



Pengaruh Konsentrasi Asam Klorida (HCl) Pada Hidrolisis dan Waktu Fermentasi Terhadap Limbah Padat Sagu Menjadi Bioetanol

Adrianto Ahmad*, Sri Rezeki Muria, dan Rahani

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

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

Abstract

*Bioethanol is a bioenergy that can be used as an alternative fuel. One of the raw materials that can be utilized is sago solid waste. Sago pulp biomass, which is a lignocellulose material, contains considerable potential as a basis for bioethanol based on the availability of certain components (starch and cellulose) it contains. Cellulose content found in sago solid waste can be converted into bioethanol through hydrolysis and fermentation processes. This study aims to synthesize bioethanol from sago solid waste, determine the effect of HCl concentrations on the hydrolysis process and determine the optimum time of bioethanol production from sago pulp waste by the method of separate hydrolysis and fermentation (SHF). The research began with pretreatment of sago pulp using 1M NaOH, then the hydrolysis process used HCl with a variation of 1 M, 2 M and 3 M at 100°C for 3 hours. Then the hydrolysis results are fermented using *Saccharomyces cerevisiae*. The fermentation process lasts for 24 hours, 48 hours, 72 hours, 96 hours and 120 hours. The results showed that the largest sugar concentration obtained at the 2 M HCl hydrolysis was 140.18 gr / L and the best bioethanol content was obtained from fermentation for 96 hours is 7% or 55.25 gr / L.*

Keywords: bioethanol, fermentation, hydrolysis, sago solid waste, *saccharomyces cerevisiae*.

Pendahuluan

Ketersediaan energi adalah salah satu faktor penting di dalam kehidupan manusia yang berpengaruh terhadap semua lini kehidupan, mulai dari pemerintahan, ekonomi, pendidikan dan juga sosial budaya. Konsumsi energi meningkat seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dan peningkatan kebutuhan hidup (Susmiati, 2018). Sesuai dengan data Badan Pusat Statistik (2016), total konsumsi energi final di Indonesia meningkat dari 4,47 exajoule pada tahun 2010 menjadi 5,28 exajoule di tahun 2012 dan menurun menjadi 4,44 exajoule pada tahun 2014. Pada tahun 2014 sektor transportasi merupakan sektor yang konsumsi energi akhirnya terbesar yaitu 42%, diikuti oleh sektor rumah tangga sebesar 30%. Berdasarkan jenis energi, BBM (Bahan Bakar Minyak) masih merupakan sumber energi fosil yang penting bagi Indonesia dan penggunaannya semakin meningkat dari 43% pada tahun 2010 menjadi 62% pada tahun 2014.

Penggunaan energi, terutama bahan bakar fosil akan menyisakan residu yang dapat memberikan dampak pada pencemaran lingkungan dan peningkatan suhu bumi. Penggunaan bahan bakar fosil menyumbang emisi gas rumah kaca (CO₂) sebesar 76% yang terdiri dari proses industri 65% dan kehutanan beserta penggunaan lahan lainnya 11%. Pemakaian bahan bakar bensin dan solar pada kendaraan bermotor juga menghasilkan CO₂. Jumlah kendaraan bermotor yang semakin meningkat berbanding lurus dengan peningkatan emisi CO₂ dari kendaraan bermotor. Pada tahun 2014 sebesar 126,56 juta ton yang terdiri dari emisi CO₂ dari pemakaian bahan bakar bensin sebesar 69,63 juta ton dan emisi CO₂ dari pemakaian solar sebesar 56,92 juta ton (Badan Pusat Statistik, 2018).

Terkait dengan permasalahan energi dan efek gas rumah kaca tersebut, pengembangan bioenergi dapat menjadi alternatif solusinya. Keuntungan dari penggunaan bioenergi adalah dapat mengurangi emisi gas rumah kaca di seluruh siklus hidup bioenergi. Penggunaan biomassa untuk memproduksi biofuel, seperti bioetanol terbukti dapat mengurangi emisi CO₂ jika dibandingkan dengan produksi bensin. *International Energy Agency (IEA)* melaporkan bahwa penggunaan biofuel diproyeksikan dapat mengurangi emisi CO₂ sekitar 2,1 gigaton per tahun 2050 jika diproduksi secara stabil (Jin dan Sutherland, 2016).

Bioetanol merupakan bioenergi yang dapat diperbarui, sedikit polusi, dan dapat diproduksi dari bahan-bahan yang mengandung gula dan pati seperti sagu, jagung, kentang, gandum, tebu, molases dan yang lainnya. Sementara itu, penggunaan lahan pertanian untuk memproduksi tanaman bioenergi akan bersaing dengan budidaya tanaman pangan. Selain itu produksi bioenergi dari tanaman yang dibudidayakan akan membutuhkan biaya yang lebih tinggi jika



dibandingkan dengan produksi energi dari minyak bumi, dan kurang menguntungkan. Oleh karena itu diperlukan alternatif sumber bahan baku yang murah dan berlimpah (Ma dkk., 2017).

Alternatif sumber bahan baku yang dapat dimanfaatkan adalah limbah padat sagu. Biomassa ampas sagu yang merupakan salah satu bahan berlignoselulosa, mengandung potensi yang cukup besar sebagai bahan dasar bioetanol berdasarkan ketersediaan komponen-komponen tertentu (pati dan selulosa) yang dikandungnya. Dibandingkan dengan tanaman penghasil karbohidrat lain, keunggulan utama tanaman sagu adalah produktivitasnya tinggi.

Pada penelitian ini dipelajari pengaruh konsentrasi HCl 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 yang Digunakan

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah ampas sagu yang diperoleh dari Kabupaten Bengkalis. Bahan lain yang digunakan adalah HCl (1M, 2M dan 3M) NaOH, *Saccharomyces cerevisiae*, KH_2PO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, glukosa dan larutan *anthrone* untuk analisa glukosa.

Alat yang Digunakan

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* 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), ukuran serat: 80 mesh (Amalia, 2014). Variabel berubah pada penelitian ini adalah konsentrasi larutan HCl (1M, 2M, 3M) dan lama fermentasi (24 jam, 48 jam, 72 jam, 96 jam, dan 120 jam).

Rancangan percobaan

Pelaksanaan pembuatan bioetanol dari ampas sagu dengan metode *separate hydrolysis and fermentation* (SHF) dilakukan dengan dua tinjauan variabel yaitu konsentrasi HCl dan lama fermentasi.

Prosedur Penelitian

Pretreatment Ampas Sagu

Penelitian ini menggunakan bahan ampas sagu yang diperoleh dari Kabupaten Bengkalis. Bahan baku dicuci dengan air bersih untuk menghilangkan pasir dan abu. Kemudian dijemur selama 2 hari dan dikeringkan dengan oven pada suhu 105°C (Amalia, 2014). Setelah itu diblender dan diayak sampai ukuran ampas menjadi 80 mesh (Amalia, 2014). Selanjutnya ampas sagu di delignifikasi dengan menggunakan larutan NaOH 1M (1;10 b/v). Larutan dihomogenisasi menggunakan *shaker* dengan kecepatan 200 rpm dan dipanaskan pada suhu 100°C selama 60 menit. Setelah itu, ampas sagu dicuci dan dibilas menggunakan air suling hingga pH netral dan dikeringkan dalam oven pada temperatur 105°C hingga beratnya konstan. (Septiyani, 2011).

Hidrolisis Ampas Sagu

Ampas sagu dihidrolisis menggunakan HCl dengan variabel 1M, 2M, 3M. perbandingan ampas sagu dengan HCl adalah 1:20 pada suhu 100°C selama 3 jam (Kardono, 2010). Hasil hidrolisis disaring kemudian filtratnya diambil dan residu dibuang. Filtrat tersebut merupakan larutan yang mengandung gula hasil konversi dari serbuk serat sagu. Selanjutnya, larutan dinetralkan dengan NaOH 50% hingga pH 4,5. Larutan hasil hidrolisis selanjutnya akan dianalisa kadar gulanya menggunakan spektrofotometer dan difermentasi menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*.

Pembuatan Inokulum

Pembuatan inokulum dilakukan didalam erlenmeyer dengan cara *Saccharomyces cerevisiae* dari ragi diinokulasikan kedalam 200 ml medium yang mengandung larutan gula hasil hidrolisis 0,2 gr/L KH_2PO_4 , 0,01 gr/L $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dan 0,4 gr/L $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Sebelum diinokulasi, medium disterilisasi terlebih dahulu menggunakan *autoclave* dengan temperatur 121°C selama 15 menit, lalu didinginkan hingga temperatur inokulum mencapai suhu ruang. Setelah mencapai suhu ruang, sebanyak 4 gr/L yeast dimasukkan ke dalam medium lalu diaduk dengan menggunakan *shaker* dengan kecepatan 200 rpm selama 24 jam (Amalia, 2014).

Fermentasi

Setelah 24 jam, larutan inokulum dimasukkan kedalam 1800 mL larutan hasil hidrolisis yang telah ditambahkan nutrisi (1,8 gram KH_2PO_4 , 0,09 gram $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dan 3,6 gram $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) dan disterilisasi sebelumnya, kemudian difermentasi dengan kecepatan pengadukan 200 rpm. Selanjutnya dilakukan pengambilan sampel menggunakan pipet volume sebanyak 130 ml dengan waktu fermentasi 0 jam, 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.

Pemisahan

Hasil fermentasi kemudian diambil 130 mL dengan 30 ml untuk dianalisa kadar gula sisa menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan 100 mL campuran bioetanol yang berada di dalam substrat hasil fermentasi dipisahkan dari mikroorganismenya *Saccharomyces cerevisiae*, nutrisi dan larutan gula sisa dengan cara menguapkan campuran bioetanol dan air pada suhu 80-85 °C dengan menggunakan *rotary evaporator*, kemudian bioetanol yang terdapat di dalam campuran bioetanol dan air di analisa menggunakan refraktometer.

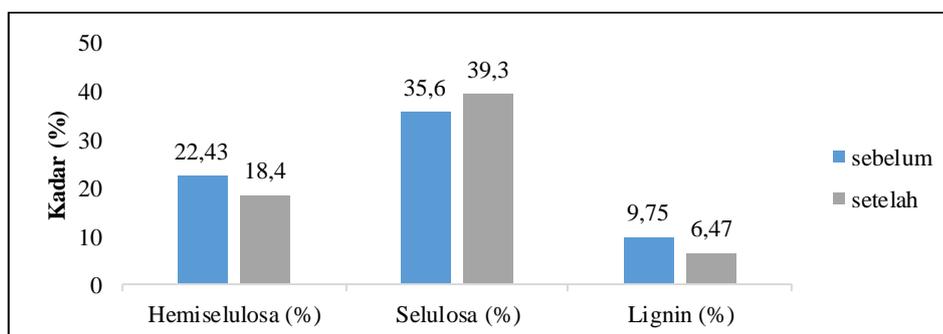
Analisa Hasil

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 *antrone* 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*, kemudian bioetanol dalam campuran diukur menggunakan refraktometer.

Hasil dan Pembahasan

Pretreatment Ampas Sagu

Ampas sagu sebelum dihidrolisis dianalisis kadar lignoselulosanya. Hasil analisis menunjukkan bahwa ampas sagu yang digunakan sebagai bahan baku penelitian ini mengandung komponen lignin, selulosa dan hemiselulosa berturut-turut sebesar 9,75 %, 35,60 % dan 22,43 %. Kadar lignin ampas sagu setelah di pretreatment menggunakan NaOH 1M pada suhu 100°C selama 1 jam mengalami penurunan dari kandungan lignin bahan baku sebesar 9,75 % menjadi 6,47 %. Pretreatment menggunakan NaOH 1 M mampu mendegradasi lignin ampas sagu. Penggunaan larutan NaOH 1 M pada suhu 100°C mampu melarutkan lignin dan sebagian hemiselulosa. Hasil analisa kadar komponen lignoselulosa dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Perbandingan Kadar komponen lignoselulosa ampas sagu sebelum dan sesudah *pretreatment*

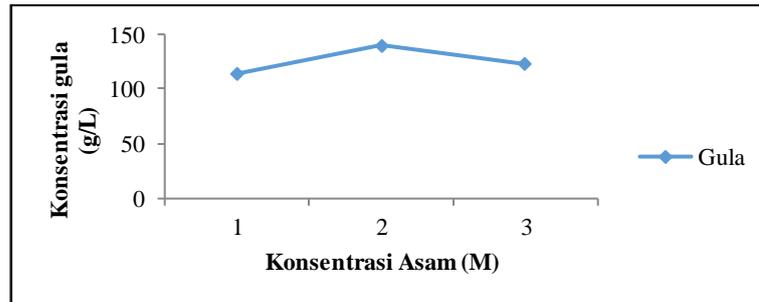
Selulosa ampas sagu yang telah di pretreatment menggunakan NaOH 1 M pada suhu 100°C selama 1 jam mengalami kenaikan dari 35,60 % menjadi 39,30 %. Kenaikkan persentase selulosa tersebut disebabkan komponen lignin yang mengikat selulosa dan hemiselulosa telah terdegradasi, sehingga komponen selulosa meningkat persentasenya dari total seluruh komponen pada ampas sagu tersebut.

Kadar hemiselulosa ampas sagu setelah di pretreatment menggunakan NaOH 1 M pada suhu 100°C selama 1 jam adalah 18,43 % dari kadar hemiselulosa bahan baku awal 22,43%. Menurut Sukowati dkk. (2014) Penurunan kandungan hemiselulosa terjadi karena adanya reaksi oksidasi sehingga hemiselulosa terdegradasi menjadi unit-unit yang sederhana sehingga mudah larut dalam air.

Pengaruh Konsentrasi HCl dalam Terhadap Kadar Gula

Hidrolisis adalah proses dekomposisi kimia dengan menggunakan pelarut berair untuk memecahkan ikatan kimia dari substansinya (Arianie dan Idawati, 2011). Pada dasarnya prinsip hidrolisis adalah memutuskan rantai polimer bahan menjadi unit – unit monomer yang lebih sederhana dengan bantuan katalis. Penelitian dilakukan dengan

menggunakan HCl berbagai variasi konsentrasi pada proses hidrolisis untuk mengetahui konsentrasi terbaik yang menghasilkan kandungan glukosa tertinggi. Menurut Rahim (2016), kelebihan proses hidrolisis dengan asam klorida yaitu garam yang terbentuk setelah penetralan hasil merupakan garam yang tidak berbahaya (garam dapur). Selain itu, HCl merupakan salah satu oksidator kuat dan lebih aman jika dibandingkan dengan asam yang lain. Hubungan hasil hidrolisis terhadap kadar gula dengan variasi HCl 1 M, 2 M, dan 3 M dapat dilihat pada Gambar 2.

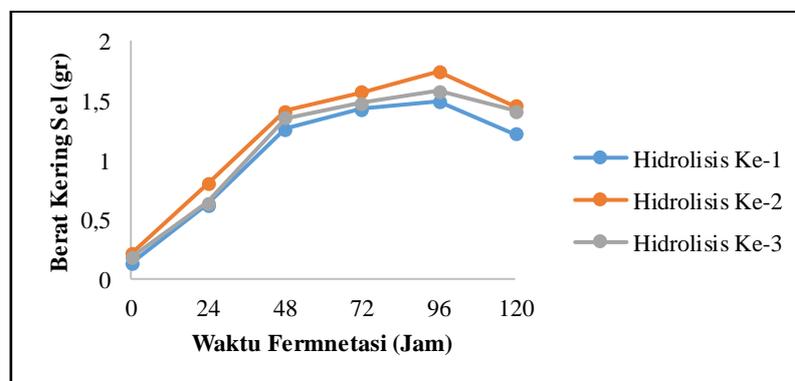


Gambar 2 Hubungan konsentrasi HCl dan gula

Berdasarkan Gambar 2 konsentrasi gula tertinggi diperoleh dari hasil hidrolisis HCl 2 M yaitu 140, 18 gr/L. Dapat diketahui bahwa variasi konsentrasi HCl tidak memberikan pengaruh yang linear seiring dengan peningkatan ion H^+ terhadap kadar glukosa yang dihasilkan. Pada konsentrasi HCl 1 M dan 2 M hasil hidrolisis mengalami kenaikan tetapi pada konsentrasi 3 M justru sebaliknya. Hal ini dikarenakan oleh ekstrak glukosa yang dihasilkan telah mengalami dekomposisi menjadi senyawa hidroksi metil furfural. Menurut Samah, dkk. (2011), penambahan konsentrasi asam yang terlalu banyak atau suhu hidrolisis yang terlalu tinggi mampu meningkatkan jumlah inhibitor yang terbentuk selama proses sehingga dapat menghambat pembentukan glukosa. Hal tersebut sejalan dengan pernyataan Yoon dkk. (2014) bahwa penurunan glukosa sebagai akibat bertambahnya konsentrasi katalis, suhu dan lama reaksi hidrolisis berlangsung disebabkan terjadinya konversi glukosa menjadi asam levulinat dan asam formiat melalui pembentukan senyawa 5 hidroksi metil furfural.

Analisa Berat Kering Sel

Perhitungan berat kering sel dilakukan untuk mengetahui konsentrasi sel selama proses fermentasi berlangsung. Substrat yang digunakan sebagai medium fermentasi mengandung nutrisi-nutrisi yang dibutuhkan oleh mikroba untuk tumbuh maupun menghasilkan produk fermentasi. Gambar 3 berikut merupakan hasil pengukuran berat kering sel *Saccharomyces cerevisiae* selama proses fermentasi ampas sagu.



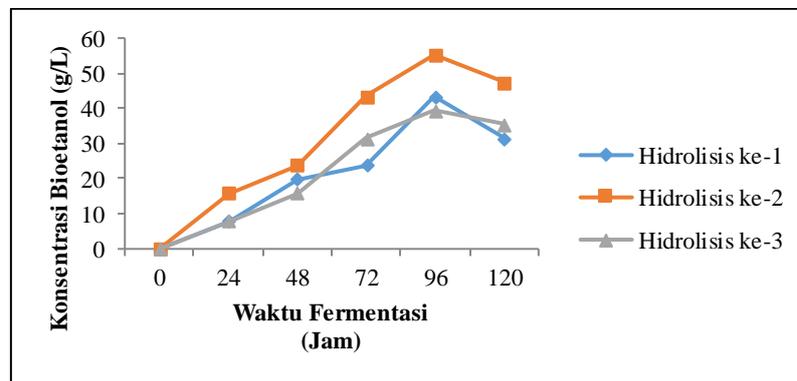
Gambar 3 Pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae* selama proses fermentasi

Berdasarkan Gambar 3 di atas dapat dilihat dengan bertambahnya waktu fermentasi berat kering sel cenderung meningkat. Peningkatan berat kering sel ini berbanding terbalik dengan konsentrasi gula pada substrat pada saat proses fermentasi. Penurunan konsentrasi gula menunjukkan bahwa mikroba *Saccharomyces cerevisiae* mengonsumsi glukosa yang ada di dalam substrat yang digunakan mikroba untuk memperbanyak sel serta menghasilkan bioetanol (Siburian, 2015). Pada waktu fermentasi 24 jam, berat kering *Saccharomyces cerevisiae* masih relatif rendah, hal ini dikarenakan pada tahap awal sel masih melakukan adaptasi atau penyesuaian diri terhadap medium fermentasi, sehingga jumlah sel yang dihasilkan masih belum maksimal. Pada waktu 48 jam, berat kering sel yang dihasilkan lebih banyak dibandingkan dengan waktu fermentasi 24 jam, hal ini dikarenakan *Saccharomyces cerevisiae* memiliki banyak waktu untuk membelah dan memperbanyak sel lebih cepat. Pada waktu fermentasi 72 jam dan 96 jam, berat

kering sel yang dihasilkan tidak begitu signifikan, yaitu hanya bertambah sedikit dibanding dengan berat kering sel yang ada pada waktu fermentasi 48 jam. Hal ini menandakan bahwa pada jam ke 72 dan 96, sel masuk dalam fase stasioner, yaitu fase dimana pertumbuhan mikroorganisme mencapai keadaan yang maksimum dan mikroorganisme yang aktif dan mati relatif seimbang karena makanan (nutrisi) relatif sedikit. Pada saat fermentasi 120 jam terjadi penurunan berat kering sel, ini menunjukkan bahwa sel telah mengalami fasa kematian.

Pengaruh Waktu Fermentasi Terhadap Kadar Bioetanol

Bioetanol 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 bioetanol yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4 Hubungan Antara Waktu Fermentasi terhadap Konsentrasi Bioetanol

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa waktu fermentasi berpengaruh terhadap konsentrasi bioetanol yang dihasilkan. Semakin lama waktu fermentasi maka semakin tinggi bioetanol yang dihasilkan. Kadar gula hasil hidrolisis dari variasi konsentrasi HCl 1 M, 2 M dan 3 M dengan waktu fermentasi 24 jam sampai 96 jam mengalami peningkatan hasil bioetanol yang dihasilkan, hal ini dikarenakan pertumbuhan mikroorganisme *Saccharomyces cerevisiae* mengalami penurunan sehingga substrat hanya digunakan sebagai metabolisme dan menghasilkan bioetanol. Konsentrasi bioetanol maksimum didapatkan sebesar 55,25 gr/ L atau 7% (v/v) pada waktu fermentasi 96 jam dari hidrolisis dengan menggunakan HCl 2 M. Pada kondisi tersebut, mikroba berada pada fase eksponensial dan waktu paling optimum bagi mikroba untuk dapat menguraikan gula menjadi bioetanol. Waktu fermentasi berpengaruh terhadap aktivitas bakteri karena semakin lama waktu fermentasi, maka mikroba berkembang biak, artinya semakin banyak jumlahnya, sehingga mempunyai kemampuan untuk memecah substrat semakin besar.

Semakin lama waktu fermentasi gula yang tereduksi semakin banyak membentuk alkohol. Gula reduksi berpengaruh terhadap kadar atau konsentrasi etanol dihasilkan. Makin banyak gula reduksi yang dimanfaatkan oleh *Saccharomyces cerevisiae* maka makin tinggi pula konsentrasi etanol yang dapat dihasilkan dan sebaliknya makin sedikit gula reduksi yang dimanfaatkan oleh *Saccharomyces cerevisiae* maka makin rendah pula konsentrasi bioetanol yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan pendapat Winarti (1996) yang menyatakan bahwa semakin tinggi konsentrasi substrat atau gula reduksi yang dapat dipecah oleh sel khamir menjadi bioetanol maka semakin tinggi pula konsentrasi etanol yang dihasilkan. Latifah (2008) menyatakan bahwa dengan adanya kandungan oksigen, maka proses yang terjadi adalah aerobik, dimana mikroorganisme menggunakan oksigen untuk memperbanyak sel dan ketika kadar oksigen telah sedikit atau habis, maka kondisi fermentor menjadi anaerobik, sehingga substrat gula yang digunakan akan menghasilkan bioetanol dan gas karbon dioksida sebagai produk metabolitnya. Semakin banyak jumlah sel mikroba, kandungan oksigen didalam fermentor akan lebih cepat habis, sehingga gula yang ada didalam fermentor akan lebih cepat dikonversi menjadi bioetanol.

Namun pada waktu fermentasi setelah 120 jam aktivitas mikroorganisme menurun pada hidrolisis dengan konsentrasi HCl 1 M, 2 M, dan 3 M yang menunjukkan bahwa nutrisi pada medium sudah mulai berkurang sehingga *Saccharomyces cerevisiae* mengubah bioetanol menjadi asam asetat yang mengakibatkan penurunan kadar bioetanol (Irdal dkk., 2012).

Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Sintesa bioetanol menggunakan bahan baku limbah ampas sagu menggunakan metode separate hydrolysis and fermentation (SHF), dimana proses hidrolisis dan fermentasi dilakukan secara terpisah. Kadar bioetanol tertinggi diperoleh sebesar 55,25 gr/L.



2. Konsentrasi HCl optimum pada proses hidrolisis ampas sagu yaitu 2 M dengan kadar glukosa tertinggi yaitu sebesar 140,18 gr/L.
3. Pada konsentrasi HCl 1 M, 2 M dan 3 M menghasilkan kadar bioetanol terbaik pada waktu optimum 96 jam.

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 saccharification and fermentation (ssf) dengan variasi konsentrasi substrat dan volume inokulum. Universitas Riau. Riau. 2014
- Amerine MA, Kunkee RE, Ough CS, Singleton VL. Technology of wine making, Avi Publ. Co., Westpoints. 1980
- Idral DD, Salim M, Mardiah E. Pembuatan bioetanol dari ampas sagu dengan proses hidrolisis asam dan menggunakan *saccharomyces cerevisiae*. Jurnal Kimia Unand 2012; 1 (1): 34-39.
- Jeckson E, Ahmad A, Muria SR. Pengaruh laju pengadukan dalam pembuatan bioetanol dari limbah serabut buah sawit menggunakan *saccharomyces cerevisiae*. Riau University. Doctoral dissertation, 2014
- Jin E, Sutherland JW. A proposed integrated sustainability model for a bioenergy system. Procedia Cirp 2016; 48: 358-363.
- Kardono S. Teknologi pembuatan etanol berbasis lignoselulosa tumbuhan tropis untuk produksi biogasoline. Laporan Akhir Program Intensif Peneliti dan Perekayasa LIPI. 2010
- Latifah S. Sakarifikasi dan fermentasi serentak untuk produksi bioetanol dari hasil samping industri gula. Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru. Skripsi. 2008.
- Ma Y, Cai W, Liu Y. An integrated engineering system for maximizing bioenergy production from food waste. Applied Energy 2017; 206: 83-89.
- Rahim A. Hidrolisis selulosa dari bahan pod husk kakao. Agrotekbis 2016, 4 (6): 702-711.
- Samah OA, Sias S, Hua YG, Hussin NN. Production of ethanol from cocoa pod hydrolysate. Journal of Mathematical and Fundamental Sciences 2011; 43 (2): 87-94.
- Septiyani R. Pengaruh konsentrasi dan waktu inkubasi enzim selulase terhadap kadar gula reduksi ampas tebu. skripsi. teknologi hasil pertanian. Universitas Lampung. Skripsi. 2011.
- Siburian R. Pengaruh waktu inokulasi inokulum dalam pembuatan bioetanol dari pelepah sawit menggunakan *saccharomyces cerevisiae*. Universitas Riau. Pekanbaru. Skripsi. 2015.
- Statistik BP. Statistik lingkungan hidup Indonesia. 2018.
- Sukowati A, Sutikno, Rizal S. Produksi bioetanol dari kulit pisang melalui hidrolisis asam sulfat. jurnal teknologi dan industri hasil pertanian 2014; 19 (3): 274-288.
- Susmiati Y. Prospek produksi bioetanol dari limbah pertanian dan sampah organik. Industria: Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri 2018; 7 (2): 67-80.
- Winarti S. Pengaruh lama fermentasi dan kadar substrat terhadap produksi etanol pada fermentasi onggok oleh *saccharomyces cerevisiae*. Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya, Malang. 1996
- Yoon SY, Han SH, Shin SJ. The effect of hemicelluloses and lignin on acid hydrolysis of cellulose. Energy 2014; 77: 19-24.





Lembar Tanya Jawab

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

1. Penanya : Harsa Pawignya (UPN "Veteran" Yogyakarta)
Pertanyaan : Dari mana asal limbah padat sagu, dan berapa harganya? Apa fungsi $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$?
Jawaban : Limbah sagu diperoleh dari pabrik sagu, dan langsung diambil saja karena merupakan limbah. Produksinya cukup besar, hingga 450 ton/tahun. Fungsi $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ sebagai nutrisi untuk perkembangbiakan *Saccharomyces*.
2. Penanya : Aditya Kurniawan (UPN "Veteran" Yogyakarta)
Pertanyaan : Apa pengaruh suhu terhadap reaksi fermentasi?
Jawaban : Reaksi hidrolisis dijaga pada suhu 100 C selama satu jam, sedangkan fermentasi berlangsung pada suhu kamar. Semakin tinggi suhu, maka proses hidrolisis semakin cepat.
3. Penanya : Bismantiyo (UPN "Veteran" Yogyakarta)
Pertanyaan : Adakah hasil samping yang dihasilkan?
Jawaban : Hasil samping yang dihasilkan berupa asam piruvat, yang dapat mengganggu proses fermentasi.