

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

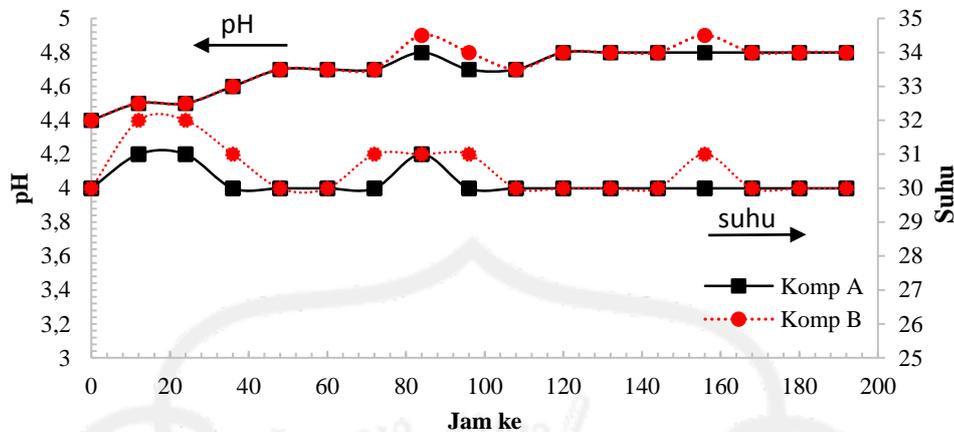
A. Hasil dan Pembahasan Penelitian

Proses fermentasi pada penelitian ini dilakukan secara kontinu dengan proses flokulasi. Proses flokulasi adalah penggabungan inti flok yang berukuran kecil menjadi flok yang berukuran besar yang memungkinkan partikel pertikelnya dapat mengendap, ini dilakukan dengan menambahkan flokulan pada saat proses sedang berlangsung. Teknik ini meningkatkan kepadatan sel dari waktu ke waktu tanpa menghentikan proses ataupun menambahkan sel dari inokulum baru ke dalam reaktor.

Reaktor yang digunakan pada proses fermentasi etanol ini menggunakan reaktor *Intergrated Aerobic Anaerobic Baffled Reactor* (IAABR) dimana reaktor ini didesain untuk dapat meregenerasi sel dan tetap menjalankan proses fermentasi pada satu waktu, reaktor IAABR dengan kapasitas 10L ini menggunakan penelitian sebelumnya dari (Margono *et al.* 2020) dengan modifikasi kompartemen yang dibagi menjadi dua. Pembagian kompartemen ini memiliki peranan tersendiri dimana kompartemen A merupakan tempat aliran umpan substrat masuk dalam proses fermentasi kontinu dan juga tempat dilakukan aerasi agar sel dapat beregenerasi. Sedangkan pada kompartemen B tempat terjadinya proses utama yaitu fermentasi etanol oleh sel *S. Cerevisiae*, selain itu dilakukan juga proses flokulasi untuk menjaga kepadatan sel agar tetap tinggi dan mencegah sel keluar terbawa aliran.

Pada proses fermentasi ini pH dan suhu dicatat secara berkala untuk mengetahui proses yang sedang berlangsung tidak terpengaruh dengan adanya penambahan flokulan maupun umpan masuk karena pada saat berlangsungnya proses tidak dilakukan kontrol terhadap pH maupun suhu. Sedangkan proses fermentasi akan berlangsung optimum jika pH antara 4-5 dan pada suhu 30-32°C (Abrina *et al.* 2017) (Asif *et al.* 2015). Grafik pH dan suhu ditunjukkan pada Gambar 2, dimana pH awal 4,4 kemudian pada rentang waktu selanjutnya pada proses fermentasi didapatkan rata-rata pH di angka 4,8. Sedangkan pada grafik suhu, suhu awal adalah 30° C dan sempat mencapai suhu tertinggi 32° C pada saat

fase start up, setelahnya suhu turun kembali. Pada rentang waktu selanjutnya didapatkan rata-rata suhu pada angka 30° C.

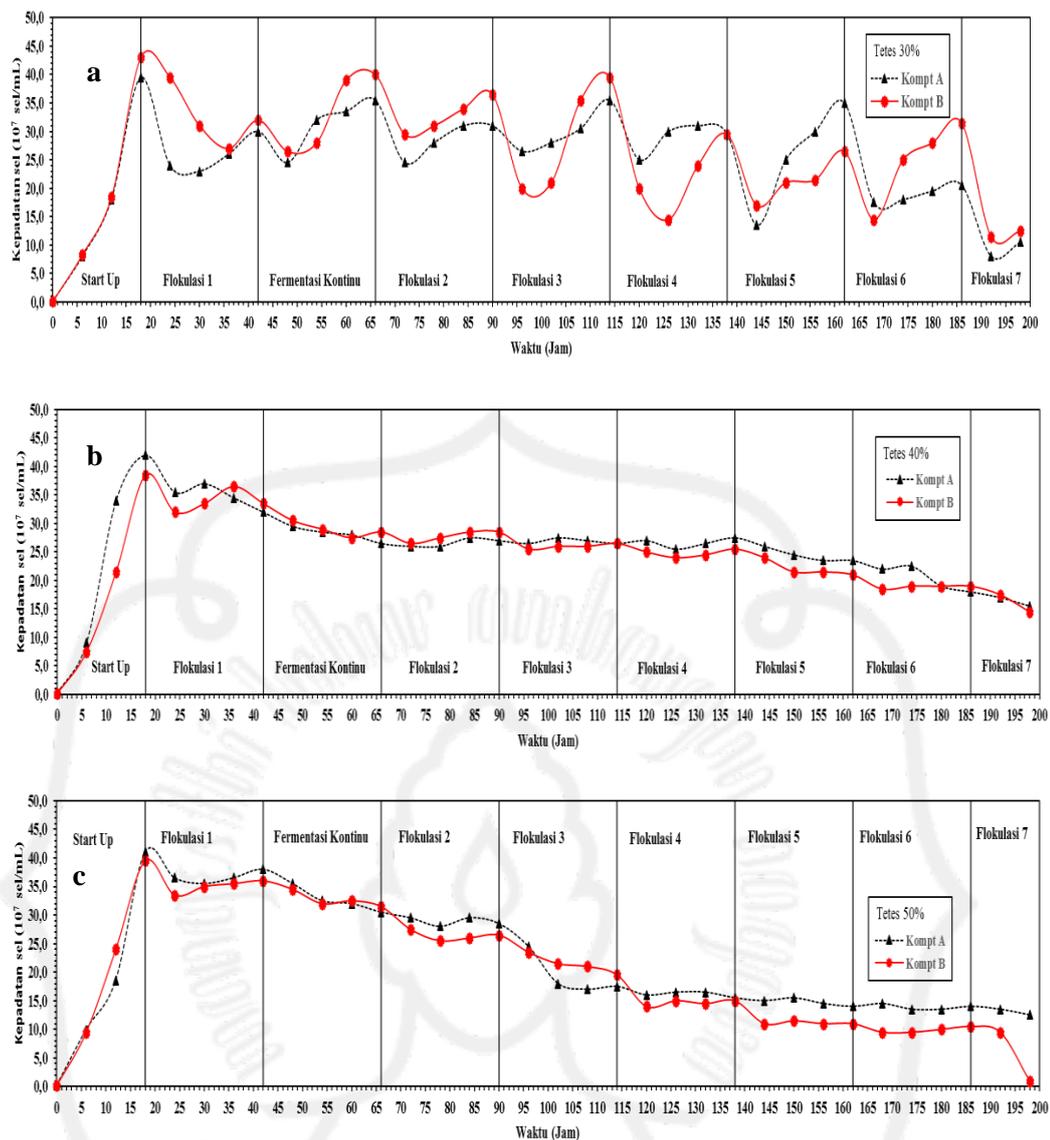


Gambar 2. Grafik pH dan suhu selama proses fermentasi

1. Kepadatan Sel *Saccharomyces cerevisiae*

Fermentasi diawali dengan proses start up dimana reaktor diisi penuh sesuai kapasitas (10L) dengan medium molase 30% (b/b) yang sudah dicampurkan 1L starter 2, dan dibiarkan dalam keadaan tersirkulasi agar medium yang didalamnya menjadi homogen, pada saat kepadatan sel mencapai 10^8 sel/mL dilakukan penambahan flokulan sebanyak 200 mL. Proses Flokulasi ini bertujuan menjerab sel-sel yang sudah terbentuk sehingga sel-sel baru yang tumbuh mendapatkan ruang. Penambahan ulang flokulan dilakukan secara berkala setiap 24 jam, merujuk dari penelitian Suci (2018). Selanjutnya pada jam ke 42 dilakukan proses kontinu dengan mengalirkan aliran substrat dengan berbagai variasi konsentrasi molase didalamnya.

Gambar 3 menunjukkan perbedaan kepadatan sel yang dapat tumbuh pada masing-masing penambahan variasi konsentrasi molase dalam umpan dengan laju umpan yang tetap yaitu sebesar 0,5 L/jam. Pada variasi konsentrasi molase 30% dalam umpan, proses start up mencapai kepadatan sel hingga $3,95 \times 10^8$ sel/mL pada kompartemen A sedangkan pada kompartemen B mencapai $4,3 \times 10^8$ sel/mL, selanjutnya ditambahkan flokulan sebesar 200 mL dengan konsentrasi 15 g/L pada kompartemen B.



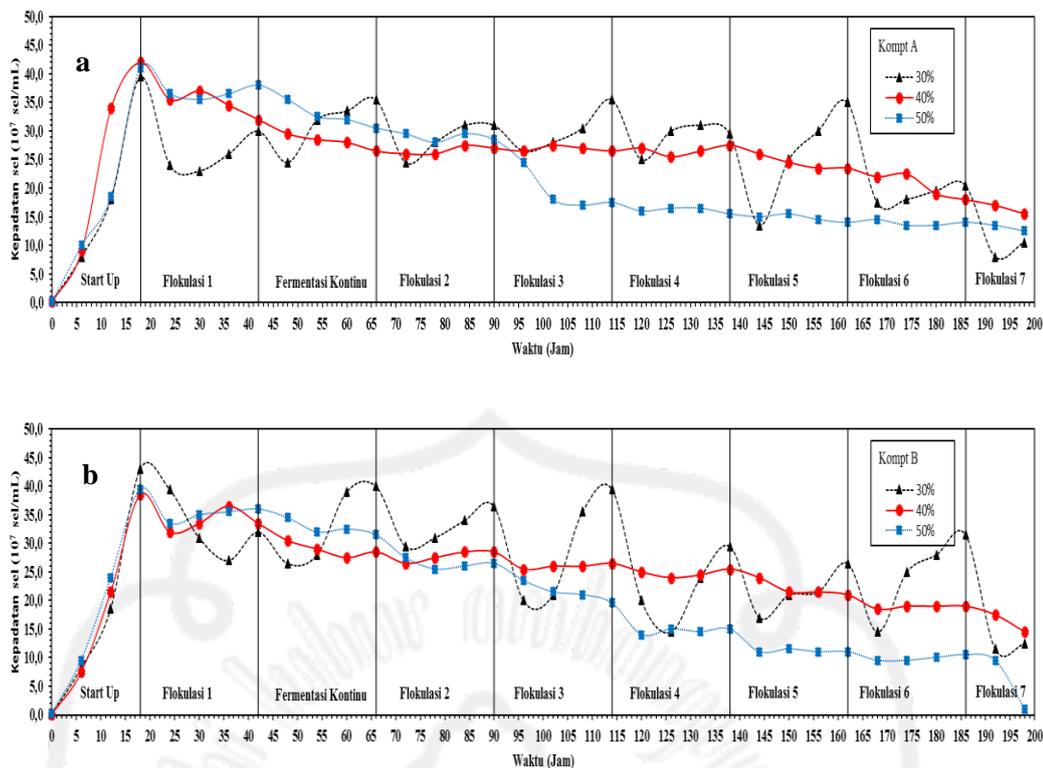
**Gambar 3. Kepadatan sel pada berbagai konsentrasi molase dalam umpan:
(a) 30%; (b) 40%; (c) 50%**

Penambahan flokulan mengakibatkan terjadinya flokulasi yang ditandai dengan penurunan kepadatan sel pada grafik. Proses dilanjutkan adalah mengalirkan aliran umpan pada waktu ke 42 jam, atau yang disebut dengan proses kontinu. Selama proses kontinu berlangsung flokulasi juga dilakukan secara berulang dengan interval 24 jam, hal ini menyebabkan kepadatan sel menjadi sedikit berkurang pada saat proses flokulasi, yaitu dengan ditunjukkannya penurunan kepadatan sel setelah penambahan flokulan. Proses fermentasi kontinu pada variasi konsentrasi molase 30% dalam umpan didapat rata-rata kepadatan sel

mencapai $2,58 \times 10^8$ sel/mL. Sedangkan pada Gambar 3 b dan c menunjukkan kecenderungan grafik yang hampir sama yaitu menurun hingga akhir proses, hal ini disebabkan kepadatan sel sudah mencapai puncaknya saat proses start up lalu cenderung steady state pada fermentasi kontinunya. Kepadatan sel rata-rata yang didapat pada konsentrasi molase dalam umpan 40% dan 50% sebesar $2,4 \times 10^8$ dan $1,98 \times 10^8$ sel/mL. Sehingga dapat disimpulkan dengan penambahan konsentrasi molase dalam umpan menyebabkan penurunan kepadatan sel yang terdapat pada reaktor.

Konsentrasi molase dalam umpan yang masuk dalam reaktor mempengaruhi kekentalan medium sehingga membuat aerasi tidak optimum dengan ditandai gelembung aerator yang tidak sebanyak konsentrasi umpan sebelumnya. Pengaruh aerasi terhadap fermentasi di laporkan oleh (Jayus *et al.* 2016). Selain itu juga dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain terdapat sel yang terbawa keluar bersama molase atau laju regenerasi sel yang lebih rendah dari laju kematian sel. Tetapi laju penurunan pada setiap grafik tidak menunjukkan tingkat yang signifikan dikarenakan adanya penambahan flokulan yang bertugas menahan sel agar tidak banyak terbawa aliran keluar reaktor (*wash out*), karena flok-flok yang terbentuk di dalam reaktor berada di bawah atau mengendap (Asga dan Rosa 2006).

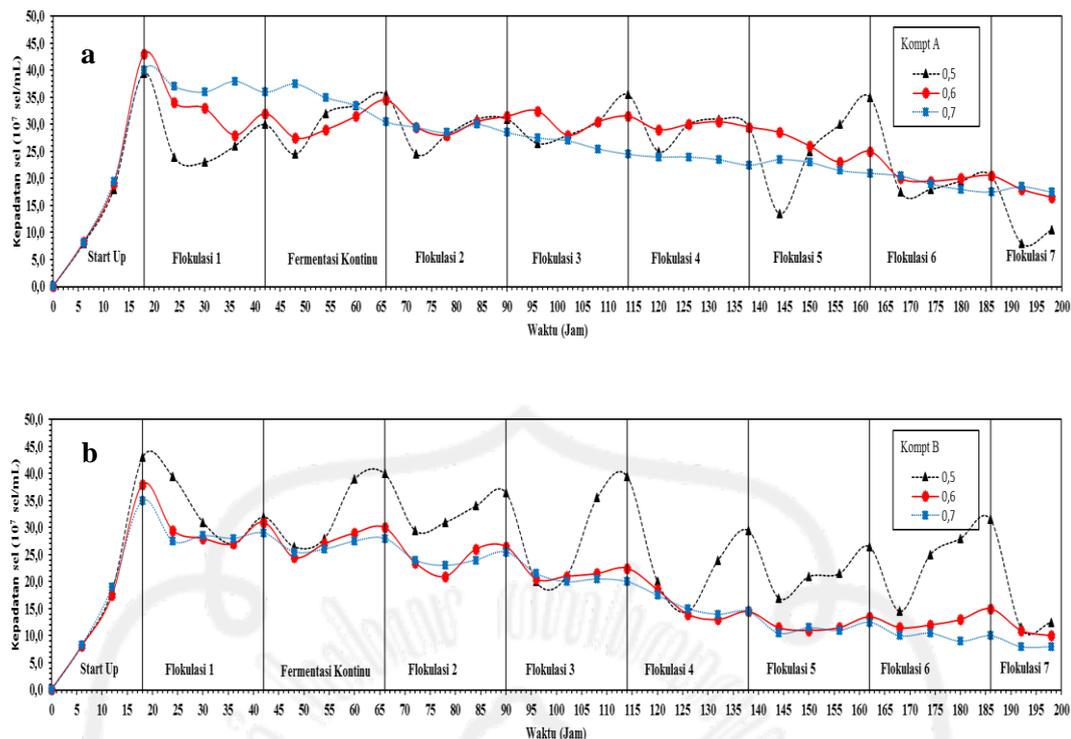
Sedangkan untuk Gambar 4 (a) menampilkan perbandingan jumlah sel pada kompartemen A dengan variasi konsentrasi molase dalam umpan. Kompartemen A merupakan penghasil sel *S. Cerevisiae* dimana terjadi proses aerobik yang memungkinkan sel bertambah banyak atau beregenerasi. Grafik 4 (a) menunjukkan kecenderungan penurunan kepadatan sel setelah proses start up dan ini terjadi pada semua variasi umpan. Pada Gambar 4 untuk rata-rata jumlah sel dengan konsentrasi 30% adalah $2,48 \times 10^8$ sel/mL, 40% adalah $2,52 \times 10^8$ sel/mL, dan 50% adalah $2,21 \times 10^8$ sel/mL. Jumlah sel rata-rata diambil setelah proses fermentasi kontinu berlangsung.



Gambar 4 Grafik perbandingan kepadatan sel pada kompartemen A dan B dengan variasi konsentrasi molase dalam umpan (a) Kompartemen A ; (b) Kompartemen B

Profil Gambar 4 (b) menggambarkan perbandingan jumlah sel yang terdapat pada kompartemen B dengan variasi konsentrasi molase dalam umpan, kompartemen B merupakan kompartemen yang berfungsi untuk proses anaerobik dimana sel menghasilkan alkohol sebagai hasil dari metabolisme. Hasil rata-rata jumlah sel dengan konsentrasi 30% adalah $2,53 \times 10^8$ sel/mL, 40% adalah $2,46 \times 10^8$ sel/mL, dan 50% adalah $2,07 \times 10^8$ sel/mL. Kepadatan sel rata-rata tertinggi didapat pada konsentrasi umpan 30%, hasil ini sesuai dengan penelitian (Margono, Kaavessina, dan Dyartanti 2018).

Kepadatan sel tertinggi pada konsentrasi umpan 30% menjadi acuan dalam memvariasikan laju alir umpan. Kecepatan laju alir umpan divariasikan untuk mengetahui kepadatan sel yang paling banyak terbentuk. Kecepatan laju alir umpan divariasikan menjadi tiga yaitu 0,5 L/jam, 0,6 L/jam, dan 0,7 L/jam. Hasil variasi kecepatan laju alir umpan terdapat pada Gambar 5.



Gambar 5 Grafik perbandingan kecepatan laju alir umpan 0,5 L/jam, 0,6 L/jam, dan 0,7 L/jam : (a) Kompartemen A; (b) Kompartemen B

Fermentasi kontinu dimulai saat flokulasi pertama sudah homogen dan memberikan dampak pada medium yaitu dengan menurunnya kepadatan sel pada kompartemen B, selain itu penurunan kepadatan sel juga disebabkan oleh kurangnya nutrisi di dalam reaktor maka proses dilanjutkan dengan proses kontinu. Fermentasi kontinu dilakukan dengan mengalirkan media molase 30% yang sudah disterilisasikan dengan berbagai variasi kecepatan laju alir. Efek variasi kecepatan laju alir umpan menyebabkan kepadatan sel menjadi berkurang seperti yang tersaji pada Gambar 5. Selain itu efek flokulasi juga cenderung menurun, hal ini terlihat dari grafik yang menunjukkan penurunan yang tidak signifikan pada kecepatan laju alir umpan 0,6 L/jam dan 0,7 L/jam. Efek flokulasi yang menurun ini diakibatkan kecepatan laju alir yang terlampaui tinggi, sehingga menyebabkan flokulan yang terbentuk belum sempat untuk mengendap dan mencapai titik terbaiknya. Kecepatan laju alir yang tinggi juga membuat aliran produk meningkat dan waktu tinggal menjadi berkurang.

Tabel 2 Perbandingan kepadatan sel bebas rata-rata

Kompartemen	Kepadatan sel rata-rata (sel/mL)				
	30% (0,5 L/jam)	40% (0,5 L/jam)	50% (0,5 L/jam)	30% (0,6 L/jam)	30% (0,7 L/jam)
A	$24,8 \times 10^7$	$25,2 \times 10^7$	$21,59 \times 10^7$	$21,50 \times 10^7$	$21,10 \times 10^7$
B	$25,8 \times 10^7$	$24,0 \times 10^7$	$19,88 \times 10^7$	$15,41 \times 10^7$	$14,56 \times 10^7$

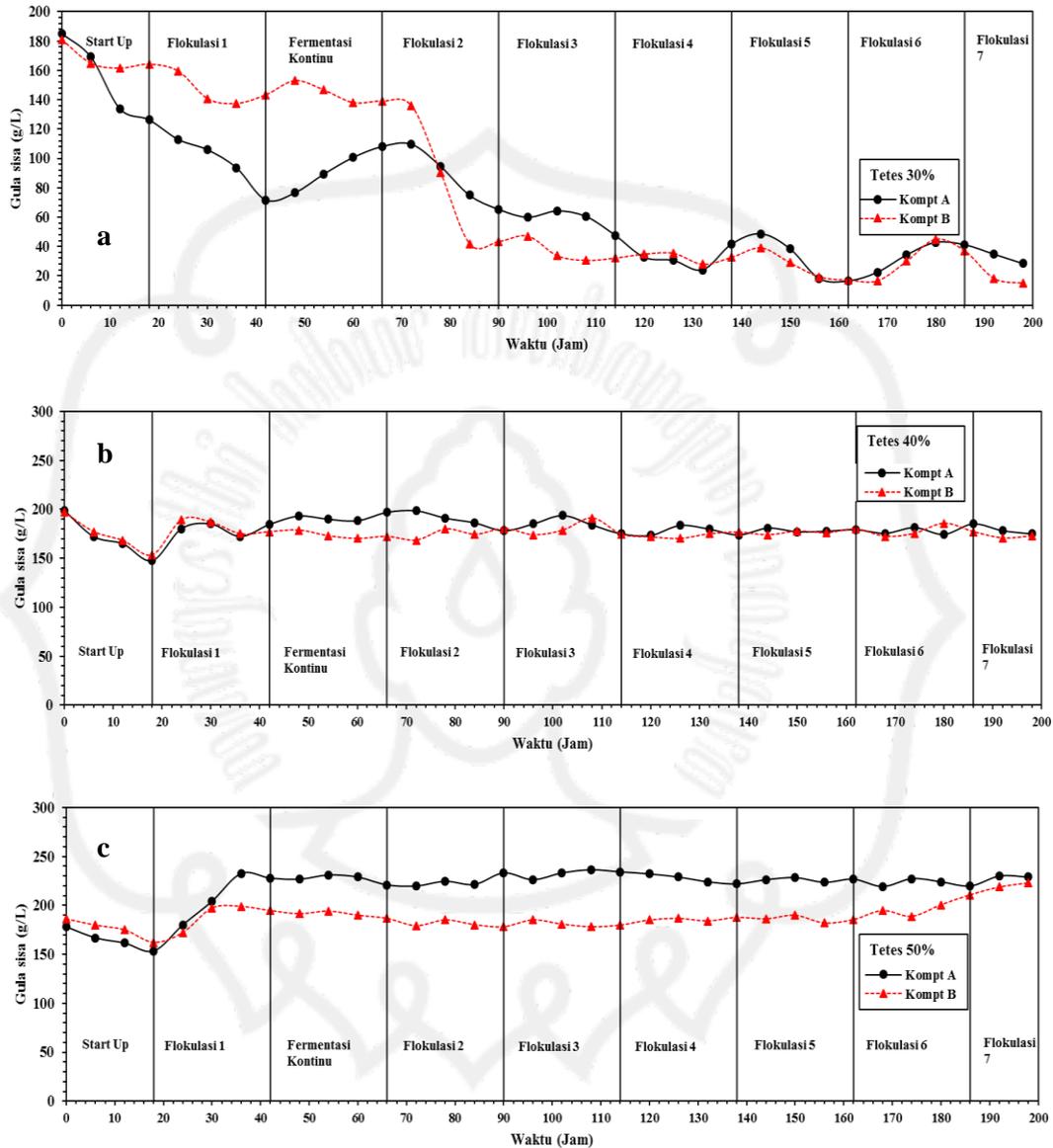
Gambar 4, Gambar 5, dan Tabel 1, menunjukkan bahwa kepadatan sel dipengaruhi oleh konsentrasi molase dalam umpan dan kecepatan laju alir. Pada Tabel 1 dapat disimpulkan kepadatan sel yang paling optimum yaitu pada konsentrasi molase 30% dalam umpan dengan kecepatan laju alir sebesar 0,5 L/jam dengan kepadatan sel rata-rata saat fermentasi kontinu sebesar $25,8 \times 10^7$ sel/mL.

2. Konsentrasi Gula Sisa

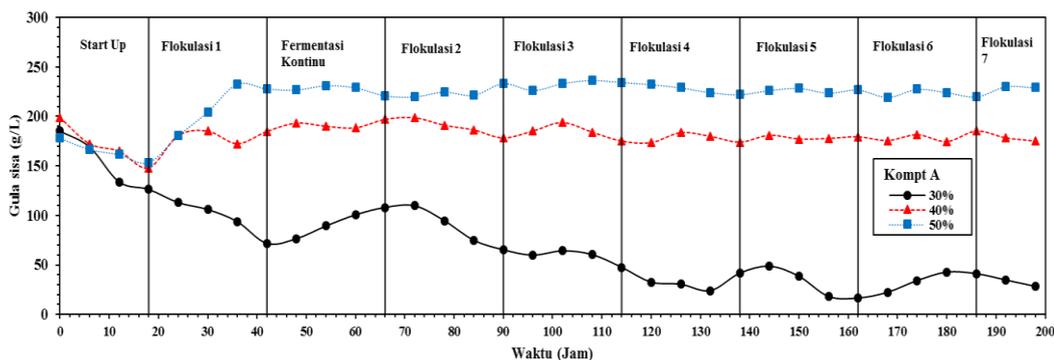
Kadar konsentrasi gula sisa dihitung guna mengetahui seberapa efisien sel *S. Cerevisiae* memetabolisme gula menjadi alkohol. Konsentrasi gula sisa memberikan informasi tingkat konsumsi sel yang paling optimum. Pada Gambar 6 grafik konsentrasi gula sisa dengan variasi konsentrasi molase dalam umpan sebesar 30%, 40%, dan 50% disajikan.

Dari Gambar 6 tingkat konsumsi sel memiliki hasil yang berbeda-beda pada setiap variasi konsentrasi umpan. Pada grafik a dimana konsentrasi molase 30% dalam umpan hasilnya konsentrasi gula sisa menunjukkan kecenderungan menurun secara drastis, hal ini berbeda dengan grafik b yang menunjukkan grafik yang datar, sedangkan untuk grafik c menunjukkan peningkatan konsentrasi gula sisa yang naik setelah umpan mulai dialirkan ke dalam reaktor. Perbedaan grafik a, b, maupun c dikarenakan tingkat kemampuan sel untuk merubah gula menjadi alkohol sudah mencapai batasnya. Hasil rata-rata konsentrasi gula sisa dengan variasi konsentrasi molase 30% dalam umpan sebesar 54,5 g/L, 40% sebesar 179,5 g/L, 50% sebesar 209,12 g/L. Penambahan konsentrasi umpan berpengaruh terhadap konsentrasi gula sisa semakin besar konsentrasi umpan semakin besar juga konsentrasi gula sisanya. Pada profil konsentrasi umpan 30% cenderung grafik tidak stabil dikarenakan proses belum mencapai steady state (dimana tercapainya keseimbangan antara konsumsi gula dengan jumlah sel), pada jam ke 84 proses berlangsung baru menunjukkan steady state. Sedangkan untuk umpan 40% dan 50% cenderung

mendapatkan grafik yang tidak fluktuatif setelah 42 jam proses berlangsung, hal ini menunjukkan proses sudah dalam keadaan steady state yang lebih cepat dicapai daripada konsentrasi umpan 30%. Hal ini dipengaruhi oleh banyaknya jumlah sel dan ketersediaan konsentrasi gula pada reaktor.

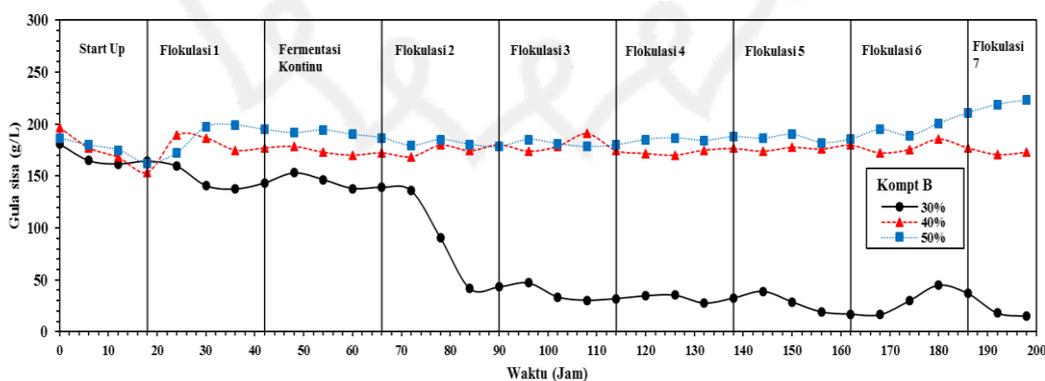


Gambar 6 Grafik konsentrasi gula sisa selama proses fermentasi dengan variasi konsentrasi molase dalam umpan: (a) 30%; (b) 40%; (c) 50%



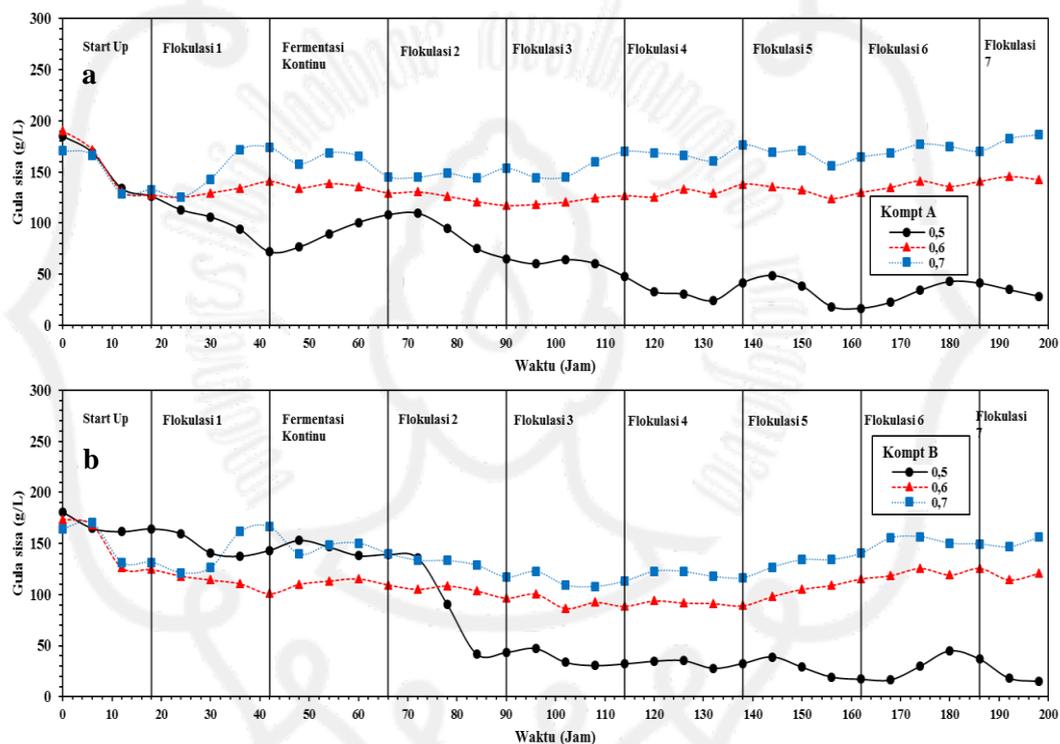
Gambar 7 Grafik konsentrasi gula sisa pada kompartemen A dengan variasi konsentrasi molase dalam umpan

Perbandingan konsentrasi gula sisa untuk kompartemen A pada Gambar 7 konsentrasi molase 30% dalam umpan cenderung menurun konsentrasi gula sisanya dikarenakan kebutuhan gula untuk sel beregenerasi mulai menipis. Sedangkan untuk profil grafik konsentrasi molase 40% dan 50% cenderung naik dikarenakan saat proses start up konsentrasi yang digunakan adalah 30%, dan kebutuhan gula untuk sel beregenerasi melimpah dan tidak dapat dimanfaatkan secara maksimal, hal ini ditunjukkan juga dengan Gambar 4 dimana profil jumlah sel cenderung turun dengan bertambahnya konsentrasi umpan menyebabkan batas toleransi sel terhadap kadar gula yang terkandung pada media sudah tercapai, batas toleransi sel terhadap kadar gula berdasarkan penelitian Margono *et al* (2018) pada konsentrasi molase 30% dalam umpan. Konsentrasi kadar gula optimum dilaporkan oleh (Widjaja *et al.* 2010) pada 125 g/L dengan proses kontinu menggunakan vakum.



Gambar 8 Grafik konsentrasi gula sisa pada kompartemen B dengan variasi konsentrasi molase dalam umpan

Profil Gambar 8 yaitu grafik konsentrasi gula sisa pada kompartemen B dengan variasi konsentrasi umpan dapat diamati bahwa berhubungan dengan Gambar 7 dimana kompartemen A bertugas memasok sel baru untuk kompartemen B, sehingga apabila kompartemen A tidak dapat memasok sel dengan optimum maka akan mempengaruhi konversi gula pada kompartemen B. Konversi gula tidak berjalan optimum selain pada konsentrasi molase 30% dalam umpan, dimana grafik dan data konsentrasi gula sisa tidak menunjukkan penurunan yang signifikan. Rata-rata konsentrasi gula sisanya adalah 30% sebesar 31 g/L, 40% sebesar 175,9 g/L, dan 50% sebesar 191,32 g/L. Nilai rata-rata konsentrasi gula yang masih tinggi menunjukkan sel tidak mengkonversi gula secara efisien.



Gambar 9 Grafik perbandingan konsentrasi gula sisa dengan variasi kecepatan laju alir umpan 0,5 L/jam, 0,6 L/jam, dan 0,7 L/jam. (a) Kompartemen A ; (b) Kompartemen B

Efek variasi kecepatan laju alir pada konsentrasi gula sisa tersaji pada Gambar 9, dimana efek peningkatan laju alir umpan dari 0,5 L/jam menjadi 0,6 L/jam maupun 0,7 L/jam dengan konsentrasi molase dalam umpan yang tetap yaitu 30% menjadikan konsentrasi gula sisa meningkat, hal ini menunjukkan sel tidak

optimum mereduksi gula menjadi produk. Konsentrasi gula dalam umpan yang dapat direduksi oleh sel dengan kecepatan laju alir umpan 0,5 L/jam sebesar 70,54%, sedangkan untuk 0,6 L/jam sebesar 32,97%, dan untuk 0,7 L/jam sebesar 15,94%. Reduksi gula yang semakin kecil dengan penambahan kecepatan laju alir disebabkan waktu tinggal yang kurang sehingga sel belum sepenuhnya memetabolisme gula dalam reaktor.

Tabel 3 Perbandingan kadar gula sisa rata-rata

Kompartemen	Kadar gula sisa rata-rata				
	30% (0,5 L/jam)	40% (0,5 L/jam)	50% (0,5 L/jam)	30% (0,6 L/jam)	30% (0,7 L/jam)
A	54,08 g/L	183,01 g/L	227,13 g/L	134,28 g/L	168,21 g/L
B	54,92 g/L	175,89 g/L	191,1 g/L	113,73 g/L	142,81 g/L

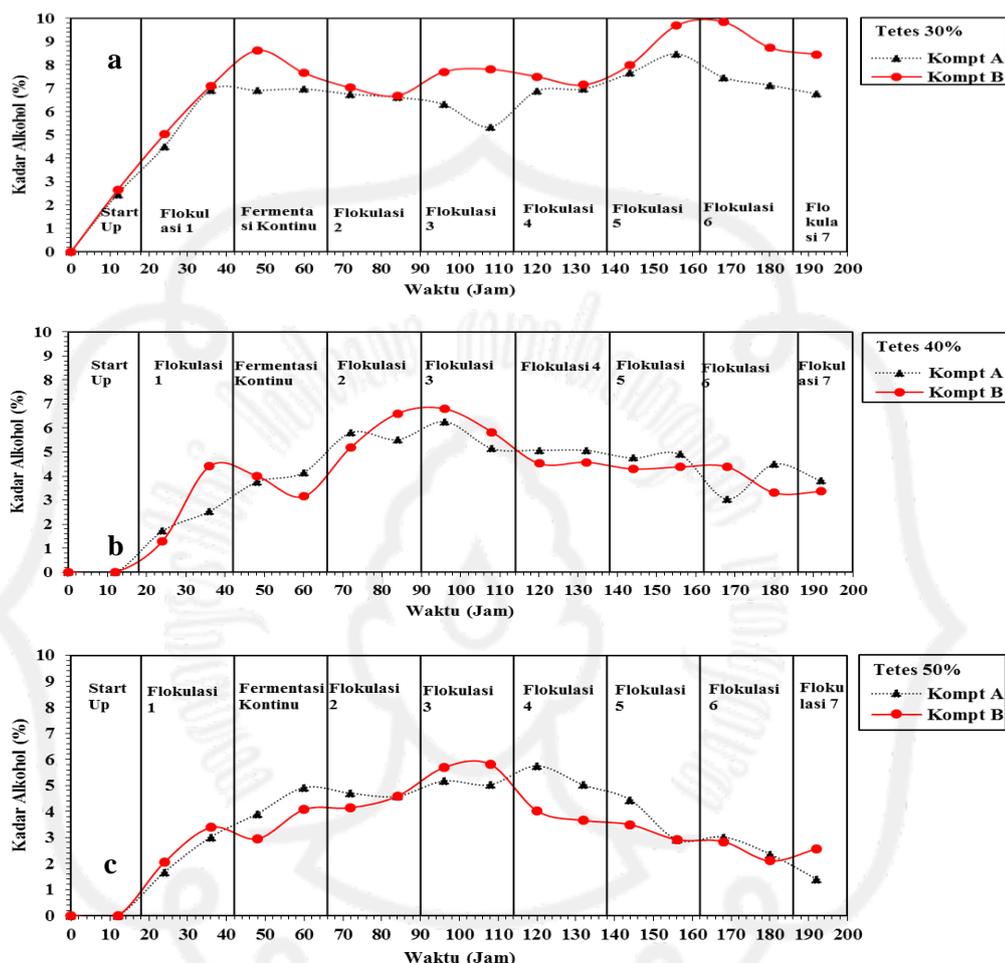
Gambar 6, Gambar 7, Gambar 8, Gambar 9, dan Tabel 2 dapat disimpulkan kadar gula sisa dipengaruhi oleh konsentrasi molase dalam umpan dan variasi kecepatan laju alir umpan. Perbandingan kadar gula sisa menunjukkan seberapa banyak sel dapat mereduksi gula dalam umpan dengan variabel yang paling optimum dalam penelitian ini yaitu pada konsentrasi molase 30% dalam umpan dan kecepatan laju alir 0,5 L/jam dengan hasil reduksi gula rata-rata 70,54%.

3. Kadar Alkohol

Perhitungan kadar alkohol diperlukan pada penelitian ini untuk melihat pengaruh perbedaan konsentrasi molase dalam umpan dan untuk menghubungkan antara jumlah sel dan konsumsi gula. Dikarenakan kadar alkohol merupakan hasil utama yang dicari pada proses fermentasi ini.

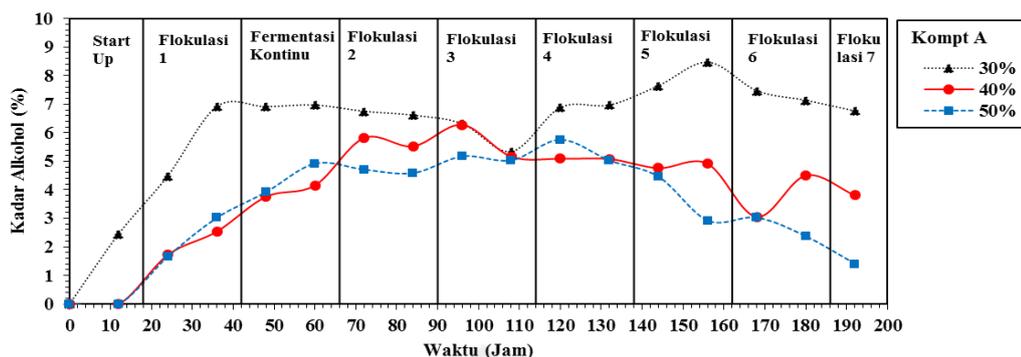
Perbedaan profil grafik kadar alkohol pada ketiga grafik di Gambar 10 menunjukkan perbedaan hasil alkohol yang diproduksi, pada grafik a tingkat alkohol tertinggi yang dihasilkan didapat pada jam ke 168 dimana kadar alkohol mencapai 9,8%, pada grafik b dengan konsentrasi molase 40% dalam umpan mendapatkan kadar alkohol tertingginya pada jam ke 96 dengan kadar 6,7%, sedangkan untuk grafik c mendapatkan kadar alkohol tertinggi pada saat jam ke 108 dengan kadar 5,8%. Perbedaan ini dikarenakan berbagai faktor yaitu tingkat kepadatan sel dan konsentrasi molase dalam umpan. Sedangkan untuk kadar alkohol rata-rata untuk proses fermentasi ini didapatkan konsentrasi umpan 30%

lebih tinggi kadar alkoholnya dibanding yang lain dimana berturut-turut yang tertinggi adalah 30% dengan rata-rata kadar alkoholnya 7,5%, kemudian 40% dengan rata-rata kadar alkoholnya 4,6%, lalu yang terendah adalah 50% dengan rata-rata kadar alkoholnya 3,8%.

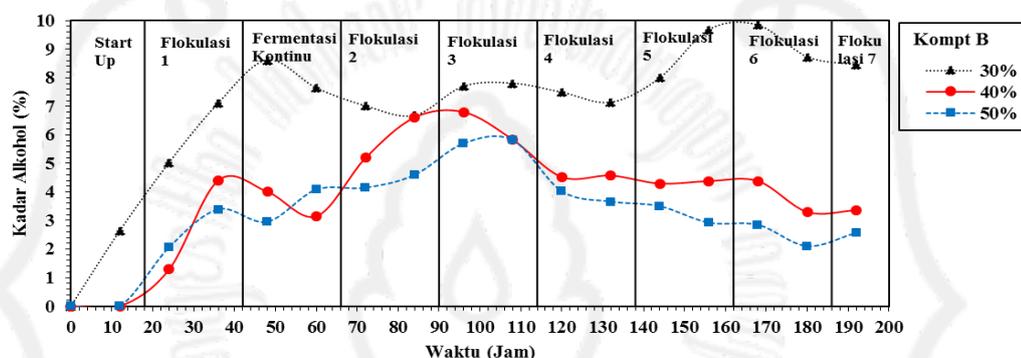


Gambar 10 Grafik kadar alkohol selama proses fermentasi dengan variasi konsentrasi molase dalam umpan: (a) 30%; (b) 40%; (c) 50%

Pada konsentrasi umpan 30% kadar alkohol rata-rata 8,1% di kompartemen B. Penambahan konsentrasi umpan tidak menaikkan kadar alkohol dikarenakan kadar alkohol meningkat apabila jumlah sel tinggi, sementara itu dengan penambahan kadar molase dalam umpan menyebabkan tingkat toleransi sel terhadap gula mencapai batasnya sehingga terjadi penurunan reduksi gula dan menyebabkan turunnya produksi alkohol.

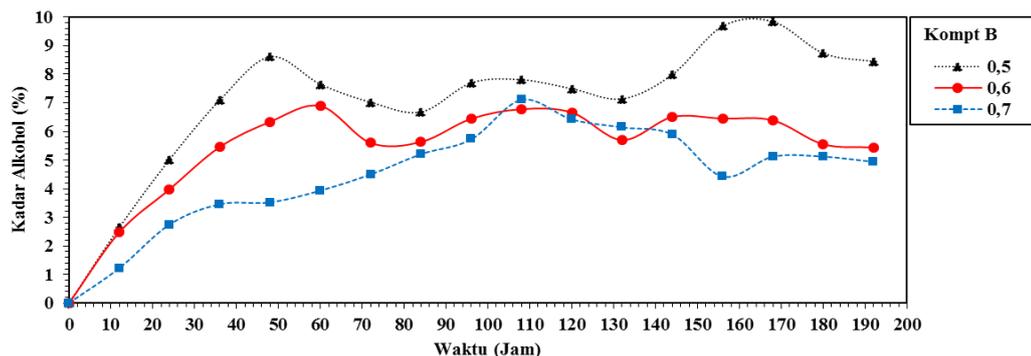


Gambar 11 Grafik kadar alkohol pada kompartemen A dari variasi konsentrasi umpan



Gambar 12 Grafik kadar alkohol pada kompartemen B dari variasi konsentrasi umpan

Profil Gambar 11 dan 12 menunjukkan kecenderungan grafik yang hampir sama dimana untuk konsentrasi umpan 30% memiliki perbedaan dengan konsentrasi umpan 40% dan 50%. Perbedaan ini dipengaruhi oleh faktor jumlah sel dan konsumsi gula untuk menghasilkan alkohol. Profil Gambar 11 dan 12 juga menunjukkan perbedaan dalam produksi alkohol antara kompartemen A dan B, dimana kompartemen A juga menyumbang produksi alkohol meskipun tidak sebesar kompartemen B yang memang dikondisikan sebagai kompartemen produksi alkohol.



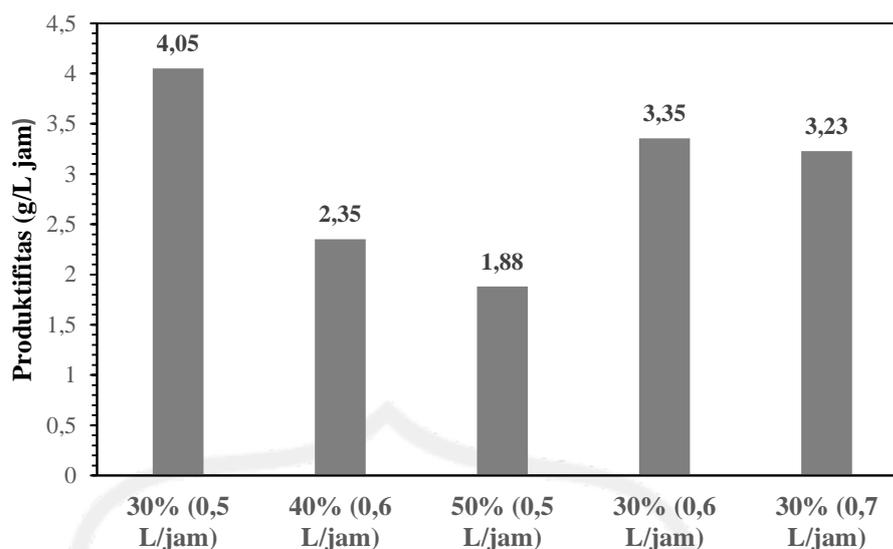
Gambar 13 Grafik kadar alkohol pada kompartemen B dengan variasi kecepatan laju alir umpan

Perbandingan kadar alkohol pada kompartemen B dengan variasi kecepatan laju alir umpan disajikan pada Gambar 13 dimana laju alir 0,5 L/jam mendapatkan hasil alkohol tertinggi dengan rata-rata 8,1%. Sedangkan untuk laju alir 0,6 L/jam mendapat kadar alkohol rata-rata 5,6% dan 0,7 L/jam mendapat 4,6%, hal ini menunjukkan peningkatan laju alir menurunkan produksi alkohol. Penurunan kadar alkohol pada laju alir 0,6 L/jam terjadi pada jam ke 60, penurunan ini terjadi akibat sel sudah mencapai batas optimum dalam mereduksi gula menjadi alkohol dan juga akibat penurunan produksi sel di kompartemen A yang membutuhkan waktu tinggal lebih lama agar sel siap memproduksi alkohol di kompartemen B.

Tabel 4 Perbandingan kadar alkohol rata-rata

Kompartemen	Kadar Alkohol rata-rata (%)				
	30% (0,5 L/jam)	40% (0,5 L/jam)	50% (0,5 L/jam)	30% (0,6 L/jam)	30% (0,7 L/jam)
A	6,9 %	4,8 %	4,1 %	4,6 %	3,3 %
B	8,1 %	4,6 %	3,8 %	5,6 %	4,6 %

Tabel 3 merangkum kadar alkohol rata-rata yang terbentuk selama proses berjalan, dimana yang tertinggi didapat pada kompartemen B dengan laju alir umpan 0,5 L/jam dan konsentrasi molase 30% dalam umpan sebesar 8,1 %.



Gambar 13 Perbandingan produktifitas

Produktifitas proses dapat diketahui dari kadar etanol yang dihasilkan selama proses fermentasi kontinu yaitu selama 150 jam dan 234 jam, dengan laju alir umpan sebesar 0,5 L/jam, 0,6 L/jam, dan 0,7 L/jam, produksi etanol dihitung dari kompartemen B. Sedangkan untuk produktifitasnya digambarkan grafik batang pada Gambar 13. Produktifitas tertinggi didapat mencapai 4,05 g/L jam.

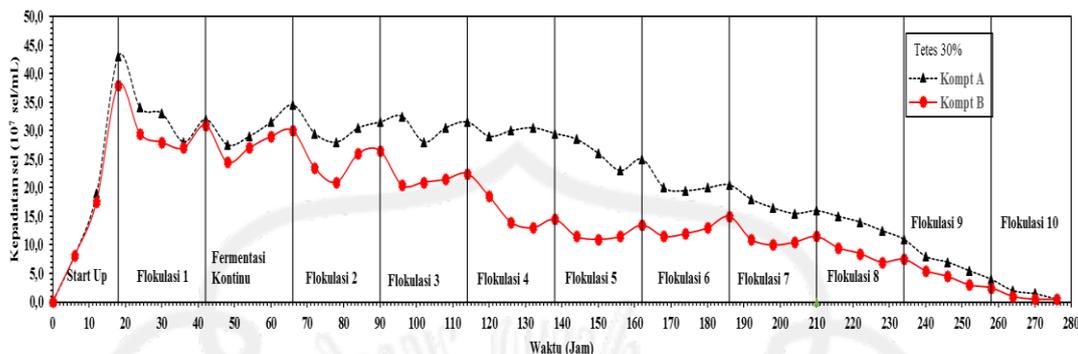
Tabel 5 Tabel perbandingan produktifitas fermentasi bioetanol dengan proses kontinu.

Referensi	Media	Mikroorganisme	Proses	Laju alir (jam ⁻¹)	Produktifitas (g/L.jam)
(Kumar <i>et al.</i> 2015)	<i>Sugarcane bagasse</i>	<i>Kluyveromyces sp.</i>	Kontinu	0,075 - 0,1	0,082 - 1,25
(Wang <i>et al.</i> 2013)	<i>Sucrose</i>	<i>S. Diastaticus</i>	Kontinu	0,05 - 0,24	0,7 - 9,1
(Wirawan <i>et al.</i> 2020)	<i>Sugarcane bagasse</i>	<i>Z. mobilis and P. stipitis</i>	Kontinu	0,145	1,868
(Margono <i>et al.</i> 2018)	<i>Molasses</i>	<i>S.cerevisiae</i>	Kontinu	0,037	2,31 - 2,71
Penelitian ini	<i>Molasses</i>	<i>S.cerevisiae</i>	Kontinu	0,05	1,88 - 4,05

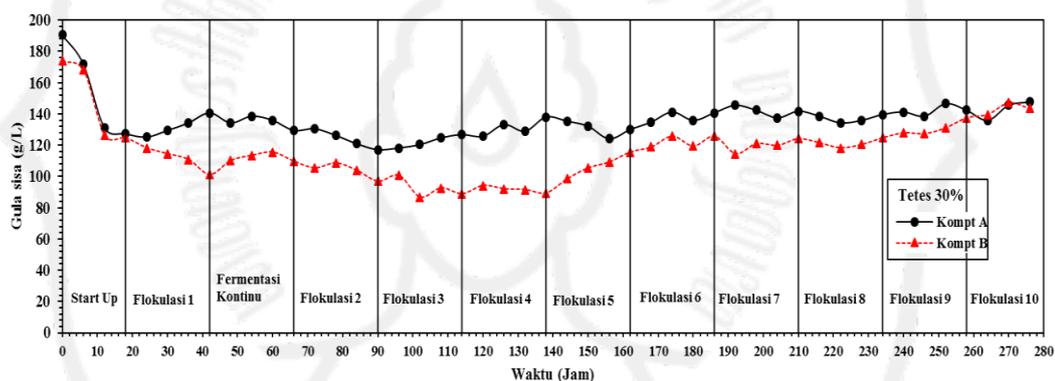
Berdasarkan Tabel 4 Produktifitas bioetanol berbeda-beda dipengaruhi oleh media yang digunakan, mikroorganisme, dan laju alir dalam setiap proses. Metode fermentasi kontinu dengan flokulasi in situ memberikan peningkatan produktivitas dibandingkan dengan penelitian sebelumnya.

4. Ketahanan Sel *Saccharomyces cerevisiae*

Sel *S.cerevisiae* pada proses fermentasi kontinu menggunakan reaktor *Integrated Aerobic Anaerobic Baffled Reactor* (IAABR) ini dapat bertahan hingga 276 jam sebelum kepadatannya mencapai 10 juta sel/mL.



Gambar 14 Grafik ketahanan sel *S.cerevisiae* dengan konsentrasi molase 30% dalam umpan dan laju alir 0,6 L/jam



Gambar 15 Grafik kadar gula sisa dengan konsentrasi molase dalam umpan 30% dan laju alir 0,6 L/jam

Ketahanan sel *S.cerevisiae* dipengaruhi berbagai faktor seperti konsentrasi molase dalam umpan, kecepatan laju alir umpan hingga kondisi lingkungan. Gambar 14 merupakan grafik ketahanan sel *S.cerevisiae* yang dapat bertahan hingga 276 jam dengan konsentrasi molase 30% dalam umpan dan laju alir 0,6 L/jam. Konsentrasi molase 30% dalam umpan dipilih karena batasan toleransi sel terhadap gula masih dapat berkembang biak maupun memproduksi alkohol, sedangkan laju alir umpan 0,6 L/jam digunakan karena pada laju alir 0,5 L/jam sel hanya bertahan hingga 192 jam, hal ini dikarenakan pada laju alir 0,5 L/jam sel sudah mengalami kekurangan nutrisi hingga terjadi penurunan produksi sel.

Pada Gambar 15 menunjukkan kadar gula yang masih mencukupi untuk sel *S.cerevisiae* berkembang biak, sehingga penurunan sel pada Gambar 14 bukan akibat dari kurangnya nutrisi sel untuk hidup dan berkembang biak, melainkan karena laju pertumbuhan sel tidak sebanding dengan sel yang ikut terbawa keluar aliran keluar reaktor. Produktifitas pada variabel konsentrasi molase 30% dalam umpan dan laju alir 0,6 L/jam dengan lama proses hingga 276 jam mendapatkan sebesar 3,35 g/L jam, nilai produktifitas ini masih lebih besar dari penelitian (Kumar *et al.* 2015) sebesar 1,25 g/L jam, dan penelitian (Wirawan *et al.* 2020) sebesar 1,868 g/L jam.

Penelitian proses fermentasi kontinu dalam *Integrated Aerobic Anaerobic Baffled Reactor* (IAABR) menggunakan sel *Saccharomyces Cerevisiae* terflokulasi secara in situ ini berparameter terhadap hasil alkohol yang diproduksi. Alkohol hasil produksi dipengaruhi oleh konsentrasi molase dalam umpan dimana konsentrasi molase dalam umpan yang paling optimum yaitu pada konsentrasi molase 30%. Pada konsentrasi molase 30% menyebabkan sel mencapai puncak regenerasi maupun produksi, dikarenakan sel memiliki ambang kadar toleransi gula. Selain konsentrasi umpan produksi alkohol juga dipengaruhi oleh kecepatan laju alir umpan. Kecepatan laju alir umpan yang optimum adalah 0,5 L/jam dikarenakan sel membutuhkan waktu tinggal yang cukup untuk beregenerasi maupun memproduksi alkohol.

B. Nilai-Nilai Kebaharuan

Kebaharuan penelitian ini adalah optimasi proses fermentasi kontinu dalam *Integrated Aerobic Anaerobic Baffled Reactor* (IAABR) menggunakan sel *Saccharomyces Cerevisiae* terflokulasi secara in situ. Konsentrasi kandungan molase dalam umpan dan kecepatan laju alir umpan juga telah divariasikan untuk memudahkan pengembangan atau penelitian lanjutan. Selain itu uji ketahanan sel pada fermentasi kontinu dengan reaktor *Integrated Aerobic Anaerobic Baffled Reactor* (IAABR) bervolume 10 L dapat menjadi acuan penelitian lanjutan. Hasil penelitian ini juga dapat dijadikan dasar sebagai penentuan proses fermentasi alkohol.

C. Keterbatasan Penelitian

Keterbatasan dalam pelaksanaan penelitian antara lain :

- Keterbatasan waktu : banyak variasi yang memungkinkan untuk dicoba.
- Keterbatasan alat : alat uji masih menggunakan uji manual, menyebabkan memakan waktu yang lama.