



Terakreditasi: SK No.: 66b/DIKTI/Kep/2011  
Website : <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/reaktor/>

Reaktor, Vol. 16 No. 1, Maret Tahun 2016, Hal. 17-23

## Pemanfaatan Limbah *Pretreatment* dalam Produksi Bioetanol dari Lignoselulosa untuk *Me-Recovery Fine Chemicals* dengan Proses Pirolisa

Dieni Mansur<sup>\*)</sup>, Sabar Pangihutan Simanungkalit, dan Nino Rinaldi

Pusat Penelitian Kimia – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia  
Kawasan PUSPIPTEK-Serpong, Tangerang Selatan, Banten, Indonesia – 15314  
Tel. 021-756 0929; Faks. 021-756 0549

<sup>\*)</sup>Penulis korespondensi : [dieni.mansur@lipi.go.id](mailto:dieni.mansur@lipi.go.id)

### Abstract

**UTILIZATION OF PRETREATMENT WASTE DURING PRODUCTION OF BIOETHANOL FROM LIGNOCELLULOSIC MATERIALS FOR RECOVERY FINE CHEMICALS BY PYROLYSIS.** *In production of second generation bioethanol by utilizing lignocelluloses as raw material, black liquor was produced from its pretreatment process. As waste of pretreatment process, the black liquor was rich in lignin. Therefore, the black liquor has potential to be proceeded to produce fine chemicals. In this study, black liquor powder was pyrolyzed at 450-600°C for 15 minutes using a fixed bed type reactor. Pyrolysis process produced four types of products that called as liquid tar, heavy tar, char and gas. Liquid tar was condensable volatile product in condenser and uncondensable ones was called gas. Heavy tar was heavier volatile product that stick to reactor wall on bed of feed and unable to enter a condenser. Whereas, char was deposited carbon left in the pyrolizer. The liquid tar consisted of several chemical compounds that classified into groups of chemicals based on similar functional groups. In a range of temperatures process, higher yield of liquid tar was produced after treated at 550°C compared to other conditions. The main chemical compounds in the liquid tar were phenol, alcohols and alkyl phenols that mainly predicted derived from decomposition of lignin and represented as the fine chemicals from black liquor powder.*

**Keywords:** *bioethanol; black liquor powder; fine chemicals; lignocelluloses; pyrolysis*

### Abstrak

*Dalam produksi bioetanol generasi kedua dengan memanfaatkan lignoselulosa sebagai bahan baku, akan menghasilkan black liquor pada saat proses pretreatment. Sebagai limbah proses pretreatment, black liquor ini kaya akan lignin. Oleh karena itu, black liquor berpotensi diolah untuk menghasilkan fine chemicals. Pada penelitian ini, bubuk black liquor diproses secara pirolisa pada suhu 450-600°C selama 15 menit menggunakan reaktor jenis fixed bed. Proses pirolisa menghasilkan produk yang dapat digolongkan menjadi empat jenis yaitu liquid tar, heavy tar, char dan gas. Liquid tar merupakan volatile product yang terkondensasi di kondensor dan yang tidak dapat terkondensasi disebut sebagai gas. Heavy tar adalah volatile product yang lebih berat dan terlebih dahulu menempel di dinding reaktor pirolisa di atas bed umpan dan tidak sampai masuk ke kondensor. Sementara char adalah deposit karbon yang tertinggal di dalam reaktor pirolisa. Liquid tar tersusun oleh berbagai macam senyawa kimia yang bisa dikelompokkan menjadi grup-grup berdasarkan kesamaan gugus fungsi. Dari rentang suhu proses tersebut, liquid tar paling banyak dihasilkan pada suhu 550°C. Liquid tar tersebut banyak mengandung fenol, alkohol dan alkil fenol yang diprediksi*

umumnya berasal dari dekomposisi lignin dan menjadi *fine chemicals* yang dapat di-recovery dari bubuk *black liquor*.

**Kata kunci:** bioetanol; bubuk *black liquor*; *fine chemicals*; lignoselulosa; pirolisa

**How to Cite This Article:** Mansur, D., Simanungkalit, S.P., dan Rinaldi, N., (2016), Pemanfaatan Limbah *Pretreatment* dalam Produksi Bioetanol dari Lignoselulosa untuk *Me-Recovery Fine Chemicals* dengan Proses Pirolisa, Reaktor, 16(1), 17-23, <http://dx.doi.org/10.14710/reaktor.16.1.17-23>

## PENDAHULUAN

Salah satu kendala dalam pengembangan proses produksi bioetanol generasi pertama adalah penyediaan bahan baku yang berkompetisi dengan ketahanan pangan. Oleh karena itu para peneliti di dunia mengembangkan proses produksi bioetanol generasi kedua. Bioetanol generasi kedua merupakan bioetanol yang diproduksi dengan memanfaatkan biomassa berbasis lignoselulosa sebagai bahan baku (Limayem dan Ricke, 2012). Dengan demikian bahan baku untuk bioetanol generasi kedua bisa berasal dari limbah industri pertanian dan perkebunan sehingga tidak berkompetisi dengan ketahanan pangan.

Proses produksi bioetanol dari biomassa berbasis lignoselulosa mencakup tahapan-tahapan sebagai berikut: *pretreatment* bahan baku, hidrolisa, fermentasi dan distilasi. *Pretreatment* bahan baku bisa dilakukan secara fisika dan kimia, dengan tujuan memecah ikatan lignin dari biomassa sehingga membuat selulosa lebih mudah diakses oleh enzim hidrolitik untuk dikonversi menjadi glukosa (Cotana dkk., 2014). Metode *pretreatment* yang paling umum dilakukan untuk mendekonstruksi biomassa adalah *steam explosion* atau ledakan uap (Balat, 2011).

Proses *pretreatment* bahan baku berbasis lignoselulosa akan menghasilkan limbah cair yang biasanya disebut dengan *black liquor* (Nour dkk., 2004). Kandungan terbanyak dalam *black liquor* adalah lignin, dan limbah ini tidak siap untuk langsung dibuang ke lingkungan. Sehingga untuk mencegah pencemaran lingkungan, maka limbah ini perlu diolah kembali. Hingga saat ini, pemanfaatan *black liquor* yang sering dilakukan di industri adalah sebagai bahan bakar boiler kelas rendah, untuk menunjang kebutuhan energi dalam pabrik.

Lignin adalah sumber aromatik terbarukan, yang terdiri dari tiga unit struktur dasar yakni, *p-coumaryl alcohol*, *coniferyl alcohol*, dan *sinapyl alcohol*. Unit-unit struktural dihubungkan oleh gugus eter dan ikatan C-C, seperti ditunjukkan pada Gambar 1 (Kang dkk., 2013).

Struktur aromatik lignin menunjukkan bahwa lignin mempunyai potensi besar sebagai bahan kimia aromatik (benzen, toluen, xylene), fenol, eter aromatik, vanillin, dll. Hal ini dapat dicapai dengan cara memecah molekul lignin ke dalam ukuran lebih kecil dengan menggunakan proses termo kimia maupun teknologi katalis. Produk-produk turunan lignin dapat juga diaplikasikan sebagai bahan bakar, pelarut kimia, dan polimer (Singh dkk., 2014).

Dalam penelitian ini telah dilakukan proses termo kimia, yakni dengan proses pirolisa terhadap bubuk *black liquor* untuk menghasilkan *liquid tar*. *Black liquor* yang digunakan sebagai bahan baku adalah limbah proses *pre-treatment* dari pilot plant bioetanol dengan bahan baku tandan kosong kelapa sawit. Penelitian ini difokuskan kepada pengaruh suhu dalam proses pirolisa terhadap degradasi produk dan yield dari *fine chemicals* yang dihasilkan.

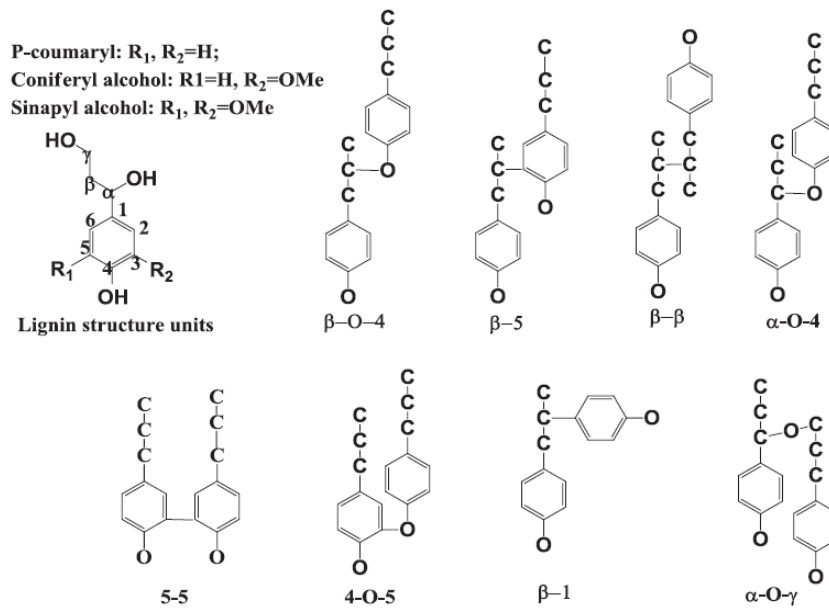
## METODE PENELITIAN

### Preparasi dan Karakterisasi Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah *pretreatment* dari produksi bioetanol berbasis lignoselulosa, yang biasanya disebut dengan *black liquor*. *Black liquor* berasal dari *pilot plant* bioetanol berbahan baku tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang ada di Pusat Penelitian Kimia-LIPI, Kawasan PUSPIPTEK-Serpong. *Black liquor* yang didapat dari *pilot plant* mempunyai *moisture content* sebesar 80% dengan pH = 9. Untuk menetralkan pH *black liquor*, maka ditambahkan asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) berkadar 70% sehingga diperoleh pH = 7. Sebelum dijadikan bahan umpan proses pirolisa, *black liquor* yang sudah netral dikeringkan dalam oven dengan suhu 80°C sampai terbentuk *solid*, kemudian digiling hingga menjadi bubuk dengan diameter 80-100 mesh. Bubuk *black liquor* ini dianalisa menggunakan alat elemental analyzer (Truespec CHN; Leco) berdasarkan ASTM D 5373-08 untuk menentukan kandungan karbon, hidrogen, nitrogen dan oksigen yang terkandung di dalamnya. Selain itu juga dianalisa kandungan lignin, selulosa dan hemiselulosa yang terkandung dengan menggunakan metoda dari NREL (Hyman dkk., 2008; Sluiter dkk., 2008; Sluiter dkk., 2008; Sluiter dan Sluiter, 2008). Hasil analisa dari kandungan bubuk *black liquor* tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan bubuk *black liquor*

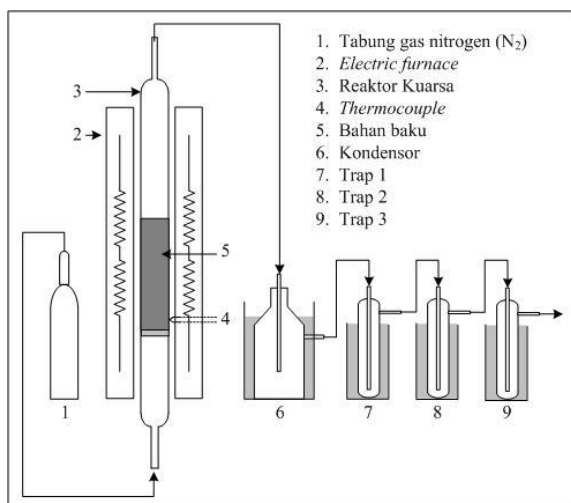
Komponen	wt. %
Lignin	38,04
Selulosa	4,66
Hemiselulosa	19,68
Elemental:	
C	18,10
H	1,75
O	42,34
N	0,19
Ash	35,40
Moisture content	2,22



Gambar 1. Unit struktur lignin dan ikatannya

**Proses Pirolisa**

Proses pirolisa dilakukan dalam reaktor kuarsa berbentuk *fixed bed* pada tekanan atmosfer dan kondisi inert dengan mengalirkan gas nitrogen. Reaktor memiliki diameter dalam sebesar 27 mm dan panjang 500 mm. Bahan baku berupa bubuk *black liquor* ditempatkan di dalam reaktor yang disangga oleh plat sinter kuarsa yang terletak pada ketinggian 150 mm dari dasar reaktor. Reaktor dipanaskan dengan menggunakan *electric furnace*, dimana suhu dikendalikan menggunakan *PID controller* yang dihubungkan dengan termokopel. Suhu yang dijadikan referensi adalah suhu dinding luar reaktor dekat plat sinter kuarsa. Diagram proses pirolisa tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram proses pirolisa menggunakan *fixed bed reactor*

Gas nitrogen (N<sub>2</sub>) dialirkan dari bagian bawah reaktor kuarsa sebagai carrier gas. Uap dan gas hasil

proses pirolisa dari dalam reaktor kuarsa mengalir menuju kondensor yang terendam dalam es bercampur garam untuk mendapatkan produk cair. Uap dan gas yang belum terkondensasi dalam kondensor akan mengalir ke trap 1, 2 dan 3 yang terendam dalam es bercampur garam (T = -10°C) dengan tujuan yang sama yakni mendapatkan produk cair yang mengandung *fine chemicals*. Produk cair ini juga dikenal sebagai *liquid tar*. Gas yang sudah melewati trap 3 akan dibuang ke udara bebas.

Proses pirolisa diawali dengan memasukkan bahan baku, yakni bubuk *black liquor* sebanyak 20 gram ke dalam reaktor kuarsa. *Carrier gas* (gas N<sub>2</sub>) dialirkan dengan laju alir sebesar 0,205 ml/menit untuk purging oksigen (O<sub>2</sub>) yang ada di dalam reaktor. *Carrier gas* dialirkan terus-menerus selama berlangsungnya proses pirolisa. Kemudian reaktor dipanaskan dari suhu ruang (30°C) hingga mencapai suhu 450, 500, 550 dan 600°C dalam kisaran waktu 3-4 menit. Uap dan gas yang terbentuk dari proses pirolisa dikondensasikan di dalam kondensor dan trap untuk mendapatkan produk cair (*liquid tar*). Besarnya *liquid tar* yang diperoleh, dapat dihitung berdasarkan selisih berat kondensor dan trap pada saat sebelum dan sesudah proses pirolisa. Sementara itu, produk solid proses pirolisa yang disebut dengan *char*, tinggal dalam reaktor kuarsa. Produk gas yang tidak terkondensasi dibuang langsung ke udara bebas, dimana jumlahnya merupakan selisih dari bahan baku dengan jumlah *liquid tar* dan *char*. Proses pirolisa dilakukan selama 15 menit pada setiap suhu proses.

**Analisa Produk**

Produk cair (*liquid tar*) yang diperoleh dari proses pirolisa bubuk *black liquor* dianalisa dengan menggunakan gas kromatografi mass spektrometri (GCMS; Agilent Technologies) dengan menggunakan

kolom kapiler jenis DB-5 dan 1-butanol sebagai internal standar, untuk mengetahui senyawa kimia penyusunnya. Sementara untuk *char* dilakukan analisa elemental dengan alat dan metoda yang sama dengan bubuk *black liquor*.

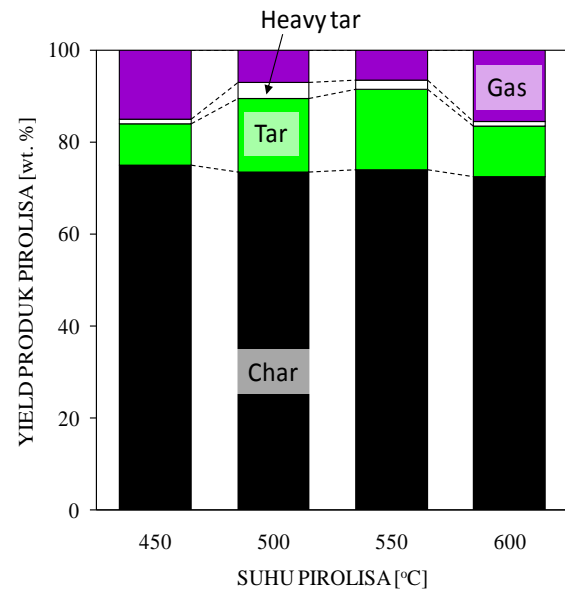
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pirolisa sebagai salah satu bentuk teknologi yang dapat mengekstrak energi dan bahan kimia dari biomassa, merupakan proses yang bersifat endotermik. Pada penelitian ini panas disuplai dari *furnace* diserap oleh biomassa untuk proses degradasi menjadi gas dan *liquid* tanpa adanya agen pengoksidasi (Jahurul dkk., 2012). Oleh karena itu, proses pirolisa bubuk *black liquor* yang menggunakan gas nitrogen untuk mengkondisikan reaktor bebas oksigen (agen pengoksidasi) menghasilkan produk-produk yang dapat digolongkan menjadi empat jenis yaitu *char*, *heavy tar*, *liquid tar*, dan gas. *Heavy tar* adalah tar yang menempel di dinding reaktor di atas *bed char* dan tidak mencapai kondensor dan *trap*. *Heavy tar* ini mempunyai berat molekul yang lebih besar dibanding *liquid tar*. Gambar 3 menunjukkan yield proses pirolisa bubuk *black liquor* dari suhu 450-600°C.

Dari Gambar 3 terlihat bahwa dengan semakin tingginya suhu pirolisa dari 450-550°C, yield *liquid tar* semakin banyak, produk gas semakin menurun. Hal ini disebabkan oleh proses depolimerisasi dari blok molekul bubuk *black liquor* menjadi fraksi-fraksi yang lebih ringan yang dapat dikondensasi menjadi *liquid tar* berlangsung lebih bagus sampai suhu 550°C. Akan tetapi, saat suhu proses pirolisa dinaikkan menjadi 600°C, produksi gas meningkat. Hal ini disebabkan terjadinya reaksi sekunder pada *liquid tar* menjadi fraksi-fraksi yang sangat ringan dan tidak dapat terkondensasi di kondensor dan *trap* akibat suhu yang sangat tinggi (Venderbosch dan Prins, 2010). Sementara itu, produk *char* yang dihasilkan pada setiap suhu hampir sama berkisar 75%. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa dalam proses pirolisa bubuk *black liquor*, sekitar 25% dari jumlah umpan akan terdekomposisi, terdehidrasi, dan terdepolimerisasi menjadi *heavy tar*, *liquid tar*, maupun produk gas.

Untuk mengetahui lebih jauh proses pirolisa bubuk *black liquor* ini, maka dilakukan *elemental analysis* dari *char* yang dihasilkan, seperti yang terlihat pada Tabel 2. Berdasarkan Tabel 2, terlihat bahwa kandungan karbon pada berbagai variasi suhu hampir sama yaitu berkisar pada 7%. Akan tetapi, *char* memiliki kadar abu (*ash*) yang tinggi dengan kisaran 50%. Kemungkinan besar abu ini adalah garam sodium yang terbentuk saat persiapan umpan dan tidak adanya proses pencucian, sehingga diduga terbentuk garam  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  saat penetralan. Dari hasil yang diperoleh pada Gambar 3 dan Tabel 2 dapat disimpulkan bahwa, sekitar 37,5% dari bubuk *black liquor* yang digunakan sebagai umpan proses pirolisa terdiri dari garam sulfonat dan 62,5% lagi adalah

biomassa yang komponen utamanya adalah lignin, seperti yang terlihat pada Tabel 1 (Kang dkk., 2013). Tingginya kadar garam pada umpan yang ter-*recovery* pada *char*, dibuktikan dengan kandungan oksigen yang cukup tinggi yang merupakan komponen dari  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .



Gambar 3. Yield proses pirolisa bubuk *black liquor*

Jika dihitung perbandingan produksi tar, *char*, dan gas yang dihasilkan tanpa mempertimbangkan garam  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dengan menggabungkan *heavy tar* dan *liquid tar* dan disebut sebagai tar, maka diperoleh perbandingan rata-rata dari 450-600°C untuk tar : *char* : gas = 24 : 58 : 18. Berdasarkan klasifikasinya, proses pirolisa ini dapat digolongkan sebagai *slow pyrolysis* jika ditinjau dari produksi tar dimana menurut Balat (2009) perbandingan karena tar : *char* : gas adalah 30 : 35 : 35. Ditinjau dari kecepatan pemanasan (*heating rate*) proses pirolisa pada penelitian ini sedikit lebih tinggi yaitu sekitar 2,3 K/s, sementara Balat (2009) berkisar 0,1-1 K/s untuk *slow pyrolysis* (Balat dkk., 2009).

Berdasarkan perbandingan tar : *char* : gas = 24 : 58 : 18 di atas, terlihat bahwa produksi *char* tinggi. Hal ini disebabkan oleh jenis proses yang berlangsung adalah *slow pyrolysis*. Selain itu tingginya produksi *char* juga bisa disebabkan dari jenis reaktor yang dipakai yaitu reaktor *fixed bed*. Hal ini sesuai dengan hasil yang diperoleh oleh Alfatini (2003) dan Leung (2004) dimana reaktor jenis *fixed bed pyrolyzer* adalah reaktor yang populer digunakan. Jenis reaktor *fixed bed* ini menghasilkan karbon yang tinggi, dioperasikan dengan waktu tinggal padatan lama dan kecepatan gas lama. Akan tetapi mempunyai keuntungan dari segi konsumsi panas dan energi yang kecil.

Proses pirolisa bubuk *black liquor* menghasilkan *liquid tar* sebesar 17,5%. *Liquid tar* tersebut dianalisa dengan GCMS untuk mengetahui kemungkinan senyawa kimia yang bisa di-*recovery*. Senyawa kimia yang terkandung dalam *liquid tar* tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.

Senyawa kimia penyusun *liquid tar* seperti yang terlihat pada Gambar 4 merupakan grup dari senyawa-senyawa kimia yang memiliki kesamaan gugus fungsi. Pengelompokan senyawa kimia dari *liquid tar* tersebut dapat dilihat pada Tabel 3. Dari hasil *liquid tar* yang diperoleh, lebih dari 50% adalah senyawa aromatik seperti fenol, alkil fenol, metoksi

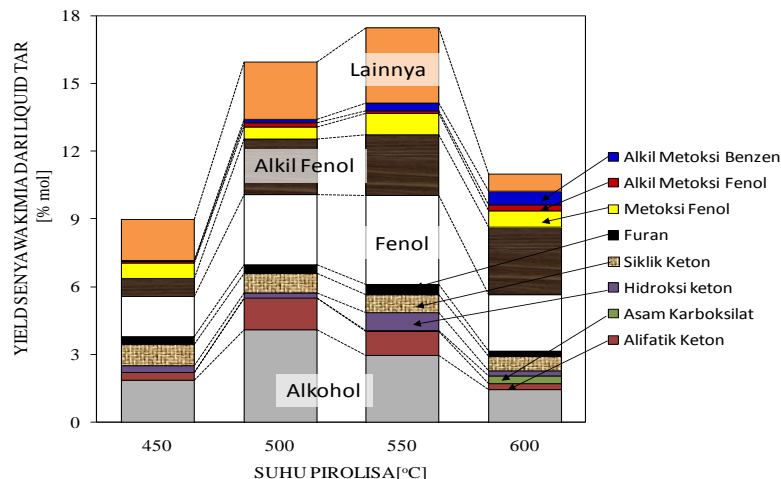
fenol, alkil metoksi fenol, dan alkil metoksi benzen. Senyawa-senyawa ini diprediksi sebagai turunan dari lignin karena lignin tersusun oleh struktur benzen seperti yang terlihat pada Gambar 1. Dari Gambar 4 terlihat bahwa *liquid tar* paling banyak dihasilkan setelah proses pirolisa pada suhu 550°C.

Tabel 2. Analisa elemental produk *char* dari proses pirolisa bubuk *black liquor*

Komponen (wt.%)	Suhu Pirolisa (°C)			
	450	500	550	600
Elemental:				
C	7,93	6,67	7,11	6,92
H	0,21	0,24	0,21	0,17
O	39,55	40,67	39,92	43,97
N	0,35	0,13	0	0,11
Ash	51,16	51,65	52,08	48,15
Moisture content	0,80	0,64	0,68	0,68

Tabel 3. Pengelompokan senyawa kimia dari *liquid tar* hasil proses pirolisis.

Grup Senyawa	Nama Senyawa	Grup Senyawa	Nama Senyawa	
Alkohol	Metanol	Alkil fenol	Fenol, 2-metil-	
	1-Propanol		Fenol, 4-metil-	
	Alil alkohol		Fenol, 2,6-dimetil-	
	1,2-Etandiol (Etilen glikol)		Fenol, 4-etil-	
	Propilen Glikol		Fenol, 2,5-dimetil-	
	2-Pentanol		Fenol, 3-etil-	
	1,2-Butandiol		Fenol, 2,3-dimetil-	
	1,3-Benzendiol, 4-etil-		Fenol, 3,4-dimetil-	
	Alifatik keton		Aseton	Fenol, 3,4,5-trimetil-
			2-Butanon	Fenol, 2-(1-metiletil)-
Asam karboksilat	Asam asetat	Fenol, 3-etil-5-metil-		
	Asam heksadekanoat, metil ester	Fenol, 2,4,6-trimetil-		
Hidroksi keton	2-Propanon, 1-hidroksi-	Metoksi fenol	Fenol, 2,4,5-trimetil-	
	2-Butanon, 3-hidroksi-		4-Metil-2-propilfenol	
	2-Butanon, 1-hidroksi-		3-Etilfenol, metil eter	
	4-Hidroksi-3-heksanon		Fenol, 2-metoksi-	
Siklik keton	Siklopentanon	Alkil metoksi fenol	Fenol, 2,6-dimetoksi-	
	2-Siklopenten-1-on, 2-metil-		Fenol, 2-metoksi-4-metil-	
	2-Siklopenten-1-on, 3-metil-		Fenol, 4-etil-2-metoksi-	
	2-Siklopenten-1-on, 2-hidroksi-3-metil-		2,4,5-Trimetiletilbenzen	
	3,5-Dimetil Siklopentenolon		1,3,5-Trietilbenzen	
	1,2-Siklopentandion, 3-metil-		Benzen, 1,2,3-trimetoksi-	
	2-Siklopenten-1-on, 2,3,4,5-tetrametil-		1,2,4-Trimetoksibenzen	
	4-Piranon, 2,3-dihidro-		4- etil - 2,6 - dimetoksi - fenol	
	1-(5(Metil-2-furanil)-1-buten-3-on		Lainnya	6-Metil-4-indanol
	Furan			2-Furanmetanol
Butirolakton		1-metoksi-1,3-sikloheksadien		
2-Furanakrolein		1-Hepten, 2,6-dimetil-		
Fenol	2(3H)-Furanon, 5-metil-	Lainnya		
	Fenol			

Gambar 4. Senyawa kimia penyusun *liquid tar*

Dari Tabel 3 terlihat bahwa fenol merupakan senyawa tunggal dan bukan pengelompokan dari beberapa senyawa yang mempunyai kesamaan gugus fungsi. Pada Gambar 4 untuk suhu 550°C, terlihat bahwa fenol dihasilkan paling banyak diikuti oleh grup alkohol dan alkil fenol dengan yield masing-masing sebesar 4, 3, dan 2,7%. Nilai tersebut dihitung berdasarkan jumlah bubuk *black liquor* yang diumpankan. Sesuai dengan pembahasan di atas bahwa bubuk *black liquor* tidak hanya biomassa tetapi juga garam sulfonat dengan perbandingan 62,5% biomassa dan 37,5% garam sulfonat. Oleh karena itu, maka dapat dihitung besarnya fenol, alkohol dan alkil fenol yang dihasilkan berbasis biomassa (tanpa memperhitungkan jumlah garam) sebesar 6,4; 4,8 dan 4,3%. Dari proses pirolisa, yield *liquid tar* yang dihasilkan sebesar 17,5%. Apabila kadar fenol, alkohol dan alkil fenol dihitung berdasarkan yield *liquid tar* tersebut, maka masing-masing akan diperoleh sebesar 22,9; 17,1 dan 15,4%. Dari hasil ini dapat dikatakan bahwa fenol, alkohol dan alkil fenol merupakan senyawa kimia yang potensial untuk di-*recovery* dari bubuk *black liquor* sebagai *fine chemicals*.

Pada aplikasinya fenol dan senyawa fenolik biasanya banyak dimanfaatkan di industri untuk memproduksi resin polimer dan penyulingan minyak (Hank dkk., 2010). Biasanya fenol yang digunakan berasal dari turunan minyak bumi (Ganeshram dan Achudhan, 2013). Akan tetapi, beberapa peneliti telah merintis dengan memanfaatkan fenol yang terdapat dalam jumlah yang cukup besar dalam *liquid tar* sebagai bahan baku polimer untuk pembuatan resin fenol formaldehid (Junming dkk., 2010; Mourant dkk., 2007). Oleh karena itu, fenol dan senyawa fenolik yang terdapat di dalam *liquid tar* hasil proses pirolisa bubuk *black liquor* merupakan bahan yang potensial untuk diaplikasikan pada industri polimer. Sementara alkohol umumnya digunakan sebagai bahan pelarut.

## KESIMPULAN

Proses pirolisa bubuk *black liquor* telah dilakukan dengan menggunakan reaktor pirolisa berbentuk *fixed bed* dengan kisaran suhu 450-600°C. Proses pirolisa menghasilkan *liquid tar*, *char* dan gas. Dari penelitian ini dapat diketahui bahwa bubuk *black liquor* mengandung 37,5% garam sulfonat, sehingga hanya 62,5% biomassa yang terdekomposisi menjadi *liquid tar*, *char* dan gas. *Liquid tar* mengandung senyawa-senyawa kimia hasil dekomposisi dari biomassa yang terkandung di dalam bubuk *black liquor*. Dari hasil yang diperoleh, *liquid tar* mengandung fenol, alkohol dan alkil fenol masing-masing sebesar 22,9; 17,1; dan 15,4%. Dengan hasil tersebut dapat dikatakan bahwa senyawa fenolik dan alkohol dapat di-*recovery* dari bubuk *black liquor* yang diolah secara pirolisa.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Yosi Aristiawan dan Fauzan Aulia yang telah membantu dalam persiapan bahan baku *black liquor*. Kami juga berterima kasih kepada Raden Irni Fitria Angraini yang membantu analisa bahan baku. Serta terima kasih kepada Pusat Penelitian Kimia - LIPI atas penyediaan sarana dan prasarana penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alfatini, C.R., Wander, P.R., and Barreto, R.M., (2003), Prediction of the working parameters of a wood waste gasifier through an equilibrium model, *Energy Conversion Management*, 44, pp. 2763-2777.
- Balat, M., Balat, M., Kirtay, E., and Balat, H., (2009), Main routes for the thermo-conversion of biomass into fuels and chemicals. Part 1: Pyrolysis systems, *Energy Conversion and Management*, 50, pp. 3147-3157.
- Balat, M., (2011), Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway:

a review, *Energy Conversion Management*, 52 (2), pp. 858-875.

Cotana, F., Cavalaglio, G., Gelosia, M., Nicolini, A., Coccia, V., and Petrozzi, A., (2014), Production of bioethanol in a second generation prototype from pine wood chips, *Energy Procedia*, 45, pp. 42-51.

Ganeshram, V. and Achudhan, M., (2013), Synthesis and characterization of phenol formaldehyde resin as a binder used for coated abrasives, *Indian Journal of Science and Technology*, 6 (6s), pp.4814-4823.

Hank, D., Saidani, N., Namane, A., and Hellal, A., (2010), Batch phenol biodegradation study and application of factorial experimental design, *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 3 (1), pp. 123-127.

Hyman, D., Sluiter, A., Crocker, D., Johnson, D., Sluiter, J., Black, S., and Scarlata, C., (2008), Determination of acid soluble lignin concentration curve by UV-Vis spectroscopy Laboratory Analytical Procedure (LAP), *Technical Report No. NREL/TP-510-42617*, National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO., USA.

Jahirul, M.I., Rasul, M.G., Chowdhury, A.A., and Ashwath, N., (2012), Biofuels production through biomass pyrolysis - a technological review, *Energies*, 5, pp. 4952-5001.

Junming, X., Jianchun, J., and Wei, L., (2010), Preparation of novolaks using phenolic rich components as partial substitute of phenol from biomass pyrolysis oils, *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*, 24(2), pp. 251-257.

Kang, S., Li, X., Fan, J., and Chang, J., (2013), Hydrothermal conversion of lignin: a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, pp. 546-558.

Leung, D.Y.C., Yin, X.L., and Wu, C.Z., (2004), A review on the development and commercialization of biomass gasification technologies in China, *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 8, pp. 565-580.

Limayem, A. and Ricke, S.C., (2012), Lignocellulosic biomass for bioethanol production: current perspectives, potential issues and future prospects, *Progress in Energy and Combustion Science*, 38 (4), pp. 449-467.

Mourant, D., Riedl, B., Rodrigue, D., Yang, D.-Q., and Roy, C., (2007), Phenol formaldehyde pyrolytic oil resins for wood preservation: a rheological study, *Journal of Applied Polymer Science*, 106(2), pp.1087-1094.

Nour, M.H., Smith, E.H., and Walther, J.V., (2004), Spectroscopic evidence of silica-lignin complexes: implications for treatment of non wood pulp wastewater, *Water Science and Technology*, 50(3), pp. 157-166.

Singh, R., Prakash, A., Dhiman, S.K., Balagurumurthy, B., Arora, A.K., Puri, S.K., and Bhaskar, T., (2014), Hydrothermal conversion of lignin to substituted phenols and aromatic ethers, *Bioresource Technology*, 165, pp. 319-322.

Sluiter, A., Hames, B., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluiter, J., and Templeton, D., (2008), Determination of ash in biomass: Laboratory Analytical Procedure (LAP), *Technical Report No. NREL/TP-510-42622*, National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO., USA.

Sluiter, A., Hyman, D., Payne, C., and Wolfe, J., (2008), Determination of insoluble solids in pretreated biomass material: Laboratory Analytical Procedure (LAP), *Technical Report No. NREL/TP-510-42627*, National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO., USA.

Sluiter, A. and Sluiter, J., (2008), Determination of starch in solid biomass samples by HPLC: Laboratory Analytical Procedure (LAP), *Technical Report No. NREL/TP-510-42624*, National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO., USA.

Venderbosch, R.H. and Prins, W. (2010), Review: Fast pyrolysis technology development. *Biofuel*, 4, pp. 178-208.