

## **PENGARUH TEMPERATUR DAN UKURAN PARTIKEL BIOMASSA TERHADAP *BIO-OIL* HASIL PIROLISIS AMPAS TEBU / *BAGGASE***

**Ariany Zulkania**

*Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia,  
Jl.Kaliurang Km.14,5, Sleman, Yogyakarta, 55584  
E-mail: zulkania1@yahoo.com*

### **ABSTRACT**

*The bio-oil production from baggase using pyrolysis process was investigated in this study. A fixed bed reactor was utilized to investigate the effect of pyrolysis temperature and biomass particle size on the yield of bio-oil, tar, biochar and gas and properties of bio-oil. The pyrolysis temperature was ranging from 450 to 550°C, while variations of particle size were -20+30 Mesh and -30+40 Mesh. The operation conditions of the pyrolysis were 15 minutes of resident time, 25°C/minute of heating ramp and 0.5 L/min of N<sub>2</sub> flowrate. Optimum conditions obtained for the maximum bio-oil yield (28.11 %wt) were 550°C and -30+40 Mesh of particle size. However, pyrolysis for -20+30 Mesh of biomass particle size had optimum temperature on 500°C which had 27.89%wt of bio-oil yield.*

*On the other hand, all bio-oils were characterized in detail by determining their density, viscosity, pH, acetic acid content and heating value. Bio-oils produced have the following properties: density of 1.0667-1.0867 gr/ml, viscosity of 1.3034-1.7821 cP, pH of 2.3835-2.7865, acetic acid content of 0.4320-0.5600 mg/ml bio-oil, dan heating value of 9.3168-10.8173 MJ/kg. The highest heating value is contented by bio-oil produced with 550°C of temperature pyrolysis and -30+40 Mesh of biomass particle size.*

*Keywords : Baggase, Pyrolysis, Bio-Oil, Heating Value.*

## **1. PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Kebutuhan energi di dunia semakin hari semakin meningkat seiring pertumbuhan populasi manusia. Akan tetapi hal ini tidak diimbangi dengan peningkatan ketersediaan sumber energi yang sebagian besar masih dipenuhi dari bahan bakar fosil. Energi alternatif menjadi pilihan untuk pemenuhan ketersediaan energi tersebut. Pemerintah terus mengoptimalkan sumber - sumber energi alternatif sehingga ketahanan energi nasional dapat direalisasikan. Pengembangan sumber energi baru dan terbarukan (EBT) terus dioptimalkan untuk mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil. Prospek pemanfaatan EBT sangat besar dan beragam. Saat ini, berdasarkan Data Cadangan dan Produksi Energi Terbarukan Indonesia 2007, pemanfaatan EBT baru mencapai 5,921 MW (3,64%) dari total potensi sebesar 162,2770 MW (ESDM, 2015).

Sumber energi baru dan terbarukan yang masih melimpah di Indonesia salah satunya adalah biomassa. Potensi biomassa di Indonesia mencapai 32,654 MW, sementara kapasitas terpasang adalah 1,1716 MW (ESDM, 2015). Dibandingkan dengan energi terbarukan lainnya, proses konversi energi biomassa terbilang lebih murah (*The Japan Institute of Energy*, 2008).

Biomassa sering diterjemahkan sebagai *bioresources* atau sumber daya yang diperoleh dari hayati. Basis sumber daya alam meliputi ribuan spesies tanaman daratan dan lautan, berbagai sumber pertanian, perhutanan, limbah residu dari proses industri, dan kotoran hewan (*The Japan Institute of Energy*, 2008). Biomassa merupakan sumber daya alam terbaharui dan energi yang diperoleh dari biomassa disebut energi terbarukan.

Biomassa dapat ditransfer menjadi bahan bakar berenergi tinggi dengan proses *biochemical* (fermentasi) atau

*thermochemical*. Proses *biochemical* lebih selektif dan memerlukan waktu reaksi yang lama, tetapi tidak memerlukan energi dari luar yang sangat besar. Hal ini berbanding terbalik dengan proses *thermochemical* yang memerlukan energi luar yang besar tetapi waktu reaksi tidak lama. Produk yang dihasilkan dari proses *thermochemical* ini juga lebih beragam (Montoya, dkk., 2015; Basu, 2010). Beberapa proses *thermochemical* yang dikenal antara lain *combustion*, *pyrolysis*, *gasification* and *liquefaction* (Basu, 2010).

Dalam proses pirolisis, biomassa dipanaskan dalam kondisi bebas oksigen untuk menghasilkan bio-arang, *bio-oil* dan gas yang tak terembunkan, dimana hasilnya sangat bergantung pada kondisi operasinya. Beberapa parameter penting dalam proses pirolisis : Kecepatan pemanasan, temperatur akhir (suhu pirolisis) dan waktu tinggal dalam zona reaksi (Basu, 2010).

Salah satu energi alternatif hasil dari proses pirolisis adalah *bio-oil* atau asap cair dari biomassa, seperti tongkol jagung, kayu, kulit kayu atau biomassa lainnya yang mengandung selulosa yang dapat diolah menjadi energi alternatif dan limbah organik (Hambali, dkk., 2007; Wibowo, 2013 ; Sukarjo, dkk., 2014 ). *Bio-oil* mengandung karbon, hidrogen dan oksigen dengan sedikit kandungan sulfur. Komponen organik terbesar dalam *bio-oil* yaitu lignin, alkohol, asam organik, dan karbonil. Karakteristik tersebut menjadikan *bio-oil* sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan. *Bio-oil* adalah bahan bakar cair berwarna gelap beraroma seperti asap dan memiliki nilai kalor (*heating value*) yang lebih besar dibandingkan bahan bakar oksigenasi lainnya (seperti metanol) dan nilainya hanya sedikit lebih rendah dibandingkan dengan minyak diesel dan minyak bahan bakar lainnya (Hambali, dkk, 2007).

Beberapa kajian pirolisis untuk menghasilkan *bio-oil* telah dilakukan. Sukarjo, dkk. (2014) meneliti pengaruh temperatur terhadap pirolisis serbuk gergaji. Temperatur divariasikan dari 200°C sampai 500°C dan menggunakan ukuran serbuk kayu

random. Hasil kajiannya menunjukkan untuk rendemen *bio-oil* terbanyak terjadi pada temperature 400°C sebesar 29%. Selain itu, kajian pengaruh temperatur terhadap hasil *bio-oil* dari proses pirolisis tempurung kelapa dan cangkang kopi juga dilakukan oleh Hidayat dan Qomaruddin (2015), dimana kenaikan temperatur dari 150°C sampai 250°C dapat menaikkan kapasitas asap cair/*bio-oil* sampai 56% untuk tempurung kelapa dan 213% untuk cangkang kopi. Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan temperatur yang sesuai dapat menyebabkan pembakaran yang lebih sempurna sehingga hasil dapat naik secara signifikan.

Bio oil dari ampas tebu/*baggage* yang telah diteliti antara lain oleh Montoya, dkk. (2015) yang menggunakan *baggage residu* dari pabrik-pabrik gula di Colombia. *Baggage* berukuran 0,5125 mm dan 0,075 mm dipirolisis cepat dalam reactor *fluidized bed* dengan variasi temperatur 500°C dan 550 °C, kecepatan gas 20-50 L/men, kecepatan umpan 2,0 – 5,3 kg/jam, dan penambahan zat *inert* dengan ukuran 0,2 – 0,512 mm. Studi menunjukkan bahwa arang dan *bio oil* yang dihasilkan dari proses pada temperatur 500°C lebih tinggi dibanding yang 550°C. Perbedaan ukuran partikel biomassa menunjukkan bahwa partikel dengan ukuran 0,075 mm menghasilkan *bio oil* lebih tinggi dan arang lebih rendah dibandingkan dengan partikel berukuran 0,5125 mm.

Studi lain yang menggunakan ampas tebu sebagai biomassa dilakukan oleh Erawati, dkk (2013). Pirolisis ampas tebu menjadi *bio oil* dilakukan dalam reaktor pirolisis dengan kecepatan pemanasan yang divariasikan dari 100 Volt sampai 120 Volt dan variasi diameter biomassa dari -20-25 Mesh sampai -40 Mesh. Dari kajian menunjukkan bahwa *yield bio-oil* turun dari 40,32% pada diameter -20+25 Mesh menjadi 34,16% pada diameter partikel -40 mesh. Sedangkan semakin besar voltase kecepatan pemanasan (dari 100 Volt ke 120 Volt) *yield* dari *bio oil* semakin besar (33,31% menjadi 36,10%).

Proses pirolisis ampas tebu yang dibuat pelet dengan dicampur molase dilakukan oleh Goncalves dkk (2016). Pirolisis dilakukan dengan kecepatan pemanasan 14 °C/menit sampai temperatur 850°C. Waktu tinggal pada temperatur pirolisis selama 1 jam. Kajian menunjukkan bahwa bio oil yang dihasilkan sebanyak 41,11% dan gas sebesar 32,99%.

Kajian ini ditujukan untuk melihat pengaruh temperatur dan ukuran partikel biomassa ampas tebu terhadap *bio-oil* hasil pirolisis pada reaktor *fixed-bed*. Variasi temperatur yang diambil 450°C, 500°C dan 550°C. Sedangkan variasi ukuran partikelnya adalah -20+30 Mesh dan -30+40 Mesh.

## 1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui temperatur optimum, yang dapat menghasilkan rendemen *bio-oil* dari ampas tebu yang terbaik.
2. Mengetahui ukuran padatan biomassa yang paling sesuai untuk proses pirolisis agar menghasilkan nilai kalor *bio-oil* yang terbaik.

## 1.3. Hipotesis

1. Temperatur optimum pirolisis ampas tebu menjadi *bio-oil* berada di rentang temperature 450°C sampai 500°C.
2. Ukuran partikel material biomassa berpengaruh pada *yield* / rendemen dan sifat *bio-oil*.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Bahan dan Alat

Bahan baku dari limbah industri berupa ampas tebu yang didapat dari pabrik gula Madukismo Yogyakarta. Sedangkan alat - alat yang akan digunakan yaitu grinder, reaktor *fixed-bed* dengan ukuran diameter 7,5 cm dan tinggi 23,5 cm, *furnace*, termokopel, *oven*, timbangan analitik, tabung serta regulator gas N<sub>2</sub>, *condenser*, piknometer, *viskometer* Oswald, gelas piala, 1 set buret, *Erlenmeyer*, labu ukur, ayakan -20+30 Mesh dan -30+40 Mesh, *stopwatch*, pH meter dan

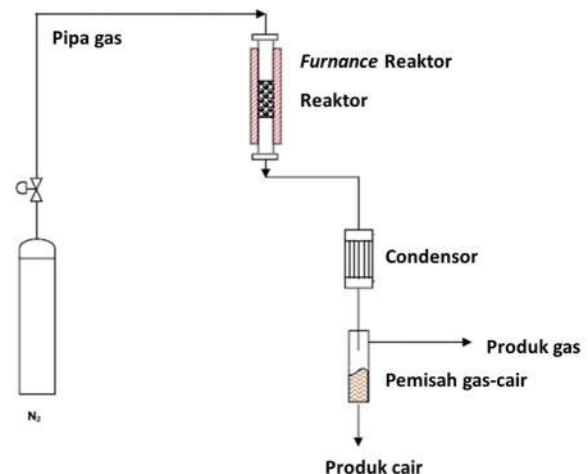
Bom-*Calorimeter* Gallenkamp. Rangkaian alat pirolisis dapat dilihat pada gambar 1.

### 2.2. Pelaksanaan Penelitian

Proses pirolisis ampas tebu menjadi *bio-oil* akan dilakukan dengan beberapa tahap.

#### 2.2.1. Tahap Persiapan Biomassa

Pada tahap ini, ± 2 kg ampas tebu dicuci terlebih dulu untuk menghilangkan kotoran. Kemudian ampas tebu dikeringkan dengan dijemur di bawah sinar matahari kurang lebih 1-2 hari (tidak ada hujan). Kemudian ampas tebu di-grinder untuk mendapat ukuran yang dikehendaki. Pengayakan dilakukan untuk ukuran -20+30 Mesh dan -30+40 Mesh. Proses pengeringan dilakukan dengan menggunakan *oven* pada temperatur 110°C selama 1 jam. Setelah itu biomassa siap untuk digunakan pada proses pirolisis.



Gambar 1. Skema Rangkaian Alat Pirolisis (Modifikasi dari Rangkaian Alat Pirolisis Grag, dkk. (2016)).

#### 2.2.2. Proses Pirolisis Ampas Tebu Menjadi *Bio-Oil*

Biomassa yaitu ampas tebu sebanyak 90 – 110 gram dimasukkan kedalam reaktor *fixed-bed*. Reaktor dimasukkan ke dalam *furnance* yang berdiameter 20 cm dan tinggi 25 cm. Suhu di dalam reaktor diukur dengan termokopel. Kemudian dilakukan proses pirolisis dengan menambahkan / menghubungkan gas nitrogen 0,5 L/menit ke reaktor.

Reaktor dioperasikan pada temperatur 450, 500 dan 550°C, dengan 2 variasi ukuran partikel biomassa, yaitu -20+30 Mesh dan -30+40 Mesh. Kecepatan pemanasan sebesar 25°C/menit, dan waktu tinggal setelah temperatur pirolisis tercapai selama 15 menit. Proses pirolisis akan menghasilkan produk cair (*bio-oil*) akibat proses kondensasi, arang / *char* dan gas. *Bio-oil* yang didapat kemudian dianalisa sifat fisika seperti densitas, viskositas, pH, kandungan asam asetat, dan nilai kalornya.

**2.2.3. Analisis Hasil**

Hasil produk pirolisis berupa *bio-oil*, tar, arang dan gas dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Garg, dkk., 2016) :

$$Yield\ bio\ oil\ (\%) = \frac{bio\ oil\ (gr)}{biomassa\ masuk\ reaktor\ (gr)} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

$$Yield\ tar(\%) = \frac{tar\ (gr)}{biomassa\ masuk\ reaktor\ (gr)} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

$$Yield\ arang(\%) = \frac{arang\ (gr)}{biomassa\ masuk\ reaktor\ (gr)} \times 100\% \dots\dots\dots(3)$$

$$Yield\ gas\ (\%) = 1 - Y_{bio\ oil} - Y_{tar} - Y_{arang} \dots\dots\dots(4)$$

Penentuan kandungan asam asetat dengan cara titrasi *bio-oil* dengan menggunakan larutan NaOH 0,1 N. Adapun perhitungan kandungan asam asetat (mg/ml) adalah sebagai berikut :

$$\frac{ml\ titrasi\ x\ N\ NaOH\ x\ BM\ Asam\ asetat}{volume\ asap\ cair\ (ml)} \quad (5)$$

Dimana :

- ml titrasi : volume NaOH yang terpakai.
- N NaOH : Normalitas larutan (0,1 N).
- BM Asam Asetat : 60 gr/mol.

Nilai kalor diukur dengan bom-*Calorimeter Gallenkamp* SG92/03/006 di laboratorium Perpindahan Massa dan Perpindahan Massa PAU UGM.

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pirolisis biomassa ampas tebu dilakukan pada tiga variasi temperatur, yaitu 450, 500 dan 550°C, untuk masing-masing ukuran partikel biomassa. Sedang variasi ukuran partikel adalah -20+30 Mesh dan -30+40 Mesh. Tabel 1 menunjukkan hasil penimbangan dan perhitungan produk-produk hasil pirolisis.

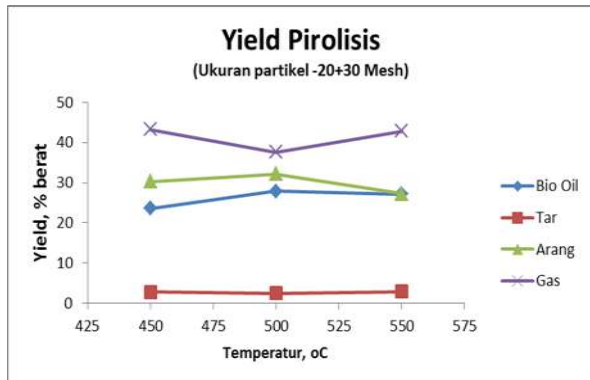
Hasil dari proses pirolisis ada 3 tipe yaitu ; padatan (arang / *biochar*), cairan dan gas. Dua fraksi cairan yang didapat dari proses penyaringan cairannya adalah fraksi yang larut dalam air (*bio-oil*) dan fraksi yang tidak larut dalam air (tar) (Bertero, dkk., 2014).

Tabel 1. Rendemen / *yield* Hasil Pirolisis Biomassa Ampas Tebu

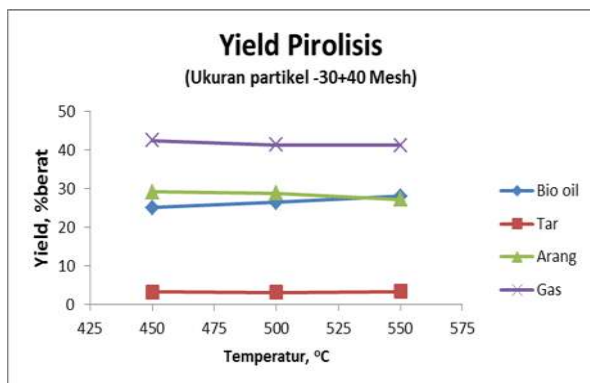
Produk	Ukuran partikel (Mesh)	Temperatur (°C)		
		450	500	550
<i>Bio-oil</i> (% brt)	-20+30	23,636	27,889	27,111
	-30+40	25,091	26,500	28,111
Tar (% brt)	-20+30	2,818	2,444	2,889
	-30+40	3,273	3,200	3,444
Arang (% brt)	-20+30	30,273	32,111	27,222
	-30+40	29,182	28,900	27,222
Gas (% brt)	-20+30	43,273	37,556	42,778
	-30+40	42,454	41,400	41,222

Yield *bio-oil* terbesar dihasilkan pada temperatur 550°C dengan ukuran partikel biomassa -30+40 Mesh, yaitu sebesar 28,111%. Sedangkan hasil yang terkecil pada temperatur 450°C dan ukuran partikel -20+30 Mesh sebesar 23,636%.

### 3.1. Pengaruh Temperatur Terhadap Yield Bio-oil



Gambar 2. Efek Temperatur Pada Hasil Pirolisis untuk Ukuran Partikel Biomassa - 20+30 Mesh (Uk 1).



Gambar 3. Efek Temperatur Pada Hasil Pirolisis Untuk Ukuran Partikel Biomassa - 30+40 Mesh (Uk 2).

Pengaruh temperatur terhadap hasil pirolisis dapat dilihat pada gambar 2 dan 3, dimana *yield* dari *bio-oil*, tar, dan arang didapat dengan cara menimbang dan kemudian dihitung dengan persamaan (1) sampai (3), sedangkan *yield* gas dihitung dengan persamaan (4) yang merupakan hasil selisih dari 3 produk yang lain.

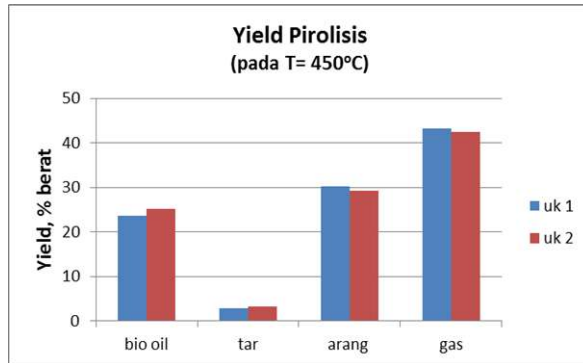
Yield *bio-oil* untuk ukuran partikel biomassa -20+30 Mesh bervariasi dari 23,636% sampai 27,889%. Seperti terlihat pada gambar 2, temperatur optimum untuk mendapatkan *bio-oil* terbanyak pada ukuran ini adalah pada 500°C.

Begitu pula dengan arang yang dihasilkan terbanyak pada 500°C. Tar relatif sama pada ketiga temperatur. Sedangkan gas menunjukkan bahwa pada temperatur 500°C terjadi hasil yang paling sedikit dibandingkan pada temperatur 450°C dan 550°C. Perbedaan hasil *bio-oil* pada temperatur 450°C dan 500°C karena meningkatnya reaksi *devolatilisasi* pada temperatur yang lebih tinggi karena energi tersedia lebih banyak dan hal ini menyebabkan terputusnya ikatan dalam senyawa organik sehingga meningkat hasil cairannya. Temperatur 500°C ini menjadi kondisi dimana hasil *bio-oil* yang terbanyak. Di atas temperatur ini, *bio-oil* dan arang berkurang sedang hasil gas meningkat karena terjadi reaksi *cracking* sekunder dari uap pirolisis dan kemungkinan terjadi *dekomposisi* sekunder arang.

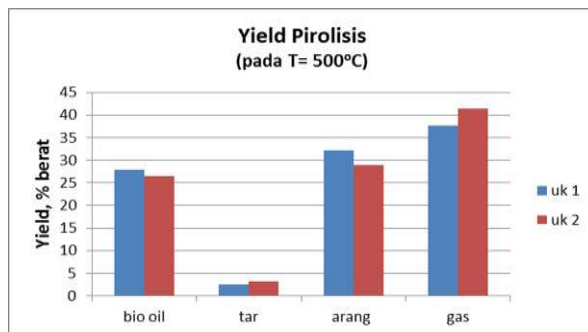
Fenomena yang berbeda terlihat pada hasil pirolisis biomassa yang berukuran -30+40 Mesh. Dari gambar 2 terlihat bahwa *yield bio-oil* cenderung masih terus meningkat pada temperatur 550°C. Dengan menaikkan temperatur pirolisis di atas 550°C dapat terlihat temperatur optimum pirolisis untuk menghasilkan *bio-oil* yang terbanyak. Sedangkan *yield* arang dan gas cenderung sedikit menurun terus dari temperatur 450°C sampai 550°C. Pada ukuran partikel biomassa yang lebih kecil ini, kenaikan temperatur menyebabkan reaksi *devolatilisasi* yang terus menerus dengan kenaikan temperatur dan pada temperatur yang lebih tinggi karena energi tersedia lebih banyak menyebabkan terputusnya ikatan dalam senyawa organik.

### 3.2. Pengaruh Ukuran Partikel Biomassa Terhadap Yield Bio-oil

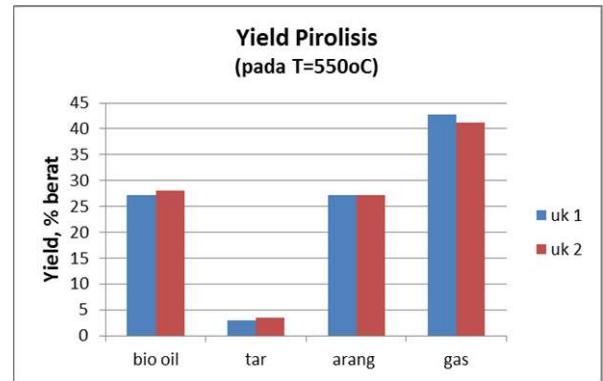
Variasi dua ukuran partikel biomassa dilakukan pada tiga temperatur.



Gambar 4. Efek Ukuran Partikel Biomassa Pada Temperatur 450°C (Uk 1= -20+30 Mesh; Uk 2= -30+40 Mesh).



Gambar 5. Efek Ukuran Partikel Biomassa Pada Temperatur 500°C (Uk 1= -20+30 Mesh; Uk 2= -30+40 Mesh)



Gambar 6. Efek Ukuran Partikel Biomassa Pada Temperatur 550°C (Uk 1= -20+30 Mesh; Uk 2= -30+40 Mesh).

Dari gambar 4, 5 dan 6 terlihat bahwa pada temperatur 500°C, ukuran partikel biomassa yang lebih besar (uk 1, -20+30 Mesh) akan memberikan *yield bio-oil* lebih besar daripada ukuran partikel dibawahnya (-30+40 Mesh). Tetapi pada temperatur di bawah dan di atas 500°C, ukuran partikel biomassa yang lebih kecil akan menghasilkan *yield bio-oil* yang lebih besar.

### 3.3. Karakteristik Produk Bio-Oil

Tabel 2 menunjukkan beberapa sifat dari produk *bio-oil*.

Tabel 2. Karakteristik *Bio-Oil* dari Ampas Tebu

Parameter	Ukuran Partikel (Mesh)	Temperatur (oC)		
		450	500	550
Densitas (gr/ml)	(-20+30)	1,0867	1,0667	1,0867
	(-30+40)	1,0800	1,0767	1,0700
Viskositas (cP)	(-20+30)	1,6773	1,3034	1,7821
	(-30+40)	1,4673	1,4282	1,5139
pH	(-20+30)	2,7865	2,7040	2,3835
	(-30+40)	2,4735	2,5875	2,4925
Asam Asetat (mg/ml)	(-20+30)	0,4860	0,4320	0,5600
	(-30+40)	0,5300	0,5200	0,5060
Nilai kalor (MJ/kg)	(-20+30)	9,3168	10,0958	10,4203
	(-30+40)	9,7162	10,2729	10,8173

Densitas merupakan sifat fisis penting yang berhubungan dengan proses transportasi. Hasil pengujian berat jenis / densitas *bio-oil* yang dihasilkan pada tiga

variasi temperatur dan dua variasi ukuran partikel biomassa berkisar antara 1,0667 sampai 1,0887 gr/ml. Hasil ini lebih rendah dari densitas *bio-oil* hasil pirolisis kayu

sengon yang berkisar antara 1,098-1,166 gr/ml pada temperatur pirolisis 550-600°C dan ukuran partikel 20, 40 dan 60 Mesh (Wibowo dan Hendra, 2015). Tetapi sedikit lebih tinggi dari densitas *bio-oil* hasil pirolisis ampas tebu dengan ukuran bervariasi dari -20+25 Mesh sampai -40 dan dimana densitas berkisar antara 1,03-1,50 gr/ml (Erawati, 2013).

Tingginya berat jenis *bio-oil* dipengaruhi oleh banyaknya senyawa dalam *bio-oil* yang memiliki berat molekul tinggi. Densitas untuk *bio-oil* dari partikel berukuran lebih besar (-20+30 Mesh), menunjukkan yang terkecil pada suhu 500°C. Hal ini terjadi pada suhu optimum untuk mendapatkan rendemen *bio-oil* yang terbesar (Tabel 1 dan Gambar 2). Sedangkan *bio-oil* dari partikel biomassa berukuran lebih kecil (-30+40 Mesh), menunjukkan densitas yang terus mengecil dengan naiknya temperatur. Hal ini sejalan dari kecenderungan rendemen *bio-oil*-nya, dimana dengan naiknya temperatur dari 450°C sampai 550°C, rendemen *bio-oil* masih terus meningkat.

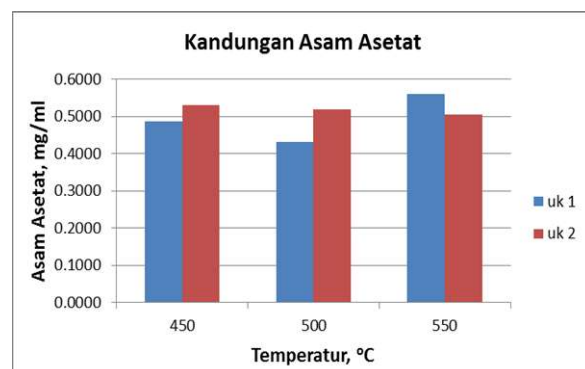
Viskositas dari *bio-oil* yang diuji memiliki kisaran nilai 1,3034 cP sampai 1,7821 cP. Viskositas tertinggi terjadi pada temperatur 550°C dengan ukuran partikel biomassa -20-30 Mesh. Sedangkan viskositas terendah terjadi pada pirolisis pada temperatur 500°C dengan ukuran partikel biomassa -20+30 Mesh.

*Bio-oil* dari ampas tebu hasil kajian memiliki nilai pH berkisar dari 2,3835 sampai 2,7865, pH tertinggi didapat pada saat temperatur 450°C dan ukuran partikel -20+30 Mesh, sedangkan pH terendah didapat pada temperatur 550°C dan ukuran partikel -20+30 Mesh. Keasaman yang tinggi disebabkan adanya asam asetat dan asam lainnya akibat proses pirolisis yang memecah selulosa dan lignin serta zat ekstraktif yang bersifat asam. Nilai pH hasil pengujian sesuai pendapat Easterly (2002) bahwa keasaman *bio-oil* cukup tinggi yaitu antara 2,5-3,0 dan mensyaratkan penanganan penyimpanan *bio-oil* menggunakan bahan

yang tahan karat, seperti *stainless steel*, gelas kaca, plastik, dan *fiberglass*.

Keasaman yang tinggi membuat *bio-oil* hanya dapat digunakan sebagai bahan bakar langsung seperti boiler, penggunaan untuk mesin tidak disarankan karena dapat menyebabkan mesin berkarat akibat kandungan asam yang tinggi. Untuk dapat digunakan sebagai bahan bakar mesin, harus dilakukan *upgrading* dengan beberapa alternative cara seperti dikaji oleh Xiu dan Shahbazi (2012) antara lain *hydrotreating*, *hydro cracking*, *steam reforming* dan lain - lain, dimana senyawa dengan berat molekul tinggi akan terpecah menjadi senyawa alkana.

Kandungan asam yang tinggi dapat terlihat dari tabel 2 dan gambar 7, dimana *bio-oil* yang dihasilkan dari pengujian memiliki kisaran kandungan asam asetat sebesar 0,4320 mg/ml – 0,5600 mg/ml. Kandungan asam asetat dalam *bio-oil* tergantung pada bahan biomasanya, umumnya kandungan antara 15-59% berat (Bertero, dkk., 2014). Beberapa *bio-oil* menunjukkan bahwa kandungan asam asetatnya tinggi (Bertero, dkk., 2014; Xiujuan, dkk., 2011).



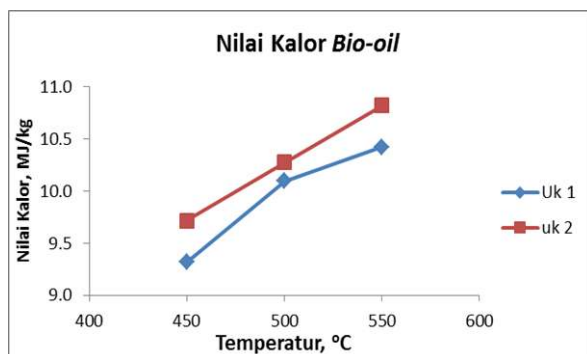
Gambar 7. Efek Temperatur dan Ukuran Partikel Pada Kandungan Asam Asetat *Bio-Oil* (uk 1: -20+30 Mesh; uk 2: -30+40 Mesh)

Dengan naiknya temperatur pada partikel ukuran -30+40 Mesh, kandungan asam asetat cenderung turun. Sedangkan pada ukuran partikel yang lebih besar (-20+30 Mesh), pada temperature 500°C kandungan asam asetat adalah yang terkecil,

dimana naik kembali ketika temperatur pirolisis naik.

Nilai kalor pembakaran menunjukkan energi kalor yang dikandung dalam tiap satuan massa bahan bakar. Nilai kalor *bio-oil* naik dengan meningkatnya temperatur pada kedua ukuran partikel biomassa. Hal ini disebabkan dengan naiknya temperatur pirolisis maka kandungan oksigen dan air dalam *bio-oil* cenderung akan semakin berkurang sehingga meningkatkan nilai kalor.

Dari ukuran partikel biomassa, terlihat bahwa *bio-oil* dari partikel dengan ukuran yang lebih kecil (Uk 2) memiliki nilai kalor yang lebih tinggi daripada Uk 1. Dengan ukuran diameter partikel lebih kecil, maka luas permukaan total dari partikel relatif akan lebih besar yang dapat menyebabkan air dan oksigen relatif lebih banyak teruapkan/terlepas dari permukaan partikel pada saat proses pirolisis.



Gambar 8. Pengaruh Temperatur dan Ukuran Partikel Pada Nilai Kalor Bio-Oil (uk 1: -20+30 Mesh; uk 2: -30+40 Mesh).

## 4. KESIMPULAN DAN SARAN

### 4.1. Kesimpulan

Proses pirolisis ampas tebu dilakukan dalam reaktor *fixed-bed* dengan ukuran diameter 7,5 cm dan tinggi 23,5 cm, yang ditempatkan dalam *furnace*, dengan tiga variasi temperatur (450, 500, dan 550°C) dan dua variasi ukuran partikel biomassa (-20+30 Mesh dan -30+40 Mesh). Rendemen *bio-oil* terbesar terjadi pada temperatur 550°C untuk partikel biomassa berukuran -30+40 Mesh.

Temperatur pirolisis optimum pada kedua ukuran partikel biomassa menunjukkan kecenderungan yang berbeda. Pada -20+30 Mesh, temperatur optimum pirolisis terjadi pada 500°C, sedangkan untuk ukuran partikel biomassa yang lebih kecil (-30+40 Mesh) temperatur optimum masih dimungkinkan di atas 550°C.

Sifat *bio-oil* yang dihasilkan menunjukkan nilai densitas berkisar 1,0667-1,0867 gr/ml, nilai viskositas berkisar 1,3034-1,7821 cP, nilai pH berkisar 2,3835-2,7865, kandungan asam asetat berkisar 0,4320-0,5600 mg/ml *bio-oil*, dan nilai kalor berkisar 9,3168-10,8173 MJ/kg.

Nilai kalor pada kedua ukuran partikel biomassa menunjukkan hal yang sama yaitu akan naik dengan meningkatnya temperatur pirolisis.

### 4.2. Saran

Untuk penelitian selanjutnya diharapkan :

Bahan baku biomassa dikeringkan dalam *oven* dengan waktu yang lebih lama (5-8 jam) untuk menghilangkan kandungan air sebanyak mungkin, sehingga cairan hasil pirolisis akan mengandung air lebih rendah dan berimbas kepada nilai kalor yang lebih tinggi.

Dilakukan karakterisasi terhadap kandungan kimia dari *bio-oil* yang dihasilkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Basu, P, "Biomass Gasification and Pyrolysis-Practical Design and Theory", Elsevier, Burlington MA, 2010.
- Bertero, M., Gorostegui, H.A., Orrabalís, C.J., Guzman, C.A., and Calandri, E.L, "Characterization of The Liquid in The Pyrolysis of Residual Chanar and palm Fruit Biomasses", Fuel, Vol. 116, pp. 409-414, 2014.



- Easterly J.L, "Assessment of Bio-oil as A Replacement for Heating Oil", CONEG Policy Research Centre, Inc, 2002.
- Erawati, E, Sediawan, W.B, dan Mulyono, P, "Karakteristik Bio-Oil Hasil Pirolisis Ampas Tebu (*Baggase*)", Jurnal Kimia Terapan Indonesia, Vol. 15, 2, pp. 47-55, 2013.
- ESDM, "Terkait Peningkatan Pengembangan dan Pemanfaatan EBT, Pemerintah Bentuk Ditjen Baru", diakses pada tanggal 9 September 2016 dari <http://esdm.go.id/berita/323-energi-baru-dan-terbarukan/3678-terkait-peningkatan-pengembangan-dan-pemanfaatan-ebt-pemerintah-bentuk-ditjen-baru.html>, 2015.
- Garg, R, Anand, N., and Kumar, D, "Pyrolysis of Babool Seeds (*Acacia nilotica*) in A Fixed-Bed Reactor and Bio-oil Characterization", Renewable Energy, vol. 96, pp.167-171, 2016.
- Goncalves, G.C., Pereira, N.C., and Veit, M.T, "Production of Bio Oil and Activated Carbon from Sugarcane Baggase and Mollases", Biomassa and Bioenergy, Vol. 85, pp.178-186, 2016.
- Hambali, E., Mujdalipah, S., Tambunan, A.H., Pattiwiri, A.W., Hendroko, R, "Teknologi Bioenergi", Jakarta: Penerbit Agromedia Pustaka, 2007.
- Hidayat, T. Dan Qomaruddin, "Analisa Pengaruh Temperatur Pirolisis dan Bahan Biomassa Terhadap Kapasitas Hasil pada Alat Pembuat Asap Cair", Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-6 di Universitas Wahid Hasyim, Jombang, 2015.
- Montoya J.I., Valdes, C., Chejne, F., Gomez, C.A., Blanco, A., Marrugo, G., Osorio, J., Castillo, E., Aristobulo, J., and Acero, J, "Bio-Oil Production from Colombia Baggase by Fast Pyrolysis in a Fluidized Bed: an Experimental Study", Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, Vol. 112, pp. 379-387, 2015.
- Sukarjo, H., Cahyono M.S., dan Wardoyo, "Influence of Temperature to Bio-Oil Yield from Organic Waste Pyrolysis Process", Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST), Yogyakarta, 2014.
- The Japan Institute of Energy, "Buku Panduan Biomassa Asia: Paduan untuk Produksi dan Pemanfaatan Biomassa", Jepang, 2009.
- Xiu, S. dan Shahbazi, A, "Bio-oil Production and Upgrading Research: A Review", Renewable and Sustainable Energy Review, Vol. 16, pp. 4406-4414, 2012.
- Xiujuan, G., Shurong, W., Qi, W., Zuogang G., and Zhonyang, L, "Properties of Bio-oil from Fast Pyrolysis of Rice Husk", Chinese Journal of Chemical Engineering, Vol. 19, 1, pp. 116-121, 2011.
- Wibowo, S., "Karakteristik Bio-oil Serbuk Gergaji Sengon (*Paraserianthes Falcatariak L. Nielsen*) Menggunakan Proses Pirolisis Lambat", Jurnal Penelitian Hasil Hutan, Vol. 31, 4, pp. 258-270, 2013.
- Wibowo, S. dan Hendra, D, "Karakteristik Bio Oil dari Rumput Gelagah (*Saccharum Spontaneum Linn.*) Menggunakan Proses Pirolisis Cepat", Jurnal Penelitian Hasil Hutan, Vol. 3, 44, pp. 347-363, 2015.