

PENGOLAHAN SEKAM PADI MENJADI BAHAN BAKAR ALTERNATIF MELALUI PROSES PIROLISIS LAMBAT

Suyitno

ABSTRACT

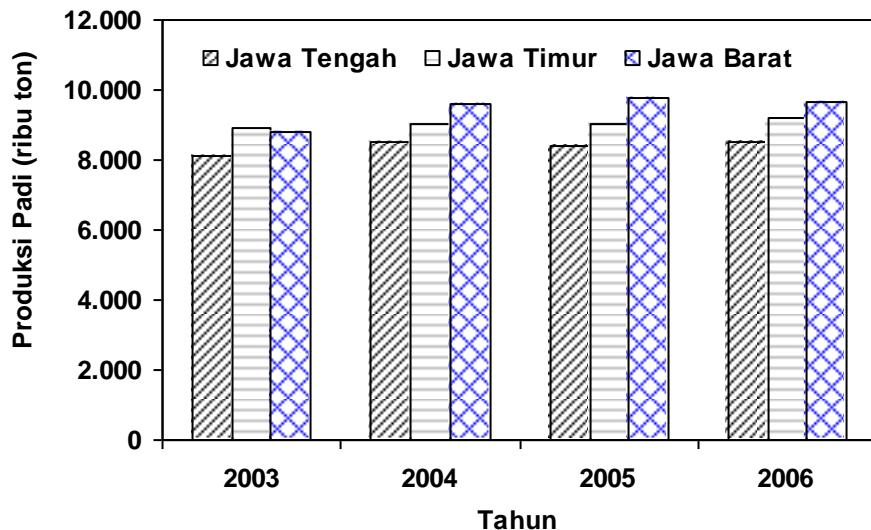
The aim of this research is to investigate the characteristic of alternative fuel obtained from slow pyrolysis of rice husk. The focus of this research is on the chemical characteristics, the physical characteristics and the performance of stove that using bio oil from slow pyrolysis of rice husk. The research was conducted experimentally in the laboratory. The construction of the slow pyrolysis reactor was an externally heating double pipe counter current flow heat exchanger. The rice husk was entered the reactor using a screw conveyor. The mass flow rate of rice husk was 5 kg/h. The reactor temperature at the wall near the flame source was controlled at 300, 400, and 500°C. The moisture contents of the rice husk were about 10,1% and 20,7%. There were three valuable products, i.e. the upper part of the bio oil, the bottom part of the bio oil, and the char. The upper part of the bio oil can be used for making bio briquette binder. The bottom part of the bio oil can be used as stove fuel after mixed with the ethanol. The char can be used as carbonization briquette. The substances in the bio oil was detected by GCMS (Gas Chromatography-Mass Spectrometry) and showed that more than 15 substances were detected. The bio oil was not stable in storage more than 7 days. The stove performance using blending of bio oil and ethanol was measured by water boiling method (WBT) and was calculated around 34,3%.

Keywords: *Rice Husk, Slow Pyrolysis, Bio Oil, Briquette*

PENDAHULUAN

Data Biro Pusat Statistik tahun 2008 menunjukkan bahwa produksi padi di Indonesia seluruhnya sekitar 55 juta ton padi. Dari total produksi padi tersebut, 50% nya diproduksi di Jawa Timur, Jawa Barat dan Jawa Tengah (Hambali, 2007) sebagaimana terlihat pada Gambar 1. Di Jawa Tengah, sebagai produsen padi ketiga setelah Jawa Barat dan Jawa Timur dihasilkan padi sebanyak 8,5 juta ton atau ekivalen dengan 1,7 juta ton sekam padi setiap tahunnya. Total potensi sekam padi di Indonesia sendiri

mencapai 13 juta ton per tahun atau setara dengan 16.500 unit PLTD berkapasitas 100 kW (Kompas, 2003). Jumlah sekam padi ini sangat melimpah dan sampai sekarang hanya sejumlah kecil saja yang dimanfaatkan untuk pembakaran dan pembuatan batu bata. Aktivitas lain pemanfaatan sekam padi adalah untuk membuat arang sekam untuk media tanaman. Bagaimanapun juga aktivitas untuk memproses sekam padi menjadi bahan bakar alternatif melalui proses pirolisis lambat masih sangat terbatas dilakukan di Indonesia.



Gambar 1. Jumlah produksi padi di Jawa Timur, Jawa Barat, dan Jawa Tengah dalam beberapa tahun terakhir (Hambali, 2007).

Menurut (Gaur & Reed, 1998) dari analisis *ultimate* dan analisis *proximate* pada sekam padi (Tabel 1) terlihat bahwa sebagian besar sekam padi terdiri dari volatil. Dengan kadar volatil yang tinggi diharapkan dapat diperoleh gas dan cairan dari proses pirolisis dalam jumlah yang banyak. Kadar karbon dan kadar oksigen dalam sekam padi juga hampir berimbang sekitar 35-38%. Ini menunjukkan bahwa dalam minyak pirolisis nantinya akan mempunyai kadar

oksigen dalam jumlah yang banyak. Kandungan belerang dalam sekam padi adalah nol. Akibatnya hasil pembakaran dari minyak pirolisis sekam padi akan lebih ramah lingkungan dibandingkan hasil pembakaran batubara. Zat silika yang terdapat dalam sekam padi mencapai 16,98% (Hambali, 2007). Nilai kalor dari sekam padi adalah sekitar 14,8 MJ/kg dan sedikit dibawah nilai kalor kayu (~ 17-20 MJ/kg).

Tabel 1. Analisis proximate dan analisis ultimate dalam sekam padi (Gaur & Reed, 1998)

| FC (%) | Volatil (%) | Abu (%) | C (%) | H (%) | O (%) | N (%) | S (%) | HHV* (MJ/kg) | HHV** (MJ/kg) |
|--------|-------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|---------------|
| 15,8 | 63,6 | 20,6 | 38,3 | 4,3 | 35,4 | 0,8 | 0 | 14,8 | 14,4 |

* Diukur

** Dihitung

Dengan menggunakan pirolisis, bahan bakar padat dapat diolah menjadi gas, cairan dan padatan. Teknologi pirolisis yang sederhana adalah pirolisis lambat. Sifat-sifat minyak pirolisis (*bio oil*) dari biomassa sangat bergantung pada jenis biomassa dan parameter operasi

seperti temperatur reaksi dan waktu tinggal biomassa dalam reaktor. Pemanfaatan secara konvensional dari *bio oil* adalah sebagai bahan bakar untuk kompor minyak skala rumah tangga. Namun demikian, sebelum minyak tersebut dapat digunakan perlu dilakukan

penelitian mengenai sifat-sifatnya. Diantara sifat-sifat utama dari bahan bakar adalah viskositas, nilai kalor, stabilitas, dan komposisi bahan penyusunnya. Selain itu, unjuk kerja dari kompor minyak skala rumah tangga dengan menggunakan minyak pirolisis juga perlu diteliti.

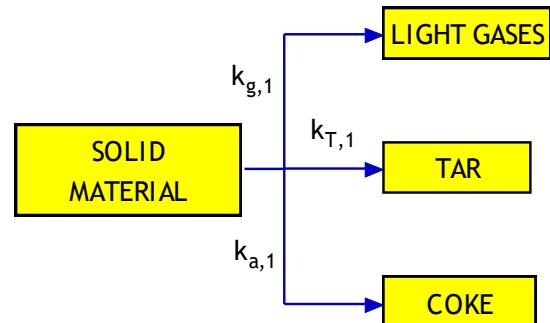
Walaupun dengan pirolisis cepat dihasilkan cairan yang lebih banyak, tetapi proses ini jauh lebih rumit dan sangat beresiko dibandingkan proses pirolisis lambat. Dengan proses pirolisis lambat hanya dihasilkan cairan sekitar 30%, tetapi 35% gas yang dihasilkan dapat dibakar langsung untuk menyediakan panas yang diperlukan pada proses pirolisis (Suyitno, 2008).

Beberapa peneliti telah mempelajari proses pirolisis baik secara eksperimen maupun secara numerik. Terdapat beberapa teknik analitik pada analisis termal yaitu analisis ultimeta dan proximate, TGA (*thermogravimetry analysis*), DTG (*differential thermogravimetry*), DTA (*differential thermal analysis*), DSC (*differential scanning calorimetry*), and TMA (*thermo mechanical analysis*) (Gaur & Reed, 1998). Reaksi yang terjadi dapat diteliti dengan melakukan perekaman perubahan massa (TGA dan DTG), perpindahan panas (DTA dan DSC), perubahan dimensi (TMA) sebagai fungsi dari waktu.

TGA telah digunakan untuk menganalisis 6 bahan bakar padat non-konvensional dari laju panas yang rendah ($5^{\circ}\text{C}/\text{min}$) sampai laju pemanasan tinggi (sebesar $900^{\circ}\text{C}/\text{min}$) (Senneca, Chirone, & Salationo, 2002). Analisis ini melibatkan pirolisis inert, pirolisis oksidatif, dan pembakaran char (Senneca, Chirone, Masi, & Salationo, 2002). Mekanisme degradasi termal didiskusikan untuk menggarisbawahi perbedaan dan persamaan antara berbagai

material. TGA dan FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) digunakan oleh De Jong, W., dkk (De Jong, Pirone, & Wojtowicz, 2003) untuk analisis dua jenis bahan bakar biomassa (*pelletised Miscanthus Giganteus and wood*). Penelitian eksperimen dilakukan dengan memvariasi laju pemanasan (10 , 30 dan $100^{\circ}\text{C}/\text{min}$) dengan temperatur akhir 900°C .

Dengan mengkombinasikan data eksperimen dan pemodelan, beberapa mekanisme reaksi pirolisis telah dikembangkan oleh beberapa peneliti. Mekanisme utama adalah konversi biomassa menjadi gas, cairan (tar) dan char (lihat Gambar 2). Berbeda dengan gas, cairan (tar) adalah gas yang dapat dikondensasi. Peneliti lain mengusulkan reaksi tar sekunder (*secondary tar reaction*) yang terjadi pada temperatur yang tinggi. Pada proses terakhir ini, tar terdekomposisi menjadi gas dan bentuk lain tar.



Gambar 2. The main mechanism of pyrolysis (Peters & Bruch, 2001; Larfeldt, Leckner, & Melaaen, 2000; Di Blasi, 2002)

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari karakteristik bahan bakar alternatif yang dihasilkan dari pirolisis lambat sekam padi. Penelitian difokuskan pada karakteristik kimia, karakteristik fisik, dan unjuk kerja kompor yang menggunakan *bio oil* dari hasil pirolisis lambat sekam padi.

MATERIAL DAN METODA

Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen di laboratorium. Material yang diteliti adalah sekam padi dengan perlakuan pirolisis lambat. Peralatan pirolisis yang dimiliki oleh laboratorium Perpindahan Panas Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UNS adalah berupa *externally heated counter current flow heat exchanger* dengan panjang reaktor 1 m. Laju massa sekam padi masuk ke dalam reaktor pirolisis dapat dikontrol sekitar 5 kg/jam. Sekam padi kemudian ditransportasikan ke dalam reaktor melalui *screw conveyor*. Panas yang diperlukan untuk proses pirolisis diperoleh dari pembakaran LPG.

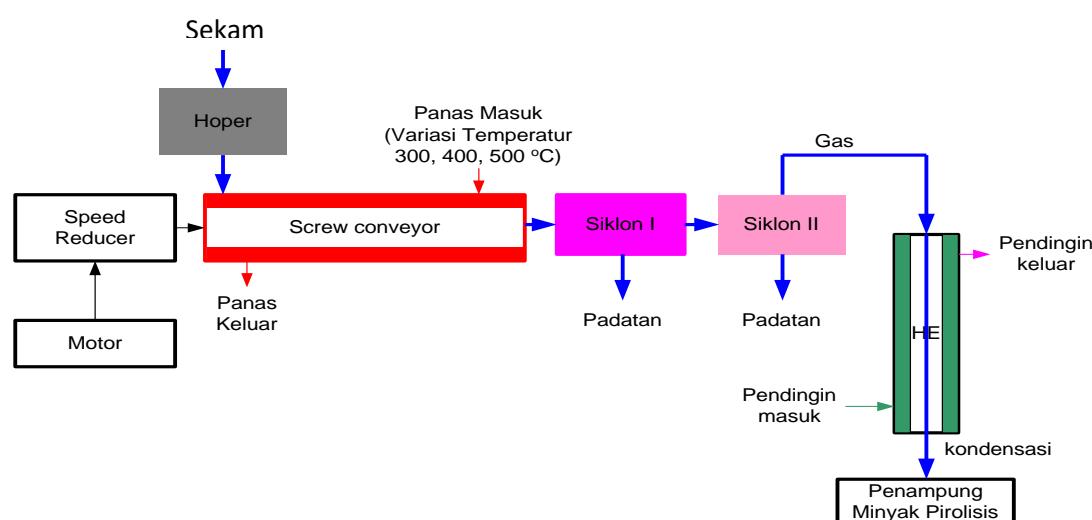
Selama pengujian eksperimen beberapa parameter utama proses pirolisis akan divariasi, yaitu temperatur gas pembakaran (300°C , 400°C , 500°C) dan variasi kadar air (sekitar 10% dan sekitar 20%). Kadar air dalam sekam padi akan diukur dengan menggunakan *moisture tester* merk AND dimana sekam padi dipanaskan sampai sekitar $100^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ sampai tidak terjadi perubahan massanya.

Gas hasil pirolisis kemudian dipisahkan dengan *char* (arang) dengan menggunakan siklon. Gas dari siklon kemudian dikondensasi dengan menggunakan unit pendingin.

Data yang diperoleh dari pengujian pirolisis sekam padi adalah laju massa sekam, waktu pengujian, massa padatan yang dihasilkan dan massa cairan yang dihasilkan. Data ini digunakan untuk menghitung jumlah produk pirolisis baik tar, gas, dan padatan.

Beberapa pengujian pasca proses pirolisis adalah analisis produk pirolisis, viskositas minyak pirolisis, kestabilan minyak pirolisis, komponen penyusun, nilai kalor, uji unjuk kerja kompor minyak dengan minyak pirolisis dan potensi pemanfaatan produk pirolisis untuk bahan bakar alternatif. Viskositas diukur menggunakan alat ukur viskometer. Kestabilan minyak pirolisis ditentukan dengan mengukur viskositas minyak pirolisis setelah disimpan beberapa hari. Komponen penyusun minyak pirolisis diukur dengan GC-MS QP2010S SHIMADZU. Nilai kalor minyak pirolisis diukur dengan bomb kalorimeter. Unjuk kerja kompor minyak pirolisis dihitung dengan menggunakan metode WBT (*water boiling test*). Unjuk kerja dihitung dari perbandingan kalor laten dan kalor laten yang diperoleh air dengan kalor masukan dari bahan bakar.

Mekanisme pengujian pirolisis sekam padi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Mekanisme pengujian pirolisis sekam padi

HASIL

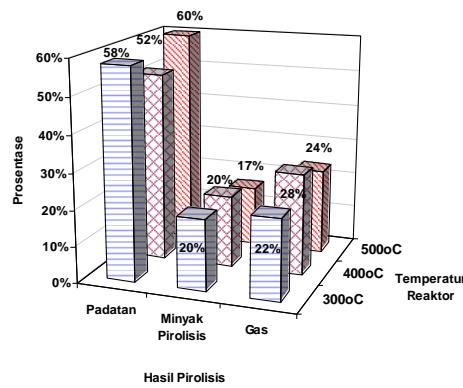
1. Produk Pirolisis

Bahan baku untuk pirolisis berupa sekam padi pertama kali diukur kadar air dan nilai kalornya. Pengujian *moisture content* dilakukan untuk mengetahui kadar air yang ada di dalam sekam padi. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *moisture analyser* merek AND pada suhu 105°C hingga laju penguapannya 0,05%/menit. Hasil pengukuran kadar air sekam padi yang digunakan selama pengujian adalah sekitar 10,1% dan 20,7% sebagaimana terlihat pada Tabel 1. Harga nilai kalor sekam padi dari pengujian sekitar 15,5 MJ/kg.

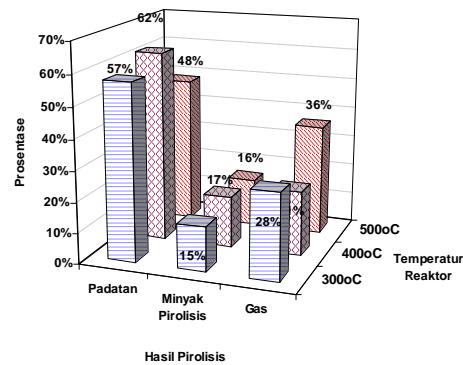
Tabel 1. Kadar air dan nilai kalor sekam padi

| Kadar Air | | Nila Kalor MJ/kg |
|------------------------|-----------------------|---------------------|
| Sekam Kering (%) | Sekam Basah (%) | |
| 10,10 | 20,7 | 15,5 |

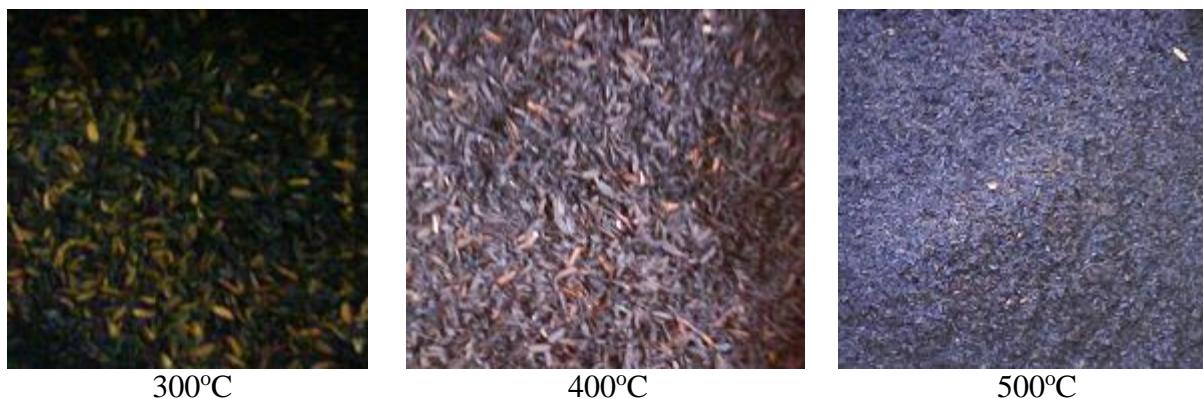
Dengan reaktor pirolisis lambat yang dikembangkan di Lab. Perpindahan Panas Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UNS, pemasukan sekam adalah 5 kg/jam. Pada pengujian dengan kapasitas pemasukan sekam padi adalah 5 kg/jam dengan kadar air yang digunakan adalah 10,1% dan dilanjutkan dengan kadar air 20,7%. Temperatur reaktor (yaitu temperatur dinding bagian belakang dekat dengan pusat api) divariasikan dari 300°C, 400°C, dan 500°C. Produk pirolisis dan padatan hasil pirolisis dapat dilihat pada Gambar 2, Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5.



Gambar 2. Hasil pirolisis sekam padi pada kapasitas 5 kg/jam, kadar air 10,1%



Gambar 3. Hasil pirolisis sekam padi pada kapasitas 5 kg/jam, kadar air 20,7%



Gambar 4. Padatan hasil pirolisis sekam padi pada kapasitas 5 kg/jam, kadar air 10,1%.



Gambar 5. Padatan hasil pirolisis sekam padi pada kapasitas 5 kg/jam, kadar air 20,7%.

2. Viskosit s

Data viskositas dari minyak pirolisis hasil pirolisis lambat sekam padi sesaat setelah diproduksi dari reaktor pirolisis dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Viskositas minyak pirolisis

| Laju massa sekam | T_wall | Kadar Air Sekam | Viskositas minyak pirolisis (cP) |
|------------------|--------|-----------------|----------------------------------|
| 5 kg/jam | 300°C | 10,1% | 1,65 |
| 5 kg/jam | 400°C | 10,1% | 0,82 |
| 5 kg/jam | 500°C | 10,1% | 0,82 |
| 5 kg/jam | 300°C | 20,7% | 0,82 |
| 5 kg/jam | 400°C | 20,7% | 0,82 |
| 5 kg/jam | 500°C | 20,7% | 0,83 |

3. Kestabilan

Data kestabilan minyak pirolisis berupa nilai viskositas setelah penyimpanan beberapa hari dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data viskositas setelah penyimpanan beberapa hari

| Sampel | Laju Massa Sekam | T_wall | Kadar Air | Lama Disimpan (hari) | Viskositas minyak pirolisis (cP) |
|--------|------------------|--------|-----------|----------------------|----------------------------------|
| I | 5 kg/jam | 300°C | 10,1% | 16 | 1,65 |
| II | 5 kg/jam | 400°C | 10,1% | 22 | 49,91 |
| III | 5 kg/jam | 500°C | 10,1% | 11 | 0,82 |
| VII | 5 kg/jam | 300°C | 21% | 5 | 0,82 |
| VIII | 5 kg/jam | 400°C | 20% | 11 | 4,98 |
| IX | 5 kg/jam | 500°C | 20% | 14 | 3,29 |

4. Unsur Penyusun

Data unsur penyusun minyak pirolisis dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Data unsur penyusun minyak pirolisis pada pengujian kapasitas 5 kg/jam, MC 10,1%.

| Nama Unsur Penyusun | MW | % |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------|
| Acetic Acid (CAS) Ethylic Acid | 60 | 14,51 |
| Phenol, 4-ethyl (CAS) p-Ethylphenol | 122 | 9,80 |
| Phenol (CAS) Izal | 94 | 8,55 |
| Phenol, 4-methoxy (CAS) Hqmme | 124 | 8,23 |
| 2-Furancarboxaldehyde (CAS) Furfural | 96 | 7,14 |
| 2,3-Dihydro-benzofuran atau Benzofuran, 2,3-dihydro-(CAS) 2,3-Dihydrobenzofuran | 120 | 6,89 |
| Phenol, 3-methyl- | 108 | 6,47 |
| 2-methoxy-4-methylphenol | 138 | 4,19 |
| Phenol, 2-methoxy-4-(2-propenyl)-(CAS) Eugenol | 164 | 3,95 |
| 2-Furanmethanol (CAS) Furfuryl alcohol | 98 | 3,48 |
| Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-(CAS) p-Ethylguaiacol | 152 | 3,48 |
| 1,2-Cyclopentanedione, 3-methyl- | 112 | 3,13 |
| Phenol, 2-methyl | 108 | 2,91 |
| Hexadecanoic Acid (CAS) Palmitic Acid | 256 | 2,88 |
| Phenol, 4-ethenyl-2-methoxy | 150 | 2,59 |
| 2-Propanone, 1-hydroxy-(CAS) Acetol | 74 | 2,33 |
| 2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl-2-(2-pentenyl) | 164 | 2,07 |
| 5-methyl furfural | 110 | 1,90 |
| Phenol, 2,6.dimethoxy-4-(2-propenyl)-(CAS) 4-Allyl-2,6-dimethoxyphenol | 194 | 1,38 |
| 2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl | 96 | 1,01 |
| Hexadecane (CAS) n-Hexadecane | 226 | 0,75 |
| Hexadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl palmitate | 270 | 0,52 |
| 1-Pentadecene (CAS) Pentadec-1-ene | 210 | 0,45 |
| Cinerin I; (R)-3-(but-2-enyl)-2-methyl-4-oxocyclopent-2-enyl(R)-trans-chrysanthermate | 330 | 0,4 |

| | | | |
|----------------------------------------------------------------|----------|-----|------|
| Benzene, (1-methylene-2-propenyl)-(CAS) 2-Phenyl-1,3-butadiene | C10H10 | 130 | 0,38 |
| Furan,2,5-dymethyl | C6H8O | 96 | 0,35 |
| Oleic Acid | C18H34O2 | 282 | 0,26 |

Tabel 5. Unsur penyusun minyak pirolisis setelah disimpan lebih dari 1 bulan (bagian atas) dari sampel kapasitas 5 kg/jam dan MC 20,7%.

| Nama Unsur Penyusun | MW | % | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------|-------|
| Acetic Acid (CAS) Ethylic Acid | C2H4O2 | 60 | 11,03 |
| Phenol, 4-methoxy (CAS) Hqmme | C7H8O2 | 124 | 10,38 |
| Phenol, 4-ethyl (CAS) p-Ethylphenol | C8H10O | 122 | 7,99 |
| 2,3-Dihydro-benzofuran atau Benzofuran, 2,3-dihydro-(CAS) 2,3-Dihydrobenzofuran | C8H8O | 120 | 7,56 |
| Phenol, 2-methoxy-4-(2-propenyl)-(CAS) Eugenol | C10H12O2 | 164 | 6,6 |
| 2-methoxy-4-methylphenol | C8H10O2 | 138 | 6,36 |
| 2-Furancarboxaldehyde (CAS) Furfural | C5H4O2 | 96 | 5,54 |
| Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-(CAS) p-Ethylguaiacol | C9H12O2 | 152 | 5,37 |
| Phenol, 4-ethenyl-2-methoxy | C9H10O2 | 150 | 5,19 |
| Phenol (CAS) Izal | C6H6O | 94 | 4,69 |
| Phenol, 3-methyl- | C7H8O | 108 | 3,97 |
| 2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl-2-(2-pentenyl) | C11H16O | 164 | 2,9 |
| 2-Propanone, 1-hydroxy-(CAS) Acetol | C3H6O2 | 74 | 2,62 |
| Hexadecanoic Acid (CAS) Palmitic Acid | C16H32O2 | 256 | 2,49 |
| Phenol, 2-methyl | C7H8O | 108 | 1,65 |
| Phenol, 2,6.dimethoxy-4-(2-propenyl)-(CAS) 4-Allyl-2,6-dimethoxyphenol | C11H14O3 | 194 | 1,22 |
| 2-Furanmethanol (CAS) Furfuryl alcohol | C5H6O2 | 98 | 1,12 |
| 2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl-2-(2-pentenyl) | C11H16O | 164 | 1,11 |
| 2-Furanmethanol (CAS) Furfuryl alcohol | C5H6O2 | 98 | 0,94 |
| Benzene, methyl-(CAS) Toluene | C7H8 | 92 | 0,92 |
| Benzene, 1-ethyl-4-methoxy | C9H12O | 136 | 0,92 |
| Furan,2,5-dymethyl | C6H8O | 96 | 0,89 |
| 2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl | C6H8O | 96 | 0,89 |
| 2-Propanone, 1-hydroxy-(CAS) Acetol | C3H6O2 | 74 | 0,86 |
| 1,2-Cyclopentanenedione, 3-methyl- | C6H8O2 | 112 | 0,85 |
| Phenol (CAS) Izal | C6H6O | 94 | 0,76 |
| 1,2-Cyclopentanenedione, 3-methyl- | C6H8O2 | 112 | 0,71 |
| Phenol, 4-ethyl (CAS) p-Ethylphenol | C8H10O | 122 | 0,68 |
| Phenol, 2,6.dimethoxy-4-(2-propenyl)-(CAS) 4-Allyl-2,6-dimethoxyphenol | C11H14O3 | 194 | 0,67 |
| Phenol, 2-methoxy-4-(2-propenyl)-(CAS) Eugenol | C10H12O2 | 164 | 0,5 |
| Cinerin I; (R)-3-(but-2-enyl)-2-methyl-4-oxocyclopent-2-enyl(R)-trans-chrysanthermate | C21H30O3 | 330 | 0,49 |
| 1,2-Cyclopentanenedione, 3-methyl- | C6H8O2 | 112 | 0,39 |
| Hexadecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl palmitate | C17H34O2 | 270 | 0,38 |

| | | | |
|--------------------------------------------|----------|-----|------|
| Hexadecane (CAS) n-Hexadecane | C16H34 | 226 | 0,37 |
| Cyclopenthanone | C5H8O | 84 | 0,36 |
| Furan,2,5-dymethyl | C6H8O | 96 | 0,31 |
| Benzene, methyl-(CAS) Toluene | C7H8 | 92 | 0,27 |
| 2-Propanone, 1-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl) | C10H12O3 | 180 | 0,05 |

5. Nilai kalor

Hasil pengujian nilai kalor minyak pirolisis dan arang sekam padi dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai kalor minyak pirolisis dan arang sekam padi

| Nilai Kalor Minyak Pirolisis Sekam Padi Bagian Atas (MJ/kg) | |
|--------------------------------------------------------------------|-------------|
| Nilai kalor 1 | 2,17 |
| Nilai kalor 2 | 2,08 |
| Nilai kalor 3 | 0,86 |
| Nilai kalor 4 | 1,54 |
| Rata-rata Bagian Atas | 1,66 |

| Nilai Kalor Minyak Pirolisis Sekam Padi Bagian Bawah (MJ/kg) | |
|---------------------------------------------------------------------|------|
| Nilai kalor | 27,6 |

| Nilai Kalor Arang Sekam Padi (MJ/kg) | |
|---------------------------------------------|------|
| Nilai Kalor | 14,4 |

6. Efisiensi kompor minyak pirolisis

Unjuk kerja dari kompor minyak pirolisis dilakukan dengan metode *water boiling test*. Nilai efisiensi diperoleh dengan menjumlahkan kalor yang digunakan untuk memanaskan air dan panas untuk menguapkan air dibagi dengan perkalian antara laju pembakaran minyak dengan nilai kalor dari minyak pirolisis. Perlu dijelaskan disini bahwa karena minyak pirolisis sulit dinyalakan sehingga perlu ditambah sekitar 20%

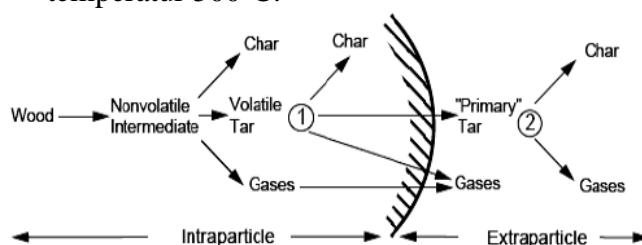
ethanol. Sehingga nilai kalor yang digunakan pada perhitungan efisiensi minyak pirolisis adalah penjumlahan dari 80% nilai kalor minyak pirolisis bagian bawah dengan 20% nilai kalor ethanol. Tabel 7 menunjukkan rekapitulasi hasil pengujian unjuk kerja kompor minyak. Pada pengujian MC 20%, 5 kg/jam dan temperatur dinding reaktor 300°C tidak dapat dilakukan karena campuran minyak dengan ethanol tidak dapat terbakar.

Tabel 7. Rekapitulasi pengujian keterbakaran dengan metode WBT

| Kondisi | Efisiensi |
|--------------------------|------------------|
| MC 10%, 5 kg/jam, 300°C | 33,8% |
| MC 10%, 5 kg/jam, 400 °C | 36,3% |
| MC 10%, 5 kg/jam, 500 °C | 34,1% |
| MC 20%, 5 kg/jam, 400 °C | 33,3% |
| MC 20%, 5 kg/jam, 500 °C | 34,1% |
| Rata-rata | 34,3% |

DISKUSI

Dari Gambar 2 terlihat bahwa proses dekomposisi sekam padi paling besar terjadi pada temperatur sekitar 400°C dimana padatan yang tersisa sebesar 52%. Minyak pirolisis terbanyak dihasilkan pada temperatur reaktor 300°C dan 400°C, yaitu 20%. Pada temperatur reaktor 500°C terjadi penurunan minyak pirolisis dan kenaikan padatan menunjukkan bahwa pada temperatur tersebut terjadi reaksi *tar* sekunder di luar partikel. Sebagaimana diketahui bahwa pada proses reaksi *tar* sekunder terjadi pemisahan menjadi gas dan padatan (lihat Gambar 6). Akibatnya padatan yang dihasilkan semakin banyak pada temperatur 500°C.



Gambar 6. Dekomposisi *intraparticle* dan *extraparticle* padatan yang berhubungan dengan konversi *tar* (Morf, 2001).

Dengan peningkatan kadar air rata-rata sekam padi menjadi sekitar 20,7%, menyebabkan proses pemanasannya semakin lama. Akibatnya pada temperatur 300°C dan 400°C, sekam yang terdekomposisi sedikit (lihat Gambar 3). Pada Gambar 3 terlihat bahwa pada temperatur reaktor 400°C, jumlah padatan yang tersisa lebih banyak. Hal ini disebabkan karena sekam yang digunakan mempunyai kadar air yang tinggi sekitar 23,4%. Perlu dicatat juga bahwa penggunaan sekam dengan kadar air tinggi (sekitar 23,4%), mampu diuapkan dengan baik oleh temperatur reaktor 500°C dimana padatan, minyak pirolisis, dan gas yang dihasilkan masing-masingnya adalah 52%, 21%, 27% seperti

dapat dilihat pada Gambar 3. Hasil penelitian ini tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian yang dilakukan Evans, R. pada tahun 2004, bahwa hasil pirolisis lambat biomassa menghasilkan 30% gas, 35% arang, dan 35% cairan (Evans, R., 2004).

Pada temperatur 500°C dengan menggunakan sekam berkadar air tinggi, hasil minyak pirolisis dengan kapasitas pemasukan 5 kg/jam menurun. Hal ini menunjukkan terjadinya reaksi *tar* sekunder. Sedangkan pada kapasitas pemasukan sekam 10 kg/jam, hasil minyak pirolisis mencapai 21% (lihat Gambar 3) dan menunjukkan bahwa tidak terjadi reaksi *tar* sekunder karena waktu tinggal dalam reaktor yang singkat.

Data viskositas dari minyak pirolisis hasil pirolisis lambat sekam padi dapat dilihat pada Tabel 2. Terlihat bahwa viskositas minyak pirolisis lebih besar dari viskositas air. Hal ini menunjukkan bahwa minyak pirolisis lebih kental dibandingkan air. Viskositas minyak pirolisis rata-rata dari seluruh sampel adalah sekitar 0,96 cP (0,96 g/m.s). Pada sampel I terlihat viskositas yang lebih tinggi dari yang lain karena sudah disimpan lebih dari 12 hari, sedangkan yang lain diukur rata-rata pada hari ke-1 sampai ke-9.

Ukuran dari kestabilan dapat dilihat dari seberapa jauh minyak pirolisis mengendap. Terlihat bahwa dalam 1 minggu hanya terdapat sedikit minyak pirolisis yang mengendap. Pada hampir semua sampel terlihat bahwa pengendapan mulai terjadi setelah disimpan selama 1 minggu. Di bawah 15 hari, viskositas minyak pirolisis yang mengendap 1,65 cP. Fenomena ini terjadi pada sampel 5 kg/jam, temperatur reaktor 400°C dan kadar air sekam 10%, harga viskostas endapan setelah 22 hari adalah 49,91 cP. Harga kekentalan sampel ini setelah disimpan selama lebih dari 17 hari

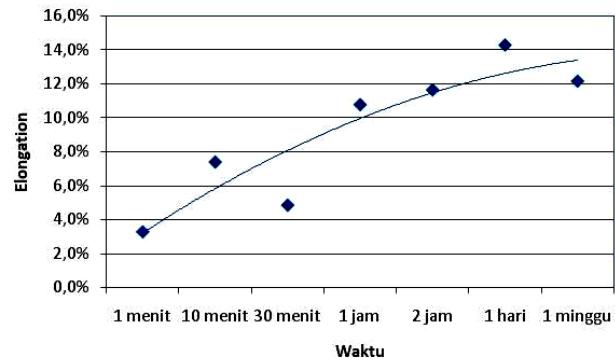
hampir setara dengan viskositas minyak pelumas SAE 10.

Pada pengujian unsur penyusun pada kapasitas 5 kg/jam, MC 10,1%, dan temperatur reaktor 400°C sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 4 menunjukkan bahwa unsur penyusun utama minyak pirolisis bagian atas adalah acetic acid ($C_2H_4O_2$) 14,51%, kelompok Phenol 38,0%, kelompok Furan 14,03%, Cyclopentanedione 3,13, Hexadecanoic Acid 2,88%, dan Acetol 2,33%. Terdapat juga benzene, cinerin, dan oleic acid walaupun dalam jumlah kurang dari 1%.

Data unsur penyusun untuk minyak pirolisis dari sekam yang mempunyai kadar air sekitar 20,7% dapat dilihat pada Tabel 5. Pada pengujian unsur penyusun pada kapasitas 5 kg/jam, MC 23,4%, dan temperatur reaktor 400°C menunjukkan bahwa unsur penyusun utama minyak pirolisis adalah acetic acid ($C_2H_4O_2$) 11,03%, kelompok Phenol 49,67%, kelompok Furan 16,36%, Cyclopentanedione 5,61%, Hexadecanoic Acid 3,24%, Acetol 3,48%, Benzene 2,0%, dan cinerin 0,49%. Pada kondisi ini tidak dijumpai adanya oleic acid walaupun dalam jumlah kurang dari 1%.

Dari penelitian ini, produk pirolisis lambat dapat berupa sekitar 20% minyak pirolisis (bagian atas dan bagian bawah) dan sekitar 40-50% adalah arang sekam padi. Pemanfaatan minyak pirolisis bagian bawah seperti sudah dijelaskan di atas dapat dipergunakan sebagai bahan bakar kompor rumah tangga setelah dicampur dengan 20% ethanol. Efisiensi kompor minyak pirolisis bagian bawah setara dengan efisiensi kompor minyak tanah sebesar 34%. Efisiensi yang rendah juga dikarenakan sedikitnya unsur penyusun yang memiliki nilai kalor tinggi dikarenakan masih banyaknya kadar air yang tersimpan di dalam minyak pirolisis (Richard C.R, 2005).

Pemanfaatan minyak pirolisis bagian atas, karena sulit terbakar dan nilai kalornya rendah dapat digunakan sebagai binder dalam pembuatan briket biomasa. Sifat briket dengan binder minyak pirolisis bagian atas dapat dilihat pada Gambar 7 dan Tabel 8. Kentungan briket yang menggunakan binder ini adalah dapat menhambat proses pembakaran. Sebagaimana diketahui bahwa biomassa umumnya mempunyai kandungan volatil yang tinggi sehingga cepat habis pada saat dibakar. Pada pengujian sifat fisik biobriket dengan binder minyak pirolisis bagian atas terlihat bahwa penambahan panjang briket biomasa tidak lebih dari 15% dengan harga *relaxed density* sebesar 670 kg/m³. Bentuk briket biomassa non karbonisasi dengan binder minyak pirolisis bagian atas dan bentuk briket arang sekam padi hasil pirolisis dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 7. Penambahan panjang briket dengan binder minyak pirolisis bagian atas.

Tabel 8. *Relaxed density* briket dengan binder minyak pirolisis

| <i>Relaxed Density</i> | kg/m ³ |
|------------------------|-------------------|
| Minyak Pirolisis | 670 |
| Molases | 751 |
| Kanji | 768 |



(a) Briket biomasa mentah



(b) briket arang sekam

Gambar 8. Bentuk briket biomasa non karbonisasi dengan binder minyak pirolisis bagian atas dan bentuk briket arang sekam padi hasil pirolisis.

KESIMPULAN

Dari penelitian terdapat beberapa ringkasan yaitu minyak pirolisis merupakan senyawa yang sangat kompleks dengan lebih dari 15 unsur penyusun. Pada pirolisis lambat, hasil dekomposisi terbaik terjadi pada temperatur reaktor 400°C , kadar air 10% dan kapasitas sekam 5 kg/jam. Minyak pirolisis stabil disimpan dalam waktu 1 minggu dan kemudian mulai terjadi pengendapan. Viskositas minyak saat keluar reaktor sekitar 0,96 cP. Nilai kalor minyak pirolisis bagian atas adalah 2,5 MJ/kg dan dapat dimanfaatkan untuk *binder* briket. Nilai kalor minyak pirolisis bagian bawah sekitar 27,6 MJ/kg dan dapat dimanfaatkan untuk minyak bakar. Nilai kalor arang sekam hasil pirolisis lambat adalah 14,4 MJ/kg dan dapat dimanfaatkan untuk briket karbonisasi. Efisiensi kompor dengan menggunakan bahan bakar minyak pirolisis dicampur dengan 20% ethanol adalah 34,3%.

Dari ringkasan penelitian tersebut di atas dapat diambil **kesimpulan** bahwa dengan teknik pirolisis lambat dapat diperoleh produk yang dapat dimanfaatkan, yaitu minyak pirolisis bagian atas, minyak pirolisis bagian

bawah, dan arang sekam. Minyak pirolisis bagian atas dapat dimanfaatkan untuk binder biobriket. Minyak pirolisis bagian bawah dapat dimanfaatkan untuk minyak bakar untuk kompor rumah tangga setelah dicampur dengan 20% ethanol. Arang sekam dapat dimanfaatkan untuk briket terkarbonisasi.

Rekomendasi dari hasil penelitian ini adalah bahwa untuk memperoleh minyak pirolisis dan arang sekam dalam jumlah banyak sebaiknya reaktor pirolisis lambat dioperasikan pada temperatur reaktor 400°C , laju aliran sekam padi 5 kg/jam, dan kadar air awal sekam padi 10%. Supaya minyak pirolisis bagian bawah dapat digunakan sebagai minyak bakar dengan baik, direkomendasikan untuk dicampur dengan 20% ethanol. Untuk memanfaatkan arang sekam menjadi biobriket maka direkomendasikan untuk mencampur dengan binder sebanyak 10% dan menggunakan tekanan pembriketan lebih dari 600 kg/cm^2 .

Ucapan Terima Kasih

Tim penelitian mengucapkan terima kasih kepada Badan Penelitian dan Pengembangan Provinsi Jawa Tengah atas dukungan pendanaan melalui skema

penelitian Riset Unggulan Daerah (RUD) tahun 2008. No kontrak: 074/94K/VI/2008. Tim peneliti juga mengucapkan kepada ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Sebelas Maret atas dukungan fasilitas

penelitian yang diberikan. Kepada saudara Ervan Hidayat dan Muh. Rasyid Ridlo terima kasih atas kerja kerasnya dalam pengambilan data di laboratorium.

Daftar Pustaka

- De Jong, W., Pirone, A., & Wojtowicz, M. A. (2003). Pyrolysis of Miscanthus Giganteus and Wood Pellets: TG-FTIR Analysis and Reaction Kinetics. *Fuels*, 82, 1139-1147.
- Di Blasi, C. (2002). Modeling Intra-and Extra-Particle processes of Wood Fast Pyrolysis. *AICHE Journal*, 48 (10).
- Evans, R., 2004, *Options for Renewable Hydrogen Technologies*, In. Proceeding of Energy & Agricultural Carbon Utilization, Athens, Georgia
- Gaur, S., & Reed, T. (1998). *Thermal Data for Natural and Synthetic Fuels*. Marcel Dekker.
- Hambali, E. M. (2007). *Produksi Padi dan Palawija*.
- Larfeldt, J., Leckner, B., & Melaaen, M. C. (2000). Modelling and Measurements of the Pyrolysis of Large Wood Particles. *Fuels*, 79, 1637-1643.
- Peters, B., & Bruch, C. (2001). A Flexible and Stable Numerical Method for Simulating the Thermal Decomposition of Wood Particles. *Chemosphere*, 42, 481-490.
- Rabe, R.C., 2005, *A Model for the Vacuum Pyrolysis of Biomass*, Stellenbosch, South Africa
- Senneca, O., Chirone, R., & Salationo, P. (2002). A Thermogravimetric Study of Nonfossil Solid Fuels. 2. Oxidative Pyrolysis and Char Combustion. *Energy and Fuels*, 16, 661-668.
- Senneca, O., Chirone, R., Masi, S., & Salationo, P. (2002). A Thermogravimetric Study of Nonfossil Solid Fuels. 1. Inert Pyrolysis. *Energy and Fuels*, 16, 653-660.
- Suyitno. (2008). Teknologi Gasifikasi Biomasa untuk Penyediaan Listrik dan Panas Skala Kecil Menengah. Dalam Suyitno, S. As'ad, A. Aisyati, & S. Hadi, 32 *UNS Membangun Bangsa: Potret Hasil Karya IPTEK*. Surakarta, Indonesia: UNS Press.