

# KONVERSI LIMBAH TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT MENJADI GLUKOSA DENGAN PROSES HIDROTERMAL TANPA MELALUI PROSES *PRETREATMENT*

(Conversion of Waste Palm Oil Empty Fruit Bunches into Glucose using  
Hydrothermal Process without Pretreatment)

Rakhman Sarwono<sup>1</sup>, Arief Hariyanto<sup>2</sup>, Rizka Puspitadewi<sup>2</sup>,  
Hendris Hendarsyah Kurniawan<sup>1</sup> dan Fatah Sulaiman<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pusat Penelitian Kimia-LIPI, Komplek PUSPIPTEK Serpong, Tangsel 15314, Indonesia

<sup>2</sup> Univ. Sultan Ageng Tirtayasa, Jl.Jend.Sudirman Km 3, Cilegon, Banten 42435, Indonesia  
e-mail: rach014@lipi.go.id

Naskah diterima 21 Januari 2016, revisi akhir 1 Agustus 2016 dan disetujui untuk diterbitkan 3 Agustus 2016

**ABSTRAK.** Limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan hasil samping dari industri minyak sawit dan terdapat dalam jumlah banyak. Sampai saat ini belum dimanfaatkan dengan baik, biasanya dipakai sebagai kompos untuk pemuliaan tanah perkebunan sawit. Persentase TKKS sebesar 23% dari tandan buah segar (TBS) dengan komponen utama berupa selulosa, hemi-selulosa dan lignin. TKKS bisa dihidrolisis menjadi gula atau glukosa dengan proses hidrotermal menggunakan katalis asam klorida. TKKS seberat 8 g dengan ukuran partikel (-30+40) mesh dikonversi secara hidrotermal pada reaktor tabung dengan penambahan 80 ml HCl 10% sebagai katalis, waktu reaksi 2, 3 dan 4 jam, suhu reaksi dari 120–240°C. Proses peruraian TKKS tidak menunjukkan kenaikan yang berarti walaupun suhu reaksi semakin tinggi. Waktu reaksi memberi pengaruh yang lebih besar terhadap peruraian TKKS dimana peruraian paling tinggi sebesar 47% pada suhu 240°C dan waktu reaksi 4 jam. Pada waktu reaksi 3 jam dihasilkan peruraian TKKS paling tinggi sebesar 34%, sama dengan hasil pada waktu 2 jam dan suhu 210°C. Glukosa yang dihasilkan tidak seiring dengan TKKS yang terurai. Pada waktu reaksi 2 jam dan suhu reaksi 170°C dihasilkan glukosa sebesar 23% sedangkan pada waktu reaksi 3 jam dengan suhu reaksi 160°C dihasilkan glukosa paling tinggi 24% dan pada waktu reaksi 4 jam dengan suhu 150°C dihasilkan glukosa sebesar 6%. Kondisi terbaik untuk mendapatkan jumlah glukosa paling banyak yaitu pada waktu reaksi antara 2 dan 3 jam dengan suhu antara 150 dan 170°C.

**Kata kunci:** glukosa, hidrotermal, konversi, pretreatment, TKKS

**ABSTRACT.** Palm oil empty fruit bunch (EFB) is a waste from palm oil industry and commonly used as compost for soil breeding. EFB could be hydrolyzed into glucose using hydrothermal process with hydrochloric acid as catalyst. Eight gram of EFB in particle sizes (-30+40) mesh were hydrolyzed with HCl 10% 80 mL in a tube reactor. Reaction time were 2, 3 and 4 hours in temperature range 140-240°C. EFB decomposition did not increase despite of higher temperature while reaction time influenced the process significantly. EFB conversion was 47% in 4 hours and 240°C while in 3 hours resulted 34% same with 2 hours in 210°C. EFB decomposition did not influence glucose yield which was 23% in 2 hours 170°C, 24% in 3 hours 160°C and 6% in 4 hours 150°C. The optimum conditions of conversion were 2 and 3 hours with temperature range 150-170°C.

**Keywords:** conversion, EFB, glucose, hydrothermal, pretreatment

## 1. PENDAHULUAN

Biomassa merupakan sumber bahan alam terbarukan dalam jumlah besar karena dihasilkan dari tanaman yang tumbuh dipermukaan bumi. Secara global, produksi biomassa yang tumbuh dipermukaan bumi sebesar  $1 \times 10^{11}$  ton per tahun (Smeets, 2007). Biomassa bisa diproses menjadi sumber turunan zat kimia baru dan bahan bakar yang terbarukan.

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan limbah biomassa yang berasal dari industri pengolahan kelapa sawit. Produksi TKKS sebesar 23% dari Tandan Buah Segar (TBS) yang dihasilkan (Subronto, 2015). TKKS dibuat kompos untuk perbaikan tanah di perkebunan kelapa sawit (*soil amendment*).

Komponen utama TKKS yaitu selulosa 44,21%, hemiselulosa 16,68%, lignin 35,51% dan kadar abu 0,26% (Sarwono dkk., 2014). Terdapat banyak ragam dan jenis biomassa yang tersusun dari selulosa, hemiselulosa dan lignin dengan komposisi yang sangat bervariasi (Ruiz, dkk., 2013; Pavlovic, dkk., 2013). Selulosa merupakan komponen terbesar dari biomassa yang tersedia di alam dan pemanfaatan limbah biomassa tidak bersaing dengan penggunaan untuk bahan makanan (Lai, dkk., 2011). Skema reaksi peruraian biomassa menjadi glukosa dijelaskan pada Gambar 1.

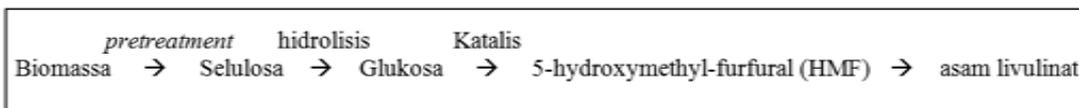
Biomassa memiliki bentuk kristalin yang merupakan ikatan antara selulosa, hemiselulosa dan lignin. Untuk mengambil selulosa yang terikat pada biomassa harus

terlebih dulu memecah bentuk kristalnya agar terpisah antara selulosa, hemiselulosa dan ligninnya (Mood, 2013). Setelah selulosa terpisah, maka hidrolisis selulosa baru bisa dilakukan sesuai Gambar 2.

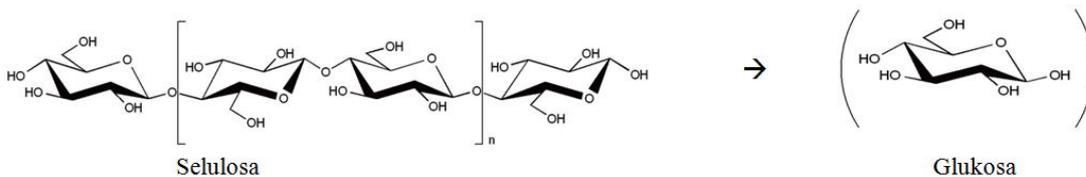
Glukosa merupakan produk pertengahan (*intermediate*) pada konversi secara biologi maupun kimia. Gugus glukosa pada biomassa terkunci oleh bentuk kristal dari polimer selulosa. Untuk menghasilkan glukosa dari biomassa perlu pemecahan kristal biomassa tersebut baik secara fisik maupun kimia (Binder, 2010; Mood, 2013).

Biomassa dengan komponen utama selulosa sangat resisten terhadap hidrolisis oleh air sehingga umumnya digunakan katalis asam kuat atau basa kuat untuk dapat dilakukan hidrolisis biomassa tersebut. Hasil utama dari proses hidrolisis biomassa dengan katalis asam adalah gula seperti glukosa, silosa, arabinosa dan selobiosa (Sasaki, dkk., 2003; Girisuta dkk., 2006). Asam yang digunakan berupa asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) atau asam klorida (HCl) (Zhou, dkk., 2011). Hidrolisis biomassa tanpa katalis menghasilkan konversi yang lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan katalis (Bobleter, 1994).

Katalis homogen seperti  $H_2SO_4$  atau HCl mempunyai kelemahan dalam hal pemisahan produk karena tercampur secara homogen. Untuk mengatasi hal tersebut, digunakan katalis berwujud padatan sehingga akan memudahkan pemisahan produk dan katalis. Selain itu, katalis



Gambar 1. Reaksi biomassa menjadi produk akhir (Wang, dkk., 2013).



Gambar 2. Peruraian selulosa menjadi glukosa

tersebut bisa digunakan kembali atau sangat memungkinkan untuk digunakan pada sistem kontinyu (Okuhara, 2002). Namun katalis padat mempunyai kekurangan yaitu aktifitas dan selektifitas yang rendah dalam hidrolisis selulosa menjadi glukosa (Zhou, dkk., 2011)

Beberapa reaksi yang terjadi pada proses hidrotermal antara lain hidrolisis, dehidrasi, dekarboksilasi, kondensasi, polimerisasi dan aromatisasi (Reza, 2013). Air pada kondisi sub-kritik dan superkritik bisa berperan sebagai katalis dan reaktan. Air pada kondisi superkritik sangat berperan dalam melarutkan kristal dari selulosa sedangkan pada sub-kritik berperan dalam proses hidrolisis permukaan biomassa. Air disebut dalam keadaan sub-kritik yaitu pada suhu antara 150–230°C dimana ikatan hidrogen dari air mulai melemah dan mulai terjadi autoionisasi lalu membentuk ion hidronium ( $H_3O^+$ ) yang berfungsi sebagai katalis asam maupun basa ( $OH^-$ ). Air sangat berpengaruh dan berkemampuan untuk menetralkan panas dan ion  $H_3O^+$  ke dalam material biomassa yang bisa menyebabkan terjadinya degradasi secara selektif pada bagian luar dari biomassa tersebut, akan tetapi proses ini tidak banyak berpengaruh terhadap bagian dalam dari biomassa (Brownell, dkk., 1986). Karena media air yang digunakan, proses hidrotermal mampu memproses biomassa dengan kadar air yang tinggi dan tidak memerlukan proses pengeringan (Yokoyama, 2008).

Berdasarkan bahan baku yang dipakai dalam proses pembuatan, bioetanol dari komponen biomassa seperti selulosa merupakan kelompok bioetanol generasi kedua. Konversi lignoselulosa menjadi etanol terdiri dari beberapa tahap. Proses pertama adalah penghilangan lignin, dilanjutkan proses enzimatik selulosa menjadi glukosa atau gula yang siap di fermentasi (Aiman, 2014). Lignin sangat mengganggu pada proses hidrolisis enzimatik, oleh karena itu lignin harus dihilangkan sebelum proses hidrolisis dengan proses *pretreatment*. Proses perlakuan awal (*pretreatment*) untuk menghilangkan lignin banyak

menggunakan soda yang tidak ramah lingkungan. Proses hidrotermal dengan media air tanpa katalis mampu mendegradasi biomassa secara keseluruhan menghasilkan gas, *bio-oil*, sisa padatan karbon (Tekin, 2013; Tekin, 2014).

Katalis digunakan untuk mengarahkan reaksi peruraian biomassa hingga menghasilkan zat kimia tertentu yang diharapkan. Pada reaksi hidrolisis selulosa menjadi glukosa digunakan katalis asam dalam wujud cair atau padat (Zhou, 2011). Efektifitas proses hidrotermal dengan katalis asam klorida untuk mendegradasi biomassa secara keseluruhan dan menghasilkan glukosa diuji coba dalam penelitian ini.

## 2. METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan adalah TKKS berukuran (-30+40) mesh yang diperoleh dari pabrik kelapa sawit PTPN VIII Malingping-Banten, asam klorida 37% dan akuades. Peralatan yang digunakan adalah peralatan proses hidrotermal berupa reaktor berbentuk tabung dengan kapasitas volume 90 ml, *furnace*, oven, *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) merek *Water e2695*, *refractive Index detector* (*water 2414*), kolom *Hpx-87H (aminex)*.



Gambar 3. Skema peralatan proses hidrotermal

Penelitian dilakukan dalam sekali *run*. Reaktor berbentuk tabung berkapasitas 90 ml diisi dengan 8 g TKKS berukuran partikel (-30+40) *mesh*, katalis

berupa larutan 10% HCl sebanyak 80 ml ditambahkan ke dalam reaktor. Selanjutnya reaktor di *seal* dengan baik sehingga tidak akan bocor pada tekanan tinggi. Reaktor dimasukkan ke dalam *furnace* yang bisa diatur suhunya dari 140°C–240°C sedangkan tekanan di dalam reaktor mengikuti suhu yang telah diatur. Pemanasan dalam *furnace* dihitung sebagai waktu reaksi yaitu 2, 3 dan 4 jam. Setelah selesai waktu reaksi, reaktor dikeluarkan dari *furnace* dan didinginkan dengan air *tap*. Setelah dingin, reaktor dibuka dan substrat disaring untuk memisahkan cairan dan padatan. Padatan yang diperoleh dari penyaringan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 2 jam kemudian ditimbang. Contoh dikeringkan lagi pada suhu dan waktu pengeringan yang sama kemudian ditimbang sampai berat contoh tidak berubah dan hasilnya dihitung sebagai berat karbon. Cairan yang diperoleh dianalisis menggunakan HPLC untuk mengetahui kadar glukosanya. Perhitungan persentase karbon, persentase konversi TKKS dan persentase glukosa masing-masing sesuai dengan Persamaan 1, 2 dan 3.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Penentuan Kadar Glukosa

Grafik HPLC dari standar glukosa, silosa dan etanol ditunjukkan pada Gambar 4 sedangkan hasil spektrum HPLC glukosa dari contoh ditampilkan pada Gambar 5.

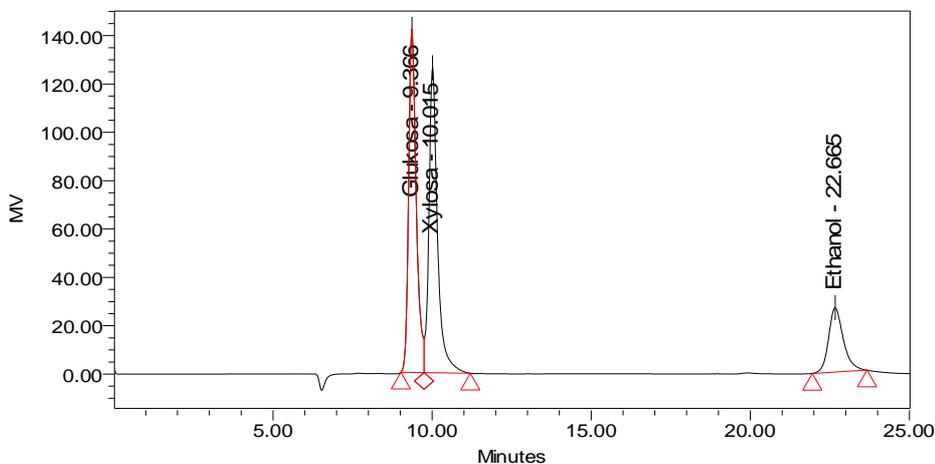
Pada Gambar 5 terlihat ada suatu zat dengan waktu tinggal 9,412 dan bila dibandingkan dengan kurva standar (Gambar 4), yang paling mendekati adalah waktu tinggal dari glukosa sehingga zat tersebut dihitung sebagai glukosa.

Waktu tinggal dari glukosa terletak pada angka 9,412 (Gambar 6) dengan nilai ketinggian 257 (Tabel 1). Nilai ketinggian sebesar 257 bila dibaca pada grafik standar menunjukkan konsentrasi glukosa sebesar 0,0295%. Nilai tersebut dikalikan dengan angka pengenceran sebesar 47,267 sehingga didapat konsentrasi contoh sebesar 0,2036 (b/b). Konsentrasi contoh yang didapat dikalikan dengan berat filtrat yang diperoleh dari proses penyaringan sehingga akan diketahui berat glukosa yang terbentuk. Apabila nilai tersebut dibagi dengan berat selulosa pada TKKS, maka akan didapat persentase konversi glukosa yang terbentuk.

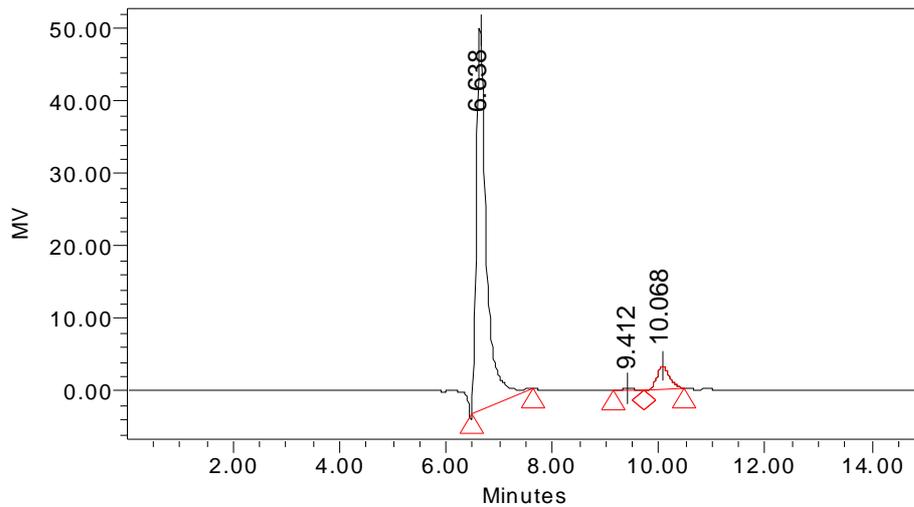
$$\% \text{ Karbon} = \frac{\text{berat karbon}}{\text{berat TKKS}} \times 100\% \dots \dots \dots (1) \text{ (Liu, dkk., 2013)}$$

$$\text{Konversi TKKS} = 100\% - \% \text{ karbon} \dots \dots \dots (2) \text{ (Liu, dkk., 2013)}$$

$$\% \text{ Glukosa} = \frac{\text{berat glukosa}}{0,44} \times \text{berat TKKS} \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$



Gambar 4. Grafik standar glukosa, silosa dan etanol.



Gambar 5. HPLC spektra glukosa dari contoh

Tabel 1. Hasil kompilasi dari HPLC diagram contoh

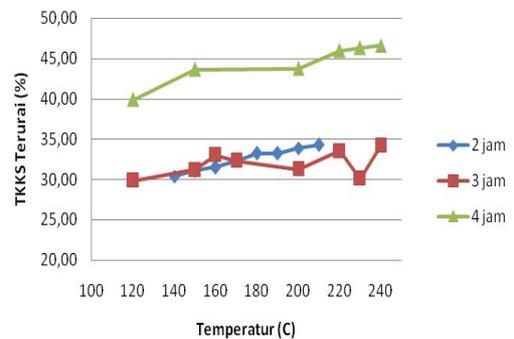
Waktu tinggal	Luas area	% Area	Ketinggian (H)	% Glukosa (b/b)	Pengenceran	% Glukosa (b/b)
6,638	698956	92,63	52718	-	-	-
9,412	3668	0,49	257	0,0295	47,267	0,2036
10,068	51915	6,88	3183	-	-	-

### Konversi TKKS dan Hasil Glukosa

Pengaruh antara suhu dan waktu reaksi terhadap peruraian TKKS menjadi padatan, zat terlarut dan gas ditunjukkan pada Gambar 6. Suhu reaksi yang digunakan berkisar antara 120°C sampai 240°C dengan waktu reaksi 2, 3, dan 4 jam. Semakin tinggi suhu reaksi maka semakin tinggi TKKS yang terurai menjadi gas dan zat terlarut (Vala, 2013) namun kenaikannya tidak begitu tinggi. Waktu reaksi memberi tingkat peruraian TKKS yang lebih baik. Waktu reaksi 4 jam menghasilkan peruraian TKKS yang paling tinggi dibandingkan dengan waktu reaksi 2 dan 3 jam. Waktu reaksi 2 dan 3 jam memberi tingkat peruraian TKKS yang hampir sama.

Waktu reaksi 4 jam dan suhu 240°C diperoleh peruraian TKKS sebesar 47%, sedangkan untuk waktu reaksi 2 pada suhu 210°C TKKS yang terurai sebesar 34%, dan untuk waktu 3 jam dan suhu 240°C TKKS yang terurai sebesar 34%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu reaksi maka proses peruraian TKKS makin tinggi. Tidak banyak perbedaan

TKKS yang terurai pada waktu reaksi 2 dan 3 jam. Peruraian TKKS naik sangat tinggi pada waktu reaksi 4 jam sehingga waktu reaksi sangat besar pengaruhnya terhadap degradasi TKKS menjadi bahan terlarut dan gas. Seperti halnya proses karbonisasi hidrotermal, proses degradasi menggunakan suhu reaksi yang cukup rendah dengan waktu reaksi yang cukup panjang agar semua biomassa terkonversi menjadi karbon yang didominasi proses dehidrasi (Ramke, dkk., 2009).

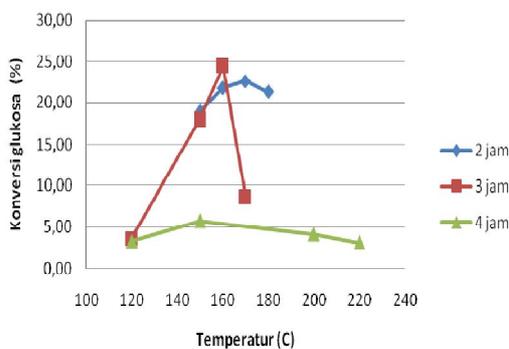


Gambar 6. Persentase peruraian TKKS terhadap perubahan suhu dan waktu reaksi

Pada proses peruraian biomassa TKKS tanpa melalui proses *pretreatment* dengan komposisi seperti di atas, semua komponen akan ikut terurai dan terjadi reaksi yang berlangsung secara bersamaan. Komponen biomassa terurai menjadi molekul yang lebih kecil dan dapat larut dalam air. Selanjutnya akan terjadi reaksi pembentukan dari molekul yang reaktif membentuk molekul yang lebih besar seperti *bio-oil* (Tekin, dkk., 2014).

Saat terjadi proses hidrotermal, masih sukar dijelaskan reaksi-reaksi yang berlangsung didalamnya. Langkah-langkah dekomposisi biomassa pada proses hidrotermal bisa dijelaskan sebagai berikut: pada suhu 100°C, zat-zat terlarut akan terdispersi ke dalam air dan proses hidrolisis berlangsung dimulai pada suhu 150°C. Sementara itu polimer dari biomassa seperti selulosa dan hemiselulosa mulai terpecah menjadi monomernya. Pada suhu 200°C dan tekanan 1 MPa, biomassa berupa padatan akan menjadi bubur (*liquor*) dan pada akhirnya pada suhu 300°C dan tekanan 10 MPa terjadi proses pencairan sehingga akan diperoleh produk minyak (Yokoyama & Matsumura, 2008). Hemiselulosa akan terurai paling awal diikuti oleh selulosa dan lignin seiring kenaikan suhu (Lyman, dkk., 2012).

Selulosa dan hemiselulosa sebagai komponen dari biomassa umumnya terurai menjadi gula karbon 5 dan 6 yang akan didekomposisi dan dipolimerisasi lebih lanjut menjadi *bio-oil*, *bio-char* dan gas (Choudhary & Philips, 2011) sedangkan lignin akan terurai menjadi poliol (Wahyudiono, dkk., 2013).



Gambar 7. Hasil glukosa terhadap suhu dan waktu reaksi

Hasil glukosa dari peruraian TKKS seperti terlihat pada Gambar 7. Pada waktu reaksi 2 jam, hasil glukosa stabil pada kisaran 18%–23% mengikuti perubahan suhu reaksi. Pada suhu 150°C, persentase glukosa sebesar 18% kemudian naik seiring dengan kenaikan suhu reaksi. Sedangkan saat suhu 170°C, glukosa yang diperoleh sekitar 23% dan ini merupakan persentase glukosa yang tinggi. Selanjutnya hasil glukosa menurun menjadi 21% dengan naiknya suhu 180°C pada waktu reaksi 2 jam.

Pada waktu reaksi 3 jam terjadi perubahan hasil glukosa yang sangat tajam seiring dengan berubahnya suhu reaksi. Hal tersebut dimulai pada suhu 120°C dimana glukosa yang dihasilkan sebesar 3%, suhu 150°C glukosa yang dihasilkan sebesar 18% sedangkan pada suhu 160°C glukosa yang dihasilkan sebesar 24%. Saat kenaikan suhu mencapai 170°C, hasil glukosa menurun dengan tajam sampai 8%. Persentase glukosa pada suhu 160°C merupakan hasil tertinggi bila dibandingkan dengan suhu yang lain.

Hasil glukosa tidak mengalami kenaikan yang berarti pada waktu reaksi 4 jam. Saat suhu 120°C, glukosa yang diperoleh sebesar 3%. Seiring kenaikan suhu hingga 150°C glukosa, yang diperoleh sebesar 6%. Selanjutnya perolehan glukosa terus menurun sampai suhu 220°C dengan hasil glukosa sebesar 3%. Sesuai yang ditunjukkan pada Gambar 7 dimana saat waktu reaksi 4 jam, TKKS yang terurai cukup besar dikarenakan kemungkinan besar glukosa yang terbentuk terurai lebih lanjut menjadi zat lain seperti 5-HMF atau asam levulinat (Wang, 2013), sehingga glukosa yang dihasilkan tetap tidak naik. Glukosa adalah produk antara (*intermediate*) maka untuk menghasilkan glukosa dengan persentase yang tinggi diperlukan kondisi proses (suhu dan waktu) yang tepat.

Gambar 8 mengindikasikan bahwa penurunan hasil glukosa diamati berdasarkan perubahan waktu reaksi. Pada waktu reaksi 4 jam, glukosa yang dihasilkan mulai menurun pada suhu 160°C sedangkan saat waktu reaksi 3 jam perolehan glukosa mulai menurun pada

suhu 170°C dan waktu reaksi 2 jam hasil glukosa mulai menurun pada suhu 180°C. Hal tersebut sangat menarik karena dapat diketahui hubungan antara waktu dan suhu reaksi terhadap perolehan glukosa.

Pada waktu reaksi 4 jam, hasil glukosa sangat rendah dan mulai menurun pada suhu 160°C. Saat waktu reaksi 3 jam perubahan glukosa di 170°C sedangkan pada waktu reaksi 2 jam perolehan glukosa cukup tinggi namun mulai menurun secara lambat mulai suhu 180°C. Waktu reaksi yang semakin lama menghasilkan penurunan perolehan glukosa pada suhu reaksi yang lebih awal (160°C).

Perolehan glukosa mempunyai perubahan yang paling tajam pada waktu reaksi 3 jam bila dibandingkan dengan waktu reaksi 2 dan 4 jam. Pada suhu reaksi 160°C, diperoleh hasil glukosa tertinggi, akan tetapi dengan naiknya suhu hasil glukosa menurun drastis. Hal ini bisa diperkirakan bahwa sebelum suhu 160°C, pola reaksi mengikuti seperti pada waktu reaksi 2 jam, namun setelah suhu 160°C, pola reaksi mengikuti seperti pada waktu reaksi 4 jam. Waktu reaksi 3 jam merupakan peralihan pola reaksi antara 2 dan 4 jam.

Hasil penelitian mengenai hidrolisis selulosa menjadi glukosa dengan beragam jenis katalis asam, bahan baku biomassa dan kondisi operasi oleh berbagai peneliti menghasilkan konversi yang masih sangat bervariasi dari yang rendah mulai 3% sampai yang tinggi mencapai 90% (Zhou, 2011). Konversi TKKS dengan proses *pretreatment* memberi hasil glukosa yang lebih baik. *Pretreatment* dengan larutan kapur (*lime*) memberi glukosa sebesar 890 mg/g biomassa. Namun bila difermentasi menghasilkan etanol paling tinggi sebesar 6,1 mg/g glukosa (Asli, 2013).

Berdasarkan penjelasan di atas, bisa disimpulkan bahwa untuk mendapatkan glukosa dengan konsentrasi yang tinggi diperlukan waktu reaksi antara 2 dan 3 jam dengan suhu antara 150 sampai 180°C. Kondisi tersebut merupakan suhu dan waktu yang optimal untuk menghasilkan glukosa.

#### 4. KESIMPULAN

Proses hidrotermal mampu menguraikan biomassa TKKS menjadi glukosa. Peruraian TKKS pada proses hidrotermal tidak banyak dipengaruhi oleh suhu reaksi namun sangat dipengaruhi oleh waktu reaksi sedangkan hasil glukosa sangat dipengaruhi oleh waktu dan suhu reaksi. Pada waktu reaksi 4 jam, glukosa yang dihasilkan sangat stabil terhadap perubahan suhu reaksi tetapi hasilnya masih rendah walaupun TKKS yang terkonversi cukup tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa glukosa yang dihasilkan terurai lebih lanjut menjadi zat lain. Waktu reaksi 3 jam mempunyai dinamika reaksi yang sangat besar dibandingkan dengan waktu reaksi 2 dan 4 jam karena pada waktu reaksi 2 dan 4 jam, hasil glukosa lebih stabil terhadap perubahan suhu reaksi. Kondisi operasi paling baik untuk mendapatkan glukosa yaitu pada waktu reaksi antara 2 dan 3 jam sedangkan suhunya terletak antara 150 dan 180°C. Hal ini perlu pengkajian lebih lanjut untuk memperoleh kejelasan yang lebih baik mengenai hubungan antara waktu dan suhu reaksi terhadap perolehan glukosa.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian Kimia-LIPI karena penelitian ini terselenggara dan dibiayai oleh DIPA 2015.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Aiman, S. (2014). Perkembangan teknologi dan tantangan dalam riset bioetanol di Indonesia. *JKTI*, 16(2), 108-117.
- Asli, U.A., Hamid, H., Zakaria, Z.A., Sadikin, A.N. & Rasit, R. (2013). Fermentable sugars from palm empty fruit bunch biomass for bioethanol production. *International Journal of Chemical, Materials Science and Engineering*, 7(12), 81-84.
- Binder, J.B. & Raines, R.T. (2010). Fermentable sugars by chemicals hydrolysis of biomass. *Proc. of the National Academy of sciences*, 107,

- 4516-4521. Berkeley: University of California.
- Bobleter, O. (1994). Hydrothermal degradation of polymers derived from plants. *Prog. Polym. Sci.*, 19, 797-841.
- Brownell, H.H., Yu, E.K.C. & Saddler, J.N. (1986). Steam-explosion pretreatment of wood: effect of chip size, acid, moisture content and pressure drop. *Biotechnol. Bioeng.*, 28, 792-801.
- Choudhary, T.V. & Philips, C.B. (2011). Renewable fuels via catalytic hydrodeoxygenation. *Appl. Catal. A. Gen.*, 397, 1-12.
- Girisuta, B., Jansen, L.P.B.M. & Heeres, H.J. (2006). A kinetic study on the conversion of glucose to levulinic acid. *Chem, Eng. Re and Desig.*, 84, 339-349.
- Lai, D-M., Deng, L., Li, J., Liao, B., Guo, Q-X. & Fu, Y. (2011). Hydrolysis of cellulose into glucose by magnetic solid acid. *Chem. Sus. Chem.*, 4, 55 – 58.
- Liu, Y., Yuan, X-Z., Huang, H-J., Wang, X-L., Wang, H. & Zeng, G-M. (2013). Thermochemical liquefaction of rice husk for bio-oil production in mixed solvent (ethanol-water). *Fuel Processing Technol.*, 112, 93-99.
- Lyman, J.G., Reza, M.T., Vasquez, V.R. & Coronella, C.J. (2012). Effect of salt addition on hydrothermal carbonization of lignocellulosic biomass. *Fuel*, 99, 271-273.
- Mood, S.H., Golfeshan, A.H., Tabatabaei, M., Jouzani, G.S., Najafi, G.H., Gholami, M. & Ardjmand, M. (2013). Lignocellulosic biomass to bioethanol, a comprehensive review with a focus on pretreatment. *Renewable and sustainable Energy Reviews*, 27, 77-93.
- Okuhara, T. (2002). Water-tolerant solid acid catalysts. *Chem. Rev.*, 102(10), 3641-3665.
- Pavlovic, I., Knez, Z. & Skerget, M. (2013). Subcritical water – a prospective reaction media for biomass processing to chemicals: study on cellulose conversion as a model for biomass. *Chem. Biochem. Eng. Q.*, 27(1), 73-82.
- Ramke, H.-G., Blohse, D. & Lehmann, H.-J. (2009). Hydrothermal carbonization of organic waste. In: Cossu, R., Diaz, L.F., Stegman, R. (eds), *Twelfth International Waste Management and Landfill Symposium*. Sardina: Pro., CISA pub.
- Reza, M.T. (2013). *Upgrading Biomass by Hydrothermal and Chemical Conditioning*. PhD Thesis, University of Nevada, Reno.
- Ruiz, H.A., Rodriguez-Jasso, R.M., Fernandes, B.D., Vicente, A.A. & Teixeira, J.A. (2013). Hydrothermal processing, as an alternative for upgrading agriculture residues and marine biomass according to the biorefinery concept: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 35-51.
- Sasaki, M., Adschiri, T. & Arai, K. (2003). Production of cellulose II from native cellulose by near- and supercritical water solubilization. *J. Agri. Food Chem.*, 51(18), 5376-5381.
- Sarwono, R., Triwahyuni, E., Aristiawan, Y., Kurniawan, H.H. & Anindyawati, T. (2014). Cellulose conversion of oil palm empty fruit bunch (EFB) into ethanol. *J. Selulosa*, 4(1), 1- 6.
- Smeets, E.M.W., Faaij, A.P.C., Lewandowski, I.M. & Turkenburg, W.C. (2007). A bottom-up assessment and review of global bio-energy potentials to 2050. *Prog. Energ. Combust.*, 33, 56-106.
- Subronto, M.S. (2015). *Penggunaan aneka ragam kelapa sawit untuk meningkatkan nilai tambah industri kelapa sawit (I)*. Sawit Indonesia. Jakarta.
- Tekin, K. & Karagoz, S. (2013). Non-catalytic and catalytic hydrothermal liquefaction of biomass. *Res. Chem. Intermed.*, 39, 485-498.
- Tekin, K., Karagoz, S. & Bektas, S. (2014). A review of hydrothermal processing. *Renewable and sustainable Energy reviews*, 40, 673-687.
- Vala, R.M.K. & Tichagwa, L. (2013). Low temperature acid hydrolysis of grass-derived lignocellulose for fermentable sugars production. *Cellulose Chem. Technol.*, 47(7-8), 565-572.
- Wahyudiono, S. Machmudah & M. Goto. (2013). Utilization of sub and supercritical water reactions in resource recovery of biomass wastes. *Engineering J.*, 17(1), 1-12.

- Wang, Y-G., Nie, X-A. & Liu, Z-X. (2013). Study on preparation of levulinic acid from biomass and its prospects. *J. Forest products and Industries*, 2(3), 5-7.
- Xiang, Q., Kim, J.S. & Lee, Y.Y. (2003). A comprehensive kinetic model for dilute acid hydrolysis cellulose. *Applied Biochem. Biotechnol.*, 106,(1-3), 337-352.
- Yokoyama, S. & Matsumura, Y. (2008). *The Asian biomass handbook*. Tokyo: The Japan Institute of Energy.
- Zhao, H., Kwak, J.H., Wang, Y., Franz, J.A., White, J.M. & Holladay, J.E. (2006). Effects of crystallinity on dilute acid hydrolysis of cellulose by cellulose ball milling study. *Energy Fuels*, 20(2), 807-811.
- Zhou, C-H., Xia, X., Lin, C-X., Tong, D-S. & Beltramini, J. (2011). Catalytic conversion of lignocellulosic biomass to fine chemicals and fuels. *Chem. Soc. Rev.*, 40, 5588-5617.