

PEMANFAATAN LIMBAH TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) UNTUK PRODUKSI ETANOL

UTILIZATION OF PALM EMPTY FRUIT BUNCHES (EFB) WASTE FOR ETHANOL PRODUCTION

Eldha Sampepana¹, Paluphy Eka Yustini², Titik Nurwidawati³

Balai Riset dan Standarisasi Industri Samarinda

Jln. Harmonika No. 3 Telp. (0541) 746216, 732274 Faks. (0541) 745431

¹ esp_smd@yahoo.com

² paluphylitha@yahoo.co.id

³ t2k_widayati@yahoo.com

Naskah diterima 2 Oktober 2012, disetujui 26 Nopember 2012

ABSTRAK

Limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) mengandung $\pm 45\%$ selulosa yang dapat dihidrolisis menjadi gula sederhana menggunakan asam klorida (HCl) dan difermentasi menjadi etanol dan CO₂. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui konsentrasi HCl dan waktu optimum hidrolisis pembuatan etanol dari TKKS. Variasi konsentrasi HCl yang digunakan adalah 2N dan 3N, sedangkan variasi waktu yang digunakan 2 jam dan 3 jam. Hasil hidrolisis kemudian difermentasi menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa proses hidrolisis TKKS optimum terjadi pada konsentrasi HCl 3N selama 2 jam dengan kandungan gula reduksi yaitu 16,34%. Kadar etanol optimum 0,30% diperoleh dari proses fermentasi selama 3 hari, sedangkan jumlah karbondioksida (CO₂) optimum dihasilkan pada hari ke-3.

Kata kunci : Tandan kosong kelapa sawit, etanol, karbon dioksida (CO₂)

ABSTRACT

*Palm oil empty fruit bunches (EFB) waste contains $\pm 45\%$ cellulose which can be hydrolyzed into simple sugars using hydrochloric acid (HCl) and fermented into ethanol. The objective of this study was to determine the optimum HCl concentration and hydrolysis time for ethanol production. HCl concentration level used was 2N and 3N, and the variation of hydrolysis time period was 2 hours and 3 hours. The hydrolysis product was then fermented using *Saccharomyces cerevisiae*. The results showed that the optimum condition of EFB hydrolysis was obtained from concentration 3N HCl during 2 hours process with 16,34% of reducing sugar. The optimum ethanol content was 0.30% which was obtained after 3 days process. Meanwhile the optimum of carbon dioxide (CO₂) was reached on the three days.*

Keywords : Palm oil empty fruit bunches, ethanol, carbon dioxide (CO₂)

PENDAHULUAN

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan limbah padat industri minyak kelapa sawit dengan potensi cukup besar yaitu 2,5 juta ton per tahun. Sampai saat ini TKKS hanya dibuang di tempat atau dibakar sehingga menimbulkan pencemaran lingkungan (Roliadi, *et. al.*, 2007). TKKS mengandung $\pm 45\%$ selulosa, $\pm 30\%$ hemiselulosa, dan $\pm 30\%$ lignin (Ronny, 2008). Selulosa dapat dihidrolisis menjadi gula sederhana dengan asam atau enzim yang selanjutnya dapat difermentasi menjadi etanol.

Etanol merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang saat ini banyak digunakan sebagai alternatif sumber energi dari fosil (Prihandana, *et. al.*, 2007). Dengan kadar selulosa sekitar 45%. TKKS berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan etanol, dengan teknologi bio-konversi yang relatif sederhana. TKKS dapat ditingkatkan nilai tambahnya dan sekaligus merupakan solusi untuk masalah lingkungan dan energi.

Pada hidrolisis TKKS menjadi gula sederhana dengan menggunakan asam kuat. Asam kuat yang umum digunakan adalah asam sulfat (H_2SO_4) dengan konsentrasi 1-3% (Prawita, 2010). Pada penelitian ini proses hidrolisis dilakukan menggunakan asam klorida (HCl) dengan variasi waktu, dilanjutkan dengan fermentasi menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui konsentrasi HCl dan waktu optimum hidrolisis pembuatan etanol dari TKKS

METODE PENELITIAN

Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan adalah serbuk kering TKKS dengan ukuran 60 mesh, *Saccharomyces cerevisiae*,

potato dextrose agar (PDA), media YEPD (*Yeast Extract Peptone Dextrose*), padat atau cair yang terdiri dari pepton, yeast ekstrak, agar, aquades, bahan nutrisi media: $(NH_4)_2HPO_4$, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, HCl 2N dan HCl 3N, 0,3472N $K_2Cr_2O_7$, H_2SO_4 , KI, $Na_2S_2O_7$, CH_3COOH , $Ca(OH)_2$, kanji, larutan Luff, HCl 0,1 N, indikator fenolftalein, kertas pH. Sedangkan alat yang digunakan adalah *vortex mixer*, *sentrifuges*, *shaker*, spektrofotometer, autoklaf, oven, refluks, penangas, desikator, shaker inkubator, neraca analitik, corong pemisah, pompa vacum, ayakan 60 mesh, vortex, pH-meter, erlenmeyer, erlenmeyer tutup ulir, botol laboratorium, gelas ukur, tabung reaksi, pipet, gelas piala, cawan petri, jarum inkubasi dan seperangkat alat fermentor.

Penyiapan Kultur

Media *yeast extract peptone dextrose* (YEPD) dibuat dengan cara melarutkan 10 gr yeast ekstrak, 20 gr pepton, 20 gr glukosa dan 18 gr agar ke dalam 1 L akuades lalu disterilisasi, dan dituang ke dalam cawan petri yang sudah disterilkan. Media yang sudah dingin siap untuk ditanam inokulum. (Ronny, 2008).

Stok kultur pada *S. cerevisiae* dilakukan dengan cara inokulasi sebanyak 1 ose isolat *S. cerevisiae* ke dalam media YEPD dan diinkubasi pada suhu kamar 1 - 2 hari. Pemeliharaan stok kerja pada isolat *Saccharomyces cerevisiae* dilakukan dengan cara inokulasi 2 ose isolat per 75 ml media YEPD cair steril ke dalam botol jar dan diinkubasi pada suhu kamar selama 3 hari sambil dikocok dengan kecepatan 120 rpm (Ronny, 2008).

Pembuatan Nutrien Media

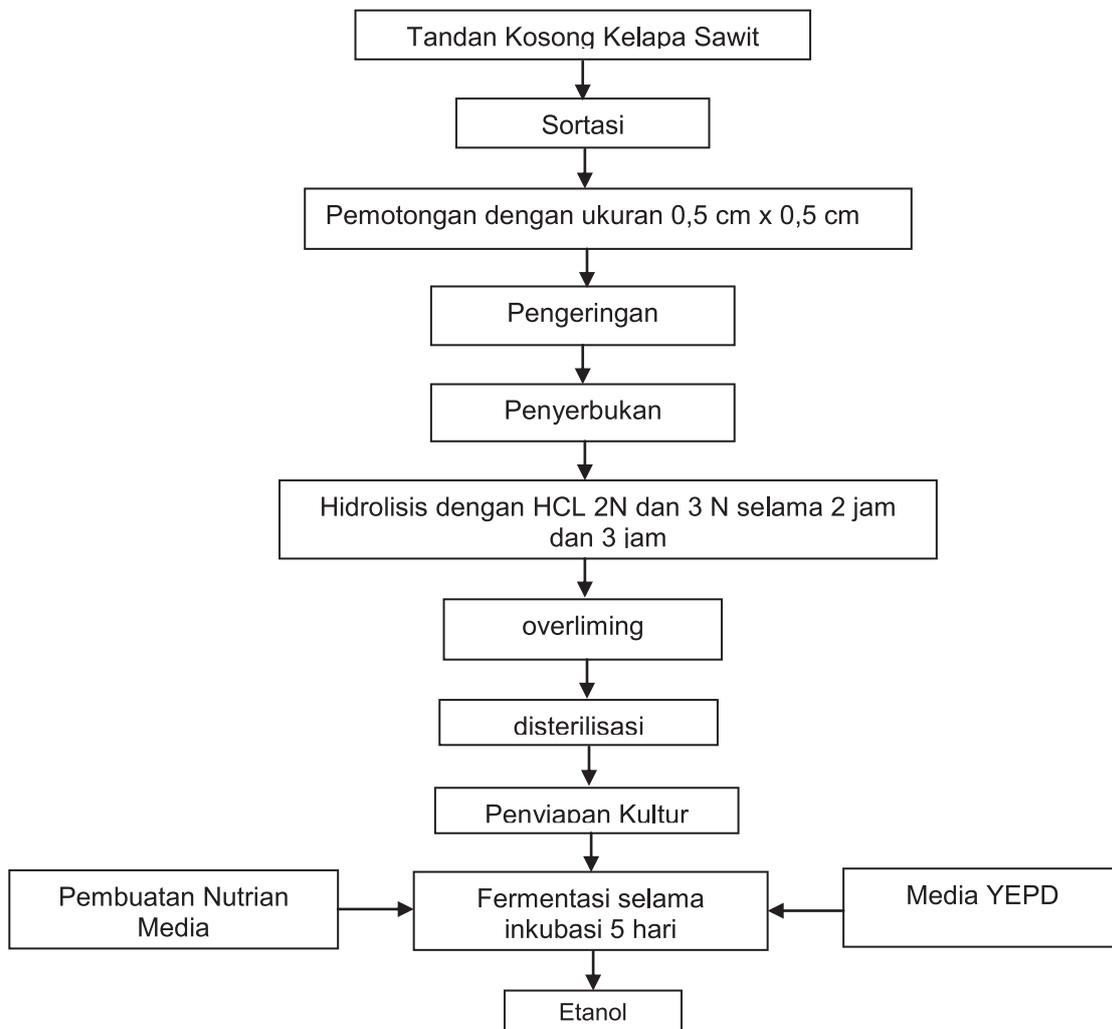
Nutrien untuk media dibuat dengan cara melarutkan 50 ml media nutrisi steril terdiri dari 1 g/L $(NH_4)_2HPO_4$, 0,05 g/L $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ dan 2 g/L

yeast ekstrak, dengan pH media 5 (Ronny, 2008).

Proses Hidrolisis dan Fermentasi

Hidrolisis TKKS dilakukan dengan menggunakan HCl 2N dan 3N dengan variasi waktu hidrolisis 2 jam dan 3 jam. Serbuk TKKS sebanyak 20 gr dimasukkan kedalam erlenmayer bertutup ulir, kemudian masing-masing ditambahkan 200 ml HCl lalu dihidrolisis dalam autoklaf dengan suhu 121 °C pada tekanan 1 atm, setelah dingin, disaring untuk pengujian kadar gula pereduksi.

Fermentasi pada masing-masing larutan yang telah dihidrolisis diawali dengan *overliming* dengan menambahkan Ca(OH)₂ sampai pH 12, dipanaskan pada 60 °C selama 20 jam, kemudian pH diturunkan kembali menjadi 5,5 dengan cara menambahkan HCl 2N atau HCl 3N (bahan hidrolisis yang digunakan) dan disterilisasi. Proses fermentasi menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* dilakukan dengan waktu inkubasi 5 hari. Setiap 24 jam dilakukan pengambilan contoh untuk uji kadar etanol dan gas CO₂. Pengamatan dilakukan sampai hari kelima. Diagram alir proses pembuatan etanol dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 2. Diagram Alir Proses Pembuatan Etanol

Analisis Kadar Gula Reduksi

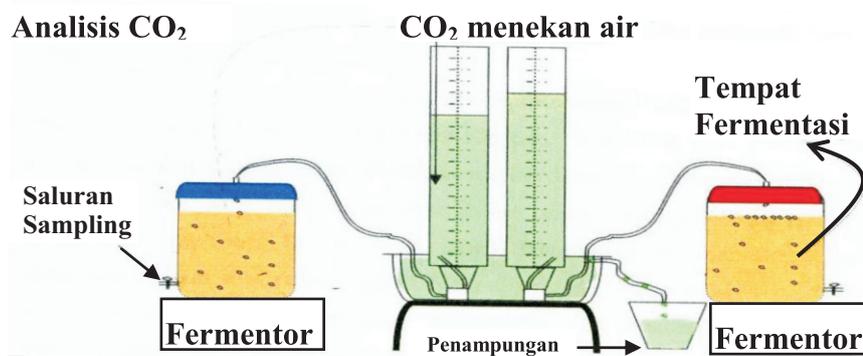
Analisis gula reduksi berdasarkan metode Luff Schorl Jodometri (Badan Standardisasi Nasional /BSN (1992) dalam Maklupah, 2000).

Analisis Kadar Etanol

Analisis etanol dilakukan berdasarkan metode Nicloux. (Nicloux, 1931 dalam Loebis, 2008).

Analisis Gas Karbondioksida (CO₂)

Analisis CO₂ berdasarkan metode yang dilakukan Isroi (2008) yaitu karbondioksida (CO₂) yang dihasilkan dari bagian atas fermentor dialirkan melalui pipa kecil menuju tabung volume ukur yang berisi penuh air. Gas CO₂ akan menekan air ke bawah hingga volume air pada tabung tersebut menjadi kosong. Banyaknya volume air yang dikeluarkan sebanding dengan volume gas CO₂ yang dihasilkan pada keadaan suhu dan tekanan standar.



Gambar 2. Rancangan Analisis Kadar CO₂ pada Proses Pembuatan Etanol (Loebis, 2008)

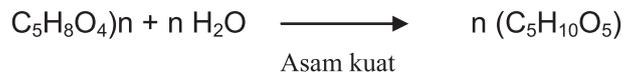
HASIL DAN PEMBAHASAN

Gula Reduksi

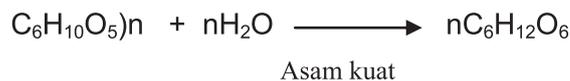
Hasil analisis kadar gula reduksi tkks dapat dilihat pada tabel 1. Kadar gula reduksi tertinggi yaitu 16,34 % diperoleh dari tkks yang dihidrolisis dengan HCl 3N selama 2 jam, sedangkan kadar gula reduksi terendah 6,20 % diperoleh dari tkks yang dihidrolisis dengan HCl 2N selama 2 jam. Seiring dengan peningkatan konsentrasi dan waktu terlihat adanya peningkatan konversi selulosa menjadi gula reduksi yang semakin tinggi. Dari Tabel 1 menunjukkan bahwa titik

optimum hidrolisis adalah HCl 3N pada waktu hidrolisis selama 2 jam. Ketika waktu dinaikkan lagi justru terjadi penurunan gula reduksi, ini kemungkinan dapat terjadi karena waktu pemanasan yang lebih lama dapat mendegradasi selulosa menjadi furfural. Menurut Xiang (2003) pada umumnya proses hidrolisis bahan selulosa dengan menggunakan asam kuat pada suhu tinggi akan terjadi degradasi gula dan terbentuk furfural sehingga menghasilkan glukosa sebesar 50%. Hal. Ini dipertegas oleh Rosyida (2011) menyatakan bahwa reaksi yang terjadi dalam proses pembuatan etanol antara lain :

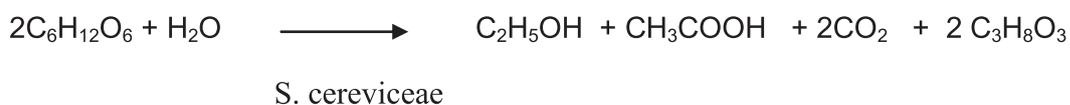
Reaksi pre-hidrolisa :



Reaksi Hidrolisa



Reaksi Fermentasi



Tabel 1. Kadar Gula Reduksi TKKS

Waktu Hidrolisis	Gula Reduksi (%)				Gula Yang Terpakai (%)	
	Setelah dihidrolisis		Setelah difermentasi		HCl 2N	HCl 3N
	HCl 2N	HCl 3N	HCl 2N	HCl 3N		
2 jam	6,20	16,34	4,80	3,84	22,58	76,50
3 jam	12,48	12,48	3,84	3,84	69,23	69,23
4 jam	4,53	9,85	-	-	-	-

Keterangan :

- : pada penelitian pendahuluan, pengujian kadar gula reduksi pada perlakuan setelah fermentasi tidak dilakukan pengujian karena melihat nilai kadar gula reduksi setelah hidrolisis asam klorida (HCl) dengan konsentrasi 2N dan 3N pada waktu 4 jam lebih rendah pada waktu hidrolisis 2 jam sehingga tidak dilanjutkan ke proses pembuatan etanol.

Setelah proses fermentasi terjadi penurunan gula reduksi, hal ini menunjukkan bahwa gula sederhana telah terfermentasi menjadi etanol dan CO₂. Pengertian gula yang terpakai yaitu gula yang digunakan S. Ceriviceae

dalam merombak gula sederhana menjadi etanol dan CO₂. Gula yang terpakai tertinggi mencapai 76.50% pada konsentrasi HCl 3N dengan waktu 2 jam (Tabel 1). Nilai tersebut diambil dengan rumus:

$$Gula\ yang\ terpakai = \frac{Gula\ reduksi\ setelah\ dihidrolisis - Gula\ setelah\ difermentasi}{Gula\ reduksi\ setelah\ dihidrolisis} \times 100\%$$

Tabel 1. memberikan gambaran setelah proses fermentasi masih ada sisa gula reduksi yang belum terpakai, hal ini menunjukkan bahwa belum semua gula reduksi terurai oleh mikroba

Saccharomyces cereviceae menjadi etanol dan gas CO₂. Hal ini disebabkan karena larutan asam yang digunakan pada hidrolisis memotong rantai selulosa menjadi selulosa rantai pendek sehingga terbentuknya HMF (5-Hidroksi

Metil Furfural) yang digunakan sebagai senyawa inhibitor pertumbuhan pada saat terjadi aktivitas pertumbuhan mikroba, sehingga konversi selulosa menjadi gula tidak banyak terjadi. (Tahezadeh (1999) dan Ulbricht et al. (1984) dalam Shofiyanto, 2008).

Pada suhu dan tekanan tinggi, glukosa dan xylosa akan terdegradasi menjadi furfural dan HMF. Dekomposisi lanjut akan menjadi asam levulinat dan asam formiat (Mussatto dan Roberto (2004); Palmqvist dan Hahn-Hägerdal, 2000).

Menurut Qi *et. all.*, (2008), kadar gula pereduksi sangat dipengaruhi oleh konsentrasi asam, waktu dan suhu pada saat hidrolisis. Penggunaan asam dan konsentrasi yang tepat sebagai agen penghidrolisis sangat diperlukan.

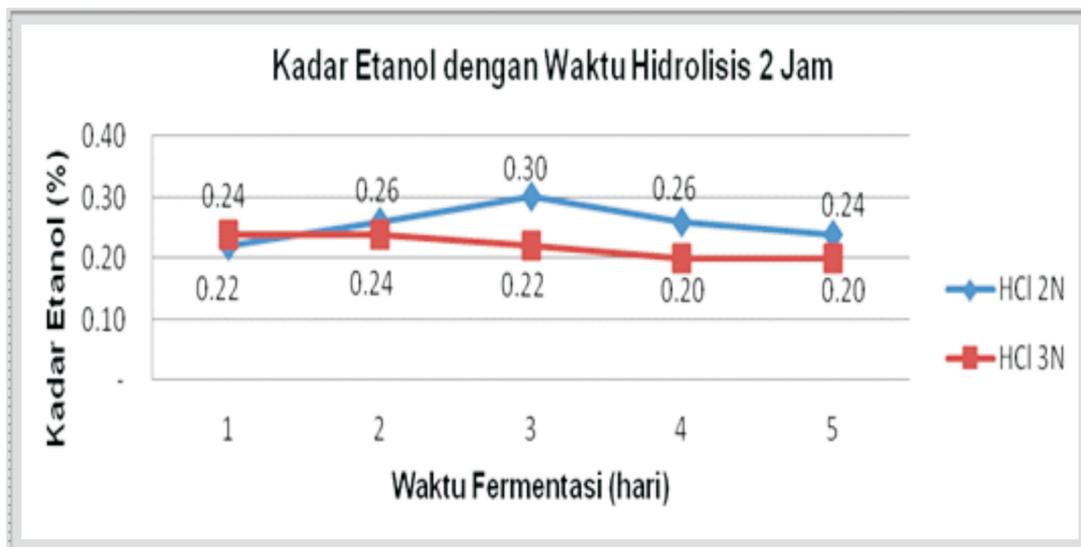
Ketidakstabilan pada saat hidrolisis mengakibatkan bakteri tidak dapat tumbuh dengan baik karena kandungan lignin dalam tandan kosong sawit yang digunakan sebesar 26,09%,

sehingga lignin tersebut menghambat dan menurunkan aktivitas kinerja enzim pada proses sakarifikasi (Sun, 2002 dalam Shofiyanto, 2008). Sedangkan menurut Riyani (2009) menyatakan bahwa lignin tidak dapat dihidrolisis menjadi gula fermentasi karena lignin tersusun oleh komponen bukan gula yakni fonol-propena.

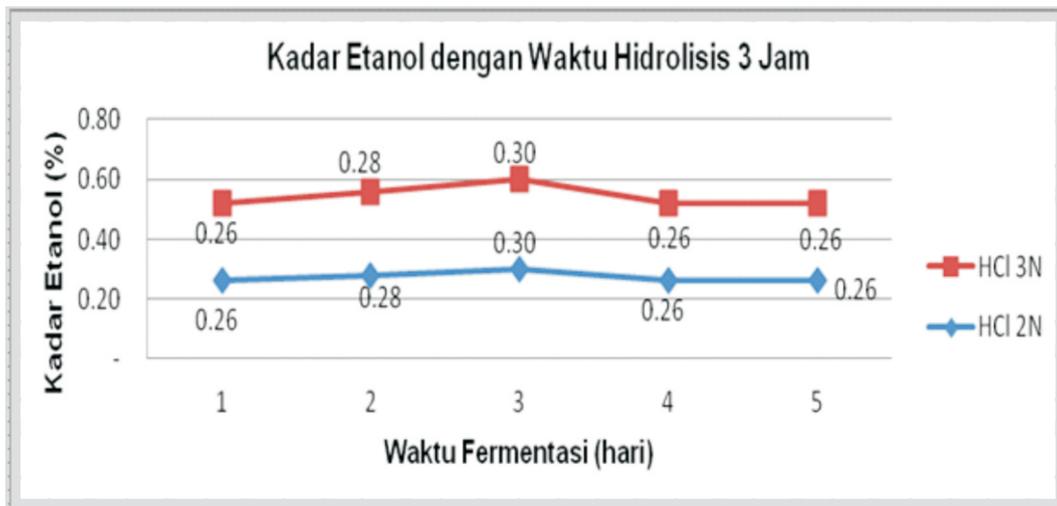
Kadar Etanol

Gambar 2 menunjukkan bahwa kadar etanol optimum sebesar 0,30% dihasilkan dari proses hidrolisis dengan HCl 2N selama 2 jam pada hari ke 3. Kadar optimum 0,24% diperoleh dari proses hidrolisis dengan HCl 3N pada hari ke 2 dan menurun pada hari ke 3.

Kadar etanol pada hidrolisis HCl 2N dan HCl 3N selama 3 jam dapat dilihat pada Gambar 3. Kadar etanol yang optimum terjadi pada hari ke-3 yaitu sebesar 0,30%, kemudian mulai turun pada hari ke-4.



Gambar 2. Kadar Etanol dengan Waktu Hidrolisis 2 jam



Gambar 3. Kadar Etanol dengan Waktu Hidrolisis 3 Jam.

Dari Gambar 2 dan 3 ditunjukkan bahwa antara hidrolisis 2 dan 3 jam untuk masing-masing variasi konsentrasi, nilai kadar etanol optimum tidak berbeda secara signifikan. Dari kedua gambar tersebut ditunjukkan kadar etanol optimum terjadi pada hari ke 3 dan menurun di hari ke 4. Kecuali pada HCl dengan konsentrasi 3N selama 2 jam yang mulai menurun di hari ke 3.

Penurunan etanol dapat terjadi karena kemampuan mikroba untuk mengurai gula reduksi mulai menurun dan cenderung stagnan, karena gula reduksi telah terpakai oleh mikroba *Saccharomyces cerevicae* sebagai substrat. Hal ini dipertegas oleh Maranatha (2008) dalam Shofiyanto (2008) bahwa puncak aktivitas enzim dalam mengurai gula sederhana menjadi etanol terjadi antara hari pertama dan hari kedua.

Menurut Elevri (2006), bahwa produksi etanol akan menurun diakibatkan karena banyaknya penggunaan glukosa pada sel bebas dalam menghasilkan energi pertumbuhan sehingga glukosa yang digunakan dalam memproduksi etanol terbatas.

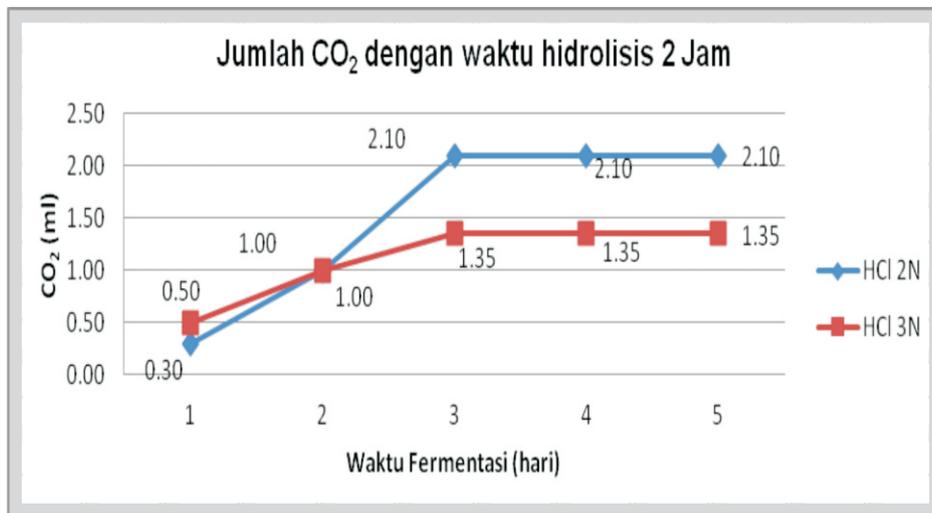
Proses fermentasi etanol pada penelitian ini menggunakan mikroba *Saccharomyces cerevicae* dalam fermentor pada pH 5 dan suhu 30°C. *Saccharomyces cerevicae* tumbuh optimum pada pH 4-5 yang menunjukkan kemampuan optimumnya menggunakan glukosa untuk metabolisme sel dan fermentasi etanol pada pH tersebut. Hal ini dipertegas oleh Ronny (2008) bahwa proses fermentasi bioetanol dengan menggunakan mikroba *Saccharomyces cerevicae* dalam fermentor berlangsung pada pH 5 dan suhu 30°C selama 16 – 24 jam. Selain itu juga menurut Hidayat (2008) menyatakan suhu yang baik proses fermentasi adalah 25 – 30°C, dimana pada suhu tersebut mikroorganisme dapat bekerja secara optimal merombak bahan-bahan organik.

Penurunan kadar etanol dapat pula disebabkan oleh berkurangnya kemampuan *Saccharomyces cerevicae* mengubah gula reduksi akibat adanya penurunan pH. Pada awal proses fermentasi derajat keasaman berkisar pada pH 5 namun pada hari ke 3 mulai terjadi penurunan hingga hari ke 5 dengan kisaran pH 3-4. Menurunnya konsentrasi etanol pada fermentasi ini disebabkan adanya peristiwa substrat

inhibitor selama proses fermentasi (Goksungur, *et. all.*, 2001). Hal ini juga dipertegas Sun, (2002) bahwa menurunnya aktifitas mikroorganisme pada proses fermentasi disebabkan karena tingginya lignin yang dapat memperlambat aktivitas mikroorganisme tersebut dalam memecahkan polisakarida menjadi gula sederhana dan etanol pada proses sakarifikasi.

Fermentasi menggunakan mikroba *Saccharomyces cerevisiae* terjadi secara anaerobik. Fermentasi ini ditandai dengan munculnya gelembung-gelembung berupa gas CO₂, karena terjadinya penguraian glukosa dalam sel sekaligus ditandai dengan turunnya kadar gula reduksi. Hal ini dipertegas oleh Loebis (2008) bahwa fermentasi pada awalnya terjadinya dengan ditandai munculnya gelembung gas CO₂, karena adanya penguraian glukosa mulai terjadi dengan turunnya kadar gula reduksi.

Karbondioksida (CO₂)



Gambar 4. Jumlah CO₂ dengan waktu hidrolisis 2 jam



Gambar 5. Jumlah CO₂ dengan waktu hidrolisis 3 jam

Jumlah CO₂ dengan waktu hidrolisis 2 dan 3 jam dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5. CO₂ yang dihasilkan terus meningkat hingga mencapai titik optimum di hari ketiga pada konsentrasi HCl 2N dan HCl 3N selama 2 jam yaitu 2,10 ml dan 1,35 ml dan setelah hari ketiga tidak mengalami penambahan volume CO₂. Hal ini menunjukkan bahwa pada saat proses fermentasi, gula reduksi diurai oleh mikroba *Saccharomyces cerevisiae* menjadi etanol dan CO₂.

Sedangkan untuk hidrolisis HCl 2N dan HCl 3N selama 3 jam tertinggi pada hari kelima dengan nilai 3,90 ml dan 3,30 ml. Apabila dibandingkan dengan nilai kadar etanol pada waktu fermentasi selama 3 hari, kadar etanol mencapai titik optimum sedangkan kadar CO₂ masih meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa pada proses fermentasi etanol, gula reduksi diurai oleh mikroba *Saccharomyces cerevisiae* bukan hanya menjadi etanol dan CO₂ melainkan membentuk senyawa-senyawa lain seperti furfural, HMF, asetaldehida, asam levulinat dan asam format sehingga aktifitas mikroba membentuk senyawa-senyawa tersebut mengakibatkan meningkatnya nilai CO₂.

Menurut Shen (2004) bahwa CO₂ akan meningkat dalam proses fermentasi etanol disebabkan karena adanya efek inhibisi terhadap pertumbuhan mikroorganisme, volume sel, aktivitas enzim dan kandungan DNA yang menyebabkan terhambatnya penyerapan asam amino yang berantai panjang dalam sel amobil yang menyebabkan meningkatnya tekanan CO₂ sehingga mengahasilkan kadar etanol menurun. Jadi kadar optimum CO₂ untuk perlakuan hidrolisis HCl 2N dan 3N terjadi pada proses fermentasi selama 3 hari sebesar 2,90 ml.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa proses hidrolisis tandan kosong kelapa sawit (TKKS) optimum terjadi pada konsentrasi HCl 3N - 2 jam dengan kandungan gula reduksi yaitu 16.34%. Kadar etanol optimum 0,30% diperoleh dari proses fermentasi selama 3 hari, sedangkan jumlah karbondioksida (CO₂) optimum dihasilkan pada hari ke-3 sebesar 2,90 ml.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional (BSN). 1992. Standardisasi Nasional Indonesia (SNI) Nomor 01-2892-1992. Cara Uji Gula. (<http://pustan.bpkimi.kemendagri.go.id/>, diakses tgl 20 Januari 2009).
- Elvri Asga Putra Dan Putra Rosa Surya, 2006. Produksi Etanol Menggunakan *Saccharomyces Cerevisiae* Yang Diamobilisasi Dengan Agar Batang. *Akta Kimindo Vol. 1 No. 2 April 2006: 105-114*. Akta Kimia Indonesia. Kimia ITS – HKI Jatim. Surabaya
- Goksungur, Y, dan Zorlu, N., 2001, "Production of Ethanol From Beet Molasses by Ca-Alginate Immobilized Yeast Cells in a Packed-Bed Bioreactor", *Turk J Biol*, 25, hal 265-275.
- Shen . S. De Schrijver . N. Moonjai .K. J. Verstrepen . F. Delvaux . F. R. Delvaux, 2004. *Effects of CO2 on the formation of flavour volatiles during fermentation with immobilised brewer's yeast. Appl Microbiol Biotechnol* 64: 636 – 643. Hidayat Nur. 2008. Pembuatan Etanol Dari Sari Kulit Nenas. <http://bioindustri.blogspot.com/2008/05/pembuatan-etanol-dari->

- sari-kulit-nenas.html. Diakses Tanggal 20 Desember 2010.
- Isroi, 2008. Fermentor Sederhana Untuk Produksi Etanol. (<http://isroi.wordpress.com/> Diakses tanggal 20 Januari 2009).
- Loebis Enny Hawani, 2008. Optimalisasi Hidrolisis Serbuk Tandan Kosong Kelapa Sawit Menjadi Glukosa Secara Kimiawi dan Enzimatis Untuk Menghasilkan Etanol Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Mussatto, S.I. and Roberto, I.C., 2004. *Alternatives for Detoxification of Dilute Acid Lignocellulosic Hydrolyzates for Use In Fermentative process : A Review. Bioresource Technology.* 93, 1-10.
- Nicloux, M., 1931. *Compt. Ren. Soc. Biol.*, 48,841 (1986); *Bull. Soc. Chim.Biol.*, 13, 857.
- Palmqvist, E., Hahn-Hägerdal, B., 2000, *ReviewPaper : Fermentation of LignocellulosicHydrolysates II: Inhibitors andMechanisms of Inhibition, BioresourceTechnology*, 74, 25-33
- Prihandana, R., Noerwijati, Adinurani, G. P., Setyaningsih, Setiadi, dan Hendroko, 2007. Bioetanol Ubi Kayu Bahan Bakar Masa Depan. AgroMedia Pustaka: Jakarta.
- Prawita, Dewi. 2010. Mengolah Limbah Sawit Menjadi Bioetanol dan Kompos. (<http://blogs.unpad.ac.id>, diakses tanggal 14 September 2012).
- Qi, D., Bergman, M., Aihara, H., Nibu, Y., Mannervik, M. 2008. *Drosophila Ebi mediates Snail-dependent transcriptional repression through HDAC3-induced histone deacetylation.* EMBO J. **27(6)**: 898--909. (Export to RIS)
- Riyani Eny Ida, 2009," *Biomasa Sebagai Bahan baku Bioethanol*",Jurnal Litbang Pertanian,28 (3),2009, Bogor
- Roliadi, Han dan Widya Fatriasari. 2007. Kemungkinan Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Bahan Baku Pembuatan Papan Serat Berkerapatan Sedang. (www.fordA.Mof.org, diakses tanggal 14 september 2012).
- Ronny, Purwadi, 2008. Pabrik Ethanol dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis*) Dengan Proses Fermentasi. Departemen Teknologi Kimia Institut Teknologi Bandung.
- Rosyida Arthani, Anggriani Evi, 2011. Pabrik Bioethanol dari Limbah Tandan Kosong Sawit dengan proses Fermentasi. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Shofiyanto Edy M., 2008 Hidrolisis Tongkol Jagung Oleh Bakteri Selulolitik untuk Produksi Bioetanol Dalam Kultur Campuran. Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Sun, Y. dan Cheng, J. 2002. *Hydrolysis of Lignocellulosic Material for Ethanol Production: Areview. Biores. Technol.* 83:1-11.

Taherzadeh, M.J. 1999. *Ethanol from Lignocellulose: Physiological Effects of Inhibitors and Fermentation Strategies*. Ph.D. Tesis. Universitas Chalmers, Goteborg, Swedia.

Ulbricht, R.J., Northup, S.J. & Thomas, J.A. (1984) *A review of 5-hydroxymethylfurfural (HMF) in parenteral solutions*. *Fundam. Appl. Toxicol.*, 4:843-853

Xiang, Q., Lee Y.Y., Pettersson P.O., Torget R. W.. 2003. *Heterogeneous Aspects Of Acid Hydrolysis of Alpha Cellulosa*. Departemen of Chemical Engineering. *Appl. Biochem Biotechnol.* Spring 105-108:505 - 14.