

PROSES PEMBUATAN BAHAN BAKAR CAIR DENGAN MEMANFAATKAN LIMBAH BAN BEKAS MENGUNAKAN KATALIS ZEOLIT

Susila Arita*, Abrar Assalami, Dina Irawaty Naibaho

*Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya
Jl.Raya Inderalaya-Prabumulih KM.32 Ogan Ilir (OI) 30662
Email: susila_arita@yahoo.com

Abstrak

Ban bekas yang mengandung karet merupakan salah satu jenis *polystyrene* (polimer sintesis) yang dapat diolah menjadi bahan bakar cair dengan proses perengkahan. Pada penelitian ini, proses produksi hidrokarbon cair dari *polystyrene* dilakukan dengan proses pirolisis katalitik yang berlangsung pada suhu tinggi. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh waktu operasi dan berat katalis terhadap volume bahan bakar cair yang dihasilkan. Penelitian dilakukan melalui pirolisis dengan penambahan katalis zeolit 20%, 40%, 60%, dan 80% dari berat karet ban bekas yaitu 500 gram, serta tanpa katalis, dan waktu operasi selama 2 jam dan 3 jam. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa volume bahan bakar cair yang paling banyak dihasilkan sebanyak 73,5 mL yaitu pada waktu operasi selama 3 jam dengan berat katalis 400 gram (80% dari berat karet ban). Hasil pirolisis karet ban bekas menjadi bahan bakar cair dianalisa menggunakan analisa GC, dan dapat disimpulkan bahwa semua sampel termasuk ke dalam hidrokarbon cair jenis premium. Selanjutnya dapat disimpulkan juga bahwa karet ban bekas jenis *polystyrene* dapat diolah menjadi bahan bakar cair.

Kata Kunci : Pirolisis, Ban Bekas, Polystyrene, Katalis Zeolit

Abstract

Used tires containing the rubber is one kind of polystyrene (polymer synthesis) that can be processed into liquid fuels using cracking process. In this research, the production of liquid hydrocarbons from polystyrene performed by catalytic pyrolysis process in high temperature. The purpose of this research is to know the influence of the operating time and the weight of catalyst to the volume of liquid fuels produced. The research was performed using pyrolysis by addition of zeolite catalyst 20%, 40%, 60%, and 80% of the weight of tire rubber at 500 grams, and without the catalyst, and operating time during 2 hours and 3 hours. The result showed that the volume of liquid fuels most widely produced as much as 73.5 mL at the operating time for 3 hours by catalyst weight 400 grams (80% of the weight of the tire rubber). The results of pyrolysis of the tire rubber to liquid fuel analyzed using GC analysis, and it can be concluded that all of the samples included in the liquid hydrocarbon premium. Furthermore, it can be also concluded that rubber tires of polystyrene can be processed into liquid fuels.

Keywords : Pyrolysis, Used Tires, Polystyrene, Zeolite Catalysts

1. PENDAHULUAN

Energi merupakan salah satu kebutuhan penting dalam kehidupan manusia. Kebutuhan energi masih didominasi oleh bahan bakar fosil tidak terbarukan yang cepat atau lambat pasti akan habis ketersediaannya seperti minyak bumi, gas alam, dan batu bara. Berbagai upaya untuk mencari dan mengembangkan sumber energi alternatif yang terbarukan terus dilakukan.

Produksi ban di Indonesia meningkat secara terus menerus sejalan dengan meningkatnya industri otomotif. Seiring dengan itu, limbah ban-ban bekas yang tidak terpakai di lingkungan pun semakin meningkat. Para ahli lingkungan sering kali dipusingkan dengan berbagai permasalahan yang disebabkan oleh ban bekas yang mana material ban tidak mudah terurai secara biologis. Di seluruh dunia lebih dari satu miliar ban kendaraan dibuang setiap tahunnya. Sebagian besar orang memilih membuang ban bekas begitu saja daripada mendaur ulang untuk hasil yang lebih bermanfaat. Hal ini akan menimbulkan masalah yang serius terhadap lingkungan apabila ban bekas tersebut hanya dibiarkan begitu saja tanpa dimanfaatkan.

Ban bekas yang mengandung karet merupakan salah satu jenis *polystyrene* (polimer sintesis) yang dapat diolah dengan proses perengkahan. Pada penelitian ini, proses produksi hidrokarbon cair dari *polystyrene* dilakukan dengan proses pirolisis katalitik yang berlangsung pada suhu tinggi. Pirolisis atau pirolisa adalah proses penguraian biomasa (*lysis*) karena panas (*pyro*) pada suhu lebih dari 150°C. Jadi pirolisis merupakan peristiwa penguraian yang terjadi karena adanya panas. Oleh sebab itu, harus menghindari keberadaan O₂ karena dapat memicu reaksi pembakaran (Ismi Lufina, dkk, 2013).

Penelitian ini mendorong kami untuk mencoba meneliti cara mengolah limbah ban bekas dengan proses pirolisis menjadi bahan bakar cair dengan menggunakan jenis katalis zeolit, serta variabel waktu pembakaran dan jumlah (berat) katalis.

Permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh penambahan berat katalis zeolit dalam proses pirolisis karet ban bekas menjadi bahan bakar cair, serta pengaruh variabel waktu operasi dan berat katalis terhadap volume bahan bakar cair yang dihasilkan.

Ban merupakan salah satu produk karet yang diproduksi dalam jumlah volume yang cukup banyak dan merupakan bagian terpenting pada kendaraan darat karena satu-satunya bagian yang mempunyai kontak langsung dengan jalan.

Kebutuhan akan ban terus meningkat seiring dengan perkembangan otomotif. Beberapa produsen ban membuat beragam jenis ban dengan berbagai tipe dan fungsi. Sekarang ini, sebagian besar ban yang digunakan untuk kendaraan bermotor diproduksi dari karet sintetis, walaupun dapat juga diproduksi dengan memanfaatkan bahan lain, seperti baja.

Tabel 1. Kandungan Kimia Karet Ban Kendaraan Bermotor

No.	Jenis Pemeriksaan	Hasil
1.	Kadar Karet Alam	25%
2.	Kadar Karet Butadien	15%
3.	Kadar Butil Karet	5%
4.	Kadar Karbon Hitam	35%
5.	Kadar ZnO	4%
6.	Kadar Oil/Naften/Aromatik	4%
7.	Kadar Kotoran/Debu/ Kaolin/Kalsium	12%

Fraksi Minyak Bumi

Tabel 2.Fraksi-fraksi Minyak Bumi

Fraksi	Ukuran Molekul	Titik Didih (°C)	Kegunaan
Gas	C1 – C5	-160 – 30	Bahan bakar (LPG), sumber hidrogen
Petroleum eter	C5 – C7	30 – 90	Pelarat, binatu kimia (<i>dry cleaning</i>)
Bensin (gasoline)	C5 – C12	30 - 200	Bahan bakar motor
Kerosin, minyak diesel (solar)	C12 – C18	180 – 400	Bahan bakar mesin diesel, bahan bakar industri, untuk <i>cracking</i>
Minyak pelumas	C16 ke atas	350 ke atas	Pelumas
Parafin	C20 ke atas	Zat padat dengan titik cair rendah	Lilin dan lain-lain
Aspal	C25 ke atas	Residu	Bahan bakar dan untuk pelapis jalan raya

Senyawa hidrokarbon, terutama parafinik dan aromatik, mempunyai trayek didih masing-masing, dimana panjang rantai hidrokarbon berbanding lurus dengan titik didih dan densitasnya. Semakin panjang rantai hidrokarbon maka trayek didih dan densitasnya semakin besar. Jumlah atom karbon dalam rantai hidrokarbon bervariasi. Untuk dapat dipergunakan sebagai bahan bakar maka dikelompokkan menjadi beberapa fraksi atau tingkatan dengan urutan sederhana seperti di atas.

Polistirena (PS)

Minyak bumi mengandung berbagai senyawa hidrokarbon dengan berbagai sifat fisiknya. Salah satu hasil pengolahan minyak bumi yaitu polistirena. Polistirena tidak dapat dengan mudah *direct cycle* sehingga pengolahan limbah polistirena harus dilakukan secara benar agar tidak merugikan lingkungan. Ban berbahan dasar karet merupakan salah satu jenis polimer sintesis (*polystirene*).

Proses perengkahan polistirena merupakan salah satu cara untuk meminimalisir limbah polistirena tersebut. Polistirena adalah molekul yang memiliki berat molekul ringan, terbentuk dari monomer stirena yang berbau harum. Kelebihan polistirena adalah ringan, keras, tahan panas, agak kaku, tidak mudah patah dan tidak beracun. Proses perengkahan ini berlangsung pada suhu tinggi, sehingga diperlukan katalis untuk menurunkan temperatur dan menyingkat waktu proses.

Cracking karet ban bekas pada suhu tinggi adalah proses paling sederhana untuk daur ulang karet ban bekas. Pada proses ini material polimer atau karet ban bekas dipanaskan pada suhu tinggi. Proses pemanasan ini menyebabkan struktur makro molekul dari karet terurai menjadi molekul yang lebih kecil dan hidrokarbon rantai pendek terbentuk. Produk yang dihasilkan berupa fraksi gas, residu padat dan fraksi cair, yang mengandung parafin, olefin, naphtha, dan aromatis (Reska Damayanthi, dkk, 2009).

Faktor-faktor atau kondisi yang mempengaruhi proses pirolisis adalah :

1). Waktu

Waktu berpengaruh pada produk yang akan dihasilkan karena, semakin lama waktu proses pirolisis berlangsung, produk yang dihasilkan (residu padat, tar, dan gas) makin naik. Kenaikan itu sampai dengan waktu tak hingga () yaitu waktu yang diperlukan sampai hasil padatan residu, tar, dan gas mencapai

konstan. Nilai dihitung sejak proses isothermal berlangsung. Tetapi jika melebihi waktu optimal maka karbon akan teroksidasi oleh oksigen (terbakar), menjadi karbondioksida dan abu. Untuk itu pada proses pirolisis penentuan waktu optimal sangatlah penting.

2). Suhu

Suhu sangat mempengaruhi produk yang dihasilkan karena sesuai dengan persamaan Arrhenius, suhu makin tinggi nilai konstanta dekomposisi termal makin besar akibatnya laju pirolisis bertambah dan konversi naik.

3). Ukuran Partikel

Ukuran partikel berpengaruh terhadap hasil, semakin besar ukuran partikel. Luas permukaan per satuan berat semakin kecil, sehingga proses akan menjadi lambat.

4). Berat Partikel

Semakin banyak bahan yang dimasukkan, menyebabkan hasil bahan bakar cair (tar) dan arang meningkat (Aprian Ramadhan P, dkk).

Tabel 3. Sifat-sifat Fisik Polistirena

Sifat Fisis	Ukuran
Densitas	1050 kg/m ³
Densitas EPS	25 – 200 kg/m ³
Spesifik Gravitasi	1,05
Konduktivitas Listrik (s)	10 ⁻¹⁶ S/m
Konduktivitas Panas (k)	0,08 W/(m.K)
Modulus Young (E)	3000 – 3600 MPa
Kekuatan Tarik (s _t)	46 – 60 MPa
Perpanjangan	3 – 4%
Notch Test	2 – 5 kJ/m ²
Temperatur Transisi Gelas (T _g)	95 °C
Titik lebur (T _m)	240 °C
Vicat B	90 °C
Koefisien penghantar panas (Q)	0,17 W/(m ² .K)
Linear Expansion coefficient (a)	8 x 10 ⁻⁵ /K
Specific heat (c)	1,3 kJ/(kg.K)
Penyerapan air (ASTM)	0,03 – 0,1
Decomposition	X years, still decaying

Katalis Zeolit

Zeolit mempunyai beberapa sifat antara lain:

a). Dehidrasi

Dehidrasi adalah proses yang bertujuan untuk melepaskan molekul-molekul air dari kisi kristal sehingga terbentuk suatu rongga dengan

permukaan yang lebih besar dan tidak lagi terlindungi oleh sesuatu yang berpengaruh terhadap proses adsorpsi. Proses dehidrasi mempunyai fungsi utama melepas molekul air dari kerangka zeolit sehingga mempertinggi keaktifan zeolit. Jumlah molekul air sesuai dengan jumlah pori-pori atau volume yang hampa yang akan terbentuk bila unit sel kristal zeolit tersebut dipanaskan. Dehidrasi molekul air dapat terjadi karena proses pemanasan zeolit sampai 350 °C sehingga memungkinkan adsorpsi reversibel molekul-molekul yang lebih kecil dari garis tegak saluran itu.

b). Adsorpsi

Pada keadaan normal, ruang hampa dalam kristal zeolit terisi oleh molekul air bebas yang berada di sekitar kation. Bila kristal zeolit dipanaskan pada suhu sekitar 300-400 °C air tersebut akan keluar sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan. Dehidrasi menyebabkan zeolit mempunyai struktur pori yang sangat terbuka, dan mempunyai luas permukaan internal yang luas sehingga mampu mengadsorpsi sejumlah besar substansi selain air dan mampu memisahkan molekul zat berdasarkan ukuran molekul dan kepolarannya.

c). Penukar Ion

Penukar ion di dalam zeolit adalah proses dimana ion asli yang terdapat dalam intra kristalin diganti dengan kation lain dari larutan. Zeolit mempunyai struktur angka tiga dimensi yang terdiri dari tetrahedral SiO_2 dan AlO_4 , trivalent Al^{3+} dalam posisi tetrahedralnya membutuhkan adanya penambahan muatan listrik, biasanya menggunakan Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , atau Ca^{2+} . Dalam struktur rangka zeolit, kation-kation tersebut tidak terikat pada posisi yang tepat, tapi dapat bergerak bebas dalam rangka zeolit dan bertindak sebagai "counter ion" yang dapat dipertukarkan dengan kation-kation lain.

d). Katalisator

Zeolit merupakan katalisator yang baik karena mempunyai pori-pori yang besar dengan permukaan yang luas dan juga memiliki sisi aktif. Dengan adanya rongga intrakristalin, zeolit dapat digunakan sebagai katalis. Reaksi katalitik dipengaruhi oleh ukuran mulut rongga dan sistem alur, karena reaksi ini tergantung pada difusi pereaksi dan hasil reaksi.

e). Penyaring/Pemisah

Zeolit mampu memisahkan berdasarkan perbedaan ukuran, bentuk dan polaritas dari molekul yang disaring. Zeolit dapat memisahkan molekul gas atau zat dari suatu campuran tertentu karena mempunyai rongga

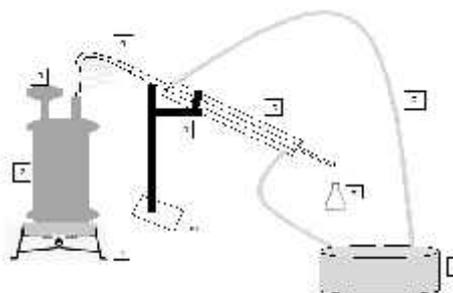
yang cukup besar dengan garis tengah yang bermacam-macam. Volume dan ukuran garis tengah ruang kosong dalam kristal-kristal ini menjadi dasar kemampuan zeolit untuk bertindak sebagai penyaring molekul. Molekul yang berukuran lebih kecil dapat masuk ke dalam pori, sedangkan molekul yang berukuran lebih besar dari pori akan tertahan (Ismi Lufina, dkk, 2013).

2. METODOLOGI PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah karet ban bekas (polistirena) yang diambil dari ban dalam kendaraan bermotor dan katalis zeolit. Karet ban bekas dipotong kecil-kecil dengan ukuran 0,5 x 0,5 cm, kemudian ditimbang sesuai variabel penelitian.

Lalu karet ban bekas yang sudah dipotong-potong diampurkan dengan katalis zeolit dengan perbandingan tertentu sesuai dengan variabel penelitian, dan dimasukkan ke dalam tabung pirolisis. Proses pirolisis dilakukan dengan memanaskan tabung pirolisis dengan pemanas (kompor). Uap yang terbentuk dialirkan dari atas tabung pirolisis, dikondensasikan dan ditampung dalam *beaker gelas*. Waktu operasi dihitung mulai saat uap cair menetes pertama kali. Produk cairan didestilasi kemudian dianalisa menggunakan *Gas Chromatography Shimadzu, GC 8A*.

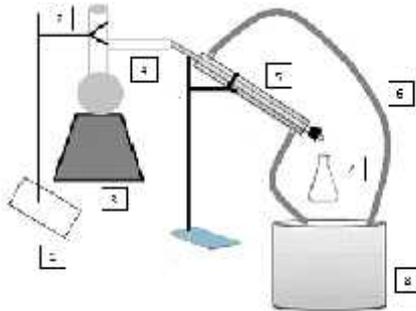
Pada proses ini digunakan variabel tetap, yaitu 500 gram karet ban bekas, dengan suhu uap (permukaan) pirolisis sekitar 200 °C dan tekanan 1 atm, serta ukuran karet ban bekas yaitu 0,5 x 0,5 cm. Sedangkan variabel bebas yaitu waktu operasi (2 jam, 3 jam) dan berat katalis (100 gram, 200 gram, 300 gram, 400 gram, serta tanpa katalis).



Gambar 1. Skema Alat Pirolisis Karet Ban Bekas

Keterangan Gambar:

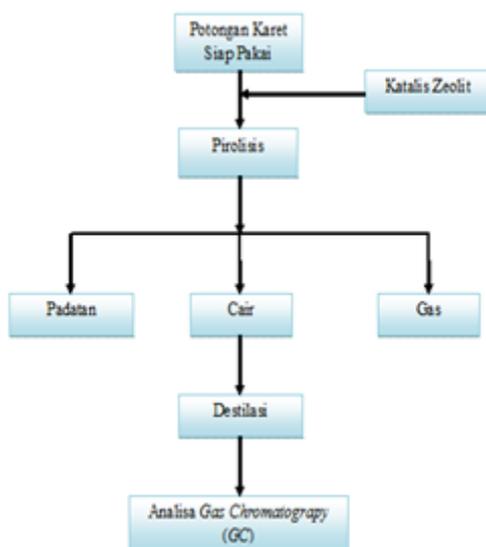
1. Kompor
2. Tungku Pembakaran
3. Termokopel
4. Klem
5. Kondensor
6. Selang
7. Erlenmeyer
8. Penampung Kondensat
9. Selang penghubung tungku dan kondensor
10. Statif



Gambar 2. Skema Alat Destilasi Bahan Bakar Cair Karet Ban Bekas

Keterangan Gambar:

1. Ruang Pembakaran
2. Kondensor
3. Erlenmeyer
4. Penampung kondensat/asap cair
5. Tungku Pembakaran
6. Selang
7. Statif
8. Klem



Gambar 3. Diagram Alir Prosedur Penelitian yang dilakukan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pirolisis karet ban bekas menjadi bahan bakar cair, diperoleh hasil seperti yang tertera pada tabel di bawah ini.

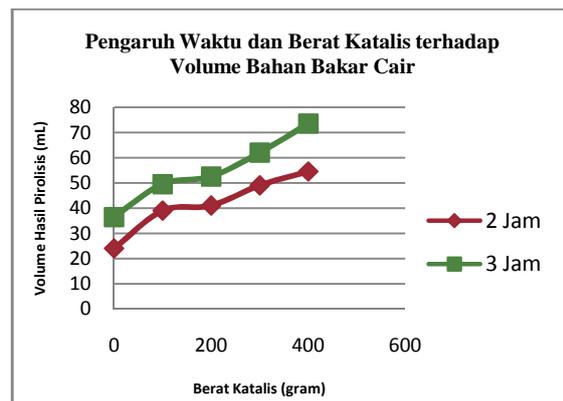
Tabel 4. Hasil Pirolisis Karet Ban Bekas Menjadi Bahan Bakar Cair dengan Waktu Pirolisis selama 2 jam

No	Berat Karet Ban Awal (gr)	Berat Karet Ban Akhir (gr)	Berat Katalis (gr)	Volume Bahan Bakar Cair (mL)
1.	500	297,6	0	24
2.	500	330	100	39
3.	500	349,7	200	41
4.	500	382,5	300	49
5.	500	399	400	54,5

Tabel 5. Hasil Pirolisis Karet Ban Bekas Menjadi Bahan Bakar Cair dengan Waktu Pirolisis selama 3 jam

No	Berat Karet Ban Awal (gr)	Berat Karet Ban Akhir (gr)	Berat Katalis (gr)	Volume Bahan Bakar Cair (mL)
1.	500	327	0	36,5
2.	500	358,5	100	49,5
3.	500	361	200	52,5
4.	500	389,9	300	62
5.	500	418	400	73,5

Dari tabel hasil pirolisis karet ban bekas di atas dapat dinyatakan dalam grafik perbandingan setiap variasi variabel waktu dan berat katalis sebagai berikut.



Gambar 4. Pengaruh berat katalis dan waktu pirolisis karet ban bekas terhadap volume bahan bakar cair

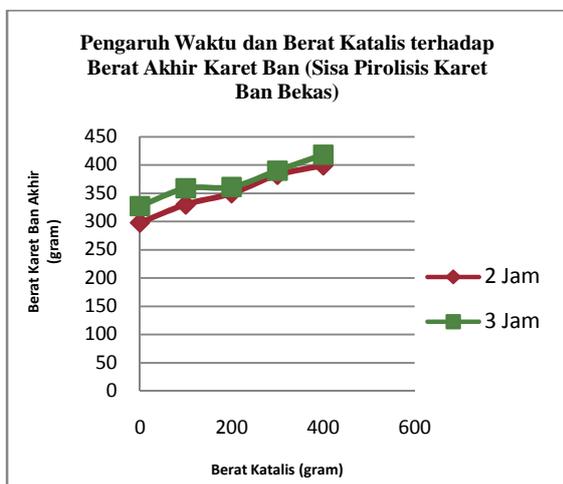
Dari data hasil percobaan dan grafik pengaruh berat katalis dan waktu pirolisis karet ban bekas terhadap volume bahan bakar cair di atas, diperoleh bahwa volume produk bahan bakar cair terus meningkat seiring dengan

meningkatnya waktu pirolisis. Semakin lama waktu pirolisis karet ban bekas maka produk bahan bakar cair yang dihasilkan semakin banyak. Dan semakin banyak jumlah katalis zeolit yang ditambahkan pada karet ban bekas dengan berat yang sama yaitu 500 gram, volume bahan bakar cair yang dihasilkan juga semakin meningkat.

Waktu berpengaruh pada produk yang akan dihasilkan karena semakin lama waktu proses pirolisis berlangsung, produk yang dihasilkan semakin naik (Ismi Lufina, dkk, 2013). Volume tertinggi yang didapatkan pada masing-masing berat katalis dan waktu pirolisis yaitu sebanyak 73,5 mL pada waktu 3 jam dengan penambahan berat katalis 400 gram.

Pada proses pirolisis dari proses pembuatan bahan bakar cair dari karet ban bekas maka dihasilkan semakin banyak penambahan katalis maka berat akhir karet ban (sisa pirolisis karet ban bekas) yang dihasilkan semakin meningkat. Hasil tersebut diperoleh dengan pengukuran berat karet ban bekas sebelum pirolisis dan setelah pirolisis.

Dari tabel hasil pirolisis karet ban bekas menjadi bahan bakar cair di atas dapat dinyatakan dalam grafik perbandingan setiap variasi variabel waktu dan berat katalis terhadap berat akhir karet ban (sisa pirolisis karet ban bekas) sebagai berikut.



Gambar 5. Pengaruh berat katalis dan waktu pirolisis karet ban bekas terhadap berat akhir karet ban (sisa pirolisis karet ban bekas)

Dari data hasil percobaan dan grafik pengaruh berat katalis dan waktu pirolisis karet ban bekas terhadap berat akhir (sisa pirolisis karet ban bekas) di atas, terlihat bahwa berat akhir karet ban dari pirolisis karet ban bekas terus meningkat bersamaan dengan

meningkatnya waktu pirolisis dan penambahan berat katalis. Semakin banyak penambahan berat katalis maka berat karet ban yang terdekomposisi selama proses pirolisis semakin menurun. Hal ini berbanding terbalik dengan volume bahan bakar cair hasil pirolisis karet ban. Semakin banyak volume yang dihasilkan selama proses pirolisis, maka semakin sedikit berat karet ban yang terdekomposisi seiring dengan meningkatnya penambahan berat katalis.

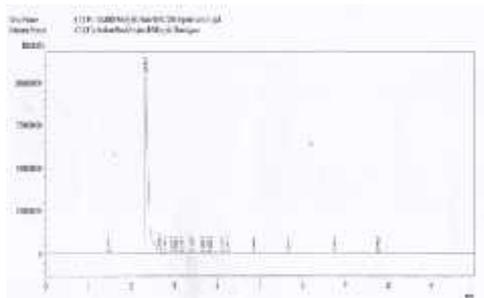
Berat akhir karet ban (sisa pirolisis karet ban bekas) tertinggi yang didapatkan pada masing-masing berat katalis dan waktu pirolisis adalah 418 gram waktu 3 jam dengan penambahan berat katalis 400 gram. Berat karet ban yang terdekomposisi untuk menghasilkan bahan bakar cair sebanyak 73,5 mL selama 3 jam adalah 82 gram. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah atau berat katalis yang ditambahkan ke dalam proses pirolisis karet ban, semakin sedikit berat karet yang terdekomposisi namun menghasilkan volume bahan bakar cair yang lebih banyak.

Dari hasil penelitian ini juga dapat diamati bahwa semakin banyak jumlah atau berat katalis yang ditambahkan, maka warna bahan bakar cair yang dihasilkan dari proses pirolisis tersebut akan lebih cerah dan lebih jernih. Sangat jauh berbeda dengan hasil bahan bakar cair tanpa penambahan katalis.

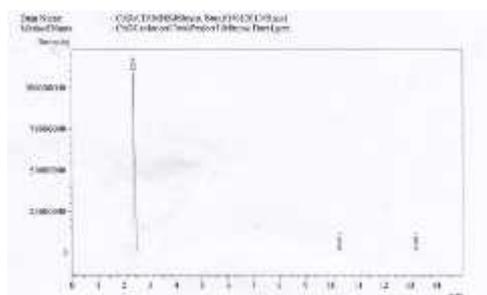
Selain itu, dalam penelitian ini kami juga menggunakan katalis zeolit sintesis. Katalis zeolit ini berpengaruh terhadap waktu proses pembuatan bahan bakar cair karena semakin banyak katalis zeolit yang ditambahkan maka waktu proses pembuatan bahan bakar cair akan semakin cepat.

Pengamatan Hasil Analisa Gas Chromatography

Dari hasil proses pirolisis karet ban bekas yang dilakukan pada variabel waktu dan berat katalis, diperoleh hasil berupa produk hidrokarbon cair jenis premium yang kemudian diidentifikasi dengan menggunakan analisa GC.



Gambar 6. *Chromatogram Premium*



Gambar 7. Hasil *Chromatogram* Pirolisis Karet Ban Bekas

Hasil analisa GC membandingkan antara sampel dengan standar hidrokarbon cair jenis solar, minyak tanah, dan premium, dan dapat disimpulkan bahwa sampel yang diperoleh dari penelitian merupakan hidrokarbon cair jenis premium.

Dari hasil penelitian diperoleh juga bahwa pada suhu yang tetap dan berat atau jumlah katalis yang semakin besar, bahan bakar cair yang dihasilkan pun semakin banyak. Hal ini dikarenakan semakin banyaknya gugus asam yang berasal dari katalis zeolit maka reaksi peruraian karet ban bekas menjadi senyawa yang lebih sederhana akan semakin baik.

4. KESIMPULAN

Semakin banyak jumlah atau berat katalis yang ditambahkan dalam proses pirolisis maka volume bahan bakar cair yang dihasilkan semakin banyak.

Semakin lama waktu operasi dan semakin banyak jumlah atau berat katalis yang ditambahkan, maka berat katalis yang terdekomposisi akan semakin sedikit namun volume bahan bakar cair yang dihasilkan semakin banyak.

Semua sampel yang dihasilkan dalam penelitian ini termasuk ke dalam hidrokarbon cair jenis premium.

DAFTAR PUSTAKA

- Abnisa, Faisal., dkk. (2014). Recovery of Liquid Fuel from the Aqueous Phase of Pyrolysis Oil Using Catalytic Conversion. *Journal of Chemical Engineering*, University of Malaya, Malaysia.
- Damayanthi, Reska., dan Martini, Retno. (2009). Proses Pembuatan Bahan Bakar Cair dengan Memanfaatkan Limbah Ban Bekas menggunakan Katalis Zeolit HY dan ZSM-5. *Jurnal Teknik Kimia Universitas Diponegoro*, Semarang.
- Kusuma R, Dian., dan Fendy, Anthonius L. (2010). Optimasi Aktivasi Zeolit Alam untuk Dehumidifikasi. *Skripsi Teknik Kimia Universitas Diponegoro*, Semarang.
- Lufina, Ismi., Bambang, Susilo., & Rini, Yulianingsih. (2013). Studi Pemanfaatan Minyak Karet (*Havea brasiliensis*) sebagai Bahan Bakar pada Kompor Rumah Tangga. *Jurnal Keteknikan Pertanian Universitas Brawijaya*, Malang.
- Maarif, Hasan. (2009). Reaksi Kompetisi antara Perengkahan dan Polimerisasi Tir Karet dari Ban Bekas dengan Katalis Mo-Ni/Zeolit Y. *Skripsi MIPA Kimia*, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Ramadhan P, Aprian., dan Munawar, Ali. *Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Minyak Menggunakan Proses Pirolisis*. *Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Pembangunan Nasional "Veteran"*, Jawa Timur.
- Tiarna R, Maylani. (2010). *Makalah Material Polimer – Ban*. Jakarta : Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia.
- Warno, Ali. (2013, 04 07). *Minyak Bumi*. Retrieved from Endi Blog <http://endiwarno5.blogspot.com/2013/04/miyak-bumi.html>