

Rendemen Tar Pirolisis Sampah Kota dengan Komposisi Organik/Anorganik (70/30% w/w)

ANGGREINI BETA CITRA DEWI¹, DWI ARIES HIMAWANTO^{2*}, MOHAMMAD MASYKURI^{1,3}

¹Program Studi Ilmu Lingkungan, UNS, Surakarta, Indonesia

²Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, UNS, Surakarta, Indonesia

³Program Studi Pendidikan Kimia, Pascasarjana, UNS, Surakarta, Indonesia

*e-mail contact : dwiarieshimawanto@gmail.com

Abstrak. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui rendemen tar yang dihasilkan dalam pirolisis sampah kota terseleksi 70%/30% organik/anorganik. Penelitian diawali dengan pengumpulan dan penyiapan bahan baku. Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampah kota terseleksi yang terdiri dari *styrofoam*, komponen berbahan dasar *biomass* (daun pisang), komponen berbahan dasar *biomass* (bambu), dan pembungkus makanan ringan, dimana jenis sampah yang digunakan adalah sampah yang belum terolah secara maksimal di TPA Putri Cempo Surakarta. Bahan baku tersebut kemudian dikeringkan sehingga memiliki kadar air maksimal 10% dan dihaluskan hingga lolos ukuran 20 mesh. Pencampuran bahan baku dengan variasi persentase berat sampah organik dan sampah anorganik, 70% sampah organik : 30% sampah anorganik seberat 200 gram. Tahap selanjutnya adalah proses pirolisis yang dilakukan dalam sebuah *fixed bed pyrolyser* dengan temperatur akhir yang digunakan adalah 550 °C, 650 °C dan 750 °C. Untuk *swept gas* digunakan nitrogen dengan laju aliran sebesar 100 ml/menit. Adapun variasi *heating* yang digunakan 15 °C/menit, 25 °C/menit, 35 °C/menit, dan 45 °C/menit. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada perlakuan *heating rate* 25 °C/menit perlakuan suhu mempengaruhi jumlah rendemen tar. Akan tetapi, hasil analisis pada *heating rate* 15 °C/menit, 35 °C/menit, dan 45 °C/menit menunjukkan bahwa interaksi perlakuan suhu dan *heating rate* tidak berpengaruh nyata terhadap rendemen tar yang dihasilkan, dikarenakan terjadinya *secondary cracking*. Pembentukan fraksi cair maksimum pada sekitar 500 °C dan menunjukkan bahwa pembentukan gas lebih menonjol dari titik ini karena fraksi cair akan retak pada suhu di atas 500 °C. Pirolisis pada suhu yang terlalu tinggi dan waktu yang terlalu lama akan menyebabkan pembentukan asap cair berkurang karena suhu dalam air pendingin semakin meningkat sehingga asap yang dihasilkan tidak terkondensasi secara sempurna.

Kata Kunci: Pirolisis, Rendemen, Sampah kota terseleksi, Tar.

Background

Energi biomassa saat ini mewakili sekitar 14% konsumsi energi di seluruh dunia, lebih tinggi dari batubara (12%) dan sebanding dengan gas (15%) dan listrik (14%). Bahkan pentingnya biomassa bervariasi secara signifikan di seluruh wilayah di dunia. Pangsa pasar mencapai 80 – 90% di negara-negara termiskin di Afrika dan Asia, turun menjadi 2 - 3% di negara-negara barat. Namun, apabila biomassa menjadi bahan bakar, akan lebih menarik bagi negara-negara industri karena merupakan sumber energi terbarukan yaitu CO₂ netral. Potensi bahan bakar biomassa yang sangat banyak, termasuk kayu, pendek rotasi tanaman berkayu dan spesies herba, ampas tebu, rumput, serta limbah: kertas dan limbah kayu, limbah padat perkotaan, serbuk gergaji, limbah dari

pertanian dan makanan pengolahan dan masih banyak lagi (Senneca, 2006).

Kota Surakarta ditetapkan sebagai pusat kegiatan nasional dan kawasan andalan propinsi Jawa Tengah, yang menjadi pusat pertumbuhan wilayah Jawa Tengah bagian selatan. Dampak langsung yang dirasakan dari kondisi di atas yaitu adanya berbagai aktivitas sosial maupun ekonomi yang menyebabkan timbulan sampah mencapai rata-rata sebesar 265 ton per hari yang bersumber dari sampah rumah tangga, industri, area perdagangan, pasar, taman, dan fasilitas umum lainnya (Pemerintah Kota Surakarta, 2010).

Tabel 1. Komposisi Sampah Menurut Materi

Jenis Sampah	Komposisi (%)
Sisa Makanan	3,13
Kayu, ranting & daun	70,13
Kertas	9,73
Plastik	12,3
Logam	0,68
Kain dan tekstil	1,42
Karet dan kulit	0,56
Kaca	1,2
Lainnya	0,8

Sumber : DKP Surakarta, 2013.

Berdasarkan data yang didapat dari Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Surakarta, sampah jenis kayu, ranting, dan daun serta plastik memiliki prosentasi tertinggi. Sampah-sampah tersebut termasuk kategori biomassa. Sampah jenis plastik tidak dapat teruraikan (*non-biodegradable waste*) seiring dengan waktu dan berdampak pada peningkatan timbulan sampah. Sedangkan sampah jenis kayu-kayuan, bambu, dan daun, terutama daun pisang masih belum dapat dimanfaatkan atau memiliki nilai ekonomi, sedangkan intensitas penggunaannya cukup tinggi.

Kendala dalam pengolahan sampah itu sendiri selain jumlah sampah yang semakin meningkat, lamanya proses pengolahan juga menjadi salah satu faktor. Dari berbagai alternatif pengolahan sampah kota yang dimunculkan, teknologi pirolisis merupakan salah satu alternatif yang layak dipertimbangkan. Proses pirolisis atau proses karbonisasi didefinisikan sebagai proses konversi energi secara termokimia (*thermal decomposition*) tanpa ada oksigen. Hasil akhir yang diperoleh adalah tar, *char*, dan gas (Di Blasi, 2008).

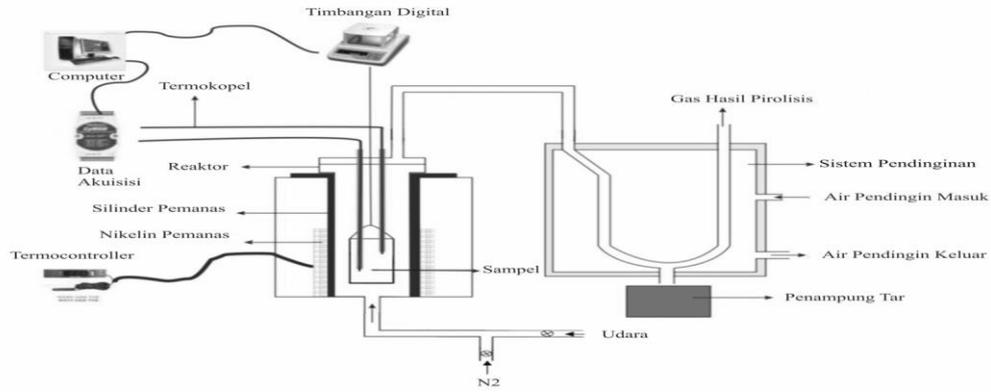
Metodologi

Penelitian telah dilakukan pada bulan Desember 2015 sampai Februari 2016 di

Pirolisis merupakan proses dekomposisi suatu bahan pada suhu tinggi tanpa adanya udara atau dengan udara terbatas. Proses dekomposisi pada pirolisis ini juga sering disebut dengan devolatilisasi. Produk utama dari pirolisis yang dapat dihasilkan adalah arang (*char*), minyak, dan gas. Arang yang terbentuk dapat digunakan untuk bahan bakar ataupun digunakan sebagai karbon aktif, sedangkan minyak yang dihasilkan dapat digunakan sebagai zat aditif atau campuran dalam bahan bakar. Gas yang terbentuk dapat dibakar secara langsung (A.S Chaurasia., B.V Babu., 2005).

Beberapa keuntungan proses pirolisis yang menjadikannya sebagai salah satu alternatif pengolahan biomassa yang cukup prospektif antara lain memiliki rasio konversi yang tinggi, produk-produknya memiliki kandungan energi yang tinggi, produk-produk yang dihasilkan dapat ditingkatkan menjadi bahan dasar keperluan lain serta pengontrolan proses yang lebih mudah bila dibandingkan dengan proses insenerasi. Menurut Basu (2010) pada reaksi dekomposisi dari biomassa, maka akan menghasilkan gas, *char*, dan cairan (*bio-oil*). Produksi *bio oil* sangat menguntungkan karena dengan pengkorsivian *bio oil* maka akan didapatkan produk berupa bahan bakar minyak bio, misalnya biokerosene, biodiesel dan lain-lain (Hambali, 2007). Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui jumlah rendemen tar yang dihasilkan dari proses pirolisis sampah kota terseleksi organik/anorganik (70/30 % w/w).

Laboratorium Material Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.



Gambar 1. Skema Alat Penelitian (Himawanto, dkk . 2010)

Alat yang digunakan dalam produksi tar yaitu alat uji pirolisis model *fixed bed*, yang dilengkapi dengan *thermocontroller* berdaya 1000 W dengan kisaran temperatur *thermocontroller* sampai dengan 1000 °C. Alat ukur untuk pengambilan data yang meliputi timbangan digital dengan ketelitian 0,01 gram, *thermocouple reader*, *thermocouple* tipe K, *anemometer*, serta alat pendukung yang meliputi mesin penghalus bahan baku bertipe *disc mill* berdaya 2 HP dan mesin pengayak bahan baku bertipe eksentrik dan dapat diatur kehalusan pengayaknya dengan daya ¼ HP. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampah kota terseleksi yang terdiri dari *styrofoam*, komponen berbahan dasar biomass (daun pisang), komponen berbahan dasar biomass (bambu), dan pembungkus makanan ringan, dimana jenis sampah yang digunakan adalah sampah yang belum terolah secara maksimal di TPA Putri Cempo Surakarta.

Sampah kota terseleksi dicuci dan dikeringkan hingga kadar airnya tidak lebih dari 10 %, untuk kemudian diuji nilai kalor dengan menggunakan ASTM 2015 untuk uji nilai kalor, setelah itu dihaluskan hingga lolos Ukuran saringan

20 mesh. Tahap selanjutnya adalah pencampuran bahan baku dengan variasi persentase berat sampah organik dan sampah anorganik, dengan komposisi sampah 70 % sampah organik : 30 % sampah anorganik. Sampah kota terseleksi tersebut kemudian di pirolisis dengan *heating rate* 15 °C/menit, 25 °C/menit, 35 °C/menit, dan 45 °C/menit sampai pada temperatur akhir 550 °C, 650 °C, dan 750 °C. Hasil proses pirolisis dilakukan analisa terhadap rendemen tar. Untuk menghitung rendemen tar hasil pirolisis, ditimbang bobot botol warna gelap yang bersih, lalu diisi asap cair. Kemudian botol yang berisi asap cair ditimbang lagi dengan teliti. Selanjutnya ditentukan rendemennya dengan formula berikut :

$$\text{Rendemen} = \frac{\text{bobot tar}}{\text{bobot bahan baku}} \times 100$$

Atau

$$X \% = \left(\frac{A}{B} \right) \times 100\%$$

Dimana A adalah berat tar setelah pirolisis dan B adalah berat bahan baku sebelum pirolisis (Maiti et al. 2006).

Hasil dan Pembahasan

Setelah dilakukan proses pirolisis sampah kota terseleksi dengan variasi *heating rate* (15 °C/menit, 25 °C/menit, 35 °C/menit, dan 45 °C/menit) dan

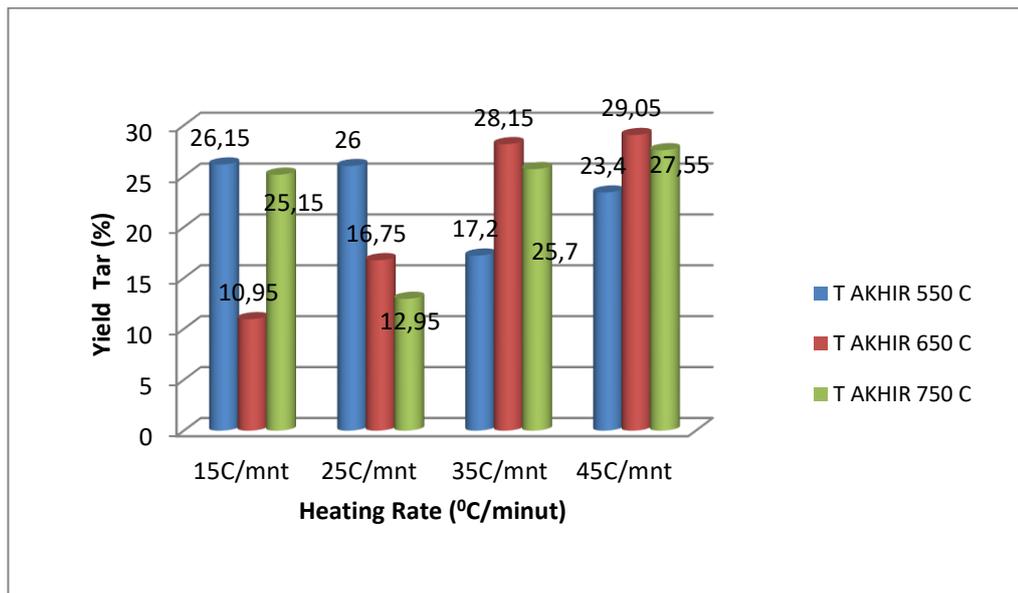
temperatur akhir (550 °C, 650 °C, dan 750°C), maka didapatkan massa tar sebagai berikut :

70 % Organik : 30 % Anorganik (200 g)			
Heating Rate (°C/menit)	Suhu Pirolisis		
	550 °C	650 °C	750 °C
15	52,3 g	21,9 g	50,3 g
25	52 g	33,5 g	25,9 g
35	34,4 g	56,3 g	51,4 g
45	46,8 g	58,1 g	55,1 g

Tabel 1. Massa Tar pirolisis sampah

Karakteristik produk pada proses pirolisis sangat dipengaruhi oleh berbagai hal, antara lain sifat alami bahan, jenis reaktor, waktu, dan suhu pirolisis. Pengaruh *heating rate* dan suhu akhir

pirolisis terhadap rendemen tar pada pirolisis sampah kota terseleksi dengan komposisi sampah kota 70 % organik : 30 % anorganik. Disajikan pada gambar 11 berikut ini.



Gambar 2. Rendemen Tar hasil Pirolisis Sampah Kota Terseleksi 70 % organik : 30 % anorganik

Gambar 2 menunjukkan *heating rate* 15 °C/menit jumlah rendemen tar terendah terjadi pada temperatur akhir pirolisis 650 °C sejumlah 10,95 %, dan tertinggi pada temperatur akhir 550 °C sebesar 26,15 %. Sebuah percobaan yang sama bagaimana meningkatkan suhu reaktor akhir mempengaruhi hasil produksi dilakukan oleh Chen

et al. (2003). Dalam eksperimen ini, bahan bakar yang diuji adalah jerami padi dan serbuk gergaji. Hasilnya sama dengan yang dilaporkan oleh (Williams dan Besler, 1996); meningkatkan suhu menyebabkan peningkatan produksi gas dan penurunan arang. Chen et al. (2003) menyebutkan bahwa fraksi cair maksimum pada sekitar 500°C

dan menunjukkan bahwa pembentukan gas lebih menonjol dari titik ini karena fraksi cair yang retak pada suhu di atas 500 ° C.

Jumlah rendemen tar yang dihasilkan pada proses pirolisis sangat bergantung pada jenis bahan baku yang digunakan. Persentase rendemen yang diperoleh juga sangat bergantung pada sistem kondensasi yang dipakai. Kondisi ini sesuai dengan yang dikemukakan Tranggono et al. (1996), bahwa untuk pembentukan tar digunakan air sebagai medium pendingin agar proses pertukaran panas dapat terjadi dengan cepat. Pirolisis pada suhu yang terlalu tinggi dan waktu yang terlalu lama akan menyebabkan pembentukan asap cair berkurang karena suhu dalam air pendingin semakin meningkat sehingga asap yang dihasilkan tidak terkondensasi secara sempurna. Proses kondensasi akan berlangsung optimal apabila air di dalam sistem pendingin dialiri secara kontinu sehingga suhu dalam sistem tersebut tidak meningkat (Tranggono dkk, 1997). Hal ini sesuai dengan pernyataan Demirbas (2005) bahwa asap cair hasil proses pirolisis bahan kayu dapat dihasilkan secara maksimum jika proses kondensasinya berlangsung secara sempurna.

Pada *heating rate* 25 °C/menit pada temperatur akhir 550 °C memiliki jumlah tar terbanyak, yaitu sebanyak 26 %, kemudian pada temperatur 650 °C jumlah rendemen tar menurun, menjadi 16,75 %, dan pada temperatur 750 °C jumlah rendemen tar paling sedikit yaitu 12,96 %. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Pritchard (2002), bahwa produksi tar yang lebih banyak diperoleh seiring dengan meningkatnya temperatur sampai 450 °C. Setelah temperatur 450 °C, tar yang dihasilkan sedikit mengalami

penurunan seiring dengan dimulainya reaksi tar sekunder (Pritchard,2002; Timmerer and Lettner, 2004 ; Zanzi, 2001 : Zanzi, Bai et al., 2001).

Pada *heating rate* 35 °C/menit, jumlah rendemen tar paling sedikit terjadi pada temperatur akhir 550 °C dengan jumlah rendemen tar 17,2 %. Jumlah rendemen tar tertinggi terjadi pada temperatur akhir 650 °C dengan jumlah rendemen tar 28,15 %. Akan tetapi, pada temperatur akhir 750 °C jumlah rendemen tar menurun menjadi 25,7 %. Fenomena ini juga terjadi pada *heating rate* 45 °C/menit , dimana jumlah rendemen tar pada temperatur akhir 550 °C memiliki jumlah paling sedikit yaitu 23, 4%, kemudian pada temperatur akhir 650 °C jumlah rendemen tar meningkat 5,65 % menjadi 29,05 %. Akan tetapi pada temperatur akhir 750 °C jumlah rendemen tar menjadi 27,55 %. Hal ini dikarenakan baik pada *heating rate* 35 °C/menit dan 45 °C/menit pada temperatur akhir 750 °C terjadi proses *secondary cracking*.

Beberapa faktor yang dapat meningkatkan efek sinergis sebagaimana yang disebutkan oleh Zhang dkk. (2007) diantaranya adalah bahwa efek sinergis tidak hanya dipengaruhi oleh suhu dan *blending ratio*, namun juga laju pemanasan dan waktu reaksi. Pada laju pemanasan yang tinggi dan waktu tinggal reaksi yang singkat dapat mencegah pembentukan reaksi sekunder sehingga perolehan gas primer yang merupakan gas yang dapat dikondensasikan menjadi tar semakin banyak. Namun, waktu tinggal yang singkat kurang menjamin kontak reaksi antara kedua bahan baku sehingga diperlukan kondisi operasi pirolisis yang optimal untuk memperoleh efek sinergis dalam perolehan *yield* tar secara keseluruhan.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan yang telah dilakukan bahwa dari berat *sample* sampah kota 200 gram dengan komposisi 70 % organik/30 % anorganik, tar yang mampu dihasilkan berkisar antara 10,95 % sampai dengan 29,05 %. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada perlakuan *heating rate* 25 °C/menit perlakuan suhu mempengaruhi jumlah rendemen tar. Akan tetapi, hasil analisis pada *heating rate* 15 °C/menit, 35 °C/menit dan 45 °C/menit menunjukkan bahwa interaksi perlakuan suhu dan *heating rate* tidak berpengaruh nyata terhadap rendemen tar yang dihasilkan, dikarenakan terjadinya *secondary cracking*. Pembentukan fraksi cair maksimum

pada sekitar 500 °C dan menunjukkan bahwa pembentukan gas lebih menonjol dari titik ini karena fraksi cair akan retak pada suhu di atas 500 °C. Pirolisis pada suhu yang terlalu tinggi dan waktu yang terlalu lama akan menyebabkan pembentukan asap cair berkurang karena suhu dalam air pendingin semakin meningkat sehingga asap yang dihasilkan tidak terkondensasi secara sempurna. Diharapkan dengan proses pirolisis dapat membantu mengatasi sampah kota serta mampu mengembangkan energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar.

Daftar Pustaka

- A.S Chaurasia., B.V, Babu. 2005. *Modeling & Simulation of Pyrolysis of Biomass: Effect of Thermal Conductivity, Reactor Temperatur and Particle Size on Product Concentrations*. Pilani, India.
- Basu, P. 2010. *Biomass Gasification and Pyrolysis, Practical Design and Theory*. Burlington : Academic Press.
- Chen, G., Andries, J., Luo, Z. & Spliethoff, H. (2003). Biomass Pyrolysis/gasification for Product Gas Production: The Overall Investigation of Parametric Effects. *Energy Conversion and Management*, 44(11), 1875–1884.
- Di Blasi, C. 2008. Modeling Chemical and Physical Processes of Wood and Biomass Pyrolysis. *Elsevier : Progress in Energy and Combustion Science* 34 (2008) 47–90.
- Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Surakarta. 2013. *Strategi Pengelolaan Persampahan di Surakarta*. Surakarta : CV Indera Cipta Konsultan.
- Hambali, E. 2007. *Teknologi Bioenergi*. Bogor : PT. Agromedia Pustaka.
- Himawanto, Dwi A., Indarto, Harwin Saptoadi dan Tri Agung Rohmat. 2011. Karakteristik dan Pendekatan Kinetika Global Pada Pirolisis Lambat Sampah Kota Terseleksi. *Reaktor, Vol. 13 No. 3, Juni 2011*
- Maiti,S., S. Dey, S. Purakayastha, and B. Ghosh. 2006. Physical and thermochemical characterization of rice husk char as a potential biomass energy source. *Bioresour. Technol.* 97(16):2065-2070.
- Pemerintah Kota Surakarta. 2010. *Peraturan Daerah Kota Surakarta Nomor 3 Tahun 2010 Tentang Pengelolaan Sampah*. Dinas Kebersihan dan Pertamanan Surakarta.
- Pritchard, D. 2002. *Biomass Combustion Gas Turbine Chp*. Talbotst’s Heating Ltd, UK.
- Senneca, Osvalda. 2006. *Kinetics Of Pyrolysis, Combustion And Gasification Of Three Biomass Fuels*. Istituto di Ricerche sulla Combustione (C.N.R.), P.le Tecchio 80, Naples, 80125, Italy.
- Timmer, H. And F. Lettner. 2004. Experimental Investigation on Wood Pyrolysis. *2nd Word Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection*. Rome, Italy.
- Tranggono, S., B. Setiadji, P. Darmadji, Supranto, dan Sudarmanto. 1997. Identifikasi asap cair dari berbagai jenis kayu dan tempurung kelapa. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan* 1(2):15-24.
- Williams, P. T. & Besler, S. (1996). The Influence of Temperature and Heating Rate on the

Slow Pyrolysis of Biomass. *Renewable Energy*, 1481(96), 233–250.

Zanzi, R., X, Bal, et al. 2001. Pyrolysis of Biomass in Presence of Steam for Preparation of Activated Carbon, Liquid and Gaseous Product. *6th World Congress*

of Chemical Engineering. Melbourne, Australia.

Zhang Li, Shaoping Xu, Wei Zhao, Shuqin Liu 2007. “Co-pyrolysis of biomass and coal in a free fall reactor”. *Fuel*. Vol. 86. hal.353–359.