

## PRODUKSI SYNGAS KAYA HIDROGEN DENGAN CO-GASIFIKASI SEKAM PADI DAN BATUBARA BERBASIS ADSORBEN KARBON AKTIF KAYU

<sup>1)</sup>Zainal Arifin, <sup>1)</sup>Wibawa Endra Juwana <sup>1)</sup>Suyitno,  
<sup>2)</sup>Arif Setyo Nugroho, <sup>2)</sup>Lukman Nulhakim

<sup>1)</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta  
Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta 57126, Telf/Fax: 0271 632163; e-mail : zainal\_mp@yahoo.co.id

<sup>2)</sup>Magister Teknik Mesin, Program Pascasarjana, Universitas Sebelas Maret Surakarta  
Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta 57126, Telf/Fax: 0271 632163

### Abstrak

Hidrogen merupakan sumber energi yang tidak mengandung karbon dan relatif bersih ditinjau dari polusi yang dihasilkannya. Hidrogen merupakan gas diatomik yang sangat mudah terbakar. Senyawa hidrogen relatif langka dan jarang dijumpai secara alami di bumi dan biasanya dihasilkan secara industri dari berbagai senyawa hidrokarbon seperti metana. Hidrogen bisa diproduksi dengan proses gasifikasi. Produksi hidrogen dan mekanisme proses pengayaan kandungan hidrogen pada co-gasifikasi sekam padi dan batubara dengan menggunakan zat penjerap karbon aktif dari kayu menarik untuk diteliti. Penelitian dilakukan pada reaktor gasifikasi up-draft kontinu dengan laju pemasukan bahan baku 5 kg/jam. Bahan baku yang digunakan adalah sekam padi dan batubara dengan komposisi campuran 100% sekam padi, 75% sekam padi dengan 25% batubara, 50% sekam padi dengan 50% batubara, 25% sekam padi dengan 75% batubara, dan 100% batubara. Agen gasifikasi yang digunakan adalah uap dengan temperatur 400°C dan 500°C. Karbon aktif dari kayu digunakan untuk menyerap CO<sub>2</sub> yang diletakkan dalam ruangan bertemperatur 650°C. Karbon aktif kayu diuji morfologinya dengan SEM dan unsur penyusunnya diuji dengan EDX. Dari penelitian ini diperoleh hasil bahwa konsentrasi hidrogen tertinggi yang mampu dicapai yaitu 37,5% adalah pada saat gasifikasi 50% sekam padi dengan 50% batubara pada uap bertemperatur 500°C. Mekanisme penjerapan CO<sub>2</sub> oleh KAK adalah dengan reaksi heterogen dua tahap menghasilkan CO dan C<sub>f</sub> dan reaksi antara KOH dengan CO<sub>2</sub> menghasilkan KHCO<sub>3</sub>.

*Keywords : Gasifikasi, Sekam Padi, Batubara, Karbon Aktif Kayu, Hidrogen, Syngas*

### Pendahuluan

Data Badan Pusat Statistik (BPS) menyebutkan bahwa hasil produksi padi di Indonesia tahun 2010 sebesar 65,15 juta ton (BPS, 2010). Indonesia menghasilkan sekam padi sebanyak 15 juta ton tiap tahunnya (Winaya, 2010). Sementara itu, Indonesia juga memiliki cadangan batubara sebesar 4,3 miliar ton atau 0,5% dari cadangan batu bara dunia (Miranti, 2008). Pemanfaatan sekam padi dan batubara sebagai bahan bakar menjadi lebih menarik jika mampu diolah menjadi bahan bakar gas karena lebih fleksibel dengan proses pirolisis dan gasifikasi (Kirtay, 2011). Dari pengujian gasifikasi dengan media udara yang dilakukan pada penelitian sebelumnya di Jurusan Teknik Mesin UNS dapat diperoleh kesimpulan penting bahwa nilai kalor gas hasil gasifikasi sekam padi dengan menggunakan media udara terbatas diangka 3,5 MJ/kg (Suyitno, 2009). Salah satu penyebab dari rendahnya nilai kalor tersebut adalah rendahnya kandungan hidrogen dalam *syngas*. Beberapa metode telah dikembangkan untuk meningkatkan kandungan hidrogen dalam *syngas* misalnya dengan gasifikasi biomassa menggunakan agen uap dengan perbandingan 2-2,9 pada temperatur

650°C (Yunus et al., 2010), gasifikasi gergajian kayu pinus dengan agen uap pada perbandingan 1,05-2,53 pada temperatur antara 800-950°C (Gao, Li, dan Quan, 2009), dan gasifikasi kayu pinus dengan agen uap pada temperatur 600-850°C (Yan dan Luo, 2010).

Selain dengan pengembangan media gasifikasi, upaya meningkatkan kandungan hidrogen dapat dilakukan juga dengan mengembangkan metode penjerap gas tidak mampu bakar, utamanya adalah CO<sub>2</sub>. Penjerap gas yang umum dipakai adalah CaO (Acharya, Dutta, dan Basu, 2010). Peningkatan kandungan hidrogen juga dapat dilakukan dengan metode *pressure swing adsorption* (PSA) (Byun et al., 2011). Walaupun mampu mendapatkan gas hidrogen yang lebih murni, namun demikian metode PSA tergolong berbiaya mahal dibandingkan dengan metode penjerap gas yang lain.

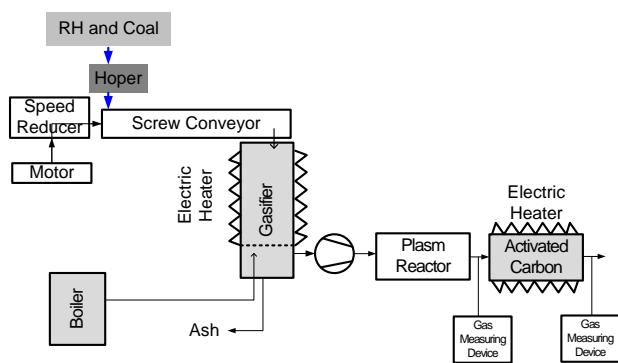
Untuk itulah, pada penelitian ini dikembangkan metode untuk meningkatkan konsentrasi hidrogen dalam *syngas* yang dikembangkan adalah dengan menggunakan konsep co-gasifikasi yang dikombinasi dengan pemanfaatan agen gasifikasi berupa uap air dan menggunakan penjerap CO<sub>2</sub>.

**Motode Eksperimen**

Bahan baku gasifikasi berupa sekam padi dan batubara. Sekam padi yang digunakan berasal dari penggilingan padi dengan mengabaikan jenis dan ukuran. Sekam padi dipilih yang mempunyai kadar air sekitar 11%. Bahan baku gasifikasi selain sekam padi berupa batubara yang berbentuk butiran dengan ukuran -8/+12 mesh. Agen gasifikasi yang digunakan adalah uap air dengan temperatur 400°C dan 500°C. Perbandingan laju massa uap terhadap biomassa 0,25. Reaktor yang digunakan berjenis *up draft*. Pemanasan reaktor penjerap menggunakan elemen pemanas pada temperatur 650°C. Penjerap CO<sub>2</sub> yang digunakan yaitu karbon aktif limbah kayu jati berbentuk *chip*. Untuk mengukur konsentrasi hidrogen digunakan sensor tipe T 656812 dan CO diukur dengan *gas analyser*.

Karbon aktif kayu dibuat dari bahan kayu jati berbentuk chip dengan ukuran tebal 2 mm, panjang 3-6 mm, dan lebar 3-4 mm dan dipanasi dalam reaktor sampai temperatur 700°C selama 2 jam. Hasil arang kemudian direndam dalam KOH selama 2 jam. Untuk aktivasi, arang hasil rendaman dimasukkan dalam reaktor bertemperatur 500°C selama 2 jam. KAK sebelum dan setelah digunakan diuji BET, SEM untuk melihat morfologi dari KAK, dan EDX untuk melihat unsur penyusunnya.

Pengujian dilakukan dalam reaktor gasifikasi kontinu berjenis *updraft*. Laju pemasukan bahan baku berupa campuran sekam padi dengan pengaturan laju massa 5 kg/jam. Laju massa uap yang dimasukkan ke dalam reaktor diatur pada 1,25 kg/jam. Selama proses, dinding reaktor gasifikasi dipertahankan pada temperatur 650°C dengan pemanas listrik. *Syngas* yang dihasilkan kemudian dialirkan ke dalam reaktor pendingin untuk memisahkan *tar* dengan gas. Gas hasil kemudian dimasukkan ke dalam reaktor penjerap dimana massa penjerap karbon aktif kayu (KAK) yang digunakan untuk setiap pengujian adalah 1 kg. Skema pengujian dari reaktor gasifikasi yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 1.

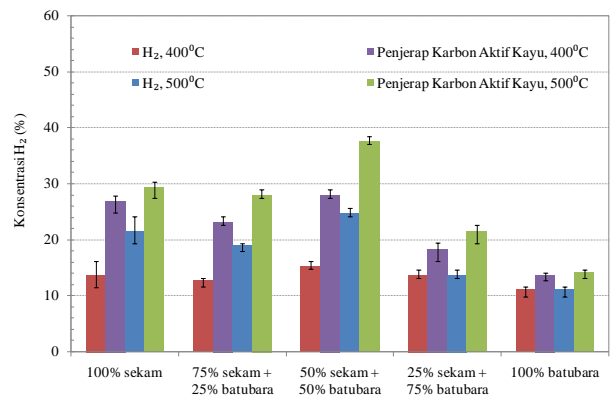


**Gambar 1. Skema peralatan uji gasifikasi**

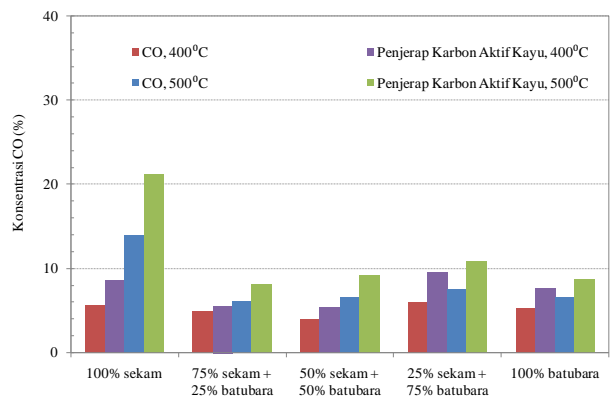
**Hasil dan Pembahasan**

**Proses Co-Gasifikasi Sekam Padi dan Batubara**

Gambar 2 dan Gambar 3 masing-masingnya menunjukkan konsentrasi H<sub>2</sub> dan CO dari beberapa variasi bahan baku sekam padi dan batubara baik dengan penjerap KAK maupun tidak. Secara umum terlihat bahwa pada temperatur uap 500°C diperoleh jumlah gas CO dan hidrogen yang lebih tinggi dibandingkan dengan jumlah gas CO dan hidrogen pada temperatur gasifikasi uap 400°C. Pada temperatur uap 500°C juga diperoleh peningkatan konsentrasi hidrogen. Itu karena ketika temperatur uap ditingkatkan, tingkat *tar cracking* dan reaksi *reforming* juga meningkat, dan pada kedua mekanisme tersebut menghasilkan hidrogen (Aznar et al., 2006).



**Gambar 2. Konsentrasi hidrogen**



**Gambar 3. Konsentrasi CO**

Konsentrasi gas hidrogen dan CO pada temperatur uap 400°C tidak mengalami perubahan yang signifikan seiring dengan penambahan batubara. Pada temperatur uap 500°C, konsentrasi gas hidrogen mengalami perubahan, dimana seiring dengan penambahan batubara terjadi penurunan konsentrasi hidrogen khususnya pada campuran lebih dari 50% batubara. Hal ini menunjukkan bahwa reaktivitas dari batubara lebih rendah (Aznar et al., 2006) dibandingkan dengan reaktivitas dari sekam padi. Reaktivitas yang tinggi pada sekam padi diakibatkan kandungan volatilnya yang lebih tinggi dibandingkan

dengan kandungan volatil batubara. Karena batubara mempunyai kereaktivitas yang rendah sehingga untuk berlangsungnya gasifikasi yang lebih baik dibutuhkan temperatur yang lebih tinggi (Kumar, Jones, dan Hanna, 2009). Tanpa menggunakan penjerap CO<sub>2</sub>, konsentrasi hidrogen yang dapat dicapai adalah 28% pada co-gasifikasi 50% sekam padi dengan 50% batubara pada temperatur uap 500°C.

**Mekanisme Penjerapan CO<sub>2</sub> oleh KAK**

Secara umum terlihat bahwa penjerap KAK mampu meningkatkan kandungan hidrogen dan CO pada co-gasifikasi antara sekam padi dan batubara. Kenaikan konsentrasi hidrogen setelah melewati penjerap dipengaruhi oleh konsentrasi hidrogen awal sebelum masuk ke penjerap. Gasifikasi uap dengan temperatur 400-500°C menghasilkan peningkatan rata-rata konsentrasi H<sub>2</sub> sebesar 1,2-2,0 kali pada saat penggunaan penjerap jenis KAK sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1. Peningkatan konsentrasi H<sub>2</sub> (kali) akibat penggunaan penjerap KAK**

Jenis Penjerap	Temperatur uap 400°C					Rata-rata
KAK/Tanpa	2,0	1,8	1,8	1,3	1,2	1,6
Jenis Penjerap	Temperatur uap 500°C					Rata-rata
KAK/Tanpa	1,4	1,5	1,5	1,6	1,3	1,4

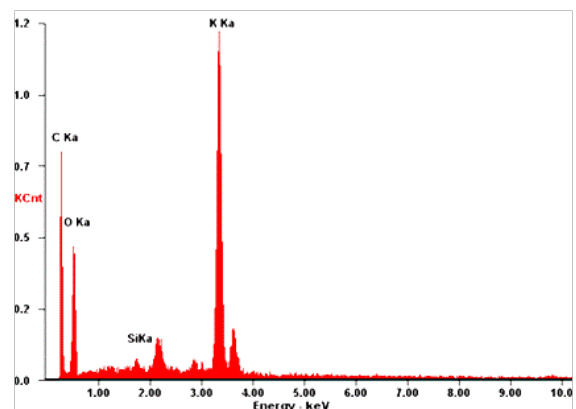
Pada penjerap KAK reaksi antara C dengan CO<sub>2</sub> terjadi secara endoterm ( $\Delta H = 131,4$  kJ/mol). Mekanisme penjerapan CO<sub>2</sub> pada KAK terjadi melalui reaksi yang terjadi adalah antara C dengan CO<sub>2</sub> menghasilkan CO karena terjadi peningkatan konsentrasi CO setelah penjerap KAK sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2. Namun demikian, jika dilihat dari hasil EDX pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa kandungan C pada KAK setelah proses penjerapan justru mengalami peningkatan menunjukkan bahwa reaksi pada KAK yang dominan bukanlah C dengan CO<sub>2</sub> maupun C dengan H<sub>2</sub>O. Dalam penelitian yang lain disebutkan bahwa mekanisme reaksi C dengan CO<sub>2</sub> dapat terjadi secara dua tahap (Barrio dan Hustad, 2000; Ergun, 1956) atau 4 tahap (Moulijn dan Kapteijn, 1995). Mekanisme reaksi C dengan CO<sub>2</sub> secara dua tahap adalah:



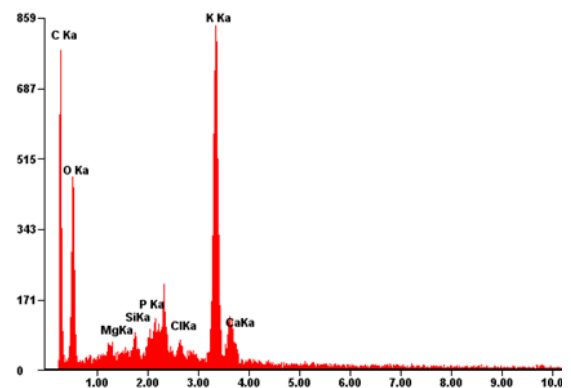
Dimana C<sub>f</sub> adalah tempat karbon bebas pada arang dan C(O) adalah karbon-oksigen kompleks. Baik pada KAB maupun KAK, C<sub>f</sub> akhir berbeda dengan C<sub>f</sub> awal dimana C<sub>f</sub> akhir mempunyai kandungan C yang lebih tinggi dan kandungan O yang lebih rendah.

**Tabel 2. Hasil analisis EDX sampel KAK sebelum dan sesudah dipakai untuk penjerapan.**

Unsur	KAK Awal	KAK Akhir
C	25,57%	32,59%
O	28,82%	28,42%
Ca	-	1,85%
Si	0,84%	1,14%
Mg	-	0,9%
K	44,76%	32,72%
P	-	1,35%
Cl	-	1,02%



(a) KAK Awal



(b) KAK Akhir

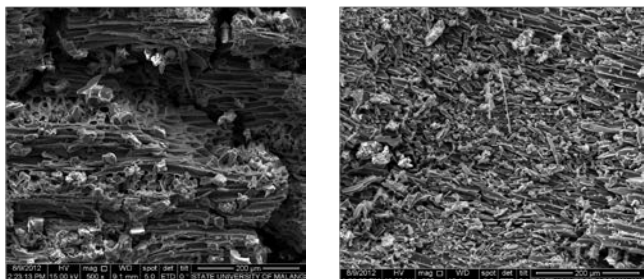
Gambar 4 Spektrum Energi

Dari hasil uji BET pada KAK awal diperoleh hasil bahwa luas permukaan pori dari KAK yaitu 453,0 m<sup>2</sup>/g dengan jari-jari pori 13,06 Å. Dari pengujian ini juga dapat dilihat bahwa konsentrasi H<sub>2</sub> tertinggi yang mampu dicapai yaitu sebesar 37,5% adalah pada saat gasifikasi 50% sekam padi + 50% batubara dengan uap bertemperatur 500°C.

Pada KAK penelitian ini, konsentrasi hidrogen yang tinggi juga disebabkan oleh adanya reaksi sekunder pengikatan CO<sub>2</sub>. Dari hasil uji EDX (Tabel 2) dan SEM (Gambar 3) pada KAK terlihat bahwa terdapat KOH berwarna putih pada permukaan

karbon aktif kayu. KOH dalam KAK berasal dari proses pembuatan karbon aktif yang menggunakan larutan KOH. Selanjutnya KOH dalam KAK bereaksi dengan CO<sub>2</sub> dengan mekanisme sebagai berikut:  

$$\text{KOH} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{KHCO}_3, \dots \dots \dots (3)$$
 KHCO<sub>3</sub> berwarna putih banyak menempel pada permukaan KAK sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3.



(a) KAK sebelum digunakan

(b) KAK setelah digunakan

**Gambar 5. SEM KAK sebelum dan setelah digunakan sebagai penyerap CO<sub>2</sub>.**

#### Kesimpulan:

Dari pembahasan di atas dapat diambil kesimpulan bahwa tanpa KAK, konsentrasi hidrogen yang dapat dicapai adalah 28% pada co-gasifikasi 50% sekam padi dengan 50% batubara pada temperatur uap 500°C. Dengan KAK, konsentrasi H<sub>2</sub> tertinggi yang mampu dicapai yaitu sebesar 37,5% adalah pada saat gasifikasi 50% sekam padi + 50% batubara dengan uap bertemperatur 500°C. Mekanisme penyerapan CO<sub>2</sub> oleh KAK adalah dengan reaksi heterogen dua tahap menghasilkan CO dan C<sub>f</sub> dan reaksi antara KOH dengan CO<sub>2</sub> menghasilkan KHCO<sub>3</sub>.

#### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih penulis ucapkan kepada Rektor UNS atas dukungan pendanaan penelitian ini melalui Skema Riset Hibah Bersaing dengan No. Kontrak 03/UN27/PM/2012 tanggal 14 Mei 2012..

#### Daftar Pustaka

Acharya, Bishnu, Animesh Dutta, and Prabir Basu. 2010. An Investigation into Steam Gasification of Biomass for Hydrogen Enriched Gas Production in Presence of Cao. *International Journal of Hydrogen Energy* 35 (23):1582–1589.

Aznar, Mari'a P., Miguel A. Caballero, Jesu's A. Sancho, and E. France's. 2006. Plastic Waste Elimination by Co-Gasification with Coal and Biomass in Fluidized Bed with Air in Pilot Plant. *Fuel Processing Technology* 87:409 – 420.

Barrio, M., and J. Hustad. 2000. Co2 Gasification of Birch Char and the Effect of Co Inhibition on the Calculation of Chemical Kinetics. Paper

read at Progress in Thermochemical Biomass Conversion, 17-22 September, 2000, at Tyrol, Austria.

BPS. 2010. Data Strategis Badan Pusat Statistik. Indonesia.

Byun, Youngchul, Moohyun Cho, Jae Woo Chung, Won Namkung, Hyeon Don Lee, Sung Duk Jang, Young-Suk Kim, Jin-Ho Lee, Carg-Ro Lee, and Soon-Mo Hwang. 2011. Hydrogen Recovery from the Thermal Plasma Gasification of Solid Waste. *Journal of Hazardous Materials* 190:317-323.

Ergun, S. 1956. Kinetics of the Reaction of Carbon Dioxide with Carbon. *J. Phys. Chem* 60:480-485.

Gao, Ning, Aimin Li, and Cui Quan. 2009. A Novel Reforming Method for Hydrogen Production from Biomass Steam Gasification. *Bioresource Technology*:pp 4271-4277.

Kirtay, Elif. 2011. Recent Advances in Production of Hydrogen from Biomass. *Energy Conversion and Management* Vol.52:pp.1778 - 1789.

Kumar, Ajay, David D. Jones, and Milford A. Hanna. 2009. Thermochemical Biomass Gasification: A Review of the Current Status of the Technology. *Energies* 2:556-581.

Miranti, Ermina. 2008. *Prospek Industri Batubara Indonesia*. Vol. Vol. 214: Economic Review.

Moulijn, Jacob A., and Freek Kapteijn. 1995. Towards a Unified Theory of Reactions of Carbon with Oxygen-Containing Molecules. *Carbon* 33 (8):1155-1165.

Suyitno. 2009. Pengolahan Sekam Padi Menjadi Bahan Bakar Alternatif Melalui Proses Pyrolysis Lambat. *Litbang* Vol.7 no 2.

Winaya, I. N. S. 2010. Menyempurnakan Pembakaran Sekam Padi. *Koran Jakarta*.

Yan, F, and S Y Luo. 2010. Hidrogen Rich Gas Production by Steam Gasification of Char from Biomass Pyrolysis in Fixed Bed Reaktor, Influence of Temperatur and Steam on Hidrogen Yield and Syngas Composition. *Bioresource Technology* Vol.101: pp.5633-5637.

Yunus, Mohd K, Murni M Ahmad, Abrar Inayat, and Suzana Yusup. 2010. Simulation of Enhanced Biomass Gasification for Hydrogen Production Using Icon. *Applied Sciences* pp.1812-5654.