and recovery of lactic acid for polylactide—an overview*. Critical reviews in environmental science and technology. 35(5): p. 429-467.
- Vink, Erwin TH, Rabago, Karl R, Glassner, David A, & Gruber, Patrick R. 2003. Applications of life cycle assessment to NatureWorks™ polylactide (PLA) production. *Polymer Degradation and stability*, 80(3), 403-419.
- Wee, Young-Jung, Kim, Jin-Nam, Yun, Jong-Sun, & Ryu, Hwa-Won. 2004. Utilization of sugar molasses for economical L (+)-lactic acid production by batch fermentation of *Enterococcus faecalis*. *Enzyme and Microbial Technology*, 35(6-7), 568-573.
- Zhou, Ying, Domínguez, José M, Cao, Ningjun, Du, Jianxin, & Tsao, George T. 1999. Optimization of L-lactic acid production from glucose by *Rhizopus oryzae* ATCC 52311. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 78(1-3), 401-407.