

PENINGKATAN PRODUKSI BIOETANOL DARI FERMENTASI BUAH SUKUN DENGAN METODE *FED-BATCH* MENGGUNAKAN BAKTERI *ZYMOMONAS MOBILIS*

Annisa Az-zahra Yarinsa*, Putra Anugrah Wijaya Setiawan, Bambang Wahyudi

Program Studi Teknik Kimia Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur
Jalan Raya Rungkut Madya No.1 Gunung Anyar, Surabaya, Jawa Timur 60249, Indonesia

*Email: annisaazyr@gmail.com

Abstrak

Salah satu energi alternatif berkelanjutan pengganti bahan bakar fosil yang ketersediaannya makin berkurang yaitu bioetanol. Bahan baku yang dapat digunakan dalam pembuatan bioetanol mengandung sukrosa, pati, maupun selulosa. Pemanfaatan buah sukun sebagai bahan baku dikarenakan kandungan patinya cukup tinggi. Penelitian ini berfokus pada peningkatan produksi bioetanol menggunakan metode curah umpan dengan bahan baku buah sukun dan dengan bantuan bakteri *zymomonas mobilis*. Tujuan dari penelitian ini adalah membuat bioetanol dari buah sukun, menentukan waktu yang tepat untuk penambahan glukosa pada proses fermentasi, dan menentukan kadar glukosa terbaik yang ditambahkan pada proses fermentasi. Pembuatan bioetanol dilakukan melalui serangkaian proses, bahan baku buah sukun diolah terlebih dahulu menjadi tepung sukun dan selanjutnya dihidrolisis. Kemudian membuat starter untuk digunakan pada proses fermentasi curah dan curah umpan. Setelah itu dilakukan analisis biomassa kering, kadar glukosa, serta kadar etanolnya. Hasil terbaik yang didapatkan untuk penambahan glukosa pada fermentasi curah umpan adalah pada jam ke-20 dengan konsentrasi pengumpanan glukosa sebesar 14 g/L dan menghasilkan kadar etanol sebesar 25 g/L.

Kata kunci: bioetanol, buah sukun, fermentasi *fed-batch*, spesifik produktivitas, *zymomonas mobilis*

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi yang semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk menyebabkan pencarian solusi dalam pemenuhan energi. Sumber energi yang paling banyak digunakan dalam pemenuhan kebutuhan saat ini berasal dari sumber energi fosil. Apabila digunakan secara terus menerus, sumber energi fosil tidak dapat diperbarui karena pembentukannya membutuhkan waktu yang lama. Kebutuhan bahan bakar fosil yang tinggi seperti bahan bakar minyak (BBM) di Indonesia menyebabkan ketersediaannya berkurang, sehingga memerlukan suatu energi alternatif sebagai pengganti BBM. Produk alternatif yang dapat digunakan dan dikembangkan sebagai pengganti BBM adalah bioetanol, dimana dengan kadar 95-99% dapat digunakan sebagai bahan bensin.

Bioetanol merupakan senyawa alkohol yang didapatkan dari proses fermentasi dengan menggunakan bantuan mikroorganisme. Bioetanol menjadi salah satu bentuk energi yang dapat diperbarui karena proses produksinya yang secara garis besar memanfaatkan glukosa yang ada pada tanaman dan buah sehingga membuat bioetanol menjadi alternatif sebagai pengganti bahan bakar. Pemanfaatan buah sukun untuk produksi

bioetanol juga menjadi alternatif dalam membantu peningkatan produksi bioetanol.

Menurut penelitian oleh Siswati tahun 2017, fermentasi buah sukun secara *batch* dengan kadar pati awal sebesar 57,89% dapat menghasilkan kadar etanol 9,87%. Menurut penelitian oleh Siti tahun 2013, dengan membandingkan perolehan kadar etanol menggunakan metode *batch* dan *fed-batch*, dapat diketahui bahwa penggunaan metode *fed-batch* meningkatkan kadar etanol.

Berdasarkan uraian diatas, maka penelitian ini dilakukan dengan cara melakukan fermentasi larutan hidrolisis buah sukun menggunakan metode *fed-batch* dengan pengumpanan glukosa konsentrasi tertentu pada waktu yang telah ditentukan. Diharapkan dengan penambahan umpan dapat meningkatkan kinerja mikroorganisme yang digunakan untuk membentuk etanol.

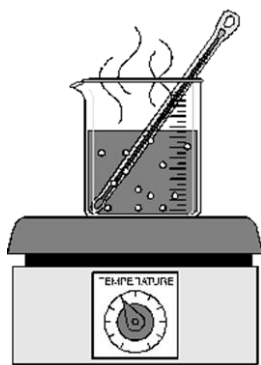
2. METODOLOGI

2.1. Bahan

Bahan baku yang digunakan ialah aquadest sebagai pelarut, buah sukun, *zymomonas mobilis*, HCl untuk proses hidrolisis, NaOH untuk penyesuaian pH larutan, dan glukosa sebagai umpan.

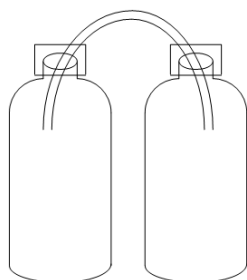
2.2. Alat

Alat yang digunakan pada proses hidrolisis adalah *magnetic stirrer*.



Gambar 1. Alat Hidrolisis

Alat yang digunakan pada proses fermentasi adalah botol fermentor.



Gambar 2. Alat Fermentasi

2.3. Rancangan Penelitian

2.3.1. Pembuatan tepung buah sukun

Pembuatan tepung buah sukun dimulai dengan pencucian buah menggunakan air bersih, kemudian kulit buah sukun dikupas. Selanjutnya, daging buah sukun diiris dengan ketebalan ± 2 mm. Langkah selanjutnya yaitu pengurangan kadar air yang ada pada daging buah dengan cara pengeringan dibawah sinar matahari kurang lebih selama 3 hari. Setelah kering, daging buah sukun dikecilkan ukurannya menggunakan *chopper* hingga berbentuk menyerupai tepung.

2.3.2. Proses Hidrolisis

Proses hidrolisis dilakukan dengan cara menimbang tepung sukun sebanyak 200 gram lalu tepung sukun dimasukkan kedalam *beaker glass*. Kemudian ditambahkan HCl 20% (v/v) dari total larutan kedalam *beaker glass*. Selanjutnya, aquadest ditambahkan kedalam *beaker glass* sampai volume mencapai 1000 ml. Bahan bahan yang telah dicampur dalam *beaker glass* kemudian dihidrolisis menggunakan *magnetic stirrer* dengan suhu 100 °C dengan kecepatan pengadukan 500 rpm selama 3 jam.

Setelah selesai proses hidrolisis, larutan disaring dan filtrat diambil untuk dianalisa kadar glukosanya.

2.3.3. Pembuatan Starter

Pembuatan starter diawali dengan mengambil larutan hidrolisis sukun sebanyak 10 ml, lalu dikondisikan pH = 5 dengan menambahkan NaOH 5N. Setelah itu *Zymomonas Mobilis* diambil sebanyak 3 ose dan dimasukkan kedalam larutan, kemudian dilakukan proses inkubasi selama 48 jam dengan suhu 30°C. Setelah itu didapatkan starter dengan volume 10 ml. Selanjutnya menyiapkan media cair yang berupa larutan hidrolisis sukun sebanyak 90 ml dengan mengkondisikan pH = 5.

Setelah itu ditambahkan starter 10ml kedalam larutan dan dilakukan proses inkubasi selama 48 jam dengan suhu 30°C. Selanjutnya akan didapatkan starter dengan volume 100 ml.

2.3.4. Proses Fermentasi Batch

Proses fermentasi *batch* dilakukan dengan memasukkan filtrat hasil dari proses hidrolisis sebanyak 1000 ml ke dalam botol fermentor. Selanjutnya untuk mengkondisikan proses fermentasi, pH diatur menjadi 5 dengan menambahkan NaOH 5N dan suhu 30°C. Kemudian ditambahkan starter *zymomonas mobilis* sebanyak 100 ml kedalam botol fermentor. Proses fermentasi dilakukan selama 48 jam dengan suhu 30°C. Selanjutnya menganalisa biomassa kering, kadar etanol, dan glukosa sisa pada jangka waktu yang diinginkan.

Setelah 48 jam, didapatkan produk bioetanol.

2.3.5. Proses Fermentasi Fed-Batch

Proses fermentasi *fed-batch* dilakukan dengan memasukkan filtrat hasil dari proses hidrolisis sebanyak 1000 ml kedalam botol fermentor. Selanjutnya untuk mengkondisikan proses fermentasi, pH diatur menjadi 5 dengan menambahkan NaOH 5N dan suhu 30°C. Kemudian ditambahkan starter *zymomonas mobilis* sebanyak 100 ml kedalam botol fermentor. Proses fermentasi dilakukan selama 48 jam dengan suhu 30°C. Pada saat proses fermentasi berlangsung ditambahkan umpan berupa glukosa sesuai dengan variabel yang dipilih, berupa waktu pengumpanan (jam ke 12 dan 20) dan konsentrasi pengumpanan glukosa (6 g/L, 10 g/L, dan 14 g/L). Selanjutnya

menganalisa biomassa kering, kadar etanol, dan glukosa sisa setiap 4 jam sekali. Setelah 48 jam, didapatkan produk bioetanol.

2.3.6. Analisa Biomassa Kering

Analisa biomassa kering dilakukan dengan cara mengambil larutan fermentasi sebanyak 15 ml lalu disaring menggunakan kertas saring. Selanjutnya, kertas saring dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 100 – 105 °C selama 30 menit. Setelah kering, kertas saring ditimbang menggunakan neraca analitik. Setelah itu berat biomassa kering dapat dihitung dengan pengurangan nilai berat kertas saring bekas filtrasi dengan berat kertas saring awal.

2.3.7. Analisa Kadar Etanol

Analisa kadar etanol dilakukan dengan cara mengambil larutan fermentasi sebanyak 100 ml dan dipindahkan kedalam gelas ukur. Selanjutnya masukkan alcoholmeter kedalam gelas ukur dan biarkan mengambang. Setelah itu hasil yang ditunjukkan oleh alcoholmeter dicatat.

2.3.8. Analisis Kadar Glukosa

Analisa kadar glukosa dilakukan dengan cara meneteskan beberapa larutan fermentasi kepermukaan prisma biru yang terdapat pada refractometer glukosa dan diusahakan merata kesemua permukaan. Kandungan kadar glukosa dapat dilihat melalui lensa pada refractometer. Hasil yang ditunjukkan pada refractometer dicatat. Selanjutnya konversi derajat brix menjadi g/L dihitung menggunakan interpolasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisa Awal Kadar Glukosa

Bahan baku yang telah dihidrolisis dan menjadi larutan hidrolisis sukun dianalisa kadar glukosa awalnya menggunakan alat refraktometer. Setelah itu untuk fermentasi *fed-batch*, larutan hidrolisis sukun diturunkan kadar glukosanya dengan penambahan air untuk mendapatkan kadar glukosa yang diinginkan. Menurut Nurhayati (2011), proses pengenceran mengakibatkan penurunan aktivitas inhibisi yang mana berkaitan dengan konsentrasi inhibitor yang juga menurun.

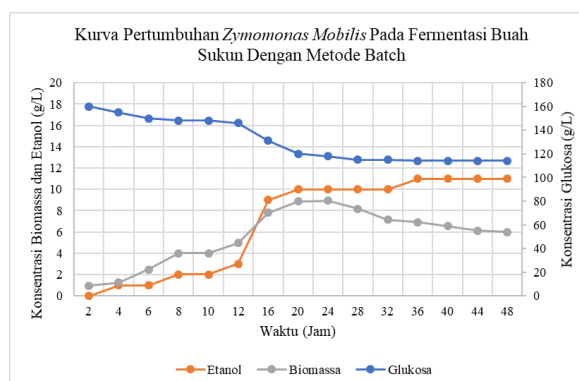
Tabel 1. Hasil analisa kadar glukosa setelah hidrolisis

	Kadar Glukosa (g/L)
Kadar glukosa awal	165
Kadar glukosa setelah pengenceran	50

Kadar awal glukosa yang didapatkan dari hidrolisis sukun sebesar 15 brix atau setara dengan 165 g/L. Penentuan kadar glukosa dalam larutan setelah pengenceran didapatkan dari hasil penelitian fermentasi secara *batch*, dimana dapat diketahui bahwa konsumsi glukosa oleh *Zymomonas mobilis* selama kurun waktu 48 jam hanya sekitar 40 g/L. Sehingga ditetapkan kadar glukosa dalam larutan untuk fermentasi *fed-batch* sebesar 50 g/L untuk menghindari kemungkinan terjadinya inhibisi.

3.2. Fermentasi Secara Batch

Fermentasi secara *batch* dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan kurva pertumbuhan dari mikroorganisme *Zymomonas Mobilis* untuk menentukan waktu pemberian umpan pada proses fermentasi secara *fed-batch* yang nantinya akan dilakukan. Hasil yang didapatkan sebagai berikut:



Gambar 3. Gambar Hubungan Waktu dengan Kadar Etanol, Biomassa, dan Glukosa Sisa pada Fermentasi Batch

Berdasarkan gambar 3, diketahui bahwa fase adaptasi atau lag tidak terdeteksi, maka dimungkinkan fase lag terjadi antara jam ke 0-2. Pada jam ke 2-16 merupakan fase eksponensial, dimana terjadi pertumbuhan sel yang sangat cepat sehingga jumlah sel akan bertambah secara eksponensial terhadap waktu. Pada jam ke 20-24, pertumbuhan sel memasuki

fase stasioner yang menandakan bahwa pertumbuhan sel menurun.

Selanjutnya mikroba akan memasuki fase kematian dikarenakan mulai habisnya nutrisi. Pada fase tersebut, jumlah mikroba yang mati lebih banyak daripada yang hidup. Pada grafik, dapat dilihat bahwa konsentrasi glukosa menurun secara signifikan. Berdasarkan gambar 3, dapat diketahui bahwa penurunan jumlah glukosa bersamaan dengan produksi sel dan etanol yang meningkat.

Menurut Siti (2013), hal tersebut dikarenakan sel mengonsumsi glukosa yang ada sehingga mengakibatkan pertumbuhan sel dan produksi etanol meningkat. Berdasarkan gambar diatas, dapat diketahui bahwa pola pertumbuhan dari mikroorganisme termasuk *growth-associated product*. Menurut Suharto (1995) *Growth associated product* menunjukkan bahwa produk akan terbentuk bersamaan dengan adanya pertumbuhan mikroorganisme, dimana konsentrasi produk akan meningkat bersamaan dengan konsentrasi biomassa.

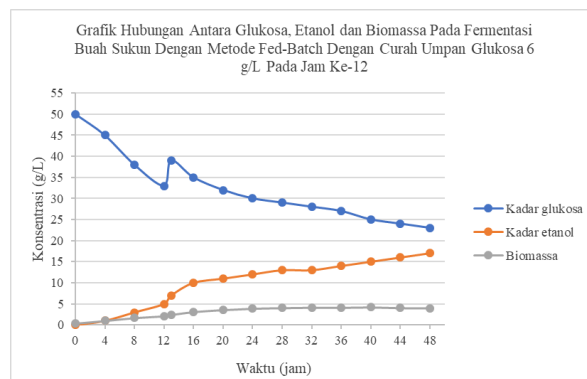
3.3. Fermentasi Secara *Fed-Batch*

Pada penelitian yang dilakukan ini menggunakan teknik kultur curah umpan atau *fed-batch* dengan sekali penambahan glukosa pada waktu yang telah ditentukan untuk meningkatkan produksi bioetanol. Berdasarkan kurva pertumbuhan *Zymomonas mobilis* yang diketahui dari metode *batch*, diketahui bahwa pada jam ke-2-16 adalah fase eksponensial dan pada jam ke-20-24 adalah fase stasioner.

Menurut Siswati (2017), umur kultur pada umumnya menggunakan pertengahan fase eksponensial, dimana pada fase eksponensial sel mikroorganisme membelah diri secara optimum dengan laju konstan. Sedangkan menurut Wahyudi (1995), etanol dapat disintesa ketika sumber nutrisi hampir habis atau mendekati nol, yang mana terjadi pada fase stasioner. Oleh karena itu, waktu pengumpanan dipilih ketika jam ke-12 dan jam ke-20, dimana pada jam ke-12 merupakan pertengahan fase eksponensial, kemudian dipilih jam ke-20 yang merupakan awal fase stasioner untuk membandingkan waktu pengumpanan yang optimum. Penentuan konsentrasi pengumpanan didapatkan dari hasil penelitian fermentasi secara *batch*, dimana konsumsi glukosa oleh sel mikroorganisme selama 48 jam hanya sedikit, sekitar 40 g/L. Sehingga dipilih konsentrasi pengumpanan yang tidak terlalu besar untuk

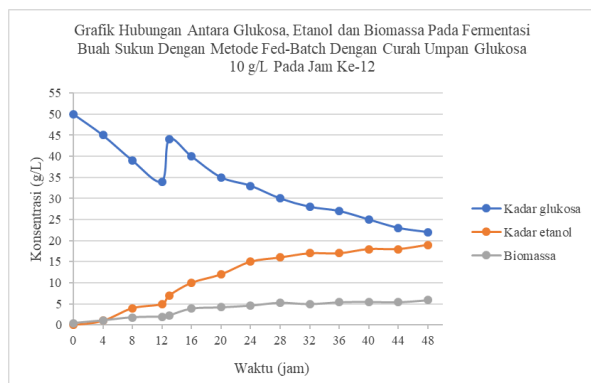
menghindari terjadinya inhibisi. Konsentrasi pengumpanan yang dipilih sebesar 6 g/L, 10 g/L, dan 14 g/L.

3.3.1. Pengaruh Waktu Pengumpanan dan Konsentrasi Pengumpanan Terhadap Kadar Glukosa, Kadar Etanol, dan Biomassa



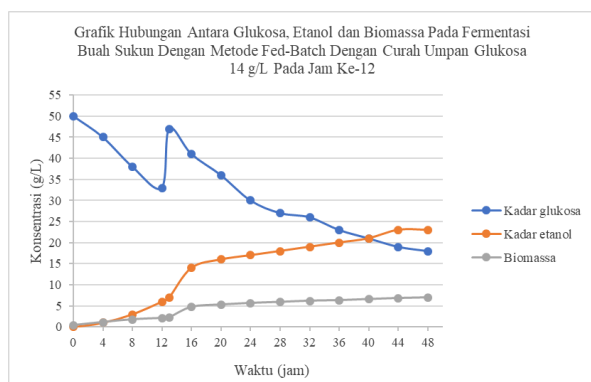
Gambar 4. Gambar Hubungan Waktu dengan Kadar Etanol, Biomassa, dan Glukosa Sisa pada Penambahan Glukosa Konsentrasi 6 g/L pada Jam ke-12

Berdasarkan gambar 4, dapat diketahui bahwa kadar glukosa menurun secara signifikan bersamaan dengan produksi sel dan kadar etanol yang meningkat. Menurut Siti (2013), hal ini dikarenakan sel mengonsumsi glukosa sehingga meningkatkan pertumbuhan sel dan produksi etanol. Pada gambar diatas terlihat bahwa konsumsi glukosa oleh mikroorganisme *Zymomonas Mobilis* sebelum nutrisi diumpankan adalah sebesar 17 g/L. Menurut Widianingsih (2011), pada fase eksponensial tidak terdapat pengaruh pengurangan komposisi nutrisi karena pada fase ini kebutuhan nutrisi masih tercukupi sehingga mikroorganisme mengalami pertumbuhan yang cepat dan optimum. Dari gambar diatas juga diketahui bahwa hasil kadar etanol metode *fed-batch* meningkat sebesar 54% dibandingkan kadar etanol metode *batch*.



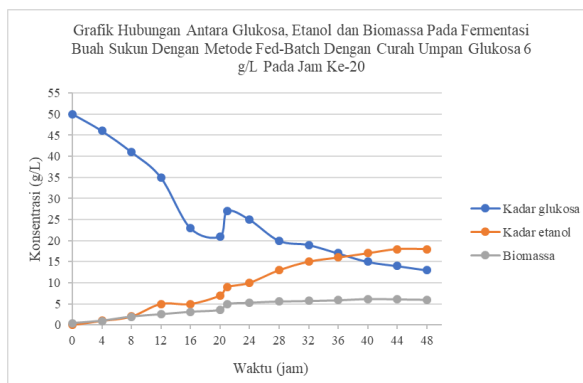
Gambar 5. Gambar Hubungan Waktu dengan Kadar Etanol, Biomassa, dan Glukosa Sisa pada Penambahan Glukosa Konsentrasi 10 g/L pada Jam ke-12

Berdasarkan gambar 5, dapat diketahui bahwa kadar glukosa menurun secara signifikan bersamaan dengan produksi sel dan kadar etanol yang meningkat. Menurut Siti (2013), hal ini dikarenakan sel mengonsumsi glukosa sehingga meningkatkan pertumbuhan sel dan produksi etanol. Dari gambar diatas juga diketahui bahwa hasil kadar etanol metode *fed-batch* meningkat sebesar 72% dibandingkan kadar etanol metode *batch*.



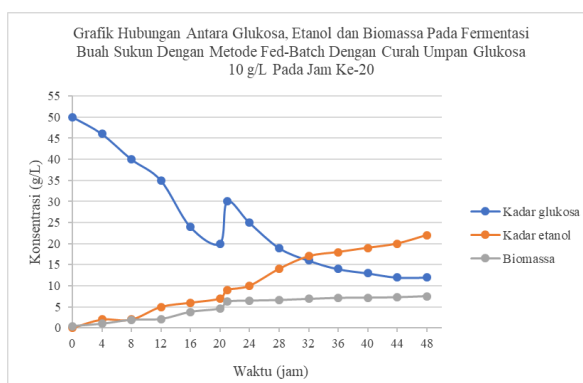
Gambar 6. Gambar Hubungan Waktu dengan Kadar Etanol, Biomassa, dan Glukosa Sisa pada Penambahan Glukosa Konsentrasi 14 g/L pada Jam ke-12

Berdasarkan gambar 6, dapat diketahui bahwa kadar glukosa menurun secara signifikan bersamaan dengan produksi sel dan kadar etanol yang meningkat. Menurut Siti (2013), hal ini dikarenakan sel mengonsumsi glukosa sehingga meningkatkan pertumbuhan sel dan produksi etanol. Dari gambar diatas juga diketahui bahwa hasil kadar etanol metode *fed-batch* meningkat sebesar 109% dibandingkan kadar etanol metode *batch*.



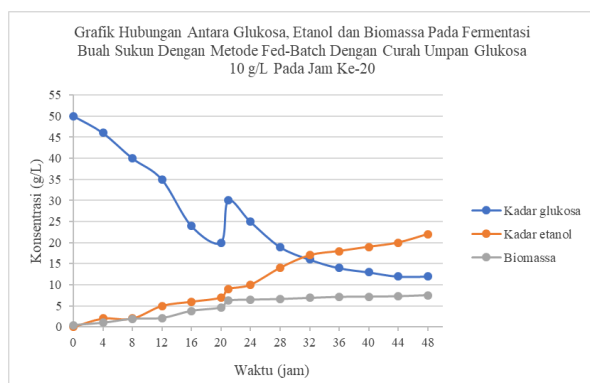
Gambar 7. Gambar Hubungan Waktu dengan Kadar Etanol, Biomassa, dan Glukosa Sisa pada Penambahan Glukosa Konsentrasi 6 g/L pada Jam ke-20

Berdasarkan gambar 7, dapat diketahui bahwa kadar glukosa menurun secara signifikan bersamaan dengan produksi sel dan kadar etanol yang meningkat. Menurut Siti (2013), hal ini dikarenakan sel mengonsumsi glukosa sehingga meningkatkan pertumbuhan sel dan produksi etanol. Pada gambar diatas terlihat bahwa konsumsi glukosa oleh mikroorganisme *Zymomonas Mobilis* sebelum nutrisi diumpankan adalah sebesar 29 g/L. Menurut Cahyaningrum (2021), pada fase stasioner pertumbuhannya relatif tetap dikarenakan jumlah sel yang membelah sama dengan jumlah sel yang mati. Hal tersebut dikarenakan nutrisi yang terkandung di media mulai berkurang. Pertambahan nutrisi dapat memperpanjang fase stasioner dan meningkatkan produktivitas dari mikroorganisme sebelum akhirnya memasuki fase kematian. Dari gambar diatas juga diketahui bahwa hasil kadar etanol metode *fed-batch* meningkat sebesar 72% dibandingkan kadar etanol metode *batch*.



Gambar 8. Gambar Hubungan Waktu dengan Kadar Etanol, Biomassa, dan Glukosa Sisa pada Penambahan Glukosa Konsentrasi 10 g/L pada Jam ke-20

Berdasarkan gambar 8, dapat diketahui bahwa kadar glukosa menurun secara signifikan bersamaan dengan produksi sel dan kadar etanol yang meningkat. Menurut Siti (2013), hal ini dikarenakan sel mengonsumsi glukosa sehingga meningkatkan pertumbuhan sel dan produksi etanol. Dari gambar diatas juga diketahui bahwa hasil kadar etanol metode *fed-batch* meningkat sebesar 100% dibandingkan kadar etanol metode *batch*.



Gambar 9. Gambar Hubungan Waktu dengan Kadar Etanol, Biomassa, dan Glukosa Sisa pada Penambahan Glukosa Konsentrasi 14 g/L pada Jam ke-20

Berdasarkan gambar 9, dapat diketahui bahwa kadar glukosa menurun secara signifikan bersamaan dengan produksi sel dan kadar etanol yang meningkat. Menurut Siti (2013), hal ini dikarenakan sel mengonsumsi glukosa sehingga meningkatkan pertumbuhan sel dan produksi etanol. Dari gambar diatas juga diketahui bahwa hasil kadar etanol metode *fed-batch* meningkat sebesar 127% dibandingkan kadar etanol metode *batch*.

Berdasarkan gambar 4 sampai 9, dapat diketahui bahwa pola pertumbuhan dari mikroorganisme termasuk dalam *growth-associated product*. Menurut Suharto (1995), pada *growth-associated product*, produk etanol yang dihasilkan terbentuk bersamaan dengan pertumbuhan mikroorganisme.

Berdasarkan grafik hasil penelitian fermentasi secara *fed-batch*, dapat diketahui bahwa setelah memasuki fase stasioner sampai dengan berakhirnya fermentasi, mikroorganisme masih dapat memproduksi etanol. Hal ini dikarenakan terjadinya sintesis metabolit sekunder ketika nutrisi mikroorganisme hampir habis. Menurut Suharyono (2012), keterbatasan nutrisi menyebabkan terakumulasinya inducer enzim metabolit sekunder dan terlepasnya gen-gen

yang dapat memicu sintesis metabolit sekunder. Biosintesis metabolit sekunder berkaitan dengan terjadinya induksi enzim yang berasal dari hasil metabolisme sel sendiri. Sedangkan selama fase pertumbuhan eksponensial akan dihasilkan produk etanol yang merupakan metabolit primer. Menurut Zulfanita (2017), produk dari metabolisme primer contohnya etanol, asam sitrat, polisakarida, aseton, butanol, dan vitamin, sedangkan produk metabolit sekunder contohnya antibiotik, pemacu pertumbuhan, dan inhibitor enzim.

3.3.2. Produktivitas dan Spesifik Produktivitas

Tabel 2. Kadar etanol maksimum dan biomassa maksimum pada konsentrasi pengumpanan glukosa berbeda pada jam ke-12

Jumlah glukosa yang ditambahkan (g/L)	Kadar etanol maksimum (g/L)	Biomassa maksimum (g/L)
6	17	3,9817
10	19	4,9128
14	23	6,9812

Tabel 3. Kadar etanol maksimum dan biomassa maksimum pada konsentrasi pengumpanan glukosa berbeda pada jam ke-20

Jumlah glukosa yang ditambahkan (g/L)	Kadar etanol maksimum (g/L)	Biomassa maksimum (g/L)
6	18	6,0012
10	22	7,5429
14	25	8,9927

Berdasarkan perbedaan ketiga konsentrasi pengumpanan yang diberikan, dapat diketahui bahwa kadar etanol maksimum diperoleh pada pengumpanan glukosa paling tinggi, yaitu 14 g/L. Menurut Nugraheni (2017), dengan meningkatnya konsentrasi glukosa yang diumpankan maka kadar etanol yang didapatkan akan lebih tinggi. Sedangkan untuk waktu pengumpanan apabila ditinjau dari kadar etanol maksimum yang dihasilkan, waktu pengumpanan pada fase stasioner atau jam ke-20 lebih baik daripada pada fase eksponensial atau jam ke-12. Menurut Wahyudi (1995), etanol dapat disintesa ketika sumber nutrisi

hampir habis atau mendekati nol, yang mana terjadi pada fase stasioner.

Tabel 4. Produktivitas dan spesifik produktivitas pada konsentrasi pengumpanan glukosa berbeda pada jam ke-12

Jumlah glukosa yang ditambahkan (g/L)	Produktivitas (g/L.jam)	Spesifik produktivitas (jam ⁻¹)
6	0,3542	0,0889
10	0,3958	0,0806
14	0,4792	0,0686

Tabel 5. Produktivitas dan spesifik produktivitas pada konsentrasi pengumpanan glukosa berbeda pada jam ke-20

Jumlah glukosa yang ditambahkan (g/L)	Produktivitas (g/L.jam)	Spesifik produktivitas (jam ⁻¹)
6	0,3750	0,0625
10	0,4583	0,0608
14	0,5208	0,0579

Berdasarkan tabel 4 dan 5, dapat diketahui bahwa produktivitas akan meningkat dengan bertambahnya konsentrasi pengumpanan. Produktivitas merupakan jumlah produk tertinggi yang dihasilkan per satuan waktu yang dibutuhkan (g/L.jam). Sedangkan spesifik produktivitas merupakan produktivitas per biomassa maksimum yang dihasilkan (jam⁻¹). Berdasarkan hasil penelitian fermentasi secara *fed-batch*, dapat dilihat bahwa spesifik produktivitas semakin menurun nilainya pada konsentrasi glukosa yang tinggi. Menurut Fatmawati (2009), hal tersebut menunjukkan bahwa inhibisi substrat tidak terjadi pada penelitian yang dilakukan. Tidak terjadinya penurunan nilai spesifik produktivitas menandakan bahwa terdapat inhibisi substrat glukosa terhadap pertumbuhan mikroorganisme yang digunakan.

4. SIMPULAN

Bioetanol dengan metode *fed-batch* dapat meningkatkan produksi bioetanol apabila dibandingkan dengan metode *batch*. Waktu pengumpanan glukosa yang optimal dengan sekali penambahan adalah pada jam ke-20, fase

awal stasioner. Sedangkan konsentrasi optimal untuk pengumpanan adalah 14 g/L.

DAFTAR PUSTAKA

- Cahyaningrum, E., Wijanarka, & Arina, T. L., 2021, 'Isolasi dan Pengaruh Monosodium Glutamat Terhadap Pertumbuhan Bakteri Proteolitik Limbah Cair Tahu', *Bioma*, Vol. 23, No. 2, Hh 84-90.
- Fatmawati, A., 2009, 'Model Kinetika Inhibisi Substrat pada Pertumbuhan *Kluyveromyces Lactis*', *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, Vol 8, No 2, Hh 50-55.
- Nugraheni, S. D., Mastur, 2017, 'Perbaikan Bioproses Untuk Peningkatan Produksi Bioetanol Dari Molase Tebu', *Perspektif*, Vol 16, No 2, Hh 69-79.
- Nurhayati, T., Ella, S., Komariah, T., & Ary, A., 2011, 'Peranan Inhibitor Katepsin dari Ikan Patin (*Pangasius hypophthalmus*) untuk Menghambat Kemunduran Mutu Ikan Bandeng', *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, Vol. 14, No. 1, Hh 49-55.
- Siswati, N. D., Puspa, S. D., & Reza, A. W., 2017, 'Fermentasi Buah Sukun Menjadi Bioetanol', *Jurnal Teknik Kimia*, Vol 11, No 2, Hh 56-59.
- Siti, D., Apsari, P. A., Dessy, A., & Hadiyanto, 2013, 'Pembuatan Bioetanol dari Limbah Keju (*Whey*) Melalui Proses Fermentasi *Fed-Batch* dengan *Kluyveromyces marxianus*', *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, Vol 2, No 3, Hh 155-162.
- Suharto, 1995, *Bioteknologi dalam Dunia Industri*, Andi Offset, Yogyakarta.
- Suharyono, Samsul, R., Fibra, N., & Muhammad, K., 2012, 'Pertumbuhan *L. Casei* Berbagai Lama Fermentasi Minuman Sinbiotik dari Ekstrak Cincau Hijau (*Premna Oblongifolia Merr*)', *Jurnal Teknologi Hasil Penelitian*, Vol. 5, No. 2, Hh 117-128.
- Wahyudi, B., 1995, *Metode Curah Umpan Sebagai Alternatif Meningkatkan Produksi Skleroglukan dari Jamur *Sclerotium glaucum**, ITB, Bandung.
- Widianingsih, Retno, H., Endrawati, Ervia, Y., & Valentina, R., 2011, 'Pengaruh Pengurangan Konsentrasi Nutrien Fosfat dan Nitrat Terhadap Kandungan Lipid Total *Nannochloropsis oculata*', *Ilmu Kelautan*, Vol. 16, No. 1, Hh 24-29.
- Zulfanita, Roisu, E., & Jeki, M., 2017, 'Manajemen Kesehatan Ternak Melalui

Pemberian Jamu Herbal Fermentasi',
*Program Studi Peternakan Fakultas
Pertanian Universitas Muhammadiyah
Purworejo*, Hh 38-44.