



Pemanfaatan Serat Buah Kelapa Sawit menjadi Bioetanol dengan Variabel Konsentrasi H_2SO_4 pada Proses Hidrolisis

Adrianto Ahmad^{1*}, Idral Amri¹, dan Wida Sri Wani²

¹Program Studi Teknik Kimia, Universitas Riau, Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

²Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

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

Abstract

Bioethanol has been widely used in transportation as a fuel that is increasingly reduced. Palm fruit fiber has a high enough potential to be developed into an alternative energy source, namely bioethanol because of its high lignocellulosic content. The purpose of this study was to determine the composition of sulfuric acid in the hydrolysis process, determine the initial sugar composition of the bioethanol produced, and determine the optimal processing time for the formation of bioethanol in the Hydrolysis and Separate Fermentation (SHF) method. The stages in this study were the hydrolysis of palm fruit fiber using H_2SO_4 with variations of 1M, 2M, and 3M for 3 hours at 100 °C. The fermentation process is carried out with variations in time for 24 hours, 48 hours, 72 hours, 96 hours and 120 hours. The results showed that in the hydrolysis process the optimum H_2SO_4 concentration of 3M produced a sugar concentration of 87.83 gr/L. The fermentation process obtained an optimal fermentation time of 96 hours with a bioethanol concentration of 31.57 g/L. The greater the initial concentration and the longer time fermentation, the more bioethanol is obtained at optimal times.

Keywords: Bioethanol, fermentation, hydrolysis, palm fruit fiber

Pendahuluan

Indonesia merupakan negara dengan jumlah populasi manusia yang terus meningkat. Peningkatan tersebut menyebabkan kebutuhan akan energi juga semakin meningkat (Jannah dan Aziz, 2017). Hal ini dibuktikan dari besarnya jumlah volume impor migas di Indonesia yang dihimpun oleh Badan statistik pusat pada tahun 2017 yang mencapai 26.932,7 ribu ton atau naik 2.974,7 ribu ton dari data yang didapat pada tahun 2016 yaitu sebesar 23.958,3 ribu ton (Badan Pusat Statistik, 2017). Upaya mencari sumber energi alternatif tengah gencar dilakukan beberapa negara dalam beberapa dekade terakhir untuk mengurangi pemakaian bahan bakar fosil. Sumber energi alternatif ini bisa didapat dari bahan yang mengandung lignoselulosa yang diproduksi menjadi bioetanol. Salah satu bahan yang mengandung lignoselulosa yang dapat dimanfaatkan menjadi bioetanol adalah limbah kelapa sawit (Agustini dan Elfianty, 2015).

Data statistik luas perkebunan kelapa sawit di Indonesia yang dirilis oleh Dirjen Perkebunan (2017) diperkirakan meningkat menjadi 12,3 juta Ha dengan total jumlah produksi minyak kelapa sawit yang mencapai 35,3 juta ton. Limbah pengolahan pabrik kelapa sawit salah satunya serat mempunyai persentase sebesar 13% dari tandan buah segar (Ni'mah dkk., 2016). Limbah padat serat yang dihasilkan setiap pengolahan 1 ton TBS adalah 130 kg (Susanto dkk., 2017). Serat buah kelapa sawit mempunyai potensi yang cukup tinggi untuk dikembangkan menjadi sumber energi alternatif yaitu bioetanol karena kadar lignoselulosanya yang cukup tinggi (Ni'mah dkk., 2016).

Bioetanol (C_2H_5OH) merupakan produk dari proses fermentasi gula menggunakan bantuan mikroorganismenya. Berdasarkan bahan bakunya, maka dikenal bioetanol generasi pertama yang banyak menggunakan bahan kaya sukrosa seperti tebu, gula bit, sorgum dan buah-buahan serta bahan yang kaya karbohidrat seperti jagung, beras, kentang, dan ubi jalar. Diikuti generasi kedua dengan bahan kaya lignoselulosa seperti kayu, jerami serta limbah kelapa sawit. Generasi ketiga mulai menggunakan alga termasuk mikro alga dan makro alga (Nigam dan Sigh, 2011).

Bioetanol telah banyak digunakan dalam bidang transportasi menggantikan bahan bakar fosil yang semakin berkurang. Bioetanol mempunyai beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan bahan bakar minyak. Salah satunya adalah kandungan oksigennya yang lebih besar yaitu mencapai 35%. Kandungan oksigen yang besar menyebabkan gas karbon monoksida (CO) yang dihasilkan dalam proses pembakaran yang menjadi polutan akan lebih sedikit. Emisi gas karbon monoksida mencapai 19-25% (Jannah dan Aziz, 2017). Pada penelitian ini dipelajari pengaruh konsentrasi





H₂SO₄ 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).

Metodologi Penelitian

Bahan

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah serat buah sawit yang diperoleh dari PTPN V Terantam. Bahan lain yang digunakan adalah H₂SO₄ (1M, 2M dan 3M) NaOH, *Saccharomyces cerevisiae*, KH₂PO₄, MgSO₄.7H₂O, (NH₄)₂SO₄, glukosa dan larutan *anthrone* untuk analisa glukosa.

Alat

Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor leher empat, *autoclave*, *hot plate*, *magnetic stirrer*, pompa vakum, *rotary evaporator*, oven, erlenmeyer, gelas ukur, gelas kimia, kondensor, cawan penguap, tabung reaksi, pH meter, neraca analitik, *thermometer*, dan *vortex mixer*. Untuk alat analisa yang digunakan yaitu *spektrofotometer UV-Vis*, alkoholmeter, dan refraktometer.

Variabel Penelitian

Variabel tetap dalam penelitian ini antara lain volume inokulum: 10% (v/v) (Kusumaningati dkk., 2013), waktu inokulum: 24 jam (Amalia, 2014), volume fermentasi: 2 liter (Akbar, 2015), suhu fermentasi: suhu ruang, pH fermentasi: 4,5 (Jeckson, 2014), kecepatan pengadukan: 200 rpm (Jeckson, 2014), Variabel berubah pada penelitian ini adalah konsentrasi larutan H₂SO₄ (1M, 2M, 3M) dan lama fermentasi (24 jam, 48 jam, 72 jam, 96 jam, dan 120 jam).

Prosedur Penelitian

Pretreatment Serat Buah Sawit

Penelitian ini menggunakan bahan baku serat buah sawit yang berasal dari Pabrik PTPN V Terantam. Bahan baku dicuci dengan air bersih untuk menghilangkan pasir dan abu. Kemudian dijemur selama 2 hari dan dikeringkan dengan oven pada suhu 105 °C (Firmanto, 2014). Setelah itu diblender untuk memperkecil ukuran serat.

Hidrolisis Serat Buah Sawit

Serat yang telah dikecilkan kemudian dihidrolisis menggunakan H₂SO₄ dengan variabel 1M, 2M dan 3M. Perbandingan serat dengan H₂SO₄ adalah 1:20 pada suhu 100 °C selama 3 jam (Kardono, 2010). Hasil hidrolisis disaring dan diambil filtratnya. Residu dibuang. Filtrat tersebut merupakan larutan yang mengandung gula hasil konversi dari serbuk serat buah sawit. Selanjutnya, larutan dinetralkan dengan NaOH 50% hingga pH 4,5 (Ni'mah dkk., 2015). Larutan hasil hidrolisis selanjutnya akan dianalisa kadar gula nya menggunakan analisa *spektrofotometer* dan difermentasi menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*.

Pembuatan Inokulum

Pembuatan inokulum dilakukan didalam erlenmeyer dengan cara diambil medium stater sebanyak 10% dari volume fermentasi (200 mL) yang kemudian ditambahkan nutrisi 0,2 gram KH₂PO₄, 0,01 gram MgSO₄.7H₂O dan 0,4 gram (NH₄)₂SO₄, selanjutnya medium disterilisasi kedalam *autoclave* dengan temperatur 121 °C selama 15 menit, lalu didinginkan hingga temperatur inokulum mencapai suhu ruang. Setelah mencapai suhu ruang, *Saccharomyces cerevisiae* dimasukkan kedalam larutan dengan konsentrasi 4 gr/L, kemudian diinokulasi selama 24 jam dan diaduk dengan kecepatan 200 rpm.

Fermentasi

Setelah 24 jam, larutan inokulum dimasukkan kedalam 1800 mL larutan hasil hidrolisis yang telah ditambahkan nutrisi (1,8 gram KH₂PO₄, 0,09 gram MgSO₄.7H₂O dan 3,6 gram (NH₄)₂SO₄) dan disterilisasi sebelumnya, kemudian difermentasi dengan kecepatan pengadukan 200 rpm. Selanjutnya dilakukan pengambilan sampel menggunakan pipet volume sebanyak 130 ml dengan waktu fermentasi 24 jam, 48 jam, 72 jam, 96 jam, dan 120 jam. Kemudian sampel dipanaskan di *waterbath* untuk menghentikan reaksi didalamnya agar mikroorganismenya mati. Sampel hasil fermentasi dianalisa kadar glukosa sisa, berat kering sel dan kadar bioetanol yang dihasilkan.

Analisa Hasil

Parameter analisa pada penelitian ini yaitu berat kering sel, konsentrasi bioetanol dan konsentrasi gula substrat. Kadar gula awal dan kadar gula akhir disebut konsentrasi gula substrat, dianalisa dengan metode antron menggunakan *spektrofotometer UV-Vis*. Pengukuran kadar bioetanol dilakukan dengan memisahkan substrat hasil fermentasi dari mikroorganismenya *Saccharomyces cerevisiae*, nutrisi dan larutan gula sisa dengan cara menguapkan campuran bioetanol dan air menggunakan *rotary evaporator* pada suhu 77-80 °C, kemudian bioetanol dalam campuran diukur menggunakan alkoholmeter dan analisa refraktometer.



Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Serat Buah Kelapa Sawit

Untuk mengetahui kandungan lignoselulosa secara pasti pada penelitian ini dilakukan pengujian kandungan lignin, hemiselulosa dan selulosa dengan menggunakan metode Chesson-datta. Karakteristik serat buah kelapa sawit diperoleh kandungan lignin sebesar 30,78%; hemiselulosa 21,00%; selulosa 37,61% serta abu sebesar 3,42% dan sisanya berupa zat ekstraktif.

Pengaruh Konsentrasi H_2SO_4 dalam Hidrolisis Asam

Filtrat hasil hidrolisis diuji menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan reagen antron. Menurut Koehler (1952) metode antron-sulfat merupakan metode penerapan gula total dimana prinsipnya, gula pereduksi dan gula non pereduksi akan bereaksi dengan asam sulfat pekat membentuk furfural dan turunannya yang kemudian akan bereaksi membentuk kompleks berwarna kuning kehijauan dengan reagen antron.

Lebih lanjut Dreywood (1946) menjelaskan bahwa terjadi perbedaan yang signifikan dikarenakan metode antron-sulfat merupakan metode untuk menguji konsentrasi gula total dimana reaksi furfuralisasi antara asam kuat tidak hanya bereaksi dengan gula pereduksi saja namun juga dengan gula-gula non pereduksi. Metode antron-sulfat adalah salah satu metode kolorimetri untuk menetapkan konsentrasi gula total yang ada didalam sampel. Metode ini akan menentukan gula pereduksi dan gula non pereduksi karena adanya H_2SO_4 sebagai oksidator yang sangat kuat.

Secara umum konsentrasi gula meningkat seiring semakin tingginya konsentrasi H_2SO_4 yang digunakan pada proses hidrolisis. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Konsentrasi Larutan Gula Hasil Hidrolisis Asam

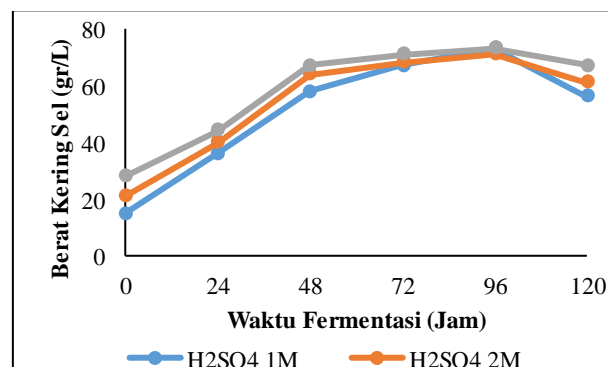
Konsentrasi Asam sulfat	Konsentrasi Gula (gr/L)
1 M	57,33
2 M	77,91
3 M	87,83

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa konsentrasi gula yang dihasilkan pada hidrolisis dengan konsentrasi H_2SO_4 1M menghasilkan konsentrasi gula sebesar 57,33 gr/L dimana gula yang dihasilkan lebih rendah jika dibandingkan dengan perlakuan dengan penambahan konsentrasi H_2SO_4 2M yaitu sebesar 77,91 gr/L, dan konsentrasi gula yang dihasilkan tertinggi berada pada kondisi H_2SO_4 3M yaitu sebesar 87,83 gr/L. Berdasarkan Tabel di atas, dapat ditarik kesimpulan bahwa proses hidrolisis serat buah kelapa sawit menggunakan berbagai konsentrasi H_2SO_4 menunjukkan peningkatan konsentrasi gula yang dihasilkan pada setiap penambahan konsentrasi H_2SO_4 .

Arianie dan Idiawati (2011) menjelaskan bahwa pada proses hidrolisis, gugus H^+ dari H_2SO_4 akan mengubah gugus serat dari serat buah kelapa sawit menjadi gugus radikal bebas. Gugus radikal bebas serat kemudian akan berikatan dengan gugus OH^- dari air dan menghasilkan glukosa. Meskipun dengan peningkatan konsentrasi H_2SO_4 akan terbentuk lebih banyak gugus radikal bebas, akan tetapi menyebabkan semakin sedikit air dalam komposisi larutan hidrolisis sehingga kebutuhan akan OH^- sebagai pengikat radikal bebas serat menjadi berkurang dan glukosa yang dihasilkan semakin sedikit. Pada penelitian ini didapat konsentrasi gula tertinggi pada H_2SO_4 3M yaitu sebesar 87,83 gr/L.

Analisa Berat Kering Sel

Berat kering sel merupakan selisih dari berat cawan penguap yang berisi sampel setelah konstan dan berat cawan penguap awal. Hasil pengukuran berat kering sel *Saccharomyces cerevisiae* selama proses fermentasi dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.

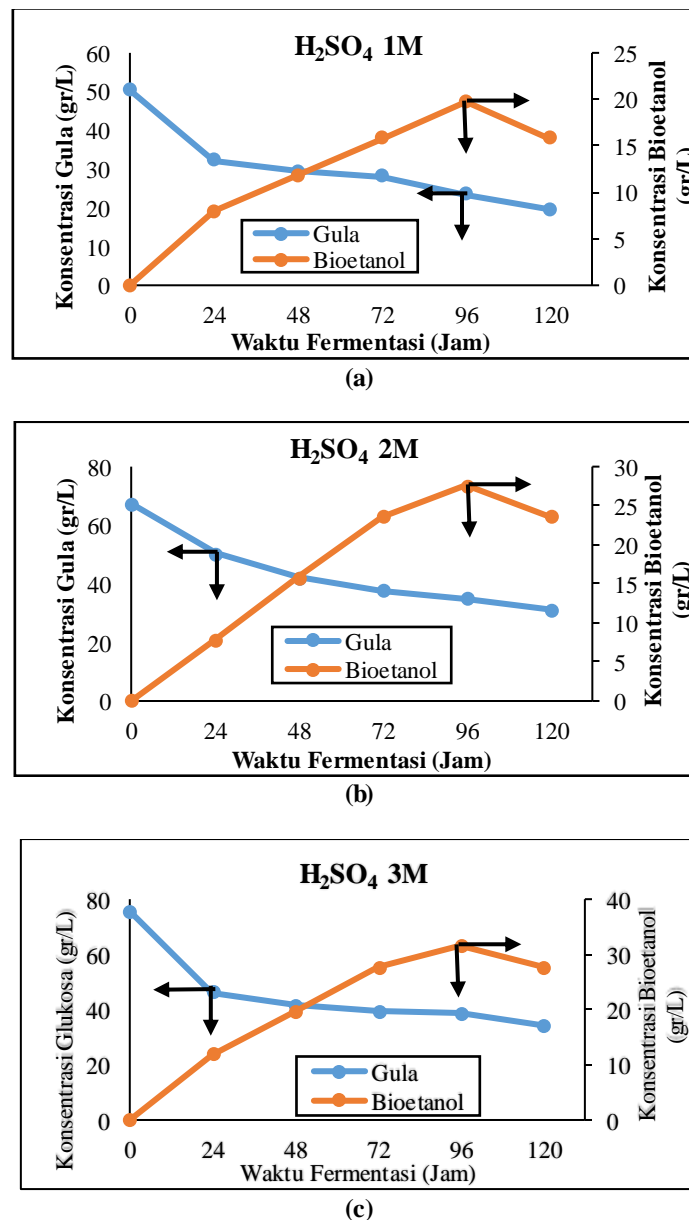


Gambar 1 Pertumbuhan *saccharomyces cerevisiae* selama proses fermentasi

Berdasarkan Gambar 1 dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya waktu proses fermentasi, berat kering sel cenderung meningkat sampai pada waktu optimum. Berat kering sel pada waktu 0-24 jam masih relatif rendah, dikarenakan pada tahap ini sel masih dalam fase adaptasi atau penyesuaian diri terhadap medium fermentasi. Berat kering sel mengalami peningkatan pada waktu 48 jam. Peningkatan ini menandakan bahwa *Saccharomyces cerevisiae* telah melalui tahap adaptasi dan memasuki tahap eksponensial dimana pada tahap ini mikroba dapat bertambah banyak dengan konstanta tetap selama waktu tertentu. Pertumbuhan mikroba berjalan lambat diawal fase, tetapi selanjutnya bertambah cepat seiring bertambahnya waktu (Rahayu dan Nurwitri, 2012). Selanjutnya pada waktu fermentasi 72 jam dan 96 jam, pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae* terus mengalami kenaikan dan menurun pada waktu ke 120 jam. Hal ini berarti pada waktu fermentasi 72 dan 96 jam sel berada pada tahap stasioner atau statis, dimana pertumbuhan mikroba sebanding dengan kematian mikroba. Kemudian pada tahap selanjutnya mikroba akan mengalami fase kematian. Hal ini diduga karena nutrisi yang tersisa di dalam medium fermentasi sedikit yang menyebabkan terjadi persaingan hidup dan kanibalisme sehingga jumlah sel yang hidup semakin sedikit (Mukti dkk., 2016).

Pengaruh Konsentrasi Gula Awal Terhadap Konsentrasi Bioetanol

Larutan gula yang diperoleh dari proses hidrolisis asam kemudian difermentasi dengan memvariasikan waktu proses. Pengaruh konsentrasi gula awal terhadap konsentrasi bioetanol ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2 Grafik pengaruh konsentrasi gula awal terhadap waktu fermentasi (a) gula awal 57,33 gr/L (b) gula awal 77,91 gr/L (c) gula awal 87,83 gr/L

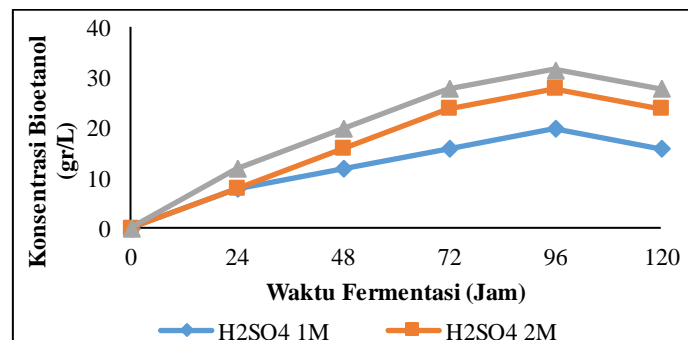
Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat pada variasi H_2SO_4 1M dengan konsentrasi gula awal sebesar 57,33 gr/L diperoleh konsentrasi bioetanol selama proses fermentasi pada waktu 24, 48 jam, 72 jam, 96 jam dan 120 jam masing-masing sebesar 7,89 gr/L; 11,84 gr/L; 15,79 gr/L; 19,73 gr/L 15,79 gr/L. Pada variasi H_2SO_4 2M dengan konsentrasi gula awal sebesar 77,91 gr/L selama fermentasi pada waktu 24 jam, 48 jam, 72 jam 96 jam dan 120 jam diperoleh konsentrasi bioetanol masing-masing sebesar 7,89 gr/L; 15,79 gr/L; 23,68 gr/L; 27,63 gr/L; 23,68 gr/L. Selanjutnya pada variasi konsentrasi H_2SO_4 3M dengan konsentrasi gula awal sebesar 87,83 gr/L selama proses fermentasi pada waktu 24 jam, 48 jam, 72 jam, 96 jam dan 120 jam menghasilkan bioetanol berturut-turut sebesar 11,84 gr/L; 19,73 gr/L; 27,63 gr/L, 31,57 gr/L; 27,63 gr/L.

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat bahwa pada variasi konsentrasi H_2SO_4 1M dan 2M selama proses fermentasi hanya menghasilkan konsentrasi bioetanol yang tidak terlalu besar jika dibandingkan dengan konsentrasi H_2SO_4 3M pada grafik (c). Hal ini membuktikan bahwa konsentrasi gula awal sangat berpengaruh di dalam proses fermentasi, dimana semakin tinggi konsentrasi gula awal yang digunakan pada proses fermentasi, semakin banyak pula gula yang dapat diubah menjadi bioetanol oleh *Saccharomyces cerevisiae*. Menurut Azizah dkk (2012), *Saccharomyces cerevisiae* dapat mengkonversi gula menjadi etanol karena adanya enzim *invertase* dan *zymase*. Enzim-enzim ini memiliki kemampuan mengkonversi gula baik dari kelompok monosakarida maupun dari kelompok disakarida. Apabila gula yang tersedia di dalam substrat berupa gula disakarida, maka enzim *invertase* akan bekerja menghidrolisis disakarida menjadi monosakarida. Selanjutnya, enzim *zymase* akan mengubah monosakarida tersebut menjadi alkohol.

Peningkatan konsentrasi bioetanol berbanding terbalik dengan konsentrasi gula awal, dimana selama proses fermentasi konsentrasi gula awal cenderung menurun yang diikuti dengan semakin meningkatnya konsentrasi bioetanol yang dihasilkan sampai pada waktu optimum. Menurunnya konsentrasi gula awal dikarenakan gula yang terdapat di dalam medium digunakan sebagai sumber karbon bagi *Saccharomyces cerevisiae* untuk mensintesis energi melalui proses fermentasi etanol. Hal ini sesuai dengan pernyataan Anita (2012), dimana glukosa merupakan sumber nutrisi yang digunakan *Saccharomyces cerevisiae* untuk pertumbuhan dan pembentukan bioetanol sebagai produk fermentasi. Semakin besar pengurangan glukosa maka semakin tinggi konsentrasi bioetanol yang terbentuk.

Pengaruh Waktu Fermentasi terhadap Konsentrasi Bioetanol

Bioetanol merupakan produk akhir yang ingin diperoleh dalam penelitian ini. Konsentrasi bioetanol dianalisa menggunakan alat refraktometer. Hasil analisa ditunjukkan pada Gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3 Grafik pengaruh waktu fermentasi terhadap konsentrasi bioetanol

Gambar 3 menunjukkan bahwa konsentrasi bioetanol dari berbagai variasi konsentrasi H_2SO_4 selama proses fermentasi berlangsung menghasilkan bioetanol yang terus meningkat seiring bertambahnya waktu fermentasi. Hal tersebut menunjukkan bahwa *Saccharomyces cerevisiae* mampu tumbuh dan berkembang biak dalam medium fermentasi sehingga dapat mengkonversi glukosa menjadi bioetanol. Dari ketiga variasi konsentrasi H_2SO_4 tersebut didapat waktu optimum fermentasi berada pada waktu 96 jam dengan konsentrasi bioetanol masing-masing sebesar 19,73 gr/L; 27,63 gr/L; 31,57 gr/L. 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 masing-masing sebesar 15,79 gr/L; 23,68 gr/L; 27,63 gr/L. 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. Selain itu menurut Maurice (2011), selama proses fermentasi tidak hanya menghasilkan etanol saja melainkan ada produk samping yang terbentuk, yaitu asam asetat dan asam format. Adanya asam-asam yang terbentuk selama proses fermentasi dapat menghambat metabolisme *yeast* dengan cara asam berdifusi melalui membrane plasma melalui sel *yeast* dan meningkatkan pH intraseluler. Sel-sel *yeast* menanggapi proses difusi dengan mengeluarkan ATP untuk memperbaiki membrane plasma dan mempertahankan pH intraseluler agar tetap konstan. Namun hal ini dapat menyebabkan *yeast* kekurangan ATP untuk melakukan fermentasi mengubah gula menjadi etanol, sehingga konsentrasi etanol yang tadinya naik menjadi turun.



Berdasarkan Gambar 3 dapat ditarik kesimpulan bahwa konsentrasi bioetanol tertinggi berada pada variasi konsentrasi H_2SO_4 3M dengan waktu optimum 96 jam yaitu sebesar 31,572 gr/L.

Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat pada penelitian ini:

1. Semakin besar konsentrasi H_2SO_4 yang digunakan pada proses hidrolisis, semakin besar konsentrasi gula yang dihasilkan. Hidrolisis serat buah kelapa sawit dengan konsentrasi H_2SO_4 3M menghasilkan gula terbesar yaitu 87,83 gr/L.
2. Semakin besar konsentrasi gula awal yang difermentasi, semakin banyak bioetanol yang terbentuk sampai pada waktu optimum. Konsentrasi gula awal 87,83 gr/L menghasilkan bioetanol terbesar yaitu 31,57 gr/L.
3. Waktu optimum proses fermentasi berada pada waktu ke 96 jam dengan konsentrasi bioetanol yang dihasilkan sebesar 31,57 gr/L.

Daftar Pustaka

- Agustini L, Efiyanti, L. Pengaruh perlakuan delignifikasi terhadap hidrolisis selulosa dan produksi etanol dari limbah berlignoselulosa. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 2015; 33 (1): 69-80.
- Akbar MA. Pengaruh kecepatan pengadukan pada pembuatan bioetanol dari pelepah sawit menggunakan *saccharomyces cerevisiae*. Universitas Riau. Pekanbaru. Skripsi. 2015
- Anita M. Fermentasi biji nangka untuk produksi bioetanol oleh *saccharomyces cerevisiae*. Universitas Brawijaya. Skripsi. 2012.
- Arianie L, Idiawati N. Penentuan kadar lignin dan kadar glukosa dalam hidrolisis organosolv dan hidrolisis asam. FMIPA Universitas Tanjungpura, Pontianak. 2011
- Azizah N, Al-baari AN, Mulyani S. Pengaruh lama fermentasi terhadap kadar alkohol, pH dan produksi gas pada proses fermentasi bioetanol dari whey dengan substitusi kulit nanas. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan* 2012; 1 (2): 72-77.
- BPS. Statistik Kelapa Sawit Indonesia. Badan Pusat Statistik Indonesia. 2017.
- Dreywood R. Qualitative test for carbohydrate material. *Journal Industrial & Engineering Chemistry Analytical Edition* 1946; 18: 499-499.
- Firmanto. Pengaruh waktu inokulasi inokulum dalam pembuatan bioetanol dari limbah serabut buah sawit. Universitas Riau. Pekanbaru. Skripsi. 2014.
- Jannah AM, Aziz T. Pemanfaatan sabut kelapa menjadi bioetanol dengan proses delignifikasi acid-pretreatment. *Jurnal Teknik Kimia* 2017; 23 (4): 245-251.
- Jeckson E. Pengaruh laju pengadukan dalam pembuatan bioetanol dari limbah serabut buah sawit menggunakan *saccharomyces cerevisiae*. Universitas Riau. Pekanbaru. Skripsi. 2014.
- Koehler LH. Differentiation of carbohydrates by anthrone reaction rate and color intensity. *Journal Analytical Chemistry* 1952; 24: 1576-1579.
- Kusumaningati MA, Nurhatika S, Muhibuddin A. Pengaruh konsentrasi inokulum bakteri *zymomonas mobilis* dan lama fermentasi pada produksi etanol dari sampah pasar sayur dan buah pasar Wonokromo Surabaya. *Jurnal sains dan seni POMITS* 2013; 2 (2): E-218-E-223. 2337-3520
- Maurice ML. Factors effecting ethanol fermentation via simultaneous saccharification and fermentation. Worcester Polytechnic Institute. 2011.
- Mukti LN, Aryani W. Pengaruh waktu fermentasi dan jumlah ragi terhadap persentase hasil dalam pembuatan bioetanol dari buah talok (*kersen*) menggunakan ragi tape dan ragi roti (*saccharomyces cerevisiae*). Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta. 2016.
- Ni'mah L, Ardianto A, Zainudin M. Pembuatan bioetanol dari limbah serat kelapa sawit melalui proses pretreatment, hidrolisis asam dan fermentasi menggunakan ragi tape. *Info Teknik* 2015; 16 (2): 227-242.
- Ni'mah L, Ghofur A, Samlawi AK. Pemanfaatan serat kelapa sawit untuk pembuatan gasohol (premium-bioetanol) dengan pretreatment lignocelulotic material dan fermentasi dengan menggunakan ragi tape dan NPK. *Prosiding Seminar Lahan Basah Jilid 2* 2016; ISBN: 978-602-6483034-5, 647-653.
- Nigam PS, Singh A. Production of liquid biofuels from renewable resources. *Progress in Energy and Combustion Science* 2011; 37: 52-68.
- Rahayu WP, Nurwitri CC. Mikrobiologi Pangan. Bogor: IPB Press. 2012
- Riadi L. Teknologi Fermentasi. Yogyakarta: Graham Ilmu. 2007.
- Susanto JP, Santoso AD, Suwendi N. Perhitungan potensi limbah pabrik kelapa sawit untuk sumber energi terbarukan dengan metode LCA. *Jurnal Teknologi Lingkungan* 2017; 18 (2): 165-172.





Lembar Tanya Jawab

Moderator : **M. Maulana Azimatun Nur (UPN "Veteran" Yogyakarta)**
Notulen : **Aditya Kurniawan (UPN "Veteran" Yogyakarta)**

1. Penanya : Soeprijanto (ITS)
Pertanyaan : Berapa persen yield gula maksimum yang dihasilkan?
Jawaban : Yield gula maksimum yang dihasilkan sebesar 72%
2. Penanya : M.M. Azimatun Nur (UPN "Veteran" Yogyakarta)
Pertanyaan : Apakah ada proses pre-treatment? Pernahkah/bisakah proses pembuatan bioethanol dilakukan menggunakan enzim?
Jawaban : Pretreatment yang digunakan adalah hidrolisis. Pernah dilakukan proses produksi bioethanol dengan enzim, tetapi memerlukan kondisi yang khusus yaitu harus steril. Selain itu juga lebih mahal.