

# PROSES PEMBUATAN BAHAN BAKAR CAIR DENGAN MEMANFAATKAN LIMBAH BAN BEKAS MENGGUNAKAN KATALIS ZEOLIT Y DAN ZSM-5

**Reska Damayanthi dan Retno Martini**

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jln. Prof. Soedarto, SH., Tembalang, Semarang, 50239, Telp/Fax: (024)7460058

## Abstrak

*Produksi ban di Indonesia terus meningkat dari tahun ke tahun. Seiring dengan itu, maka limbah ban-ban bekas yang tidak terpakai di lingkungan semakin meningkat. Masalah ini semakin besar dikarenakan ban bekas tidak dapat terurai dengan mudah apabila hanya dibiarkan begitu saja. Oleh karena itu, diperlukan usaha untuk mengubah limbah ban bekas menjadi sesuatu yang lebih berguna, salah satunya menjadi bahan bakar cair yaitu dengan cara pirolisis katalitik. Karet ban bekas (jenis polystyrene) lebih sulit dipirolisis dibandingkan dengan termoplast lain, karena struktur ikatan dan pola crackingnya. Sehingga diperlukan katalis seperti HY dan ZSM-5 agar pirolisis lebih efektif. Katalis tersebut mampu meningkatkan proses pirolisis dengan cara menurunkan suhu dan waktu dekomposisi, sehingga diperoleh hasil berupa bahan bakar cair yang maksimal. Pirolisis ban bekas dengan katalis dilakukan dengan memanaskannya menggunakan elektrik furnace pada suhu diatas 450°C, dengan meletakkan ban bekas diantara HY dan ZSM-5. Dimana HY ditempatkan di bagian bawah dan ZSM-5 di bagian atas reaktor. Gas yang dihasilkan dari pemanasan didinginkan untuk memperoleh bahan bakar cair. Cairan terbanyak yang diperoleh dari pirolisis katalitik yaitu 17.7 ml, berasal dari ban bekas sebanyak 50 gr dan katalis HY maupun ZSM-5 sebanyak 1.5 gr pada suhu 600°C, dan hasil range dari difractogram GC untuk premium optimum pada suhu 550°C dengan berat katalis 1 gr. Selanjutnya dapat disimpulkan bahwa bahan karet ban bekas jenis polystyrene dapat diolah menjadi bahan bakar cair.*

**Kata kunci :** ban bekas; katalis HY; katalis ZSM-5; Pirolisis katalitik; Polystyrene;

## Pendahuluan

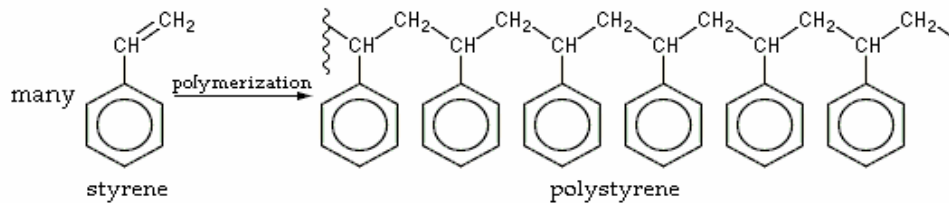
Industri ban merupakan salah satu sektor industri yang mantap posisinya di Indonesia. Produksinya semakin meningkat dari tahun ke tahun. Sejalan dengan itu, keberadaan ban-ban bekas yang sudah tidak terpakai tentu menjadi masalah sendiri untuk ditangani. Ban – ban bekas ini akan mencemari lingkungan sekitarnya dikarenakan ban bekas tidak dapat terurai dengan mudah apabila hanya dibiarkan begitu saja. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu usaha untuk dapat mengubah limbah ban bekas menjadi sesuatu yang lebih bermanfaat. Ban berbahan dasar karet, merupakan salah satu jenis polimer sintesis (Polystyrene). Polystyrene tidak dapat dengan mudah direcycle sehingga pengolahan limbah polystyrene harus dilakukan secara benar agar tidak merugikan lingkungan. Proses perengkahan polystyrene merupakan salah satu cara untuk meminimalisir limbah polystyrene tersebut. Polystyrene adalah molekul yang memiliki berat molekul ringan, terbentuk dari monomer stirena yang berbau harum. Kelebihan polystyrene adalah ringan, keras, tahan panas, agak kaku, tidak mudah patah dan tidak beracun. Sifat fisis polystyrene disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Sifat Fisis Polystyrene

Densitas	1050 kg/m <sup>3</sup>
Density of EPS	25-200 kg/m <sup>3</sup>
Specific Gravity	1.05
Electrical conductivity (s)	10 <sup>-16</sup> S/m
Thermal conductivity (k)	0.08 W/(m·K)
Young's modulus (E)	3000-3600 MPa
Tensile strength (s <sub>t</sub> )	46–60 MPa
Elongation at break	3–4%
Notch test	2–5 kJ/m <sup>2</sup>
Glass temperature	95 °C

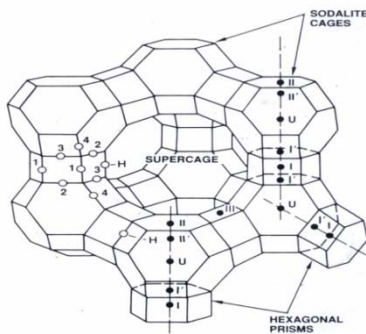
Melting point <sup>[1]</sup>	240 °C
Vicat B	90 °C <sup>[2]</sup>
Heat transfer coefficient ( <i>Q</i> )	0.17 W/(m <sup>2</sup> K)
Linear expansion coefficient ( <i>a</i> )	8 10 <sup>-5</sup> /K
Specific heat ( <i>c</i> )	1.3 kJ/(kg·K)
Water absorption (ASTM)	0.03–0.1
Decomposition	X years, still decaying

Polystyrene adalah polimer hidrokarbon parafin yang terbentuk dengan cara reaksi polymerisasi, dimana reaksi pembentukan polystyrene adalah:

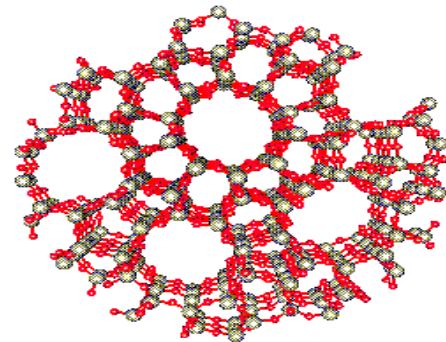


Proses produksi hidrokarbon cair dari Polystyrene dapat dikerjakan dengan proses perengkahan (cracking). Proses perengkahan ini berlangsung pada suhu tinggi, sehingga diperlukan katalis (katalis HY dan ZSM-5) untuk menurunkan temperatur dan menyingkat waktu proses.

Struktur zeolit Y terdiri dari muatan negatif, kerangka tiga dimensi tetrahedral SiO<sub>4</sub> dan AlO<sub>4</sub> yang bergabung membentuk oktahedra terpancung (*sodalite*). Jika 6 buah *sodalite* terhubung oleh prisma heksagonal akan membentuk tumpukan tetrahedral. Jenis tumpukan ini membentuk lubang besar (*supercages*) dan berdiameter ~ 13Å. Lubang-lubang (*supercages*) dapat terbentuk dari 4 kristal tetrahedral yang tersebar, yang masing-masing mempunyai 12 cincin oksigen dan berdiameter 7,4 Å. Lubang-lubang tersebut bila saling bersambung (12) maka akan membentuk sistem pori-pori yang besar dari zeolit. Setiap atom aluminium di koordinat tetrahedral dalam kerangka membawa muatan negatif. Muatan negatif dalam kerangka ini digantikan oleh kation yang berada diposisi kerangka non spesifik. Zeolite ZSM-5 memuat sebuah system saluran zig zag silang-menyilang dari 10 cincin berangkai untuk menghasilkan system rongga tiga dimensi. Diameter pori berkisar antara 5,1 – 5,5 Å. ZSM-5 memiliki struktur yang unik. Struktur tersebut memungkinkan reaksi berjalan lebih sempurna, karena waktu tinggal pereaktan akan lebih lama. Selain itu, ZSM-5 juga memiliki selektivitas yang tinggi terhadap reaktan dan produk. Struktur kerangka zeolit Y dan ZSM-5 disajikan pada gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Struktur kerangka satu unit sel zeolit Y (Scherzer,1990)



Gambar 2. Struktur membujur zeolit ZSM-5

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, naptha, dan aromatis.

Proses ini memiliki 2 masalah, yaitu masalah dalam distribusi produk dan masalah dalam penggunaan suhu tinggi yang menggunakan suhu lebih dari 900°C. Cracking menggunakan katalis merupakan metoda untuk penyelesaian masalah ini.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mempelajari potensi karet ban bekas (polystyrene) sebagai bahan baku produksi bahan bakar cair dengan menggunakan katalis zeolite HY dan ZSM-5. Dilakukan dengan menentukan kondisi operasi optimum produksi hidrokarbon cair dengan proses pirolisis katalitik limbah ban bekas dan menentukan model persamaan empiris proses konversi limbah ban bekas menjadi hidrokarbon cair.

Proses pirolisis katalitik ini dilakukan dengan memanaskan campuran ban bekas dengan katalis pada suhu di atas 450°C pada tekanan atmosfer di dalam sebuah reaktor unggun tetap yang terbuat dari *stainless steel*. Gas yang dihasilkan dikondensasikan sehingga diperoleh bahan bakar cair. Untuk memperoleh yield produk cair yang optimum dan residu yang minimum digunakan optimasi design variabel dengan *Central Composite Design* pada metode RSM (*Respon Surface Metodology*). Produk berupa cairan dianalisa menggunakan *Gas Chromatography* (GC).

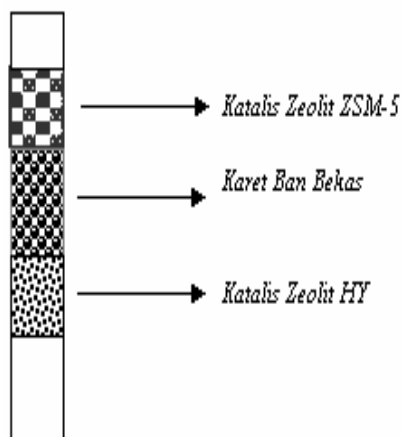
### Bahan dan Metode Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah karet ban bekas (*polystirene*) yang diambil dari ban dalam kendaraan bermotor kemudian dipotong kecil-kecil dengan ukuran 1cm x 1cm, ditimbang sesuai variabel percobaan. Katalis yang digunakan adalah katalis Zeolit HY dan ZSM-5 yang merupakan katalis komersial yang dijual di pasaran (*Zeolyst International*). Karet ban bekas yang sudah dipotong-potong kemudian dicampur katalis dengan perbandingan tertentu sesuai dengan variabel percobaan, kemudian dimasukkan reaktor. Dimana karet ban bekas diletakan diantara katalis HY dan ZSM-5 dengan katalis HY ditempatkan di bagian ujung bawah reaktor, sedangkan ZSM-5 ditempatkan di ujung atas reaktor. Kemudian dilakukan proses pirolisis dengan memanaskan reaktor menggunakan furnace elektrik, sampai suhu yang ditentukan. Uap yang terbentuk dialirkan dari atas reaktor ke pendingin balik melalui selang tahan panas. Sedangkan wax yang keluar melalui bagian bawah reaktor ditampung dalam beaker glass. Percobaan dianggap berakhir jika tidak ada lagi uap yang mengalir maupun wax yang menetes. Produk cairan yang dihasilkan dianalisa menggunakan GC-832470 kolom Rtx-1301. Variabel yang divariasikan adalah suhu dan berat katalis. Variabel percobaan ditabulasikan pada tabel 2.

Tabel 2. Variabel Percobaan

RUN	Suhu, °C	Berat Katalis (masing-masing untuk HY dan ZSM-5), gram
1	500	0.5
2	500	1.5
3	500	0.5
4	600	1.5
5	600	1
6	479.3	1
7	620.7	1
8	550	0.3
9	550	1.7
10	550	1

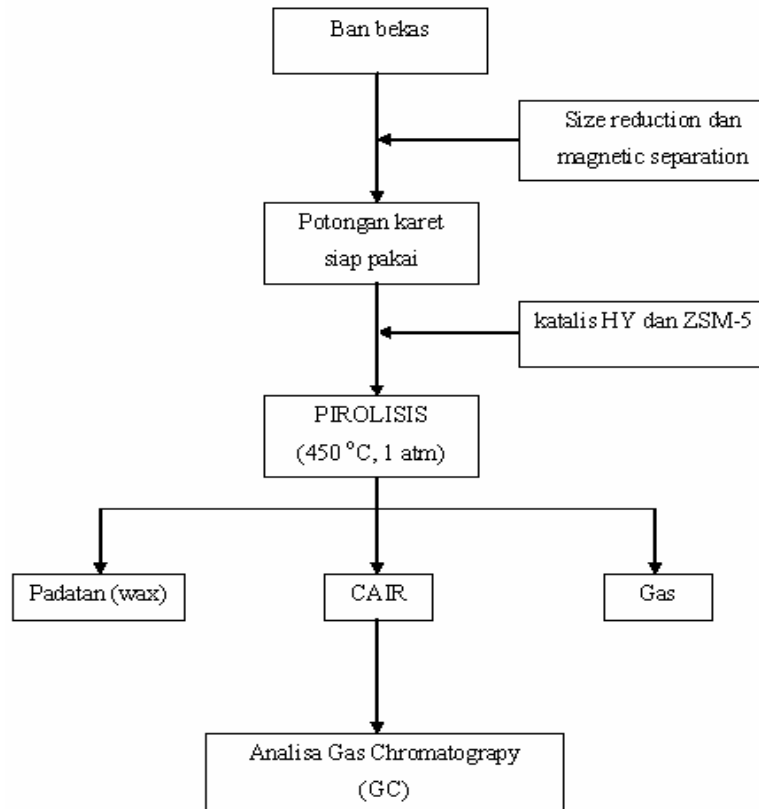
Sedangkan komposisi bahan, peralatan perengkahan dan skema prosedur percobaan dalam reaktor disajikan dalam gambar 3 dan 4 dan 5.



Gambar 3. Konfigurasi bahan dalam reaktor



Gambar 4. Peralatan Katalitik Cracking



Gambar 5. Skema prosedur percobaan yang dilakukan

### Hasil dan Pembahasan

Pada proses ini digunakan variabel tetap, yaitu 50 gram karet ban bekas dan tekanan 1 atm. Sedangkan variabel bebas (*independent variable*), yaitu suhu operasi (500 °C – 600 °C) dan berat katalis (0,5 gram – 1,5 gram). Katalis zeolite HY diletakkan di bagian bawah dalam reaktor, sedangkan zeolite ZSM-5 diletakkan dibagian atas dalam reaktor, karena zeolite HY berfungsi untuk membantu proses perengkahan zat padat (*wax*) sedangkan katalis ZSM-5 berfungsi untuk membantu reformasi gas yang dihasilkan pada proses perengkahan katalitik menjadi hidrokarbon cair. Adapun hasil percobaan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil percobaan proses perengkahan katalitik

RUN	Suhu, $X_1$ ( °C)	Berat Katalis, $X_2$ (gram)	Volume Hasil Cairan, ml	Berat Hasil Padatan (wax dan serbuk), gram
1	500	0,5	4	35,05
2	500	1,5	14,2	29,68
3	600	0,5	15,7	13,54
4	600	1,5	17,7	12,67
5	479,3	1,0	1,9	48,85
6	620,7	1,0	4,8	30,69
7	550	0,3	6,2	18,06
8	550	1,7	9,2	19,77
9	550	1,0	13	31,32
10	550	1,0	12,6	31,43

Sedangkan hasil percobaan proses perengkahan katalitik berdasarkan Hasil Analisa Gas Chromatography ditabulasikan pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil percobaan proses perengkahan katalitik berdasarkan Hasil Analisa Gas Chromatography

RUN	Variabel Bebas		Variabel Bergantung		
	Suhu, $X_1$ (°C)	Berat Katalis, $X_2$ (gram)	Komposisi Premium, $Y_1$ (%)	Komposisi Minyak Tanah, $Y_2$ (%)	Komposisi Solar, $Y_3$ (%)
1	500	0,5	11,42	30,14	57,37
2	500	1,5	13,07	24,75	61,13
3	600	0,5	26,82	29,99	43,46
4	600	1,5	23,24	24,20	51,44
5	479,3	1,0	9,07	23,99	63,76
6	620,7	1,0	27,82	20,48	49,42
7	550	0,3	31,80	15,18	50,63
8	550	1,7	41,29	15,75	41,02
9	550	1,0	30,93	18,77	47,64
10	550	1,0	30,93	18,77	47,64

**Optimasi kondisi operasi produk premium**

Pengaruh antara suhu dan berat katalis terhadap komposisi premium dari reaksi pirolisis katalitik polistirene ditunjukkan pada Gambar 6.

Kondisi operasi optimal diperoleh pada suhu 550°C dengan berat katalis 1 gram. Semakin tinggi suhu operasi akan memberikan komposisi premium yang semakin besar tetapi setelah mencapai suhu optimum (550°C), komposisi premium akan turun. Demikian juga dengan berat katalis, semakin besar berat katalis maka komposisi premium akan semakin besar. Hal ini dikarenakan semakin banyak katalis yang digunakan, maka proses cracking yang terjadi semakin baik.

Dengan metode ini, kondisi operasi optimum dari produk premium yang dihasilkan dari proses pirolisis katalitik karet ban bekas dengan menggunakan katalis zeolite HY dan ZSM-5 dapat ditentukan. Berdasarkan hasil percobaan yang ditampilkan di Tabel 4, dapat dibuat model matematika empirik dengan menggunakan teknik analisa regresi multi arah.

Model matematika dari komposisi premium yang dihasilkan ditunjukkan oleh Persamaan (1).

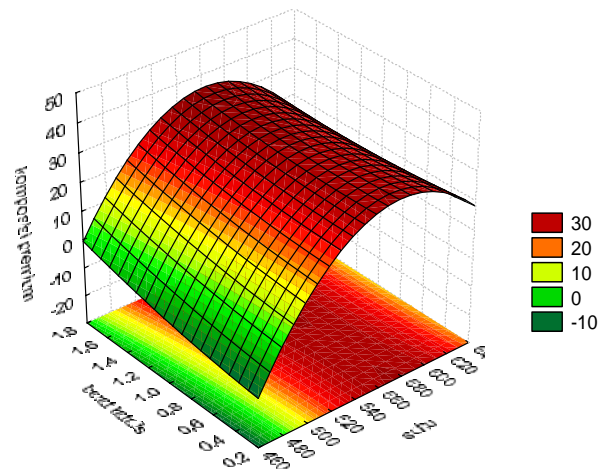
$$Y_1 = -1093,236 + 3,903 X_1 - 0,003 X_1^2 + 26,893 X_2 + 2,373 X_2^2 - 0,052 X_1 X_2 \tag{1}$$

Signifikansi dari model tersebut diuji dengan menggunakan ANOVA seperti yang ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Tabel ANOVA untuk produk premium

Sumber variasi	SS	df	MS	F-value
SS regresi	691,0198	5	691,0198	14,822484
SS error	186,4788	4	46,6197	
SS total	975,4993	9		
$R^2$	0,80884			

Hasil dari pencocokan model menunjukkan bahwa perhitungan F-value sebesar 14,822484 lebih besar dibandingkan F-tabel ( $F_{0,05; 5, 4} = 6,26$ ). Sehingga persamaan tersebut signifikan pada tingkat kepercayaan 5 %.



Gambar 6. Pengaruh suhu dan berat katalis terhadap komposisi produk premium

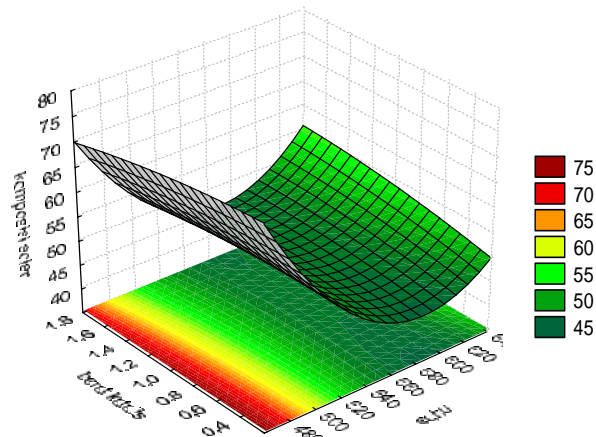
Hasil dari pencocokan model dengan menggunakan metode ANOVA diperoleh harga  $R^2 = 0,80884$ . Dari harga  $R^2$  yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa nilai  $R^2$  mendekati satu, sehingga model matematik yang diperoleh signifikan dengan data percobaan.

### Minimasi produk solar

Pengaruh antara produk solar dari reaksi pirolisis katalitik polistirene terhadap suhu operasi dan berat katalis ditunjukkan pada Gambar 7.

Minimasi produk solar dilakukan karena hasil yang diinginkan adalah produk premium. Kondisi operasi minimum untuk produk solar diperoleh pada suhu  $550^{\circ}\text{C}$  dan berat katalis 1 gram.

Produk solar pada proses pirolisis katalitik polistirene harus minimum supaya diperoleh komposisi produk premium yang tinggi. Model matematika empirik dari komposisi produk solar yang dihasilkan ditunjukkan oleh Persamaan (2).



Gambar 7. Pengaruh suhu dan berat katalis terhadap komposisi produk solar

$$Y_2 = 736,4455 - 2,3566 X_1 + 0,0020 X_1^2 - 20,6976 X_2 - 1,4875 X_2^2 + 0,0422 X_1 X_2 \quad (2)$$

Signifikansi dari model tersebut diuji dengan menggunakan ANOVA seperti yang ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Tabel ANOVA untuk produk solar

Sumber variasi	SS	df	MS	F-value
SS regresi	360,9642	5	360,9642	15,90791
SS error	90,7634	4	22,6909	
SS total	486,6375	9		
$R^2$	0,81349			

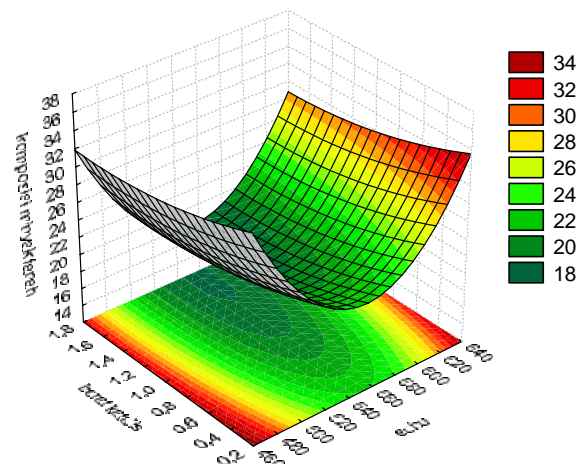
Hasil dari pencocokan model menunjukkan bahwa perhitungan F-value sebesar 15,90791 lebih besar dibandingkan F-tabel ( $F_{0,05; 5, 4} = 6,26$ ). Sehingga persamaan tersebut signifikan pada tingkat kepercayaan 5 %.

Hasil dari pencocokan model dengan menggunakan metode ANOVA diperoleh harga  $R^2 = 0,81349$ . Dari harga  $R^2$  yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa nilai  $R^2$  mendekati satu, sehingga model matematik yang diperoleh signifikan dengan data percobaan.

### Minimasi produk minyak tanah

Pengaruh antara komposisi minyak tanah dari reaksi pirolisis katalitik polistirene terhadap suhu operasi dan berat katalis ditunjukkan pada Gambar 8. Minimasi produk minyak tanah dilakukan karena hasil yang diinginkan adalah produk premium. Kondisi operasi minimum untuk produk minyak tanah diperoleh pada suhu  $550^{\circ}\text{C}$  dan berat katalis 1,7.

Produk minyak tanah pada proses pirolisis katalitik polistirene diminimalkan supaya diperoleh komposisi produk premium yang tinggi. Model matematika dari komposisi produk minyak tanah yang dihasilkan ditunjukkan oleh Persamaan (3).

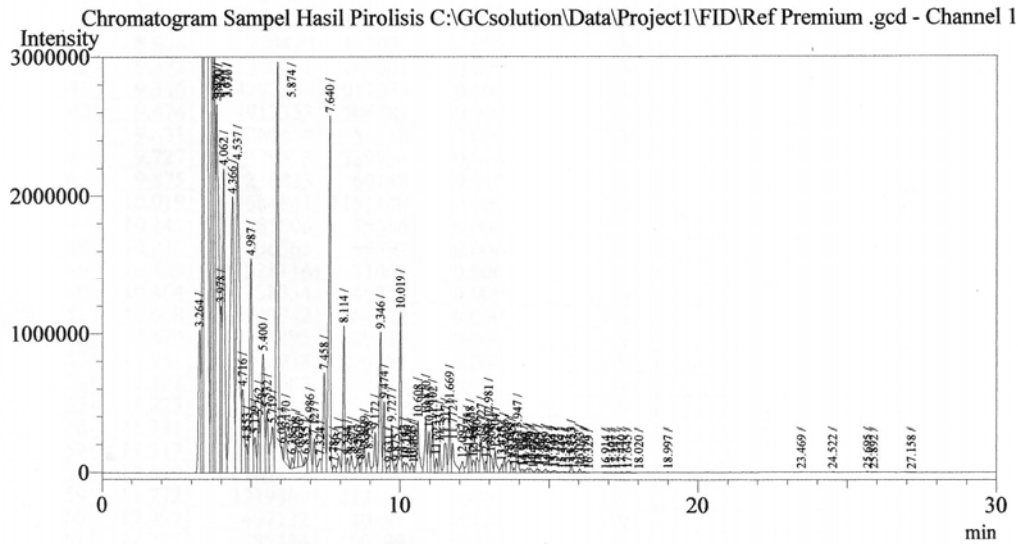


Gambar 8. Pengaruh suhu dan berat katalis terhadap komposisi produk minyak tanah

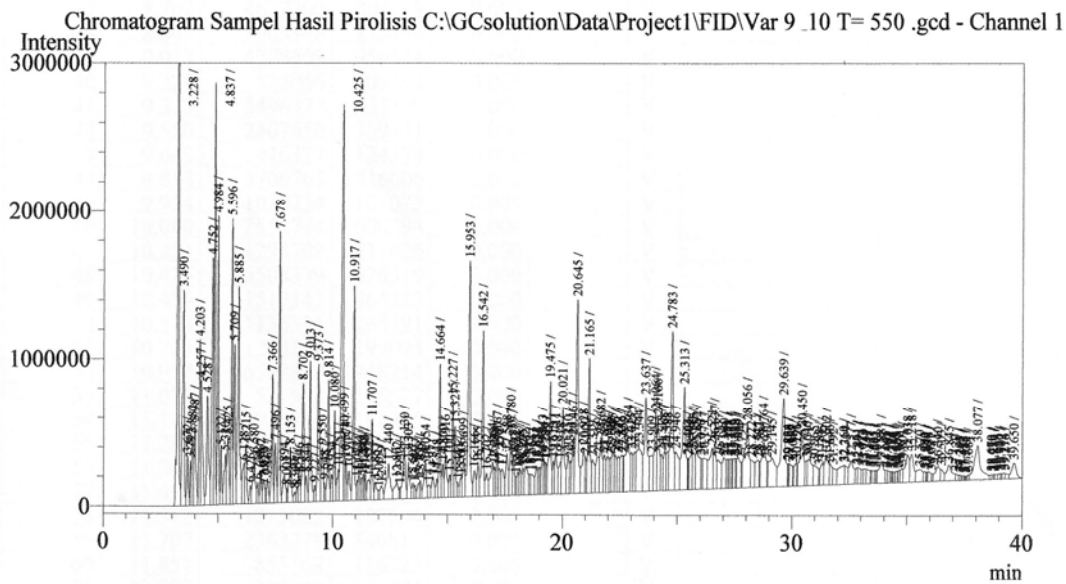
$$Y_3 = 493,0988 - 1,6987 X_1 + 0,0015 X_1^2 - 4,1035 X_2 + 1,8100 X_2^2 - 0,0040 X_1 X_2 \quad (3)$$

### Karakterisasi produk hidrokarbon cair

Dari hasil proses pirolisis karet ban bekas yang dilakukan pada variabel suhu dan katalis yang telah ditentukan diperoleh hasil berupa produk hidrokarbon cair yang kemudian dianalisa identifikasinya dengan menggunakan analisa GC. Hasil analisa GC dibandingkan dengan premium (standar yang ditentukan), diperoleh hasil yang setara premium optimum pada suhu 550°C dan berat katalis 1 gram. Hasil kromatogram dengan GC untuk produk cair ditampilkan pada Gambar 9 dan 10.



Gambar 9. Chromatogram Premium



Gambar 10. Hasil Chromatogram pada variabel= 550°C dan berat katalis 1 gram

Dari hasil percobaan, diperoleh bahwa dengan jumlah katalis yang tetap dan suhu yang semakin tinggi dihasilkan produk cair yang semakin banyak, hal ini disebabkan jumlah karet ban bekas yang dapat terdegradasi menjadi hidrokarbon cair menjadi semakin besar. Demikian pula dengan suhu yang tetap dan berat katalis yang semakin besar, hidrokarbon cair yang dihasilkan pun semakin banyak, ini dikarenakan semakin banyaknya gugus asam (yang berasal dari katalis zeolit) maka reaksi peruraian karet ban bekas menjadi senyawa yang lebih sederhana akan menjadi semakin baik.

Hasil dari Gas Chromatography dapat dilihat bahwa kondisi optimum untuk menghasilkan bahan bakar cair yang setara dengan premium adalah pada suhu operasi 550°C dan berat katalis masing-masing 1 gram.

## Kesimpulan dan Saran

### Kesimpulan

Dari hasil percobaan dapat disimpulkan bahwa :

1. Karet ban bekas jenis polystirene dapat dikonversi menjadi bahan bakar cair.
2. Model persamaan empiris yang diperoleh dari hasil percobaan untuk jenis bahan bakar premium adalah :

$$Y_1 = -1093,236 + 3,903 X_1 - 0,003 X_1^2 + 26,893 X_2 + 2,373 X_2^2 - 0,052 X_1 X_2$$

3. Model persamaan empiris yang diperoleh dari hasil percobaan untuk jenis bahan bakar Solar adalah :

$$Y_2 = 736,4455 - 2,3566 X_1 + 0,0020 X_1^2 - 20,6976 X_2 - 1,4875 X_2^2 + 0,0422 X_1 X_2$$

4. Model persamaan empiris yang diperoleh dari hasil percobaan untuk jenis bahan bakar Minyak Tanah adalah :

$$Y_3 = 493,0988 - 1,6987 X_1 + 0,0015 X_1^2 - 4,1035 X_2 + 1,8100 X_2^2 - 0,0040 X_1 X_2$$

5. Bahan bakar jenis premium optimum didapat pada suhu 550 °C dan berat katalis 1 gram.

### Saran

Produk gas yang dihasilkan pada proses konversi limbah ban bekas menjadi bahan bakar cair sebaiknya ditampung untuk kemudian dianalisa sehingga dapat dimanfaatkan lebih lanjut. Proses pendinginan hendaknya dilakukan lebih baik lagi dengan menggunakan air pendingin yang suhunya jauh dibawah suhu produk keluaran reaktor. Untuk mendapatkan produk bahan bakar cair yang lebih optimum perlu dilakukan penelitian tentang konversi limbah ban bekas menjadi bahan bakar cair dengan menggunakan jenis katalis dan variabel suhu yang lain.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ir. Herry Santosa sebagai koordinator penelitian, Dr. Ir. Didi Dwi Anggoro, MEng, selaku dosen pembimbing penelitian, Bapak Sungkowo, Bapak Untung, dan semua laboran yang telah membantu penelitian kami.

### Daftar Notasi

$Y_1$	= komposisi premium ( % )
$Y_2$	= komposisi solar ( % )
$Y_3$	= komposisi minyak tanah ( % )
$X_1$	= suhu operasi ( °C )
$X_2$	= berat katalis ( gram )

### Daftar Pustaka

- Belltrame, P. Et.al., (1989), "*Catalytic Degradation of Polymers*"
- Busser, H., (1990), "*Pengantar ke Kimia Organik*", Penerbit Djambatan, Jakarta, Hal.37
- Chen, et.al., (1978), "Method for Treatment of Rubber and Plastic Wastes", *United States Patent No. 4,108,730*
- Harborne, J.B., (1987), "*Metode Fotokimia. Penuntun Cara Modern Menganalisis Tumbuhan*", Penerbit ITB, Bandung, Hal. 123-147
- Hess, D., (1992), "*Plant Phycology*", Spinger International, Student Edition, Page 99-116
- Kusnawijaya, K., (1983), "*Biokimia*", Penerbit Alumni, Bandung, Hal. 57-58
- Lakistan, B., (1993), "*Dasar – Dasar Fisiologi Tumbuhan*", Penerbit Raja Grafindo Persada, Hal. 156-170
- Manitto, P., (1981), "*Biosintesis Produk Alami*", Ellis Horwood Limited, Hal. 223-320
- Morita, et.al., (1981), "Process for Hydrocracking a Waste Rubber", *United States Patent No. 4,251,500*
- Robinson, T., (1991), "*Kandungan Organik Tumbuhan Tinggi*", Penerbit ITB Bandung, Hal.168-174
- Salisbury, F.B. dan C.W. Ross., (1992), "*Fisiologi Tumbuhan jilid II. Tejemahan dari Plant Physiology*", Oleh D.R. Lukman dan Sumaryono, Penerbit ITB Bandung, Hal. 91-103
- Takahashi, et.al., (1995), "Method of Obtaining Hydrocarbon Oil from Waste Plastic Material or Waste Rubber Material and Apparatus for Carrying Out The Method", *United States Patent No. 5,414,169*
- W. Scherzer, H. Kaminsky, (1990), "*Hydrocarbon Process*", 74, hal. 109.