

STUDI KARAKTERISTIK DEKOMPOSISI TERMAL TEMPERATUR TINGGI BAN BEKAS UNTUK MENDAPATKAN BAHAN BAKAR GAS ALTERNATIF

¹⁾Sri Gati Hutomo, ²⁾Joko Winarno

¹⁾²⁾Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Janabadra
Jl. TR. Mataram No. 55 – 57 Yogyakarta 55231 Telp./Fax : (0274) 543676
E-Mail : hjwinarno25@yahoo.com

ABSTRACT

This study aimed to investigate the process of pyrolysis of scrap tires is no higher temperatures to produce gas fuel alternatives. The study focused on the process of pyrolysis of used tires in a fixed-bed reactor pad temperatures of 500 ° C - 700 ° C to determine the optimum conditions that produce pyrolysis gas fraction maximum. The study was also conducted to determine the effect of pyrolysis temperature on the reaction time, the formation of liquid products (tar) and solid (char). Product gas obtained from the pyrolysis process then dikarakterisasi for physical and chemical analysis. Characterization of the pyrolysis product gas is waged with menggunakan Gas Chromatography / Mass Spectroscopy (GC / MS). The results showed that the higher the temperature pyrolysis, the time needed to convert used tires into liquid products, solid and gas is getting shorter with the distribution of pyrolysis products fluctuates . The products of pyrolysis gas showed a downward trend with increasing temperature pyrolysis, while the composition of tar products is quite high. The optimum conditions for yielding maximum gas product is achieved at a temperature of 600 oC.

Keywords : *used tires, pyrolysis, fixed-bed reactor, temperature pyrolysis*

PENDAHULUAN

Saat ini masalah sampah telah menjadi masalah umum di berbagai tempat, terutama di kota-kota besar yang mempunyai jumlah penduduk relatif lebih padat dengan lahan untuk pembuangan sampah yang relatif terbatas. Permasalahan sampah ini menjadi semakin serius seiring dengan meningkatnya produksi sampah di perkotaan dari tahun ke tahun. Pada umumnya pengelolaan sampah di kebanyakan kota di Indonesia sampai saat ini masih terbatas pada pengolahan sampah secara konvensional, yakni hanya diangkut dari tempat-tempat pengumpulan sampah ke tempat pembuangan sementara, kemudian diangkut ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA)

sampah untuk dimusnahkan. Aktivitas utama pemusnahan sampah di TPA adalah dengan *landfilling*. *Landfilling* adalah pengelolaan sampah dengan cara menimbunnya di dalam tanah. Dapat dipastikan bahwa yang digunakan di Indonesia adalah bukan *landfilling* yang baik, karena hampir seluruh TPA di kota-kota di Indonesia hanya menerapkan apa yang dikenal sebagai *open-dumping*, yang sebetulnya tidak layak disebut sebagai sebuah cara yang sistematis, dan sama sekali sulit pula disebut sebagai sebuah bentuk teknologi penanganan sampah (Damanhuri, 2003).

Dalam perkembangannya, penge-lolaan dan penanganan sampah dengan metode *landfill* dan *open dump* kurang disukai karena menimbulkan

berbagai dampak buruk bagi lingkungan. Di samping itu metode *landfill* dan *open dump* tidak mampu mengurangi volume sampah jenis *rubbish* (tidak mudah membusuk) seperti plastik, karet, kaleng, besi, kaca dan bahan-bahan lainnya. Berdasarkan karakteristik sampah jenis *rubbish* (tidak mudah membusuk), terbanyak berwujud sampah plastik, sampah jenis ini tidak dapat teruraikan seiring dengan waktu (*non-biodegradable waste*), sehingga berdampak pada peningkatan timbunan sampah.

Teknologi alternatif yang telah dikembangkan untuk mengurangi jumlah volume sampah buangan, khususnya sampah jenis *rubbish*, di antaranya teknologi daur ulang dan teknologi transformasi thermal. Proses transformasi thermal selanjutnya terbagi menjadi tiga macam pengolahan, yaitu pembakaran (*combustion*), *gasification* dan *pyrolysis* dan pirolisis merupakan salah satu alternatif pengolahan sampah kota yang dipandang cukup prospektif untuk dikembangkan karena memiliki beberapa keuntungan di antaranya 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 (Himawanto dkk., 2010).

Meskipun penelitian mengenai karakteristik produk-produk pirolisis sampah kota telah banyak dilakukan, namun penelitian mengenai karakteristik fraksi gas hasil proses pirolisis sampah kota, khususnya sampah *rubbish*, masih jarang dilakukan. Penelitian yang sering dilakukan umumnya lebih terfokus pada produk-produk pirolisis fraksi padat dan cairan. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan dilakukan studi terhadap karakteristik dekomposisi (pirolisis) ban bekas pada temperatur tinggi untuk mendapatkan bahan bakar gas sebagai bahan bakar alternatif. Studi yang akan dilakukan mencakup analisis terhadap karakteristik dan komposisi kimia dari gas hasil pirolisis. Dalam

penelitian ini, pirolisis komponen tunggal ban karet bekas akan dikaji secara teoritis dan eksperimental di dalam reaktor pirolisis skala laboratorium. Reaktor pirolisis yang digunakan adalah *Batch Type Pyrolizer (BTP)* dan produk-produk hasil dari proses pirolisis yang diperoleh akan dianalisis dengan menggunakan *Gas Chromatography/Mass Spectroscopy (GC/MS)*.

Dalam studi ini, parameter pirolisis yang dikaji adalah temperatur akhir pirolisis dengan variasi temperatur 500 °C, 600 °C dan 700 °C. Parameter lain yang mempengaruhi proses pirolisis dibuat konstan, yakni laju pemanasan direncanakan dan waktu penahanan. Variabel ukuran partikel dari sampel yang diuji dibuat konstan, yakni dengan ukuran 5 mm x 5 mm. Sampel ban karet bekas yang digunakan dalam studi ini adalah ban bekas mobil.

TINJAUAN PUSTAKA

Ban adalah bagian penting dari kendaraan bermotor seperti sepeda motor dan mobil. Ban memiliki bahan dasar karet yang merupakan salah satu jenis polimer sintesis (polistiren). Polistiren adalah molekul yang memiliki berat molekul ringan, terbentuk dari monomer sirena yang berbau harum (Damayanthi dan Martini, 2007). Karet yang dibuat untuk ban adalah karet butadiene. Karet ini dibuat secara kopolimerisasi antara butadiena dan sirena (Surdia dan Saito, 2005).

Ban kendaraan bermotor yang telah lama dipakai akan aus akibat gesekan dengan jalan. Ban yang telah aus ini harus segera diganti karena dapat membahayakan pengendara. Tingkat keausan pada ban berbeda-beda tergantung komposisi penyusun dari ban. Menurut Ko *et.al.* (2004) komposisi penyusun ban bervariasi sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan oleh pabrik pembuatnya. Namun demikian, Galvagno *et.al.* (2002) menyatakan bahwa secara umum senyawa komposisi dari ban dapat dilihat pada table 1. Karbon hitam yang merupakan komposisi terbanyak dalam penyusunan ban digunakan

untuk memperkuat karet dan membantu ketahanan terhadap goresan. Selama proses vulkanisasi ban ditambahn senyawa sulfur untuk mengikat polimer dengan karet dan juga untuk memperkuat serta mencegah berubahnya bentuk ban akibat temperatur yang tinggi (Mastral, 2000).

Tabel 1. Komposisi penyusun ban

| Komposisi | Persentase (%) |
|-----------|----------------|
| Karbon | 85,16 |
| Hidrogen | 7,27 |
| Oksigen | 0,54 |
| Nitrogen | 0,38 |
| Sulfur | 2,30 |
| Ash | 4,36 |

Pirolisis didefinisikan sebagai degradasi termal dari bahan bakar padat pada kondisi udara/oksigen terbatas, dimana proses ini akan menghasilkan *char* (berujud padatan), *tar* (berujud cairan) dan gas (Di Blasi (2008). Dengan proses pirolisis, sampah organik, plastik, ban bekas, dan sampah lainnya akan menghasilkan produk-produk yang spesifik yang bernilai ekonomi tinggi. Ketika mengolah sampah organik produk utama yang dihasilkan adalah arang, *biooil*, dan *syngas*. Ketiga-tiganya bisa digunakan untuk aplikasi energi, sedangkan ketika mengolah plastik akan dihasilkan *char*, gas dan produk utama *syn crude oil* yang kualitasnya sama seperti minyak bumi.

Pengolahan ban bekas dengan pirolisis juga akan dihasilkan gas, dan produk utama berupa *syn crude oil* seperti pada pengolahan plastik dan *carbon black*. Dalam proses pirolisis ban bekas, perbandingan prosentase ketiga produk tersebut sangat tergantung pada beberapa kondisi operasi, diantaranya adalah besarnya laju pemanasan, temperatur akhir proses pirolisis, lama penghandelan temperatur akhir, tekanan kerja dan ada tidaknya katalis.

Pengaruh suhu terhadap proses pirolisis dapat dinyatakan dengan persamaan Arrhenius

sebagai berikut :

$$k = k_0 \cdot E^{-\frac{E}{RT}} \dots\dots\dots(1)$$

dengan,

- k = Konstanta kecepatan reaksi dekomposisi termal
- k₀ = Faktor tumbukan (faktor frekuensi)
- E^o = Energi aktivasi (kal/gr.mol)
- T = Suhu absolute (K)
- R = Tetapan gas (1,987 kal/gr.mol.K)

Dari persamaan di atas dapat diketahui bahwa suhu makin tinggi nilainya konstanta dekomposisi termal makin besar akibatnya laju pirolisis bertambah dan konversi naik. Pada proses pirolisis suhu rendah (<700) dimulai pada suhu antara 225-275^oC (Bilbao and Salvador, 1995). Untuk itu, variasi percobaan agar reaksi pirolisis benar – benar telah terjadi maka diambil kisaran suhu yang perlu dipelajari, yaitu 300-500^oC

Berbagai penelitian yang terkait dengan proses pirolisis ban karet bekas telah banyak dilakukan di antaranya Mustafa dan Noor (2003) yang melakukan penelitian tentang proses pirolisis ban karet bekas untuk mendapatkan karbon aktif. Penelitian dilakukan pada temperatur pirolisis 400 °C, 500 °C dan 600 °C selama 90 menit. Dari penelitian ini dapat diketahui bahwa pembentukan karbon aktif hasil optimum kandungan karbon adalah 41% – 43% dan karbon aktifnya 40% – 42% pada temperatur pirolisis 500 °C selama 90 menit.

Juma, *et.al.* (2006) telah melakukan kajian pustaka dari berbagai hasil penelitian yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti yang terdahulu. Hasil kajian menunjukkan bahwa berdasarkan analisis termogravimetrik proses pirolisis ban bekas pada kondisi atmosferik dimulai pada temperatur 250 °C dan akan berakhir pada temperatur 550 °C. Pada umumnya pirolisis ban bekas akan menghasilkan produk-produk pirolisis berupa residu padat (40 wt%), fraksi cairan (50 wt%) dan fraksi gas (10 wt%).

Dari hasil kajiannya juga diketahui bahwa kecenderungan yang umum terjadi adalah semakin tinggi temperatur pirolisis, maka prosentase produk pirolisis fraksi cairan dan fraksi gas akan mengalami peningkatan. Hasil yang sama juga diperoleh oleh Suhanya *et.al.* (2013).

Islam, *et.al.* (2010) melakukan studi inovasi pirolisis ban bekas, yakni dengan menggunakan reaktor pirolisis *fixed-bed fire-tube*. Sampah padat berupa ban bekas dipirolisis di dalam reaktor dalam kondisi atmosferik N_2 . Hasil penelitian menunjukkan bahwa produk tertinggi hasil pirolisis yang berupa cairan pada temperatur pirolisis 475 °C untuk ukuran sampel 4 cm³ dengan waktu tinggal 5 detik. Hasil uji properti menunjukkan bahwa cairan hasil pirolisis mengandung campuran organik yang kompleks dari $C_5 - C_{16}$ dan berpotensi menggantikan bahan bakar cair konvensional.

Pradhan dan Singh (2011) melakukan pirolisis terhadap ban bekas sepeda menggunakan reaktor *Batch*. Laju pemanasan yang digunakan adalah 20 °C/menit dengan jangkauan temperatur 450 °C hingga 600 °C dengan ukuran sampel 1 cm. Pengaruh laju pemanasan terhadap laju reaksi pirolisis dianalisis menggunakan *Thermogravimetric Analysis* (TGA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil optimum produk cair diperoleh pada temperatur 600 °C. Dari hasil penelitannya juga diketahui bahwa berdasarkan analisis chromatography, produk cair hasil pirolisis dapat digunakan sebagai bahan bakar cair dengan nilai kalor 34.61MJ/Kg dengan rumus kimia secara empiris $CH_{1.32}N_{0.01}S_{0.02}O_{0.42}$.

METODE PENELITIAN

Dalam studi ini, akan dikaji pirolisis terhadap ban bekas secara eksperimental di dalam reaktor pirolisis skala laboratorium. Studi difokuskan pada temperatur pirolisis 500 °C – 700 °C pada tekanan lingkungan. Pengaruh dari temperatur pirolisis dan laju pemanasan terhadap waktu reaksi, produk gas,

cairan dan formasi char juga akan dilakukan pengkajian yang mendalam untuk mendapatkan kondisi operasi yang menghasilkan produk gas maksimum. Reaktor pirolisis yang digunakan adalah *Fixed-Bed Batch Reactor* dan analisis produk pirolisis gas dan cair yang diperoleh akan dianalisis dengan menggunakan *Gas Chromatography/Mass Spectroscopy (GC/MS)* dan produk char akan dilakukan uji proximate.

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah ban bekas kendaraan bermotor dari berbagai merk. Ban bekas mula-mula dipotong kecil-kecil hingga ukuran mendekati 0,5 x 1 cm kemudian dicuci dan dikeringkan. Sebelum proses pirolisis dimulai, sebagian sampel ban bekas dipisahkan untuk dilakukan uji proksimasi dan elemental. Instalasi peralatan untuk proses pirolisis dirancang seperti tampak pada gambar 1.



Gambar 1. Instalasi peralatan pengujian

Instalasi peralatan pengujian ini diadopsi dari penelitian Setyawan (2010), yang terdiri dari atas tungku pemanas yang dilengkapi dengan *thermocontroller* dengan pembacaan temperatur sampai dengan 1000 °C. Reaktor untuk proses pirolisis diletakkan pada sebuah *furnace* dan dililiti elemen pemanas dengan panjang dari dasar *furnace*. Pada bagian atas tabung reaktor terdapat saluran untuk mengalirkan gas hasil pirolisis ke sistem pendingin.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari pengujian sampel ban bekas diperoleh hasil penelitian sebagai berikut :

Tabel 2. Hasil analisis sampel ban bekas

| Jenis Sampel | Hasil Analisis | | | | |
|--------------|----------------|---------|--------------|-------------|----------|
| | Abu (%) | Air (%) | Volatile (%) | Fix. Carbon | Kalori |
| Ban Bekas | 4,269 | 1,267 | 65,051 | 29,413 | 9643,701 |
| | 4,090 | 1,113 | 64,186 | 30,611 | 9365,838 |
| Rata-Rata | 4,179 | 1,190 | 64,619 | 30,012 | 9504,77 |

Dari proses pirolisis yang telah dilakukan diperoleh hasil penelitian sebagai berikut :

Tabel 3. Ditribusi Produk Pirolisis

| Temperatur Pirolisis (°C) | Berat Sampel | Waktu Pirolisis (min) | Product Yield | | |
|---------------------------|--------------|-----------------------|---------------|----------|---------|
| | | | Tar (%) | Char (%) | Gas (%) |
| 500 | 200 gram | 37 | 7,83 | 37 | 50,99 |
| 600 | | 27 | 15,66 | 35 | 45,16 |
| 700 | | 21 | 13,49 | 38,5 | 43,84 |

Dari hasil uji nyala produk gas hasil pirolisis diperoleh hasil sebagai berikut :



Gambar 2. Produk pirolisis fraksi gas

Dari pengujian produk pirolisis fraksi gas diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 4. Hasil uji komposisi fraksi gas

| Temperatur Pirolisis (°C) | Parameter Uji | Hasil | Satuan | Metode |
|---------------------------|---------------|-------|--------|--------|
| 500 | Hidrokarbon | 69,32 | % | GC |
| 600 | Hidrokarbon | 94,27 | % | GC |
| 700 | Hidrokarbon | 69,03 | % | GC |

Dari pengujian produk pirolisis fraksi gas diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 5. Ditribusi Produk Pirolisis

| Temperatur Pirolisis (°C) | Hasil Analisis | | | | |
|---------------------------|----------------|---------|--------|------------------|---------------|
| | Abu (%) | Air (%) | Vm (%) | Fixed Carbon (%) | Kalori Kal/kg |
| 500 | 10,984 | 2,0495 | 4,849 | 82,6675 | 7373,384 |
| 600 | 11,253 | 1,7215 | 0,4185 | 86,607 | 7519,547 |
| 700 | 13,041 | 1,504 | 0,0289 | 85,4045 | 7155,841 |

Dari hasil pengujian diketahui bahwa distribusi produk pirolisis berfluktuasi pada temperatur yang berbeda, terutama pada produk char dan tar. Produk pirolisis fraksi padat (char) mencapai maksimum pada temperatur pirolisis 700 °C, yakni mencapai 38,6% dari berat produk keseluruhan, sedangkan Produk pirolisis fraksi cair (tar) mencapai maksimum pada temperatur pirolisis 600 °C, yakni mencapai 15,66% dari berat produk keseluruhan.

Jumlah produk pirolisis fraksi gas menunjukkan kecenderungan turun seiring dengan naik temperatur pirolisis. Hal ini karena semakin tinggi temperatur pirolisis, waktu yang diperlukan untuk proses dekomposisi termal semakin pendek, sehingga waktu untuk terjadinya reaksi lanjutan juga akan semakin pendek. Uji bakar terhadap gas ini menunjukkan bahwa gas hasil pirolisis dapat terbakar dengan mudah dan menunjukkan stabilitas yang cukup baik seperti ditunjukkan oleh gambar 2.

Hasil uji produk pirolisis fraksi gas menunjukkan bahwa kandungan hidrokarbon paling tinggi diperoleh pada temperatur pirolisis 600 °C, yakni mencapai 94,27 %, kondisi yang ditunjukkan oleh hasil uji produk pirolisis fraksi padat yang menunjukkan kandungan fixed carbon maksimum diperoleh pada temperatur pirolisis 600 °C.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Ban bekas memiliki potensi sebagai sumber energi dan sebagai sumber karbon untuk berbagai keperluan.
2. Semakin tinggi temperatur pirolisis, maka waktu yang diperlukan untuk mengkonversi ban bekas menjadi produk tar, char dan gas

akan semakin pendek.

3. Semakin tinggi temperatur pirolisis, maka distribusi produk pirolisis berfluktuasi, terutama pada produk char dan tar. Sedangkan produk gas menunjukkan kecenderungan turun seiring dengan naik temperatur pirolisis.
4. Temperatur pirolisis 600 °C merupakan temperatur yang ideal untuk mendapatkan hidrokarbon dan fixed carbon yang maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Bilbao, R., Arauzo, J., and Salvador, M.L., 1995, *Kinetics And Modeling Of Gas Formation In The Thermal Decomposition Of Powdery Cellulose And Pine Sawdust*, Ind. Eng. Chem. Res., 34, 786 – 792.
- Damanhuri, E., 2003, *Permasalahan Dan Alternatif Teknologi Pengelolaan Sampah Kota Di Indonesia*, Prosiding Seminar Teknologi untuk Negeri 2003, Vol. I, hal. 394 - 400 /HUMAS-BPPT/ANY.
- Damayanthi, R., Martini, R. 2007. *Proses Pembuatan Bahan Bakar Cair dengan Memanfaatkan Limbah Ban Bekas Menggunakan Katalis Zeolit Y dan ZSM-5*. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Di Blasi, C., 2008. *Modeling chemical and physical processes of wood and biomass pyrolysis*. Progress in Energy and Combustion Science 34 (n 1), 47–90.
- Galvagno, S., Casu, S., Casabianca, T., Calabrese, A., Cornacchia, G. 2002. *Pyrolysis process for the treatment of scrap tyres*: preliminary experimental results. Waste Manage. 22(8), 917-923.
- Himawanto, D.A., Indarto, Saptoadi, H., Rohmat, T.A., 2010, *Pengaruh Heating Rate Pada Proses Slow Pyrolysis Sampah Bambu Dan Sampah Daun Pisang*, Prosiding Seminar Rekayasa Kimia dan Proses, Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang.
- Islam, *et.al.*, 2010, *Innovation in Pyrolysis Technology for Management of Scrap Tires: A Solution of Energy and Environment*, International Journal of Environmental Science and development, Vol. 1, No. 1, April 2010.
- Juma, M., Koren ová, Z., J. Markoš, J. Annus, L. Jelemenský. (2006). *Pyrolysis and Combustion of Scrap Tire*. Institute of Chemical and Environmental Engineering, Faculty of Chemical and Food Technology, Slovak University of Technology, Radlinského 9, 812 37 Bratislava.
- Mastral, A. M., Callen M. S., Garcia, T., and Navarro, M. V. 2000. **Improvement of liquids from coal-tire co-thermolysis. Charac-terization of the obtained oils**. Fuel Proc. Tech. 64:135–140.
- Mulyadi, E., 2010, *Degradasi Sampah Kota (Rubbish) Dengan Proses Pirolisis*, Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan Vol.1 No. 1.
- Mustofa, D. Dan Noor, AM., 2003, *Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif Dari Ban Bekas Dan Penggunaannya Untuk Penyerapan Ion-Ion Logam Dalam Larutan*, Jurnal Kimia Andalas, 9(2) 11 – 15. Universitas Andalas, Padang.
- Pradhan, D., and Singh, R. K. 2011, *Thermal Pyrolysis of Bicycle Waste Tyre Using Batch Reactor*, International Journal of Chemical Engineering and Applications, Vol. 2 , No. 5 , October 2011.
- Rodiansono, Trisunaryanti W., dan Triyono, 2007, *Pembuatan, Karakterisasi Dan Uji Aktifitas Katalis NiMo/Z Pada Reaksi Hidrorengkah Fraksi Sampah Plastic Menjadi Fraksi Bensin*, Jurnal Berkala MIPA, 17.2.

Setiawan, Y., 2010, *Karakteristik Char Sampah Organik Dan Anorganik Hasil Pirolisis*, Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin UMY, Yogyakarta.

Suhanya, M., Thirumarimurugan, M., & Kannadasan, T., 2013, *Recovery Of Oil From Waste Tyres Using Pyrolysis Method: A Review*, International Journal of Research in Engineering & Technology (IJRET) Vol. 1, Issue 2,

July 2013, 81-90, © Impact Journals.

Sumarni dan Purwanti, A., 2008, *Kinetika Reaksi Pirolisis Plastik Low Density Poliethylene (LDPE)*, Jurnal Teknologi, Vol. 1 No. 2, Desember 2008, 135 – 140.

Surdia, T., dan S. Saito. 2005. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Pradnya Paramita, Jakarta.