

## PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP DISTRIBUSI PRODUK DAN SIFAT FISIK PRODUK PIROLISIS BAN KARET BEKAS PADA ATMOSFIR VAKUM DAN N<sub>2</sub>

Ady Rahmat<sup>1)</sup>, Hasanudin<sup>1)</sup>, Krisna Andriansyah

**Abstrak :** Telah dilakukan penelitian untuk melihat pengaruh temperatur pirolisis terhadap distribusi dan sifat fisik produk pirolisis yaitu viskositas, energi ambang fluida dan kalor pembakaran. Pirolisis dilakukan pada atmosfer vakum dan N<sub>2</sub> dengan temperatur 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, 450°C, 500°C dan 550°C. Hasil menunjukkan persen produk cair pirolisis yang dihasilkan mencapai persen tertinggi untuk atmosfer vakum pada temperatur pirolisis 350°C sebesar 42,8625% dan atmosfer N<sub>2</sub> pada 500°C sebesar 50,13755%. Viskositas terendah untuk vakum dicapai pada pirolisis temperatur 400°C sebesar 0,0944 Poise pada 10°C dan viskositas tertinggi dicapai pada temperatur pirolisis 300°C sebesar 0,3425 Poise diukur pada 10°C. Nilai viskositas tertinggi untuk atmosfer N<sub>2</sub> diperoleh pada 350°C dan terendah pada temperatur 300°C. Energi ambang terendah untuk vakum dicapai pada temperatur 400°C sebesar 33,2458 kJ/mol dan energi ambang tertinggi dicapai pada pirolisis temperatur 300°C sebesar 39,2922 kJ/mol. Nilai energi ambang untuk atmosfer N<sub>2</sub> terendah pada 300°C sebesar 26,5525 kJ. Kalor pembakaran meningkat dengan naiknya temperatur pirolisis. Kalor pembakaran tertinggi untuk vakum dicapai pada temperatur pirolisis 450°C sebesar 44,1218 kJ/g sementara untuk atmosfer N<sub>2</sub> dicapai pada 300°C 46,3248 kJ/g.

**Kata Kunci i:** pirolisis, ban karet bekas, sifat fisik produk liquid

**Abstract :** The effect of temperature on product distribution and physical properties of used tire pyrolysis product had been investigated. The physical properties includes viscosity, fluid limit energy and heat of combustion. Pyrolysis conducted in vacuum and nitrogen atmospheric with temperature variation from 250, 300, 350, 400, 450, 500 and 550°C. Result shown that liquid product reach highest percentage in vacuum atmosphere 42.8625% at 350°C and in nitrogen atmosphere 50.13755% at 500°C. The lowest viscosity 0.0944 Poise for vacuum atmosphere is attained at 400°C while the highest viscosity 0.3425 Poise for nitrogen atmosphere is attained at 300°C. Both viscosity are measured at 10°C. The lowest of fluid limit energy 33.2458 kJ/mole for vacuum is attained at 400°C and the highest 39.2922 kJ/mole is attained at 300°C. Whereas at nitrogen atmosphere the lowest of fluid limit energy 26.5525 kJ/mole is attained at 300°C. The highest heat of combustion, the highest pyrolysis temperature. Heat of combustion has the highest value 44.1218 kJ/g for vacuum atmosphere at 450°C while for nitrogen atmosphere 46.3248 kJ/g at 300°C.

**Key words :** pyrolysis, used tire, physical properties of liquid product

## PENDAHULUAN

Ban karet bekas merupakan masalah lingkungan yang cukup besar pada saat ini, tidak hanya di luar negeri tapi juga di Indonesia. Selama ini banyak alternatif yang telah dilakukan untuk mendaur ulang ban karet seperti untuk kerajinan, ditimbun, dibakar, digrinding dan lainnya. Cara daur ulang tersebut memiliki banyak kekurangan dan keterbatasan (Jang dkk, 1998). Kesulitan mendaur ulang ban karet disebabkan oleh komponen penyusun ban karet yang merupakan hasil dari polimerisasi material penyusunnya. Penyusun utama ban karet adalah karet alam dan karet sintetik, selain itu juga terkandung komponen material yang berbeda seperti karbon, logam, sedikit komponen organik dan anorganik lainnya. Ini juga menyebabkan ban karet butuh waktu yang lama untuk terdegradasi secara alami dan dapat menimbulkan masalah lingkungan. Meningkatnya jumlah ban karet bekas memerlukan proses daur ulang agar ban karet bekas ini dapat dimanfaatkan dan tidak merusak lingkungan.

Pirolisis bisa menjadi alternatif lain sebagai metode yang cukup baik untuk daur ulang ban karet bekas. Pirolisis dapat mendekomposisi secara termal materi yang bersifat volatil dalam ban karet menjadi produk berupa cairan atau gas. Struktur kimia dari produk pirolisis merupakan struktur molekul pembentuk material organik. Produk yang dihasilkan tersebut dapat digunakan sebagai sumber bahan bakar. Mengingat terbatasnya sumber bahan bakar minyak

pada saat ini, maka pemanfaatan ban karet bekas untuk dijadikan sumber bahan bakar sangatlah tepat. Pirolisis yang dilakukan dengan berbagai temperatur berguna untuk mengetahui produk terbaik yang bisa dihasilkan dalam proses pirolisis. Produk yang dihasilkan di analisa distribusi produknya dan sifat-sifat fisik produk cairan yang meliputi berat jenis, viskositas, energi ambang zat mengalir dan kalor pembakaran.

## METODE PENELITIAN

### Bahan dan Metode

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah ban karet mobil bekas bagian luar, gas  $N_2$ , gas  $O_2$ , pembanding : bensin, solar dan minyak tanah. Sedangkan alat yang digunakan meliputi reaktor pirolisis, piknometer, kalorimeter cairan, viscometer, neraca analitik.

### Preparasi Bahan dan Proses Pirolisis

Ban luar karet mobil bekas yang sudah dipotong-potong dengan ukuran 0,5 cm x 0,5 cm ditimbang kemudian dipirolisis pada furnace silinder vertikal dengan tekanan vakum. Pirolisis ini dilakukan pada atmosfer vakum dan  $N_2$  dengan variasi temperatur 250, 300, 350, 400, 450, 500 dan 550°C dipertahankan sampai tidak menghasilkan produk cair lagi, selanjutnya berat produk cair dan padat ditimbang, sedangkan berat gas yang dihasilkan ditentukan dengan pengurang-

an berat sampel dengan berat produk cair dan sisa padatan.

### **Penentuan Berat Jenis Produk Cair Pirolisis Ban Karet**

Produk cair pirolisis temperatur 250, 300, 350, 350, 400, 450, 500 dan 550°C diukur berat jenisnya pada suhu 10, 20, 30, 40 dan 50°C dengan piknometer 10 mL. Piknometer kosong ditimbang lebih dulu, kemudian produk cair pirolisis vakum ban karet dimasukkan ke dalam piknometer kemudian ditimbang. Berat jenis cairan didapat dengan mengurangkan berat piknometer berisi sampel dengan berat kosong dan dibagi dengan volume piknometer. Pengukuran dilakukan juga pada bensin, solar dan minyak tanah sebagai pembandingan.

### **Penentuan Viskositas Produk Cair Hasil Pirolisis**

Penentuan viskositas dilakukan dengan menggunakan alat viscometer. Nilai viskositas dilakukan penentuan dengan variasi suhu 10, 20, 30, 40 dan 50°C pada setiap produk hasil pirolisis suhu 250, 300, 350, 400 dan 450°C. Pengukuran juga dilakukan pada air, bensin, solar dan minyak tanah sebagai pembandingan.

### **Penentuan Kalor Jenis Pembakaran**

Penentuan kalor pembakaran produk cair hasil pirolisis dilakukan dengan menggunakan kalorimeter cairan. Produk cair dari tiap variasi suhu dimasukkan kedalam bunsen kemudian ditimbang, setelah itu,

bunsen yang berisi produk cair tersebut diletakkan di wadah bunsen dan dialiri gas O<sub>2</sub>. Selanjutnya bunsen tersebut dibakar dan ditutup menggunakan tabung silinder yang berisi air. Panas yang dihasilkan dari pembakaran bunsen menyebabkan suhu meningkat. Selama proses pembakaran berlangsung air diaduk terus menerus agar panas merata. Ketika bunsen padam, peningkatan suhu air pada termometer dicatat dan bunsen dидiamkan hingga kembali ke suhu semula lalu ditimbang. Pengukuran juga dilakukan juga pada bensin, solar dan minyak tanah sebagai pembandingan, sebagai standar digunakan n-heksan.

### **Analisa Data**

#### **Persen Konversi**

Merupakan perbandingan sampel yang berubah menjadi cair dan gas terhadap berat awal, yang menunjukkan jumlah produk yang terbentuk secara umum. Persen konversi dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$\% \text{ Konversi} = \frac{\text{Beratsampel} - \text{Beratisapadatan}}{\text{Beratsampel}} \times 100$$

metode uji t-berpasangan digunakan untuk melihat apakah ada perbedaan secara nyata antara hasil konversi yang dihasilkan metode pirolisis pada kondisi vakum dengan pirolisis pada kondisi atmosfer nitrogen. Parameter yang digunakan adalah produk cair pirolisis temperatur 250, 300, 350, 400 dan 450°C

dan persen konversi yang dihasilkan dari dari masing- masing metode.

### Distribusi Produk

Menyatakan jumlah fasa yaitu cair, gas dan padatan yang dihasilkan selama proses pirolisis dengan menentukan persen dari masing-masing fasa tersebut.

$$\% \text{ Produk Cair} = \frac{\text{Berat Produk Cair}}{\text{Beratsampel}} \times 100$$

$$\% \text{ Sisa padatan} = \frac{\text{Berat sisa padatan}}{\text{Beratsampel}} \times 100$$

$$\% \text{ Gas} = \frac{\text{Berat gas}}{\text{Beratsampel}} \times 100$$

### Viskositas Produk Cair

Viskositas ini diukur dengan viskometer Ostwald dan dihitung laju alirnya. Analisa digunakan untuk mengetahui apakah setiap kenaikan temperatur setiap 10°C akan memberikan perbedaan yang nyata atau tidak terhadap viskositas produk cair pirolisis, maka diuji dengan rancangan blok lengkap dengan menggunakan parameter produk cair pirolisis temperatur 250, 300, 350, 400, 450°C dan temperatur viskositas cairan 10, 20, 30, 40 dan 50°C.

$$\frac{\eta_{\text{air}}}{\eta_{\text{produk}}} = \frac{\rho_{\text{air}}}{\rho_{\text{produk}}} \times \frac{t_{\text{air}}}{t_{\text{produk}}}$$

$\rho$  = berat jenis cairan (g/mL)

$t$  = waktu alir (det)

$\eta$  = viskositas (Poise)

### Energi Ambang

Merupakan energi minimum yang harus dimiliki suatu fluida untuk mengalir.

Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\eta = A e^{-E/RT}$$

dimana :

A = Tetapan

E = Energi ambang kJ/mol

R = Tetapan gas 8,314 kJ/mol.K

### Kalor Pembakaran

Kalor pembakaran adalah kalor yang dibebaskan bila suatu senyawa teroksidasi sempurna menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Persamaannya dinyatakan sebagai berikut :

$$Q = m C \Delta T$$

Dimana :

C = kapasitas kalor pembakaran (kJ/K)

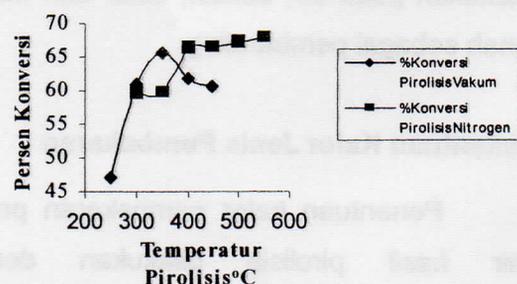
m = massa (g)

$\Delta T$  = Perubahan temperatur (K)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Persen Konversi

Hasil pengukuran untuk atmosfer vakum dan N<sub>2</sub> ditampilkan pada gambar berikut.:



**Gambar 1.** Grafik Pengaruh Temperatur Terhadap Persen Konversi

Grafik pada gambar 1 tersebut, menunjukkan peningkatan persen konversi dengan meningkatnya temperatur pirolisis dan mencapai tertinggi pada temperatur 350°C yaitu 65,5%. Meningkatnya temperatur pirolisis menyebabkan pelepas-an senyawa-senyawa organik semakin banyak. Senyawa organik sangat kurang stabil terhadap pemanasan dibandingkan dengan senyawa anorganik. Hal ini disebabkan ikatan dalam senyawa organik adalah ikatan kovalen dengan energi yang relatif lemah, sedangkan senyawa anorganik mempunyai ikatan yang lebih kuat karena senyawa anorganik kebanyakan tergolong senyawa ion. Selama proses pirolisis ban karet akan kehilangan massa yang disebabkan oleh putusannya ikatan-ikatan senyawa polimer yang terkandung dalam ban karet. Ikatan-ikatan itu putus sesuai dengan titik lelehnya. Hal ini menyebabkan terjadinya peningkatan persen konversi pada suhu yang tinggi. Pada suhu 250°C, didapati persentase tidak terkonversi lebih besar dari pada persentase terkonversi. Hal ini disebabkan oleh temperatur yang diperlukan ban karet dalam pemutusan ikatan-ikatan kimianya untuk membentuk produk liquid maupun gas tidak cukup. Pada temperatur 350°C persentase konversi terlihat sangat tinggi terutama dalam bentuk liquid, hal ini menunjukkan bahwa komponen penyusun ban karet paling banyak terdekomposisi pada suhu 350°C.

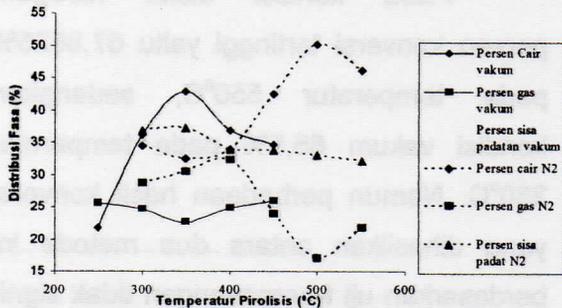
Pada temperatur tinggi yaitu 400 dan 450°C terjadi pemanasan mendadak sehingga terjadi karbonisasi. Karbonisasi adalah proses

pembentukan karbon padat dari senyawa-senyawa yang mengandung karbon. Dibandingkan dengan pirolisis pada kondisi atmosfer nitrogen yang telah dilakukan sebelumnya terdapat perbedaan temperatur pirolisis untuk menghasilkan persen konversi tertinggi.

Pada kondisi dialiri nitrogen, persen konversi tertinggi yaitu 67,8625% pada temperatur 550°C, sedangkan kondisi vakum 65,5% pada temperatur 350°C. Namun perbedaan hasil konversi yang dihasilkan antara dua metode ini berdasarkan uji t-berpasangan tidak signifikan/nyata. Adanya selisih persen konversi tertinggi yang dicapai pada temperatur pirolisis berbeda disebabkan oleh berbedanya tahapan proses yang dilalui. Pirolisis kondisi vakum menyebabkan ban karet telah terdekomposisi pada temperatur 350°C dan membentuk produk cairan dan gas. Hal ini terjadi karena kondisi vakum membuat tekanan pada reaktor menjadi rendah, sehingga ban karet lebih mudah teruapkan dan akhirnya membentuk cair dan gas. Kondisi seperti ini tidak terjadi pada atmosfer nitrogen. Dari uraian tersebut dapat disimpulkan bahwa persen konversi tertinggi dicapai pada temperatur pirolisis 350°C yaitu 65,5% dan pirolisis ban karet lebih mudah terdekomposisi dalam kondisi vakum dibandingkan dengan dialiri gas Nitrogen.

### Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Distribusi Fasa

Distribusi produk diperoleh dari perhitungan hasil pirolisis yang membentuk produk cair, gas dan sisa padatan pada temperatur 250, 300, 350, 400 dan 450°C. Distribusi fasa yang terbentuk dari hasil pirolisis ditunjukkan pada gambar 2 berikut :



**Gambar 2.** Grafik Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Distribusi Produk

Pada gambar tersebut terlihat bahwa untuk kondisi vakum, berat gas relatif konstan, sedangkan produk cair dan sisa padatan saling berlawanan. Bila persen sisa padatan menurun maka persen produk cair meningkat. Jumlah produk cair tertinggi terjadi pada temperatur 350°C yaitu 42,8625% dan pada temperatur ini juga di peroleh produk gas terendah yaitu 22,6375%.

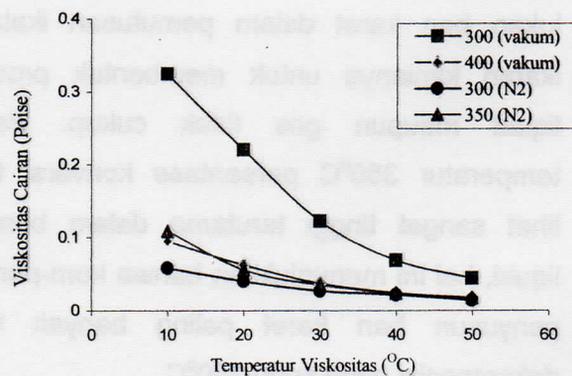
Pada temperatur terendah 250°C didapatkan sisa padatan paling banyak. Hal ini disebabkan pemanasan pada temperatur rendah terjadi secara bertahap, akibatnya ban karet belum terdekomposisi seluruhnya dan sisa padatan yang terbentuk sangat banyak. Berdasarkan hal itu dapat disimpulkan bahwa persen produk cair tertinggi terbentuk pada temperatur 350°C yaitu sebesar 42,6625%, sedangkan jumlah gas dan sisa padatan

terendah terjadi pada 350°C yaitu 22,6375% dan 34,5%.

Sementara untuk kondisi N<sub>2</sub>, produk cair didapatkan pada temperatur 500°C sebesar 50,1375%. Sisa padatan yang terbentuk relatif konstan, dan semakin tinggi temperatur semakin sedikit produk gas yang diperoleh. Dekomposisi maksimal ditunjukkan pada temperatur 400°C ditandai dengan konstannya produk yang diperoleh. Pada kondisi ini senyawa organik dari karet sintetik yang lebih sukar terurai mulai terdekomposisi sehingga produk cair meningkat lagi hingga pada 500°C. Dari uraian tersebut dapat disimpulkan pirolisis ban karet bekas pada kondisi atmosfer N<sub>2</sub> menghasilkan produk cair maksimum pada temperatur pirolisis 500°C sebesar 50,1375%.

### Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Viskositas Produk Cair Pirolisis

Besarnya koefisien viskositas produk cair pirolisis dapat dilihat pada gambar 3 berikut :



**Gambar 3.** Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Viskositas Produk

Pada gambar tersebut terlihat bahwa viskositas tertinggi untuk kondisi vakum dicapai produk cair pirolisis temperatur 300°C. Hal ini menunjukkan bahwa produk cair temperatur 300°C sangat kental. Kekentalan produk ini didukung dengan besarnya berat jenis dari produk. Kekentalan produk ini dapat disebabkan oleh struktur kimia yang menyusun ban karet. Semakin panjang ikatan dari struktur kimia, maka berat jenis dan viskositas akan semakin besar (Sperling, 1992). Viskositas pada setiap temperatur pirolisis yang terbentuk tidak berbeda secara nyata setelah dianalisa dengan rancangan blok lengkap. Dari hasil analisa juga didapatkan bahwa untuk setiap kenaikan temperatur viskositas 10°C terhadap penurunan viskositas produk cair memberikan perbedaan secara berarti.

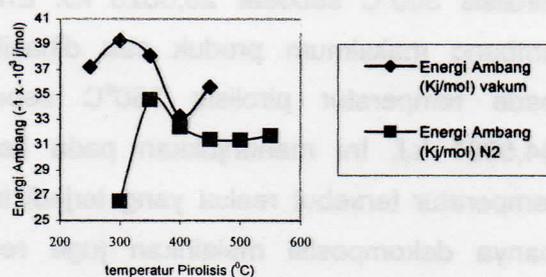
Viskositas terendah dimiliki produk pirolisis temperatur 400°C. Viskositas juga menentukan kualitas dari suatu bahan bakar cair. Dibanding dengan viskositas solar, bensin dan minyak tanah, maka viskositas produk pirolisis temperatur 450°C yaitu 0,024 Poise diukur pada temperatur 40°C hampir mendekati viskositas solar yaitu 0,0245 Poise diukur pada suhu 20°C. Pada contoh tersebut dapat dilihat bahwa temperatur yang dibutuhkan oleh produk pirolisis untuk menyamai viskositas solar dua kali temperatur solar.

Untuk atmosfer N<sub>2</sub> viskositas maksimum produk cair pirolisis diperoleh pada temperatur 350°C, diatas temperatur ini viskositas semakin menurun. Pada 300°C produk cair memiliki viskositas minimum, ini menunjukkan bahwa senyawa yang terbentuk

pada temperatur tersebut adalah senyawa dengan rantai karbon pendek atau molekul-nya memiliki berat molekul yang kecil.

### Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Energi Ambang Produk Pirolisis

Hasil perhitungan energi ambang produk pirolisis temperatur 250, 300, 350, 400 dan 450°C digambarkan pada grafik berikut :



**Gambar 4.** Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Energi Ambang Produk Pirolisis

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa produk pirolisis yang paling kecil energi ambangnya untuk atmosfer vakum adalah produk pirolisis temperatur 400°C sebesar 33,2458 KJ/mol. Dengan kecilnya energi ambang suatu fluida maka fluida tersebut akan lebih mudah mengalir. Hal ini disebabkan pengaruh pergerakan dan interaksi molekul di dalam produk tersebut. Meningkatnya viskositas maka energi ambang yang diperlukan suatu fluida akan meningkat pula. Semakin besar viskositas maka kekentalan juga semakin besar karena masing-masing lapisan fluida mendesak menahan pergerakan lebih

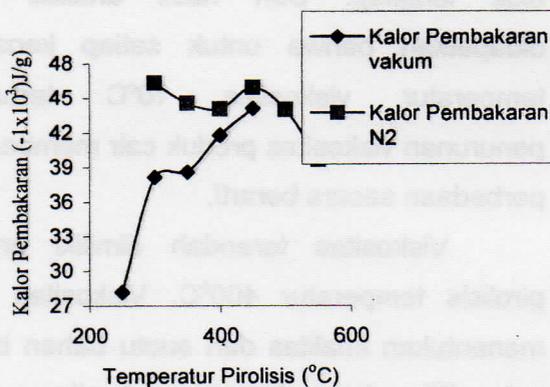
besar pada perbatasan lapisan sehingga kecepatan mengalir menurun. Dari grafik tersebut juga terlihat perbedaan energi ambang dari setiap produk pirolisis yang dihasilkan disebabkan oleh adanya perbedaan gaya gesek dari setiap komponen yang menyusun produk tersebut sehingga memerlukan sejumlah energi yang berbeda untuk mengalir.

Sementara untuk atmosfer  $N_2$  energi ambang minimum dihasilkan pada temperatur pirolisis  $300^\circ C$  sebesar 26,5525 kJ. Energi ambang maksimum produk cair dihasilkan pada temperatur pirolisis  $350^\circ C$  sebesar 34,5681 kJ. Ini menunjukkan pada kedua temperatur tersebut reaksi yang terjadi tidak hanya dekomposisi melainkan juga reaksi kopling. Namun reaksi kopling ini ternyata lebih dominan dibanding reaksi dekomposisi. Pada reaksi kopling, radikal alkil molekul yang satu berikatan dengan radikal alkil yang lain, sehingga membentuk suatu molekul dengan berat molekul yang besar.

Dibandingkan dengan standar yang dipakai yaitu bensin, solar dan minyak tanah maka energi ambang produk pirolisis ini sangatlah besar. Diantara bensin, solar dan minyak tanah yang memiliki energi ambang yang terbesar adalah solar yaitu 25,7287 kJ/mol, sedangkan produk pirolisis yang mendekati nilai tersebut adalah produk cair pirolisis temperatur  $400^\circ C$  yaitu 33,2458 kJ/mol.

### Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Kalor Pembakaran

Harga pengukuran kalor pembakaran produk pirolisis ditunjukkan pada gambar 5. Dari gambar tersebut dapat dilihat pada atmosfer vakum bahwa semakin tinggi temperatur pirolisis maka kalor pembakaran makin meningkat. Hal ini disebabkan oleh adanya produk yang terdekomposisi mem-bentuk molekul-molekul yang lebih kecil dengan kenaikan temperatur pirolisis se-hingga timbul perbedaan komponen senyawa yang membentuk produk cair pirolisis 250, 300, 350, 400 dan  $450^\circ C$ .



**Gambar 5.** Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Kalor Pembakaran

Perbedaan komponen senyawa penyusun produk cair tersebut timbul karena jumlah karbon dan hidrogen berbeda dan ikatan yang terbentuk dari ban karet yang menyusun produk pirolisis berbeda, sehingga kalor pembakaran juga berbeda. Kalor Pembakaran yang didapat bernilai negatif, hal ini hanya menunjukkan bahwa produk cair membebaskan energi atau panas saat pembakaran begitu juga

dengan kalor pembakaran bensin, solar dan minyak tanah.

Perbandingan kalor pembakaran dengan bensin, solar dan minyak tanah memperlihatkan bahwa kalor pembakaran produk cair pirolisis temperatur 400°C yaitu 41,6785 kJ/g hampir sama dengan kalor pembakaran bensin yaitu 42,4143 kJ/g. Hal ini menunjukkan kemungkinan adanya kemiripan struktur dan ratio hidro-gen dan karbon yang terbakar antara produk cair pirolisis dengan bensin dilihat dari besarnya kalor pembakaran. Berdasar-kan uraian tersebut dapat disimpulkan bahwa jumlah karbon dan hidrogen yang paling banyak terbakar adalah produk cair pirolisis temperatur 450°C sebesar 44,1218 kJ/g. Dilihat dari distribusi produk maka produk cair yang paling banyak adalah produk cair pirolisis temperatur 350°C. Kondisi optimal untuk mendapatkan produk pirolisis dengan viskositas dan energi ambang yang rendah adalah temperatur pirolisisnya 400°C, sedangkan untuk mendapatkan produk pirolisis dengan kalor pembakaran yang besar adalah pirolisis temperatur 450°C.

Untuk atmosfer N<sub>2</sub>, kalor pembakaran maksimum pada temperatur 300°C sebesar 46,3248 kJ/g dan kalor minimum diperoleh pada temperatur 550°C sebesar 39,6626 kJ/g. Pada temperatur 300°C produk cair yang dihasilkan memiliki ikatan karbon dengan hidrogen lebih banyak sehingga kalornya menjadi besar. Kalor pembakaran ini cenderung lebih tinggi jika dibandingkan dengan solar, minyak tanah dan bensin.

## KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa temperatur pirolisis pada berbagai waktu dapat mempengaruhi distribusi produk dan sifat fisik produk cair pirolisis vakum yang dihasilkan, sebagai berikut :

1. Produk cair pirolisis yang dihasilkan mencapai persen tertinggi untuk atmosfer vakum pada temperatur 350°C sebesar 42,8625% dan atmosfer N<sub>2</sub> pada 500°C sebesar 50,13755%.
2. Viskositas terendah untuk vakum dicapai pada pirolisis temperatur 400°C sebesar 0,0944 Poise pada 10°C dan viskositas tertinggi dicapai pada temperatur 300°C sebesar 0,3425 Poise diukur pada 10°C, sedangkan untuk atmosfer N<sub>2</sub> terendah pada temperatur 300°C.
3. Energi ambang terendah untuk vakum dicapai pada temperatur 400°C sebesar 33,2458 kJ/mol dan energi ambang tertinggi dicapai pada pirolisis temperatur 300°C sebesar 39,2922 kJ/mol, sedangkan untuk atmosfer N<sub>2</sub> terendah pada 300°C sebesar 26,5525 kJ.
4. Kalor pembakaran meningkat dengan naiknya temperatur pirolisis. Kalor pembakaran tertinggi untuk vakum dicapai pada temperatur pirolisis 450°C sebesar 44,1218 kJ/g sementara untuk atmosfer N<sub>2</sub> dicapai pada 300°C 46,3248 kJ/g.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Amir, Eddy J., Oskari A., 1976, *Karet Ban Sebagai Salah Satu Bentuk Pengembangan Baru Karet Alam*, Balai Penelitian Perkebunan Bogor, Bogor.
- Ekawati, 2003, *Distribusi dan sifat produk limbah karet padat pada kondisi atmosfer nitrogen*, Skripsi, Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya, Inderalaya.
- Emil, Hatchek, 1968, *The Viscosity of Liquid*, G. Bell and Sons. Inc., London.
- Hasanudin, 2001, *Peningkatan Kualitas Batubara Lignit dengan Metode Pirolisis dan Ekstraksi*, Tesis, Program studi Ilmu Kimia, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Petrucci R. H., 1996, *Kimia Dasar, Prinsip dan Terapan Modern*, Jilid 1, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Reid C.R., dkk. 1987, *Viscosity; The Properties of Gas and Liquid*, Fourth Edition, McGraw Hill, USA.
- Rodriguez, dkk. 1992, *Pyrolysis of Scrap Tyres*, Fuel Processing Technology, 72 (2001) 9-22.
- Yusuf, Sulaiman Y., 1983, *Penyulingan Karet Menjadi Bahan Bakar Minyak Karet*, Penerbit CV. Genap Jaya, Jakarta