



Pemanfaatan Pelepah Kelapa Sawit menjadi Bioetanol dengan Variabel Konsentrasi H_2SO_4 dan Waktu Fermentasi

Adrianto Ahmad*, Idral Amri, dan Rahmah Nabilah

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Riau, Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

*E-mail: adri@unri.ac.id

Abstract

Scarcity of fuel oil (BBM) makes a lot of research leading to the search for alternative fuels that come from renewable natural resources. One of the raw materials that has the potential to be converted into bioethanol is oil palm midrib. The research aims to determine the effect of H_2SO_4 concentration on the hydrolysis process to produce glucose and to determine the optimum time of bioethanol production. Then hydrolysis process with variations of H_2SO_4 that is 1.5M, 2M, and 2.5M for 3 hours at temperature $100^\circ C$ and continued with the fermentation process to produce bioethanol with a fermentation time is 24 hours, 48 hours, 72 hours, 96 hours, and 120 hours. The results showed that the hydrolysis process maximum sugar concentration of 161.98 gr / L is produced. The best concentration of H_2SO_4 in this research is 2 M and the best fermentation time is 96 hours with bioethanol levels obtained at 7% or 55.25 g / L.

Keywords: bioethanol, fermentation, hydrolysis, palm fronds, *saccharomyces cerevisiae*

Pendahuluan

Kebutuhan energi saat ini masih banyak di *supply* dari bahan bakar yang berasal dari fosil. Kebutuhan energi dunia akan terus meningkat sejalan dengan pertambahan penduduk dan pertumbuhan ekonomi. Peningkatan kebutuhan energi terutama bahan bakar fosil tersebut telah menyebabkan penurunan cadangan minyak dunia sehingga bahan bakar fosil ini menjadi semakin langka dan harganya pun meningkat secara signifikan (Sinaga, 2012). Sumber energi alternatif sudah saatnya untuk dikembangkan di Indonesia, salah satunya mengolah biomassa dari limbah perkebunan dan pertanian menjadi sumber energi bahan bakar cair yang terbarukan.

Negera tropis seperti Indonesia umumnya mempunyai biomassa yang berlimpah, kira-kira 250 milyar ton/tahun dihasilkan dari biomassa hutan dan pertanian. Limbah pertanian secara umum berasal dari perkebunan kelapa sawit, tebu, kelapa serta sisa panen dan lain-lainnya yang mencapai kira-kira 40 milyar ton/tahun (Suwono, 2004). Dalam satu hektar akan dihasilkan sekitar 6,3 ton pelepah setiap tahunnya. Pemanfaatan pelepah sawit saat ini belum maksimal. Selama ini pelepah hanya tertinggal dan dibiarkan membusuk dilahan perkebunan. Padahal pelepah sawit berpotensi untuk dapat dikonversi menjadi bioetanol, karena pelepah sawit memiliki kandungan selulosa yang cukup besar yaitu sebesar 35,88% (Natasha, 2012). Kandungan selulosa yang cukup besar ini akan dipecahkan menjadi glukosa pada proses hidrolisis kemudian dilakukan proses fermentasi untuk mengkonversi glukosa menjadi bioetanol dengan *Saccharomyces cerevisiae*.

Rilek dkk (2017) melaporkan bahwa hidrolisis lignoselulosa hasil *pretreatment* pelepah sawit (*Elaeis gueneensis Jacq*) menggunakan variasi H_2SO_4 pada produksi bioetanol memperoleh konsentrasi bioetanol sebesar 4% pada penambahan 0,6 M dan waktu hidrolisis 100 menit. Penambahan konsentrasi H_2SO_4 pada proses hidrolisis dapat meningkatkan konsentrasi glukosa dan akan berpengaruh terhadap bioetanol yang dihasilkan. Pada penelitian ini dipelajari pengaruh konsentrasi H_2SO_4 pada proses hidrolisis, pengaruh konsentrasi gula awal terhadap bioetanol yang dihasilkan, dan menentukan waktu optimum proses terbentuknya bioetanol pada metode *Separate Hydrolysis and Fermentation* (SHF).

Metode Penelitian

Alat yang digunakan

Alat digunakan adalah bioreaktor, erlenmeyer, autoclave, inkubator, water bath, rotary evaporator, oven, hot plate, magnetic bar, gelas ukur, kondensor, tabung reaksi, termometer, pH meter, neraca analitik, cawan penguap, ayakan 40 mesh dan 80 mesh, serta vortex mixer. Alat analisa yang digunakan yaitu spektrofotometer UV-Vis, alkoholmeter, dan refraktometer.



Bahan yang digunakan

Bahan utama yang digunakan adalah pelepah kelapa sawit yang diperoleh dari Inkubator Agribisnis Universitas Riau. Bahan-bahan lain yang digunakan yaitu Abu tandan kosong sawit dari PTPN V Sei Pagar, H_2O_2 3%, H_2SO_4 96%, NaOH 50%, *Saccharomyces Cerevisiae* yang berasal dari ragi instan, KH_2PO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, dan larutan antron.

Variabel Penelitian

Variabel tetap pada penelitian ini antara lain ialah volume fermentasi: 2 liter (Akbar, 2015), waktu inokulasi: 24 jam (Amalia, 2014), Suhu fermentasi: suhu ruang, pH fermentasi 4,5 (Jeckson, 2014). Variabel berubah pada penelitian ini adalah konsentrasi H_2SO_4 yaitu 1,5 M, 2 M, dan 2,5 M, dan waktu fermentasi yaitu 24, 48, 72, 96, dan 120 jam.

Rancangan Percobaan

Tahapan penelitian ini terdiri dari empat tahap. Tahap pertama adalah persiapan *pretreatment* bahan baku. Tahap kedua adalah hidrolisis selulosa menjadi larutan gula menggunakan senyawa kimia H_2SO_4 1,5 M, 2 M dan 2,5 M, kemudian tahap ketiga mengubah larutan gula menjadi bioetanol melalui proses fermentasi. Tahap keempat yaitu melakukan uji dan analisis hasil berupa kadar gula sisa, kadar bioetanol, dan berat sel kering.

Prosedur Penelitian

Pretreatment Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah pelepah kelapa sawit yaitu sebanyak 100 gr untuk setiap variasi konsentrasi *Saccharomyces Cerevisiae*. Sebelum dimasak, pelepah kelapa sawit perlu dicacah menjadi ukuran yang lebih kecil. Kemudian pelepah dikeringkan dibawah sinar matahari sampai kadar air yang tersisa $\pm 10\%$. Pelepah kelapa sawit selanjutnya dihaluskan dan diayak untuk mendapatkan serbuk pelepah kelapa sawit berukuran 40 *mesh* (Dewi, 2018).

Pembuatan Larutan Pemasak dari Ekstrak Abu TKS

Larutan Pemasak yang digunakan adalah campuran antara akuades dengan abu TKS. Sebelum digunakan, abu TKS disaring terlebih dahulu menggunakan saringan berukuran 60 *mesh*. Abu yang telah disaring kemudian ditambahkan air dengan perbandingan massa abu dan air 1:4. Larutan tersebut selanjutnya diaduk selama 15 menit setelah itu didiamkan selama 48 jam hingga semua abu terendapkan. Filtrat abu TKS dipisahkan dari padatan dengan penyaringan. Filtrat ekstrak abu TKS tersebut digunakan sebagai larutan pemasak (Irfanto, 2013).

Pretreatment Basa

Pretreatment basa terdiri dari dua tahap, yaitu prehidrolisa dan *cooking*. Prehidrolisa bertujuan untuk mempercepat penghilangan pentosan (hemiselulosa) dalam bahan baku pada waktu pemasakan. Prehidrolisa dilakukan menggunakan larutan ekstrak abu TKS. Temperatur pada saat prehidrolisa adalah 100 °C, nisbah berat bahan baku terhadap volume larutan 1:10, dengan waktu prehidrolisa selama 1 jam. Setelah prehidrolisa selesai, filtratnya dibuang dan residu dicuci dengan air panas dan diperas, kemudian *pulp* pelepah tersebut dimasak kembali (proses *cooking*).

Proses *cooking* bertujuan untuk memurnikan selulosa- α yang terdapat dalam *pulp* pelepah sawit. *Cooking* dilakukan dengan larutan ekstrak abu TKS. Kondisi operasi *cooking* adalah temperatur 100 °C, waktu pemasakan 30 menit, dan nisbah padatan terhadap larutan 1:5. *Pulp* pelepah hasil pemasakan disaring dan dicuci dengan air panas untuk menghilangkan lindi hitam dan dikeringkan hingga beratnya konstan (Dewi, 2018).

Pretreatment Oksidasi

Serbuk pelepah yang telah melalui proses delignifikasi kemudian dilakukan proses *pretreatment* lanjutan menggunakan larutan H_2O_2 3% dengan nisbah serbuk dan H_2O_2 1:20. Kemudian ditambahkan NaOH 0,1 N sampai pH 9 (Saragih, 2013). Selanjutnya serbuk pelepah dipanaskan pada 90 °C selama 60 menit. Setelah proses *pretreatment* oksidasi selesai, serbuk pelepah didinginkan, disaring dan dicuci sampai pH nertal dan dikeringkan dalam oven sampai suhu 105 °C hingga beratnya konstan (Dewi, 2018).

Hidrolisis Serbuk Pelepah Sawit

Serbuk pelepah dari proses *pretreatment* oksidasi dikecilkan ukurannya sampai 80 *mesh* dan dihidrolisis menggunakan asam sulfat (H_2SO_4) dengan variasi 1,5 M, 2 M, dan 2,5 M dengan nisbah serbuk dan asam 1:10 pada suhu 100 °C selama 60 menit. Dalam proses hidrolisis diperoleh ampas dan larutan. Larutan tersebut adalah yang mengandung gula hasil konversi dari pelepah kelapa sawit. Larutan gula selanjutnya dinertalkan dengan NaOH 1 M hingga pH 4,5 (Fitriani dkk., 2013). Filtrat yang diperoleh akan dianalisis kadar gula dalam larutan dan selanjutnya digunakan sebagai substrat fermentasi.

Pembuatan Inokulum

Pembuatan inokulum bertujuan untuk memperpendek fase lag yaitu dengan cara mengadaptasikan sel kedalam media fermentasi berupa larutan gula hasil hidrolisis. *Saccharomyces cerevisiae* dari ragi kemasan diinokulasi

kedalam medium (larutan gula hasil hidrolisis, 1 gr/L KH_2PO_4 , 0,05 gr/L $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dan 2 gr/L $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dan dimasukkan kedalam erlenmeyer. Medium inokulum disterilisasi kedalam *autoclave* dengan temperatur 121°C selama 15 menit, setelah itu medium inokulum didinginkan hingga mencapai temperatur ruang. Setelah temperatur medium inokulum mencapai temperatur ruang, dimasukkan *Saccharomyces cerevisiae* dengan 8 g/L lalu diinokulasikan selama 24 jam pada suhu 30°C (Amalia, 2014).

Fermentasi

Proses fermentasi dilakukan dengan cara fermentasi cair. Larutan gula hidrolisis difermentasi oleh *Saccharomyces cerevisiae* dengan volume fermentasi 2 liter. Larutan gula dimasukkan kedalam fermentor sesuai variasi kemudian ditambahkan nutrisi (1 g/l KH_2PO_4 , 0,05 g/l $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, dan 2 g/l $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), selanjutnya ditutup rapat lalu disterilisasi menggunakan *autoclave* pada suhu 121 °C selama 15 menit. Fermentasi dilakukan dengan kecepatan pengadukan 250 rpm. Suhu fermentasi dijaga 30 °C. Pengambilan sampel dilakukan sesuai dengan variasi waktu yaitu 0 jam, 24 jam, 48 jam, 72 jam, 96 jam, dan 120 jam. Setelah waktu tercapai, sampel dianalisis kadar gula sisa dan bioetanol yang dihasilkan.

Pemisahan

Hasil fermentasi yang didapat kemudian diambil 120 ml dengan 20 ml untuk dianalisa kadar gula sisa menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan 100 ml campuran bioetanol yang berada di dalam substrat hasil fermentasi dipisahkan dari mikroorganisme *Saccharomyces cerevisiae*, nutrisi dan larutan gula sisa, dengan cara menguapkan campuran bioetanol dan air pada suhu 77-80 °C dengan menggunakan *rotary evaporator*, kemudian bioetanol yang terdapat di dalam campuran bioetanol dan air di analisa menggunakan alkoholmeter.

Analisa Hasil

Pada penelitian ini parameter yang dianalisa yaitu konsentrasi bioetanol, konsentrasi gula substrat, dan berat sel kering. Konsentrasi gula substrat berupa kadar gula awal dan kadar gula akhir dianalisa dengan metode antron. Untuk pengukuran kadar bioetanol akan dianalisa dengan menggunakan alkoholmeter dan refraktometer. Dan untuk mengukur konsentrasi *Saccharomyces cerevisiae* dengan berdasarkan pengukuran berat sel kering.

Hasil dan Pembahasan

Hidrolisis Serbuk Pelepah Kelapa Sawit

Hidrolisis selulosa serbuk pelepah kelapa sawit menggunakan variasi H_2SO_4 1,5M, 2M, dan 2,5M untuk mengetahui konsentrasi H_2SO_4 terbaik dalam menghasilkan konsentrasi bioetanol yang besar. Konsentrasi larutan gula awal pada masing-masing hasil hidrolisis serbuk pelepah kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Konsentrasi Larutan Gula Awal Hasil Hidrolisis

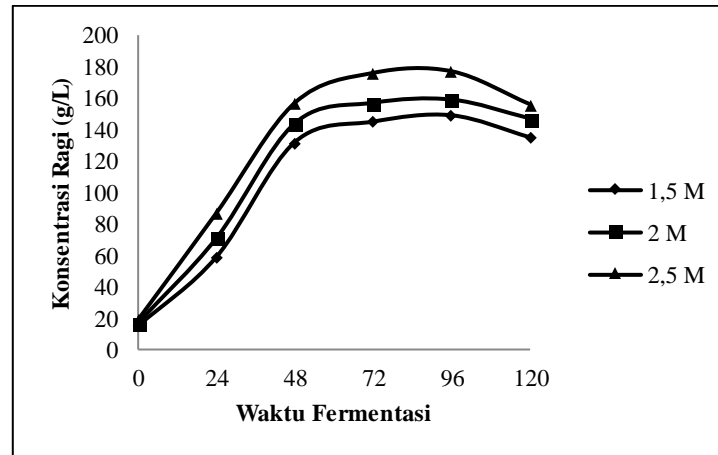
Konsentrasi Asam	Konsentrasi (g/L)
1,5 M	97,63
2 M	161,98
2,5 M	128,03

Tabel 1. menunjukkan bahwa konsentrasi gula awal tertinggi hasil hidrolisis pelepah kelapa sawit yang akan digunakan sebagai medium fermentasi yaitu sebesar 161,98 g/L pada penambahan H_2SO_4 2M. Tingginya konsentrasi gula yang diperoleh pada hidrolisis H_2SO_4 2M terjadi karena gugus H^+ pada asam akan memutuskan ikatan glikosida yang terdapat pada selulosa (Osvaldo, 2012). Semakin tinggi konsentrasi asam yang digunakan maka semakin banyak gugus H^+ yang akan berikatan dengan OH^- dari air membentuk gula reduksi. Namun pada penambahan H_2SO_4 2,5M gula yang dihasilkan menurun yaitu sebesar 128,03g/L. Hal ini disebabkan karena pada penambahan H_2SO_4 terlalu besar akan terbentuk lebih banyak gugus H^+ sedangkan kebutuhan OH^- sebagai pengikat berkurang dan gula yang dihasilkan semakin sedikit (Hikmiyati dan Yanie, 2009).

Konsentrasi H_2SO_4 yang tinggi dapat menyebabkan pembentukan senyawa furfural. Hal ini sesuai pernyataan Setyadji (2007) semakin besar konsentrasi asam sulfat, furfural yang dihasilkan semakin besar

Analisa Berat Kering Sel terhadap Konsentrasi Glukosa

Analisa berat kering sel digunakan untuk mengukur konsentrasi sel selama proses fermentasi berlangsung. Dengan mengukur berat kering sel kita dapat melihat pertumbuhan mikroba. Pada penelitian ini konsentrasi *Saccharomyces cerevisiae* yang di gunakan untuk proses fermentasi yaitu 8 g/L. Gambar 1 berikut merupakan hasil pengukuran berat kering sel *Saccharomyces cerevisiae* selama proses fermentasi pelepah kelapa sawit.

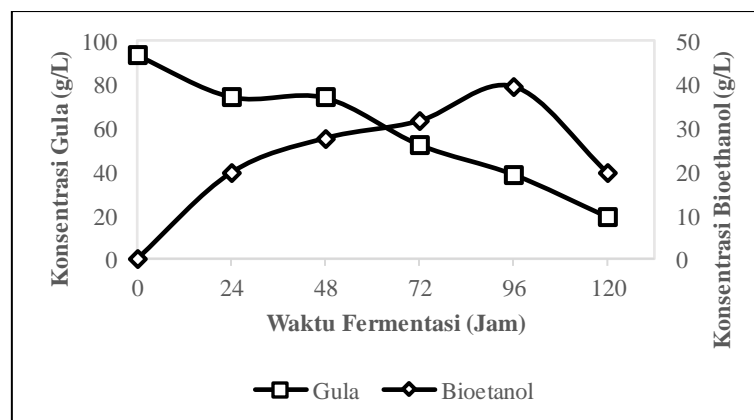


Gambar 1. Pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae* selama proses fermentasi

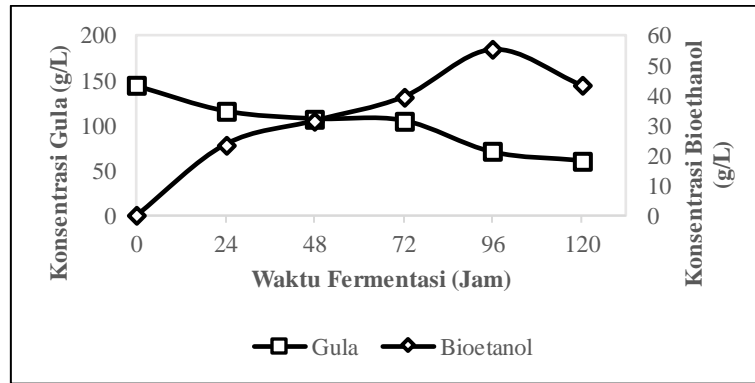
Berdasarkan Gambar 1. menunjukkan Pada waktu fermentasi 0 jam, berat kering *Saccharomyces cerevisiae* masih relatif rendah, hal ini dikarenakan pada tahap awal sel masih melakukan adaptasi atau penyesuaian diri terhadap medium fermentasi dan waktu untuk melakukan pembelahan sel hanya sedikit, sehingga jumlah sel yang dihasilkan masih belum maksimal. Pada waktu 24 jam, berat kering sel yang dihasilkan lebih banyak dibandingkan dengan waktu fermentasi 0 jam, hal ini dikarenakan *saccharomyces cerevisiae* memasuki fase logaritme dimana mikroba mulai membelah dengan kecepatan yang masih rendah. Pada waktu fermentasi 48 jam *saccharomyces cerevisiae* memasuki fase pertumbuhan logaritmik dimana mikroba membelah dengan cepat dan konstan sehingga jumlahnya bertambah. Pada waktu fermentasi 72 jam *saccharomyces cerevisiae* memasuki fase pertumbuhan lambat dimana pada fase ini pertumbuhan sel tidak stabil, tetapi jumlah populasi sel masih naik karena jumlah sel yang tumbuh masih lebih banyak dari yang mati. Pada waktu fermentasi 96 jam, berat kering sel yang dihasilkan tidak signifikan yaitu hanya bertambah sedikit dibanding dengan berat kering sel yang ada pada waktu fermentasi 72 jam. Hal ini dikarenakan *saccharomyces cerevisiae* berada pada fase pertumbuhan tetap dimana jumlah sel yang tumbuh sama dengan jumlah sel yang mati. Dan pada saat fermentasi 120 jam terjadi penurunan berat kering sel, hal ini menunjukkan bahwa *saccharomyces cerevisiae* telah mengalami fase menuju kematian dikarenakan nutrisi didalam medium sudah habis, adanya zat racun dan habisnya energi cadangan didalam sel.

Pengaruh Penurunan gula Terhadap Bioetanol

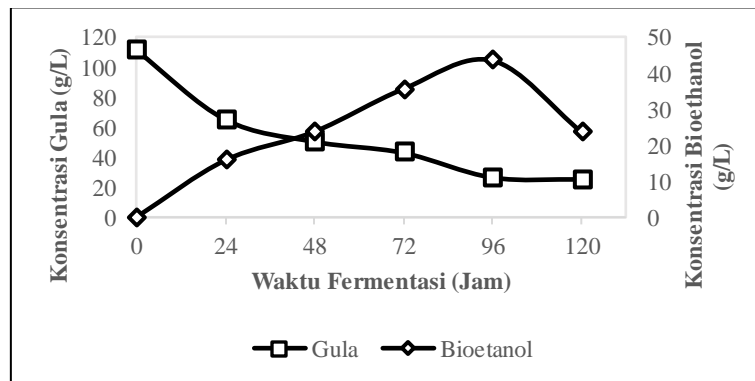
Gula yang diperoleh dari proses hidrolisis digunakan sebagai medium fermentasi dikonsumsi oleh *Saccharomyces cerevisiae* untuk memperbanyak sel serta menghasilkan bioetanol. Hubungan konsentrasi gula terhadap konsentrasi bioetanol yang dihasilkan dari proses fermentasi seperti terlihat pada Gambar 2 berikut ini.



(a)



(b)



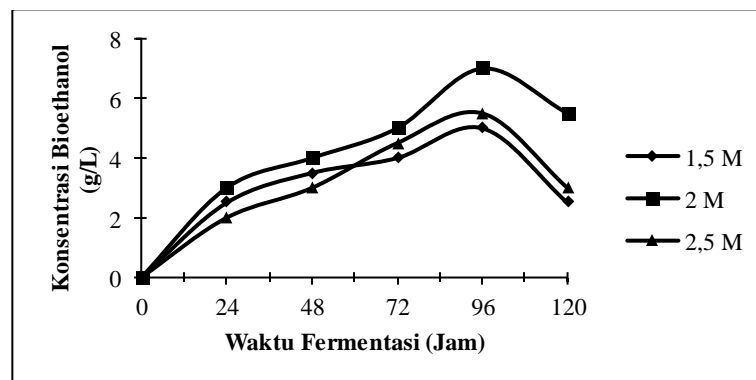
(c)

Gambar 2. Hubungan penurunan konsentrasi gula terhadap konsentrasi bioethanol pada H_2SO_4 (a) 1,5 M, (b) 2 M, dan (c) 2,5 M

Berdasarkan Gambar 2. dapat dilihat bahwa secara umum pada konsentrasi H_2SO_4 1,5 M, 2 M, dan 2,5 M terjadi penurunan konsentrasi gula seiring dengan peningkatan kadar bioethanol. Hal ini disebabkan seiring dengan berjalannya waktu, konsentrasi gula akan berkurang sejalan dengan bertambahnya konsentrasi bioethanol yang terbentuk, selain terkonversi menjadi bioethanol, gula berfungsi sebagai bahan makanan bagi bakteri untuk mempertahankan hidupnya dan memproduksi (Bailey dan David, 1986). Namun demikian, tidak semua gula yang dikonsumsi oleh mikroba dikonversi menjadi bioethanol. Maharani (2011) mengatakan bahwa glukosa pada proses fermentasi tidak hanya diubah menjadi bioethanol saja tetapi juga digunakan untuk pembentukan sel dan juga untuk pembentukan metabolit sekunder seperti asam piruvat.

Pengaruh Waktu Fermentasi Terhadap Kadar Bioethanol

Bioethanol merupakan produk akhir yang ingin diperoleh pada penelitian ini. Pada proses fermentasi faktor yang mempengaruhi fermentasi yaitu Tingkat keasaman (pH), suhu, oksigen, waktu fermentasi, dan nutrisi. Hubungan antara waktu fermentasi terhadap konsentrasi bioethanol yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 3. berikut.



Gambar 3. Hubungan antara waktu fermentasi terhadap konsentrasi bioethanol

Berdasarkan Gambar 3. menunjukkan bahwa waktu fermentasi berpengaruh terhadap konsentrasi bioetanol yang dihasilkan dimana semakin lama waktu fermentasi maka semakin tinggi bioetanol yang dihasilkan. Pada berbagai variasi konsentrasi H_2SO_4 dengan waktu fermentasi 24 jam sampai 96 jam mengalami peningkatan hasil bioetanol yang dihasilkan, hal ini dikarenakan *saccharomyces cerevisiae* dapat tumbuh dan berkembangbiak dalam medium fermentasi artinya semakin banyak jumlahnya, sehingga kemampuan untuk memecah substrat menjadi bioetanol semakin besar. Namun lamanya fermentasi memiliki batas maksimum, dapat dilihat pada waktu fermentasi ke 120 jam pada masing-masing variasi H_2SO_4 konsentrasi bioetanol yang dihasilkan mengalami penurunan. Hal ini sesuai dengan pernyataan Riadi (2007), dimana pada waktu lebih dari 4 hari (96 jam), *Saccharomyces cerevisiae* mengalami fase pertumbuhan diperlambat dan mengalami fase kematian, sehingga aktivitas *Saccharomyces cerevisiae* dalam mengubah gula pereduksi menjadi bioetanol menurun.

Berdasarkan Gambar 3. dapat ditarik kesimpulan bahwa konsentrasi bioetanol tertinggi berada pada variasi konsentrasi H_2SO_4 2M dengan waktu optimum 96 jam yaitu sebesar 55,25 g/L. Hal ini menjelaskan bahwa pada kondisi itu *Saccharomyces cerevisiae* mengalami fase eksponensial yaitu fase mikroorganisme mencapai keadaan maksimum dimana mikroba yang aktif dan mati seimbang dikarenakan nutrisi yang tersedia didalam medium sedikit (Siburian, 2015).

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan hal-hal berikut ini .

1. Konsentrasi H_2SO_4 berpengaruh terhadap glukosa yang dihasilkan. Dimana semakin tinggi konsentrasi H_2SO_4 digunakan pada proses hidrolisis, maka semakin besar pula glukosa yang dihasilkan akan tetapi apabila sudah mencapai optimum maka konsentrasi glukosa menurun. Konsentrasi H_2SO_4 optimum pada proses hidrolisis diperoleh sebesar 2 M.
2. Bioetanol dapat diproduksi dari bahan baku pelepah sawit melalui proses *Separated Hydrolysis and Fermentation* (SHF) menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* dengan kadar bioetanol tertinggi sebesar 55,25 g/L.
3. Waktu fermentasi berpengaruh terhadap konsentrasi bioetanol yang dihasilkan. Waktu optimum fermentasi pelepah sawit melalui proses *Separated Hydrolysis and Fermentation* (SHF) menggunakan yeast *Saccharomyces cerevisiae* yaitu selama 96 jam.

Saran

1. Hasil fermentasi sebaiknya segera dilakukan analisa atau disimpan pada tempat yang tertutup sangat rapat dan suhu yang rendah untuk menghindari penguapan.
2. Kondisi proses selama fermentasi sebaiknya dibuat anaerob untuk menghindari mikroba cepat mati dan oksidasi produk menjadi asam asetat.

Daftar Pustaka

- Akbar MA. Pengaruh pengadukan pada pembuatan bioetanol dari pelepah sawit menggunakan *saccharomyces cerevisiae*. Program Studi Teknik Kimia S1 Fakultas Teknik Universitas Riau. Pekanbaru. Skripsi. 2015
- Amalia Y. Pembuatan bioetanol dari limbah padat sagu menggunakan enzim selulase dan yeast *saccharomyces cerevisiae* dengan proses simultaneous sacherification and fermentation (SSF) dengan variasi konsentrasi substrat dan volume inokulum. Universitas Riau. Pekanbaru. Skripsi. 2014
- Bailey JN, Olis DF. Biochemical Eng. Fund Second Mc.Grawhill, New York; 1986. pp. 373-445.
- Dewi M, Ahmad A, Muria SR. Pengaruh konsentrasi *saccharomyces cerevisiae* terhadap biokonversi pelepah sawit. Universitas Riau. Pekanbaru. Skripsi. 2018
- Fitriani S, Bahri, Naurhaeni. Produksi bioetanol tongkol jagung (*zae mays*) dari hasil proses delignifikasi. Jurnal of Natural Science 2013; 3 (2):66-74.
- Hikmiyati N, Yanie NS. Pembuatan bioetanol dari limbah kulit singkong melalui proses hidrolisa asam dan enzimatis. Universitas Diponegoro. Skripsi. 2009.
- Jeckson E. Pengaruh laju pengadukan dalam pembuatan bioetanol dari limbah serabut buah sawit menggunakan *saccharomyces cerevisiae*. Universitas Riau. Skripsi. 2014.
- Maharani DM. Adaptasi *saccharomyces cerevisiae* terhadap asam hidrolisat ubi kayu untuk produksi bioetanol. Institut Pertanian Bogor. Bogor. Tesis. 2011.
- Mayzuhroh A. Produksi bioetanol menggunakan ragi alkohol instan (angel alcohol active dry yeast dan new aule alcohol yeast) dengan dan tanpa pemberian aerasi dan agitasi pada media molasses. Universitas Jember, Jember. Skripsi. 2015
- Natasha N. Variasi komposisi dan sumber nutrisi bagi miselium pada proses pelapukan pelepah kelapa sawit untuk mendegradasi lignin dengan *pleurotus ostreatus*. Universitas Indonesia. Depok. Skripsi. 2012
- Oswaldo ZS, Panca PS, Faizal M. Pengaruh konsentrasi asam dan waktu pada proses hidrolisis dan fermentasi pembuatan bioetanol dari alang-alang. Jurnal Teknik Kimia; 2012 18 (2): 52–62.



- Riadi L. Teknologi Fermentasi. Yogyakarta: Graham Ilmu. 2007
- Rilek MN, Hidayat N, Sugiarto Y. Hidrolisis lignoselulosa hasil *pretreatment* pelepah sawit (*elaeisguineensisjacq*) menggunakan H_2SO_4 pada produksi bioetanol. Jurnal Teknologi dan Manajemen Agro Industri 2017; 6 (2): 76-82.
- Safitri R, Anggita ID, Safitri FM, Ratnadewi. Pengaruh konsentrasi asam sulfat dari kulit buah naga merah (*hylocereus costaricensis*) untuk produksi bioetanol. 9th Industrial Research Workshop and National Seminar. Bandung. 2018.
- Saragih E. Pembuatan nitroselulosa dari selulosa hasil pemurnian pelepah sawit dengan hidrogen peroksida (H_2O_2) sebagai bahan baku propelen. Universitas Riau. Pekanbaru. Skripsi. 2013.
- Setyadji M. Hidrolisis pentosa menjadi furfural dengan katalisator asam sulfat untuk meningkatkan kualitas bahan bakar mesin diesel. Prosiding PPI-PDIPTN. Pustek Akselator dan Bahan. Yogyakarta. 2007.
- Sibirian R. Pengaruh waktu inokulasi inokulum dalam pembuatan bioetanol dari pelepah sawit menggunakan *saccharomyces cerevisiae*. Universitas Riau. Pekanbaru. Skripsi. 2015.
- Sinaga C. Analisis respon masyarakat terhadap rencana kenaikan harga bbm jenis premium (kasus: pengendara mobil pribadi di Bogor). Departemen Ilmu Ekonomi Fakultas Ekonomi dan Manajemen Institut Pertanian Bogor. Bogor. Skripsi. 2012
- Suwono A. Indonesia's potential contribution of biomass in sustainable energy development. Conference Proceeding of the 10th APCCHE Congress.the Asia Pasific Conderation of Chemical Engineering, Kiyatyushu Oct. 17-21. Japan. 2004.



Lembar Tanya Jawab

Moderator : Harsa Pawignya (UPN "Veteran" Yogyakarta)
Notulen : Aditya Kurniawan (UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : Aditya Kurniawan (UPN "Veteran" Yogyakarta)
Pertanyaan : Mengapa pada waktu fermentasi > 96 jam, kadar bioethanol yang dihasilkan turun?
Jawaban : Laju produksi bioethanol mengikuti grafik pertumbuhan mikroba yaitu berupa adaptasi → pertumbuhan statis → fasa kematian. Pada waktu >96 jam, koloni mikroba telah mencapai fasa kematian sehingga produksi bioethanol menurun.
2. Penanya : Harsa Pawignya (UPN "Veteran" Yogyakarta)
Pertanyaan : Apa peruntukan bioethanol yang dihasilkan? Jika digunakan sebagai bahan bakar, berapa kadar minimum yang disyaratkan?
Jawaban : Bioethanol yang dihasilkan adalah 55 gr/L. Bisa digunakan sebagai bahan bakar dengan terlebih dahulu dimurnikan hingga kadar minimum 99%.
3. Penanya : Indriana Lestari (UPN "Veteran" Yogyakarta)
Pertanyaan : Apa fungsi peroksida dalam proses pre-treatment? Mengapa dipilih fermentor *Saccharomyces C.*?
Jawaban : Peroksida digunakan untuk menghilangkan kadar lignin yang tersisa pada proses pertama. *Saccharomyces C.* dipilih karena cepat beradaptasi.

