



**PENGARUH KONSENTRASI PERLAKUAN AWAL ALKALI TERHADAP  
ENZYMATIC DIGESTIBILITY PADA PROSES SAKARIFIKASI LIMBAH PELEPAH  
KELAPA SAWIT**

**The Effect of Alkaline Concentration Pretreatment on Enzymatic Digestibility in the  
Saccharification Process of Oil Palm Frond Waste**

**Sudiyarmanto**

Pusat Penelitian Kimia-LIPI

Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan 15314

Telp. (021) 7560929 / Faks. (021) 7560549

Email : sudiy2001@gmail.com

---

**ABSTRAK**

Biomasa lignoselulosa dapat diperoleh dari berbagai limbah pertanian, limbah industri kertas, limbah hasil hutan dan limbah perkebunan. Salah satu contoh limbah perkebunan yang jumlahnya sangat melimpah di Indonesia adalah pelepah kelapa sawit. Limbah biomasa ini dapat dikonversi menjadi gula-gula sederhana (gula fermentasi) melalui dua tahapan, yaitu proses perlakuan awal dan hidrolisis secara enzimatik (sakarifikasi). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi perlakuan awal alkali terhadap *enzymatic digestibility* pada proses sakarifikasi pelepah kelapa sawit. Proses perlakuan awal pelepah kelapa sawit dengan variasi konsentrasi alkali 4-15 % (w/w) dilakukan pada kondisi rasio solid/liquid 1:5, temperatur 150°C dan tekanan awal 5 bar selama 30 menit. Sedangkan proses sakarifikasi dilakukan pada konsentrasi substrat 15 % (w/v), konsentrasi enzim selulase 15 FPU/g substrat menggunakan buffer asam sitrat pH 4,8 pada kondisi operasi; temperatur 50 °C, kecepatan 150 rpm dan waktu 72 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi NaOH 10 % (w/w) yang digunakan pada proses perlakuan awal alkali menghasilkan kadar selulosa tertinggi (69,38 %) dan kadar lignin terendah (13,34 %). Proses sakarifikasi dengan variabel ini dapat menghasilkan kadar glukosa sebesar 8,40 % (w/w) dan kadar xilosa sebesar 1,97 % (w/w). Sedangkan ED selulosa dan ED hemiselulosa yang diperoleh pada kondisi ini berturut-turut sebesar 12,07 % dan 24,28 %.

**Kata kunci** : pelepah, kelapa sawit, perlakuan awal, sakarifikasi, enzymatic digestibility

**ABSTRACT**

*Lignocellulosic biomass could be obtained from various of agricultural waste, pulp and paper industry waste, forest products waste and plantation waste. One of the most abundant resources of the plantation waste in Indonesia is oil palm frond. These biomass wastes can be converted into simple sugars (fermentable sugars) through two stages, namely pretreatment and enzymatic hydrolysis (saccharification). This study aims to determine the effect of alkaline pretreatment concentration on enzymatic digestibility in the process of saccharification of oil palm frond. The pretreatment process of oil palm frond with variation of alkaline concentration 4-15% (w / w) was conducted on solid / liquid ratio 1: 5, temperature 150 °C and initial pressure 5 bar during 30 minutes. While, the saccharification process was performed at 15% substrate concentration (w / v), the concentration of cellulase enzyme 15 FPU / g substrate using citric acid buffer pH 4.8 under operating conditions; temperature 50 °C, speed 150 rpm and time 72 hours. The results showed that NaOH concentration of 10% (w / w) used in the alkaline pretreatment obtained the highest cellulose content (69.38 %) and the lowest lignin content (13.34 %). Saccharification process with this variable could produce glucose content of 8.40 % (w/ w) and xylosa content of 1.97% (w / w). While, the ED cellulose and ED hemicellulose that obtained in this condition were 12.07 % and 24.28 % respectively.*

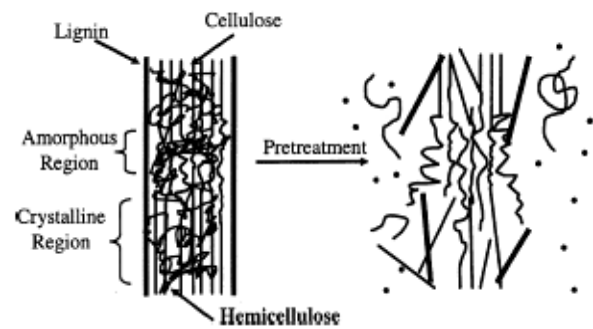
**Keywords** : frond, oil palm, pretreatment, saccharification, enzymatic digestibility

## PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara berkembang yang mempunyai ketersediaan biomasa lignoselulosa yang sangat melimpah yang berasal dari berbagai limbah pertanian, limbah industri kertas, limbah hasil hutan dan limbah perkebunan. Salah satu jenis limbah biomasa yang jumlahnya sangat melimpah di Indonesia adalah limbah perkebunan kelapa sawit. Dari produksi kelapa sawit sebanyak 18 juta ton yang tersebar di area perkebunan seluas 7 juta hektar dihasilkan limbah biomasa kelapa sawit sebanyak 0,6 ton per hektar atau sekitar 4 juta ton [1]. Saat ini, pemanfaatan limbah kelapa sawit masih sangat terbatas dan seringkali hanya dibakar dan dibuang sebagai limbah. Sehingga dengan adanya potensi pelepah kelapa sawit sebagai sumber karbohidrat yang selanjutnya juga dapat dijadikan sebagai sumber energi alternatif, maka diharapkan dapat membuka bidang penelitian yang lebih luas dan dapat turut serta dalam memajukan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Biomasa lignoselulosa merupakan jenis biomasa yang tersusun dari ikatan kompleks lignin, selulosa dan hemiselulosa [2][3]. Komponen selulosa terikat sangat kuat dengan komponen hemiselulosa dan dilindungi oleh struktur polimer lignin. Adanya ikatan struktur yang kuat inilah, makanya dibutuhkan suatu proses perlakuan awal (*pretreatment*) yang efisien untuk melepaskan komponen selulosa dari struktur kompleks lignin dan mempermudah akses enzim menuju komponen hemiselulosa dan selulosa [2][4].

Secara umum, konversi biomasa lignoselulosa menjadi gula-gula sederhana dapat dibedakan menjadi dua tahapan penting, yaitu proses perlakuan awal (*delignifikasi*) dan proses hidrolisis.



**Gambar 1.** Efek perlakuan awal pada biomasa lignoselulosa [4]

*Pretreatment* dilakukan untuk memecah ikatan lignin (*delignifikasi*) yang dapat mengganggu pada tahapan proses selanjutnya (*hidrolisis*). Proses ini bertujuan untuk merusak struktur kristal selulosa, menurunkan derajat kekrystalan selulosa serta meningkatkan porositas selulosa pada biomassa lignoselulosa sehingga membuat selulosa dapat dengan mudah dikonversi menjadi gula-gula sederhana melalui proses hidrolisis secara enzimatik maupun secara asam [4][5].

Proses hidrolisis bertujuan untuk menguraikan selulosa menjadi senyawa gula-gula sederhana seperti glukosa, xilosa, galaktosa, mannanosa dan arabinosa. Terdapat tiga macam hidrolisis lignoselulosa menjadi gula sederhana yaitu hidrolisis secara enzimatik, hidrolisis secara asam cair dan hidrolisis katalis padat [6]. Proses hidrolisis yang digunakan pada penelitian ini adalah hidrolisis secara enzimatik yang dikenal dengan nama proses sakarifikasi. Hidrolisis jenis ini menggunakan enzim selulase dan  $\beta$ -glukosidase untuk memecah komponen selulosa/hemiselulosa menjadi senyawa-senyawa monosakarida (glukosa/xilosa). Proses sakarifikasi dapat digunakan baik skala kecil maupun skala komersial, hal ini dikarenakan tidak membutuhkan kondisi operasi yang tinggi, ramah lingkungan dan dapat menghasilkan rendemen yang lebih tinggi dibandingkan dengan proses hidrolisis

lainnya (asam cair atau asam padat). Selanjutnya, gula-gula sederhana (monosakarida) yang dihasilkan dari proses sakarifikasi, diharapkan dapat dijadikan sebagai molekul bahan baku terbarukan yang secara efisien dapat diubah menjadi berbagai macam bahan kimia, bahan bakar nabati, makanan dan obat-obatan [7].

Berdasarkan beberapa pertimbangan yang telah diuraikan diatas, maka penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi perlakuan awal alkali terhadap *enzymatic digestibility* pada proses sakarifikasi limbah pelepah kelapa sawit.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah pelepah kelapa sawit yang diambil dari PT. Perkebunan Nusantara (PT.PN VIII) di daerah Malimping, Banten. Sebelum digunakan pada proses perlakuan awal secara kimia, pelepah kelapa sawit terlebih dahulu dicacah, digiling dan dikeringkan sampai menjadi ukuran 30-40 mesh dengan kadar air dibawah 10 %. Bahan kimia alkali yang digunakan pada penelitian ini adalah sodium hidroksida (NaOH) yang dibeli dari Merck dan beberapa bahan penunjang lainnya seperti akuades, asam sitrat dan enzim selulase.

### Perlakuan Awal Alkali

Perlakuan awal pelepah kelapa sawit yang digunakan pada penelitian ini adalah secara kimiawi (alkali). Sebanyak 500 gram pelepah kelapa sawit berukuran 30-40 mesh dan berkadar air 10% dicampur dengan masing-masing larutan NaOH pada variasi konsentrasi 4, 8, 10, 12 dan 15 %(w/w) dengan rasio perbandingan solid:liquid sebesar 1:5. Reaktor yang digunakan pada proses ini berbentuk tangki berpengaduk

dengan kondisi operasi; temperatur 150 °C dan tekanan awal 5 bar selama 30 menit. Selanjutnya, dilakukan pencucian menggunakan air sampai dengan pH netral dan dilakukan proses penyaringan untuk memisahkan padatan dan cairannya. Padatan yang diperoleh, kemudian dikeringkan sampai dengan kadar air dibawah 10% menggunakan alat pengering pada suhu 50 °C selama 24 jam. Kemudian, padatan tersebut dianalisa komponen kimianya menggunakan metode analisa *National Renewable Energy Laboratory (NREL)* [8].

### Sakarifikasi

Sebanyak 15% berat kering substrat pelepah kelapa sawit yang dihasilkan dari proses delignifikasi dilarutkan ke dalam larutan 0,05 M *buffer* asam sitrat (pH 4,8). Substrat tersebut disterilisasi dengan menggunakan *autoclave* pada temperatur 121°C selama 30 menit dan didinginkan sampai temperatur menjadi 50°C. Selanjutnya kedalam sampel ditambahkan dua jenis enzim yaitu *novozyme Cellic-CTec2* dan *Cellic-HTec2* dengan konsentrasi sebesar 15 FPU/gram substrat berat kering. Proses sakarifikasi ini dilakukan didalam *shaking incubator* dengan kecepatan goyangan 150 rpm pada suhu 50°C selama 72 jam. Sampel hasil proses ini selanjutnya diukur kadar komponen glukosa dan xilosa dengan menggunakan metode analisa NREL [8].

### Analisis *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC)

Produk proses sakarifikasi yang berupa sampel cairan diukur kadar gula-gula sederhana (glukosa dan xilosa) dengan menggunakan *high performance liquid chromatography* (HPLC) (Waters, USA). Sistem ini dilengkapi dengan kolom Aminex HPX 87H dan *guard column, automatic*

sampler, pompa gradien dan detektor *refractive index*. Fase bergerak menggunakan eluen 5mM H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan laju alir 0,6 mL min<sup>-1</sup> dan temperatur oven dijaga tetap pada suhu 65°C. Sebelum menggunakan injeksi HPLC, semua sampel yang berupa campuran solid dan hidrolisat dinetralsasi dengan kalsium karbonat dan di *shake* selama 2 menit. Selanjutnya sampel disaring dengan menggunakan 0,2µm *syringe filters* [8].

### Enzymatic Digestibility (ED)

Persentase ED selulosa dan hemiselulosa dapat dihitung berdasarkan persamaan matematis dibawah ini [3]:

$$ED_{\text{Selulosa}} (\%) = \frac{\text{Glukosa (g)}}{\text{Selulosa (g)}} \times 100\%$$

$$ED_{\text{Hemiselulosa}} (\%) = \frac{\text{Xilosa (g)}}{\text{Hemiselulosa (g)}} \times 100\%$$

dengan selulosa dan hemiselulosa merupakan jumlah komponen yang terdapat pada substrat setelah proses perlakuan awal alkali. Sedangkan glukosa dan xilosa merupakan jumlah komponen yang terdapat pada hidrolisat proses sakarifikasi selama 72 jam.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakterisasi Pelepah Kelapa Sawit

Karakterisasi bahan baku kelapa sawit dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia penyusun didalamnya. Komposisi kimia yang terkandung didalam pelepah kelapa

**Tabel 1.** Komposisi kimia bahan baku pelepah kelapa sawit

Komponen	Kadar (%) <sup>*)</sup>
Lignin	39,35
Hemiselulosa	18,54
Selulosa	30,54
Lain-lain	11,57

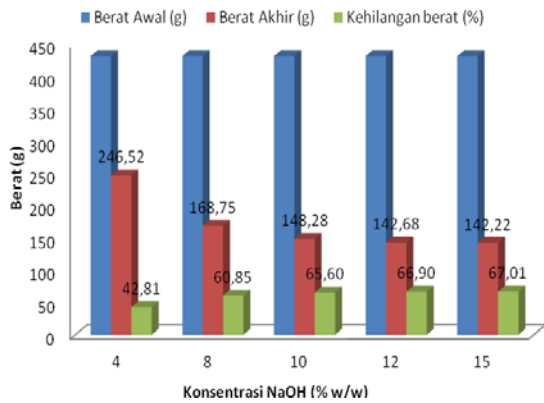
<sup>\*)</sup> persentase dalam berat kering

sawit dipengaruhi oleh letak geografis, musim dan iklim. Komposisi kimia pelepah kelapa sawit (sebelum dilakukan perlakuan awal) yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1, komposisi komponen kimia yang terkandung didalam pelepah kelapa sawit didominasi oleh fraksi karbohidrat (selulosa 30,54% dan hemiselulosa 18,54%). Polimer karbohidrat inilah merupakan sumber bahan baku pembuatan gula-gula sederhana (monosakarida). Komponen kimia lainnya yang cukup tinggi adalah lignin 39,35 %, tingginya kandungan lignin didalam pelepah kelapa sawit sebagai alasan utama dilakukannya proses perlakuan awal secara kimiawi. Menurut, Mosier [4] mengatakan bahwa komponen lignin dapat larut dalam suasana basa, dimana semakin kuat kebiasaannya maka semakin larut pula komponen ligninnya. Selain itu, pengaruh utama adanya perlakuan awal alkali terhadap biomasa lignoseselulosa adalah penurunan kadar lignin (delignifikasi) yang diakibatkan oleh adanya pemecahan ikatan struktur polimer kompleks lignin dengan hemiselulosa dan selulosa sehingga dapat meningkatkan porositas dari biomasa tersebut [10]. Untuk itu, penelitian ini menggunakan larutan basa kuat sodium hidroksida (NaOH) sebagai senyawa pelarut pada proses perlakuan awal alkali.

### Perlakuan Awal Alkali

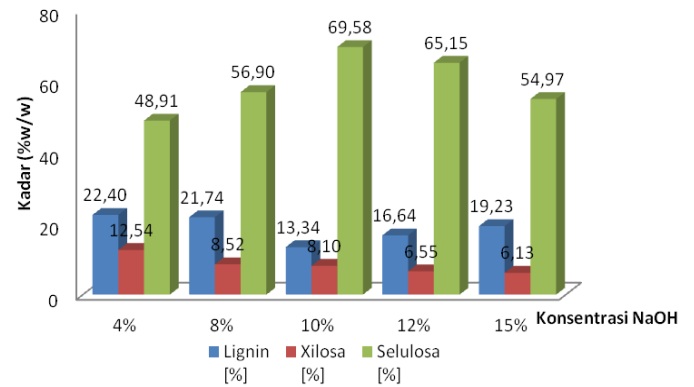
Perlakuan awal alkali pada penelitian ini menggunakan variasi konsentrasi NaOH 4, 8, 10, 12 dan 15 %(w/w). Gambar 2 menunjukkan bahwa persentase kehilangan berat pelepah kelapa sawit setelah adanya proses perlakuan awal alkali semakin meningkat dengan adanya kenaikan konsentrasi NaOH yaitu dari sekitar 42,81% (NaOH 4%) menjadi 67,01% (NaOH 15%).



**Gambar 2.** Persentase kehilangan berat pelepah kelapa sawit setelah perlakuan awal alkali

Hal ini disebabkan sifat larutan NaOH yang dapat melarutkan secara baik komponen lignin, sehingga sebagian fraksi dari komponen lignoselulosa terlarut dalam fasa cair (filtrat) dan mengakibatkan berat dari fraksi padatan menjadi berkurang [4].

Kadar komponen fraksi karbohidrat (selulosa dan hemiselulosa) dan lignin setelah proses perlakuan awal alkali menunjukkan bahwa terjadi penurunan kadar lignin yang sangat signifikan dari 39,35% menjadi 13,34%, hemiselulosa (18,54% menjadi 6,13%) dan peningkatan kadar selulosa dari 30,54% menjadi 69,58%. Gambar 3 menunjukkan bahwa kenaikan konsentrasi NaOH dari 4%(w/w) ke 10%(w/w) menyebabkan penurunan kadar lignin yang signifikan (22,4% menjadi 13,34%), selanjutnya jika konsentrasi NaOH dinaikkan menjadi 15%(w/w) terjadi penurunan lignin menjadi 19,23%. Komponen hemiselulosa juga mengalami penurunan kadarnya jika konsentrasi NaOH dinaikkan yaitu dari kadar 11,54% (NaOH 4%) menjadi 6,13% (NaOH 15%). Penurunan kadar lignin dan hemiselulosa disebabkan terlarutnya kedua komponen tersebut didalam fraksi cairan setelah proses



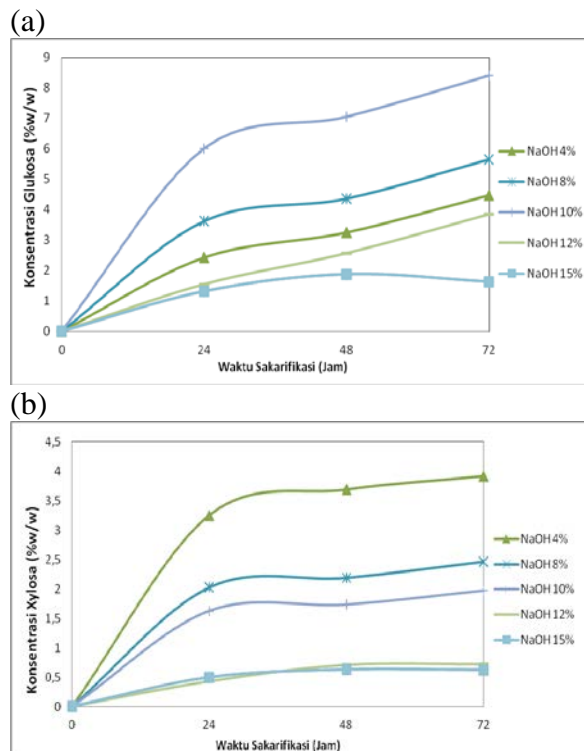
**Gambar 3.** Pengaruh konsentrasi NaOH pada proses perlakuan awal alkali pelepah kelapa sawit

perlakuan awal alkali [4]. Sedangkan kadar selulosa meningkat seiring naiknya konsentrasi NaOH yang ditambahkan, yaitu dari 48,91% (NaOH 4%) menjadi 69,58% (NaOH 10%), namun pada saat konsentrasi NaOH dinaikkan menjadi 15% maka perolehan kadar selulosa tidak signifikan yaitu sekitar 54,7%.

### Sakarifikasi

Hidrolisis secara enzimatik (sakarifikasi) dilakukan untuk mengkonversi selulosa menjadi glukosa dengan menggunakan enzim selulase. Enzim selulase merupakan gabungan dari enzim endo-ekso glukanase dan  $\beta$ -glukosidase, penelitian ini menggunakan enzim selulase (*Cellic-CTec2*) dan  $\beta$ -glukosidase (*Cellic-HTec2*) dari *novozyme*.

Proses sakarifikasi yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan buffer asam sitrat pH 4,8 dengan konsentrasi substrat sebesar 15 %(w/v) dan konsentrasi enzim sebesar 15 FPU/g substrat yang berlangsung pada suhu 50°C, kecepatan 150 rpm selama



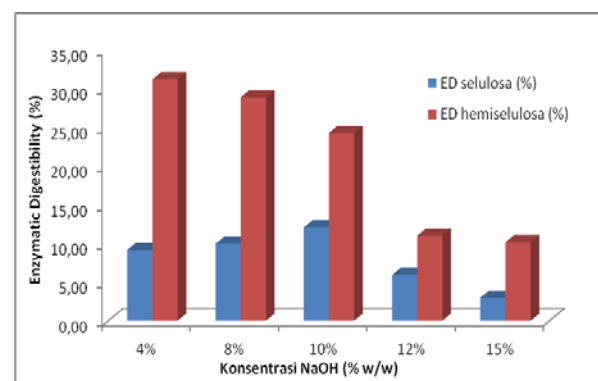
**Gambar 4.** Hasil proses sakarifikasi dengan variasi konsentrasi NaOH hasil perlakuan awal: (a) kadar glukosa (b) kadar xilosa

72 jam. Substrat yang digunakan berasal dari variasi konsentrasi NaOH hasil perlakuan awal secara alkali. Hasil proses sakarifikasi dapat dilihat pada gambar 4. Gambar 4 menunjukkan bahwa semakin lama proses sakarifikasi, maka semakin tinggi pula kadar glukosa dan xilosa yang didapat. Tingginya kadar gula-gula sederhana yang didapat dikarenakan semakin lama waktu proses sakarifikasi maka semakin lama pula waktu kontak antara enzim selulase dengan substrat selulosa, akibatnya semakin besar konversi selulosa menjadi produk-produk glukosa dan xilosa. Selain itu, gambar 4 juga memperlihatkan bahwa pada konsentrasi NaOH 10% pada proses perlakuan awal alkali menghasilkan kadar gula-gula sederhana (glukosa dan xilosa) yang paling optimum. Hal ini disebabkan konsentrasi NaOH 10% yang digunakan pada proses perlakuan awal alkali menghasilkan kadar

selulosa paling tinggi dan kadar lignin yang paling rendah. Semakin tinggi kadar selulosa yang digunakan sebagai substrat maka semakin tinggi pula kadar glukosa yang dihasilkan pada proses sakarifikasi.

### Enzymatic Digestibility

Untuk mengetahui kinerja enzim selulosa yang digunakan pada proses sakarifikasi, maka dapat diukur tingkat tinggi rendahnya *enzymatic digestibility* seperti gambar 5. Gambar 5 menunjukkan bahwa nilai ED selulosa yang optimum diperoleh pada konsentrasi NaOH 10% dengan perolehan sebesar 12,07 %. Hal ini disebabkan pada saat proses perlakuan awal alkali, konsentrasi NaOH 10% menghasilkan kadar selulosa yang paling tinggi dibandingkan dengan variabel konsentrasi NaOH yang lainnya. Semakin tinggi kadar selulosa substrat, maka semakin tinggi pula glukosa yang didapatkan dan nilai ED selulosa yang diperoleh [3][4]. Selain itu, gambar 4 juga menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi NaOH dalam proses perlakuan awal maka semakin turun nilai ED hemiselulosa yang dihasilkan, yaitu dari nilai 31,20 % (konsentrasi NaOH 4%) menjadi 10,16 % (konsentrasi NaOH 15%).



**Gambar 5.** Pengaruh konsentrasi NaOH dalam perlakuan alkali terhadap *enzymatic digestibility* selulosa dan hemiselulosa

## KESIMPULAN

1. Proses perlakuan awal secara alkali pada limbah pelepah kelapa sawit menggunakan konsentrasi NaOH 10 %(w/w) menghasilkan kadar selulosa yang paling tinggi (69,58 %) dan kadar lignin yang paling rendah (13,34 %).
2. Variabel konsentrasi NaOH 10 %(w/w) juga menghasilkan kadar glukosa dan *enzymatic digestibility* selulosa yang paling tinggi yaitu sebesar 8,40 % dan 12,07%.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim. 2009. Data sumber biomassa di Indonesia. *Kementerian Pertanian, Republik Indonesia*.
- [2] Beukes, N., Pletschke, B.I., 2011. *Effect of alkaline pre-treatment on enzyme synergy for efficient hemicellulose hydrolysis in sugarcane bagasse*, Bioresource Technology 102, page 5207–5213.
- [3] Karagoz, P., et.al., 2012. *Alkaline peroxide pretreatment of rapeseed straw for enhancing bioethanol production by Same Vessel Saccharification and Co-Fermentation*. Bioresource Technology **104**, page 349–357.
- [4] Mosier, Nathan, et al., 2005. *Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass*, J.Bioresource Technology, **96**, page 673–686.
- [5] Yi Zheng, Zhongli Pan, & Ruihong Zhang. 2009. Overview of biomass pretreatment for cellulosic ethanol. *International Journal of Agricultural & Biological Engineering*, 2, 51-68.
- [6] Kumar, P., Barrett, D. M., Delwiche, M. J., & Stroeve, P. 2009. Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production. *Journal of Industrial & Engineering Chemistry Research*, 10, 1021-1038.
- [7] Ayumu Onda, Takafumi Ochi, & Kazumichi Yanagisawa. 2008. Selective hydrolysis of cellulose into glucose over solid acid catalysts. *Green Chemistry*, 10, 1033–1037.
- [8] National Renewable Energy Laboratory (NREL). 2010. *Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass*. Colorado: Department of Energy-USA. Silverstein, R. A., Chen, Y., Sharma-Shivappa, R. R., Boyette, M. D. & Osborne, J. 2007. A comparison of chemical pretreatment methods for improving saccharification of cotton stalks. *Bioresource Technology*, **98**, page 3000-3011.