

Karakterisasi Asap Cair Hasil Pirolisis Sampah Styrofoam dengan Katalis Zeolite

Olke Wisje Lumingkewas, I Dewe Ketut Anom, Ardi Kapahang*

Program Studi Ilmu Kimia Program Pascasarjana, Universitas Negeri Manado, Tomohon, 95618, Indonesia

INFO ARTIKEL

Diterima 10 Juli 2017
Disetujui 28 Desember 2021

Key word:
Styrofoam waste
Styrofoam
Characterization
Liquid smoke
Pyrolysis

Kata kunci:
Sampah
Styrofoam
Karakterisasi
Asap cair
Pirolisis

ABSTRACT

The purpose this achieved in this research is 1.To get a few percent of liquid smoke products acquired from the pyrolysis of Styrofoam waste. 2.To know the effect of using zeolite in the waste pyrolysis process styrofoam to the speed of formation of liquid smoke product .3. To characterize the physical and chemical properties of liquid smoke from pyrolysis of syrofoam wast. The research method used to convert Styrofoam waste into liquid smoke is the pyrolysis method. For characterize of liquid smoke from pyrolysis using equipment: a set of pyrolysis tools, Fenske Viscometer Oswald, Picnometer, Boilling Point Meter and a set of KG-SM alloy. The results showed that the pyrolysis of 100 grams of Styrofoam wa ste using zeolite catalyst produced an average of 69,33% liquid smoke whereas the pyrolysis of Styrofoam waste without using a catalyst produces average 61,67 % liquid smoke. Time and temperature of pyrolysis have the same influence, the higher value, the more liquid smoke is produced. the length of ime for pyrolysis of styrofoam waste uing zeolite catalyst laste for 4,5 hours, while the pyrolysis of Styrofoam without a catalyst laste for 3,5 hours. Based of the physical ang chemical properties of liquid smoke, the pyrolysis of Styrofoam waste using a catalyst or without using a catalyst can both be classified into gasoline.

ABSTRAK

Metode penelitian yang digunakan untuk mengubah sampah *styrofoam* menjadi asap cair adalah metode pirolisis. Untuk karakterisasi asap cair hasil pirolisis menggunakan peralatan: satu set alat Pirolisis, Fenske Viscometer Oswald, Picnometer, Boilling Point Meter dan satu set alat perpaduan KG-SM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Pirolisis dari 100 g sampah *styrofoam* dengan menggunakan katalis *zeolite* rata-rata menghasilkan 69,33% asap cair sedangkan pirolisis sampah *styrofoam* tanpa menggunakan katalis rata-rata menghasilkan 61,67% asap cair. Waktu dan suhu pirolisis mempunyai pengaruh yang sama, yaitu semakin tinggi suhu pirolisis, asap cair yang dihasilkan semakin bertambah. Lamanya waktu pirolisis sampah *styrofoam* dengan menggunakan katalis *zeolite* berlangsung selama 4,5 dan suhu maksimum 275°C sedangkan pirolisis *styrofoam* tanpa katalis berlangsung selama 3,5 jam dan suhu maksimum 325°C. Berdasarkan sifat fisika dan sifat kimia bahwa asap cair hasil pirolisis sampah *styrofoam* dengan menggunakan katalis maupun pirolisis tanpa menggunakan katalis keduanya dapat digolongkan ke dalam bahan bakar bensin.

*e-mail: olkewisje@gmail.com

Pendahuluan

Sampah anorganik seperti kantong plastik, botol plastik, ember plastik, pipa plastik, pembungkus deterjen dan *styrofoam* adalah

sampah yang tidak mudah terurai tetapi dapat didaur kembali. Sampah plastik yang ada pada saat ini hanya dibuang, dibakar atau didaur ulang. Proses tersebut belum menyelesaikan

semua permasalahan sampah plastik, karena sampah plastik sukar terurai di alam. Apabila sampah plastik dibakar akan menghasilkan senyawa berbahaya yang bersifat karsinogenik seperti *polychloro dibenzodioxins* dan *polychloro dibenzo furan*. Daur ulang limbah plastik merupakan satu-satunya cara yang dapat mengurangi jumlah sampah plastik yang ada, tetapi kenyataannya hanya sedikit yang dapat didaur ulang dan bahan hasil daur ulang mempunyai kualitas yang rendah sehingga metode daur ulang dipandang tidak efisien untuk memecahkan masalah sampah plastik [1].

Sampah plastik dapat menyebabkan masalah lingkungan berskala global. Plastik banyak dipakai dalam kehidupan sehari-hari, karena mempunyai keunggulan-keunggulan seperti kuat, ringan dan stabil. Plastik yang beredar di pasaran saat ini merupakan polimer sintetik yang terbuat dari minyak bumi yang sulit untuk terurai di alam dalam waktu pendek [2]. Semakin banyak sampah plastik akan semakin meningkat pencemaran lingkungan seperti pencemaran tanah [3]. Sampah plastik akan berdampak negatif terhadap lingkungan karena tidak dapat terurai dengan cepat dan dapat menurunkan kesuburan tanah. Sampah plastik yang dibuang sembarangan juga dapat menyumbat drainase, selokan dan sungai sehingga menyebabkan banjir [4]. Sampah plastik yang dibakar dapat mengeluarkan zat-zat berbahaya bagi kesehatan manusia. Semakin bertambah pesat penggunaan plastik maka semakin banyak pula limbah yang akan kita hadapi, baik itu yang dihasilkan dari industri besar maupun industri rumah tangga. Limbah plastik menjadi permasalahan lingkungan yang sampai saat ini belum dapat dipecahkan jalan keluarnya meskipun banyak pemanfaatan limbah plastik namun belum mampu mengurangi penumpukan sampah plastik di alam [5].

Styrofoam sebagai plastik merupakan merek dagang dari busa *polystyrene* terekstrusi sel tertutup yang saat ini dibuat untuk aplikasi kerajinan dan insulasi termal. Oleh karena itu, kemasan *styrofoam* digunakan sebagai bungkus pelindung untuk suatu produk. *Styrofoam* merupakan salah satu jenis plastik dari sekian banyak bahan lainnya. *Styrofoam* lazim

digunakan sebagai bahan pelindung dan penahan getaran barang-barang yang *fragile*, seperti elektronik. Saat ini *styrofoam* tersebut juga banyak digunakan sebagai bahan pengemas makanan dan minuman. Bahan dasar *styrofoam* adalah polistirena, suatu jenis plastik yang sangat ringan, kaku, tembus cahaya, dan murah. *Styrofoam* adalah bahan yang rapuh. Dalam pembuatan *styrofoam* tersebut, polistirena dicampur seng dan senyawa butadien. Kemudian untuk kelenturannya, ditambahkan zat *plasticizer* seperti dioktiltalat (DOP), butil hidroksi toluena, atau n-butyl stearat. *Styrofoam* umumnya berwarna putih susu dan kaku ini sering dijadikan pengemas makanan. Awalnya bahan ini didesain untuk pengamanan barang elektronik, seperti: TV, radio dan kulkas.

Sampah *styrofoam* merupakan limbah yang sulit diurai oleh bakteri atau mikroorganisme sehingga memerlukan waktu yang lama, bahkan hingga ratusan tahun untuk dapat menguraikannya secara alamiah. *Sampah plastik* ini selalu menjadi masalah besar terhadap kelangsungan kehidupan makhluk hidup dan bumi yang kita pijak ini, karena jumlahnya yang kian banyak dan tidak tertangani dengan baik [6]. Sampah *styrofoam* adalah sampah anorganik yang tersusun dari polimer-polimer yang berasal dari bahan kimia aditif. Zat-zat aditif dari *styrofoam* ini berbahaya bagi manusia karena bersifat karsinogenik. Hal ini yang menyebabkan pemakaian *styrofoam* harus dibatasi penggunaannya karena sifat karsinogeniknya. Oleh karena itu masalah sampah *styrofoam* perlu ditanggulangi sebaik mungkin dengan cara memanfaatkan sampah tersebut untuk dikonversi menjadi produk yang dapat berguna bagi kehidupan manusia dan lingkungan. Dengan memanfaatkan ilmu pengetahuan dan teknologi kita dapat mengolah limbah plastik atau produk samping menjadi produk yang bernilai ekonomis [7]. Teknologi untuk mengolah limbah plastik untuk memperoleh bahan bakar alternatif adalah pirolisis. Pirolisis itu sendiri adalah proses pembakaran dalam keadaan sedikit oksigen [8].

Bahan dan Metode

Bahan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah *zeolite* dan sampah plastik *styrofoam*. Sampah plastik *styrofoam* di kumpulkan dari lokasi pembuangan sampah akhir (TPA) desa Langoan Kabupaten Minahasa.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah rangkaian alat pirolisis, rangkaian alat destilasi fraksinasi, gelas, corong pisah, kondensor, penjepit, pisau, pipet, gelas ukur, timbangan analitik, tandar, fenske viscometer oswald, termometer, alat perpaduan KG-SM smoke point tester, boiling point meter, pcnometer, flash point meter, freezer point tester.

Langkah-langkah penelitian pirolisis *styrofoam* mengikuti cara yang dilakukan oleh Anom dan Bemis sebagai berikut [9,10]:

1. Sampah plastik dicuci dan dijemur.
2. Penyusunan 1 set alat pirolisis.
3. Ditimbang 100 g sampel sampah plastik kemudian dimasukan ke dalam labu bulat 1000 mL.
4. Labu ditutup rapat dan proses pirolisis dimulai.
5. Proses pirolisis mulai dilakukan dengan mengamati perubahan suhu distilasi dan perubahan-perubahan yang terjadi secara fisik (meleleh, mencair, menguap dan produk asap cair).
6. Proses pirolisis dihentikan pada saat tidak ada lagi pirolisat asap cair yang menetes.
7. Pirolisat ditampung dalam gelas Erlenmeyer dan berat dihitung dalam persen berat sebagai berikut:

$$\frac{\text{Berat fraksi yang diperoleh}}{\text{Berat sampel}} \times 100\% \quad (1)$$

Pirolisis dengan katalis [11].

1. Ditimbang 100 g sampel sampah plastik dan 10 gram katalis *zeolite* kemudian dimasukan ke dalam labu bulat 1000 mL.
2. Labu ditutup rapat-rapat dan proses pirolisis siap untuk dimulai.
3. Proses pirolisis sampah plastik mulai dilakukan dengan mengamati perubahan suhu distilasi dan perubahan-perubahan yang terjadi secara fisik (meleleh, mencair, menguap dan terbentuk produk asap cair).

Proses selanjutnya mengikuti proses seperti pada pirolisis sampah plastik tanpa menggunakan katalis.

Hasil dan Pembahasan

Pirolisis Sampah Styrofoam dengan Katalis

Pirolisis sampah *styrofoam* berlangsung selama kurang lebih empat sampai empat setengah jam, dihitung mulai pemanasan *styrofoam* sampai selesai pirolisis. Hasil pengamatan pirolisis 100 g sampah *styrofoam* dengan katalis *zeolite* adalah sebagai berikut:

1. Pemanasan mulai suhu 110°C, tampak terjadi perubahan fisik dimana sampah *styrofoam* padat mulai berubah secara perlahan-lahan meleleh, dan disertai adanya gelembung-gelembung udara yang teramati pada saat sampel dipanaskan.
2. Pemanasan pada suhu 130 - 150°C, sampel mulai mencair dan juga teramati adanya asap putih.
3. Pemanasan pada suhu sekitar 150 - 170°C, teramati adanya cairan mulai menetes ke dalam botol penampung asap cair.
4. Pemanasan pada suhu sekitar 170 - 273°C, penguapan mulai normal, hal ini terlihat kecepatan menetes mulai stabil.
5. Proses pirolisis berakhir sampai tidak ada distilat yang menetes ke dalam botol penampung dan waktu yang digunakan kurang lebih 4,5 jam.

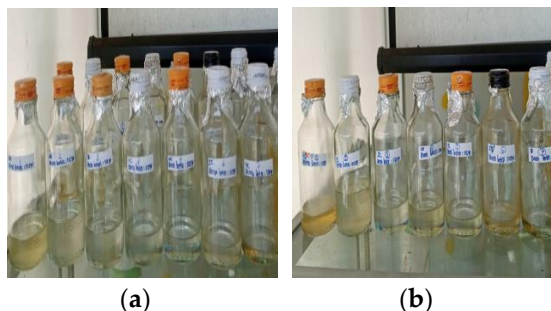
Pirolisis Sampah Styrofoam Tanpa Katalis

Hasil pengamatan 100 g sampah *styrofoam* tanpa katalis adalah sebagai berikut:

1. Pemanasan mulai suhu 140°C, tampak terjadi perubahan fisik dimana sampah *styrofoam* padat mulai berubah secara perlahan-lahan meleleh, dan disertai adanya gelembung-gelembung udara yang teramati pada saat sampel dipanaskan.
2. Pemanasan pada suhu 140 - 200°C, sampel mulai mencair dan juga teramati adanya asap putih.
3. Pemanasan pada suhu sekitar 200 - 280°C, teramati adanya cairan mulai menetes ke dalam botol penampung asap cair.
4. Pemanasan pada suhu sekitar 280 - 335°C, penguapan mulai normal, hal ini terlihat kecepatan menetes mulai stabil.

- Proses pirolisis berakhir sampai tidak ada distilat yang menetes ke dalam botol penampung dan waktu yang digunakan kurang lebih 3,5 jam.

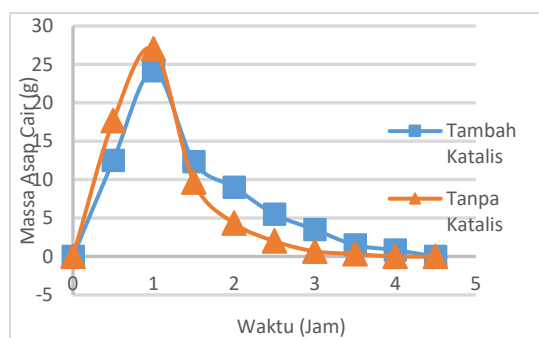
Asap cair hasil pirolisis sampah *styrofoam* dengan menggunakan katalis *zeolite* dan tanpa katalis ditunjukkan pada [gambar 1](#).



Gambar 1. (a) Asap cair hasil pirolisis sampah *styrofoam* dengan menggunakan katalis *zeolite* dan (b) tanpa katalis

Hubungan Massa Asap Cair dengan Waktu Pirolisis

Grafik hubungan massa rata-rata asap cair yang diperoleh dan lamanya waktu pirolisis sampah *styrofoam* dengan menggunakan katalis *zeolite* dan tanpa katalis dapat dilihat pada [gambar 2](#).



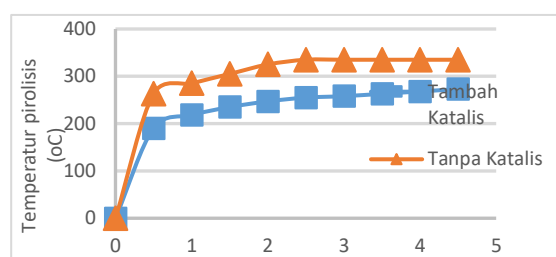
Gambar 2. Grafik hubungan massa rata-rata asap cair yang diperoleh dan lamanya waktu pirolisis sampah *styrofoam* dengan menggunakan katalis *zeolite* dan tanpa katalis

Pada [gambar 2](#) menunjukkan bahwa pirolisis dari 100 g sampah *styrofoam* dengan menggunakan katalis *zeolite* rata-rata menghasilkan 69,33% asap cair, sedangkan tanpa katalis rata-rata menghasilkan 61,67% asap cair. Waktu pirolisis sampah *styrofoam* dengan menggunakan katalis *zeolite* selama 1 (satu) jam diperoleh produk maksimum 24,0 g,

sedangkan tanpa katalis diperoleh produk maksimum 27,5 g. Setelah 1 (satu) jam pirolisis, kedua produk asap cair yang diperoleh pada setiap satuan waktu semakin berkurang [12]. Semakin lama waktu pirolisis yang digunakan, jumlah asap cair yang diperoleh semakin bertambah [13]. Hal tersebut disebabkan karena makin luasnya kesempatan bagi penyusun sampah *styrofoam* untuk menguraikan diri menjadi uap dan setelah uapnya didinginkan berubah menjadi asap cair, atau dengan kata lain bahwa bertambahnya asap cair yang dihasilkan setiap satuan waktu disebabkan karena proses penguraian polimer yang molekulnya besar menjadi senyawa-senyawa baru yang molekulnya lebih kecil, makin mudah menguap dan hasilnya semakin banyak.

Hubungan Waktu Pirolisis dengan Temperatur

Grafik hubungan antara waktu pirolisis sampah *styrofoam* dengan lamanya waktu pirolisis dapat dilihat pada [gambar 3](#).



Gambar 3. Grafik hubungan antara lamanya waktu pirolisis sampah *styrofoam* dan temperatur pirolisis.

Pada [gambar 3](#) menunjukkan bahwa perubahan suhu dari pirolisis sampah *styrofoam* dengan menggunakan katalis terlihat dari waktu ke waktu terus meningkat dan berakhir setelah proses pirolisis berlangsung selama 4,5 jam, dan pada saat itu suhu maksimum menunjukkan 270°C. Sedangkan pirolisis *styrofoam* tanpa menggunakan katalis berlangsung selama 3,5 jam dan pada saat itu suhu maksimum menunjukkan 325°C. Kalau kecepatan pemanasan terlalu tinggi dalam waktu satu sampai dua jam saja proses pirolisis sudah selesai, tetapi asap cair yang didapat berwujud kental dan kalau dibiarkan beberapa hari berubah menjadi padat. Hal ini dapat disebabkan karena pirolisis *styrofoam* tersebut belum mengalami penguraian yang sempurna.

Tetapi bila suhu pirolisis sampah *styrofoam* tidak terlalu cepat untuk mencapai suhu yang maksimum, maka asap cair yang diperoleh tetap dalam wujud cair.

Pada pengaruh waktu terhadap suhu pirolisis sampah *styrofoam* dengan katalis zeolit sudah terbukti dapat menurunkan suhu pirolisis jika dibandingkan dengan pirolisis sampah *styrofoam* tanpa katalis. Hal ini dapat diartikan bahwa penambahan katalis zeolit pada proses pirolisis sampah *styrofoam* dapat menurunkan suhu atau dapat diartikan bahwa katalis dapat menurunkan energi aktivasi penguraian *styrofoam* menjadi asap cair.

Sifat-sifat Fisika dan Kimia Asap Cair Styrofoam

1. Nilai Kalor

Hasil analisis nilai kalor asap cair hasil pirolisis sampah *styrofoam* yang menggunakan katalis zeolit adalah sebesar 10.027 kal./g, sedangkan nilai kalor asap cair hasil pirolisis sampah *styrofoam* tanpa menggunakan katalis adalah sebesar 9.985 kal./g. Nilai kalor dari bahan bakar minyak umumnya berkisar antara 10.160-11.000 kkal/kg [14]. Berdasarkan nilai kalor yang diperoleh ternyata bahwa asap cair hasil pirolisis sampah *styrofoam* yang menggunakan katalis mendekati kisaran nilai kalor bahan bakar minyak pada umumnya, sedangkan nilai kalor asap cair hasil pirolisis sampah *styrofoam* tanpa menggunakan katalis masih dibawah nilai kalor bahan bakar minyak pada umumnya. Peningkatan nilai kalor pada penelitian ini dapat disebabkan karena tingkat kemurnian asap cair tersebut berbeda. Berdasarkan analisis KG bahwa asap cair *styrofoam* yang menggunakan katalis terdiri dari 35 senyawa kimia, sedangkan tanpa katalis terdiri dari 45 senyawa.

2. Viskositas

Viskositas adalah kemampuan zat agar dapat mengalir pada suatu media [15]. Hasil pengujian nilai viskositas asap cair hasil pirolisis sampah *styrofoam* dengan menggunakan katalis zeolite adalah 0,853 cSt, sedangkan tanpa menggunakan katalis adalah 0,944 cSt. Viskositas sangat erat kaitannya dengan kekentalan suatu bahan bakar. Jika bahan bakar terlalu kental, maka dapat menyulitkan aliran, pemompaan, serta penyalaan [16].

Berdasarkan standar mutu internasional oleh *Shell Petroleum* Canada tahun 1999 bahwa nilai viskositas yang diperbolehkan untuk bahan bakar jenis bensin adalah <1 cSt. Kedua asap cair hasil pirolisis sampah *styrofoam* baik yang menggunakan katalis maupun tidak dapat memenuhi standar mutu bensin yang diperbolehkan.

3. Massa Jenis

Umumnya massa jenis suatu bahan bakar harus memiliki nilai densitas yang rendah karena apabila nilai densitas bahan bakar terlalu tinggi maka akan meningkatkan keausan mesin hingga kerusakan. Hasil pengujian asap cair hasil pirolisis sampah *styrofoam* dengan menggunakan katalis zeolite dan tanpa menggunakan katalis adalah 0,897 gr/mL dan 0,912 gr/mL. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengaruh penambahan katalis pada proses pirolisis sampah *styrofoam* dapat menurunkan massa jenis asap cair tersebut.

Berdasarkan *Shell Petroleum* Canada tahun 1999 tentang pengujian spesifikasi bahan bakar minyak jenis bensin tanpa timbal, massa jenis bensin yang diperbolehkan untuk dipasarkan minimal sebesar 0,750 gr/mL dan maksimal 0,850 g/mL. Massa jenis ke dua asap cair *styrofoam* yang dihasilkan pada penelitian ini lebih besar jika dibandingkan dengan standar mutu menurut *Shell Petroleum* Canada. Perbedaan massa jenis ini dapat terjadi karena adanya perbedaan suhu di setiap negara saat dilakukan pengujian dan alat yang digunakan mungkin juga berbeda.

4. Titik Nyala

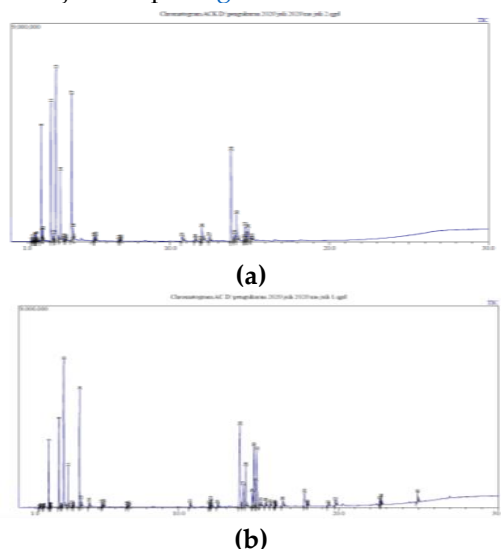
Titik nyala suatu bahan bakar menandakan batas aman terhadap bahaya kebakaran selama penyimpanan. Hasil pengujian titik nyala pada asap cair hasil pirolisis sampah *styrofoam* dengan menggunakan katalis zeolite dan tanpa katalis adalah 28,8°C dan 29,1°C. Titik nyala bensin yang beredar dipasaran adalah sebesar 57°C. Titik nyala yang dicapai oleh ke dua asap cair *styrofoam* tersebut menunjukkan angka di bawah titik nyala bensin, berdasarkan data yang diperoleh maka ke dua asap cair tersebut memenuhi syarat untuk diusulkan sebagai bahan alternatif [17].

5. Titik didih

Hasil pengujian titik didih pada asap cair hasil pirolisis sampah *styrofoam* dengan menggunakan katalis *zeolite* dan tanpa katalis adalah 145,8°C dan 132,428°C. Titik titik didih suatu bahan bakar sangat berkaitan dengan massa jenisnya. Semakin kecil nilai massa jenis bahan bakar, maka titik didih bahan bakar tersebut juga semakin kecil. Berdasarkan SNI 06-3506-1994 titik didih akhir bahan bakar yang diizinkan maksimal sebesar 205°C. Pada penelitian ini titik didih ke dua asap cair hasil pirolisis menunjukkan angka di bawah batas maksimum standar mutu yang berlaku. Berdasarkan nilai titik didihnya maka ke dua asap cair tersebut dapat diusulkan sebagai bahan bakar alternatif pengganti bensin.

6. Kromatografi Gas – Spektroskopi Massa Asap Cair dengan katalis

Asap cair hasil pirolisis sampah *styrofoam* menggunakan katalis *zeolite* dan tidak menggunakan katalis, kemudian dianalisis menggunakan alat Kromatografi Gas (KG). Hasil analisis senyawa-senyawa kimia yang terdapat dalam asap cair hasil pirolisis sampah *styrofoam* dengan katalis *zeolit* menunjukkan 35 puncak, hal ini dapat diartikan bahwa asap cair tersebut terdiri dari 35 senyawa. Sedangkan asap cair hasil pirolisis sampah *styrofoam* tanpa katalis menunjukkan 45 puncak, hal ini dapat diartikan bahwa asap cair tersebut terdiri dari 45 senyawa. Kromatogram KG asap cair *styrofoam* dengan katalis *zeolit* dan tanpa katalis ditunjukkan pada [gambar 4](#).



Gambar 4. Kromatogram KG asap cair hasil pirolisis sampah *styrofoam* dengan katalis *zeolite* (a) dan tanpa katalis (b).

Berdasarkan data KG-SM bahwa asap cair hasil pirolisis sampah *styrofoam* menggunakan katalis *zeolit* dan tanpa katalis terdiri dari campuran senyawa hidrokarbon yaitu turunan alkana, turunan alkena, turunan sikloalkana, turunan keton, benzene tersubstitusi, turunan alkohol dan stiren.

Kesimpulan

Pirolisis dari 100 g sampah *styrofoam* dengan menggunakan katalis *zeolite* rata-rata menghasilkan 69,33% asap cair sedangkan pirolisis sampah *styrofoam* tanpa menggunakan katalis rata-rata menghasilkan 61,67% asap cair. Waktu dan suhu pirolisis mempunyai pengaruh yang sama, yaitu semakin tinggi nilainya, asap cair yang dihasilkan semakin bertambah. Lamanya waktu pirolisis sampah *styrofoam* dengan menggunakan katalis *zeolite* berlangsung selama 4,5 sedangkan pirolisis *styrofoam* tanpa katalis berlangsung selama 3,5 jam. Sifat fisika dan kimia asap cair hasil pirolisis sampah *styrofoam* dengan menggunakan katalis maupun pirolisis tanpa menggunakan katalis keduanya dapat digolongkan ke dalam bahan bakar bensin.

Daftar Pustaka

1. Ermawati, R. Konversi Limbah Plastik Sebagai Sumber Energi Alternatif. *Journal of Industrial Research (Jurnal Riset Industri)* **2011**, 5, 257–263.
2. Gunjal, A.B.; Dhore, V.J. Waste Plastic Fuel Used In Petrol Engine. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research* **2017**, 3, 1836–1840.
3. Kadir, K. Kajian Pemanfaatan Sampah Plastik Sebagai Sumber Bahan Bakar Cair. *Dinamika : Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* **2015**, 3, doi:10.33772/djtm.v3i2.291.
4. Surono, U.B. Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak. **2013**, 3, 32–40.
5. Anggono, T.; Wahyu, E.; Handayani, H.; Rahmadani, A.; Abdullah, A. Pirolisis Sampah Plastik Untuk Mendapatkan Asap Cair Dan Penentuan Komponen Kimia Penyusunnya Serta Uji Kemampuannya Sebagai Bahan Bakar Cair. *Jurnal Sains dan Terapan Kimia* **2016**, 3, 164–173, doi:10.20527/jstk.v3i2.2039.
6. Mukminah, I.A. Bahaya Wadah Styrofoam dan Alternatif Penggantinya. *Majalah Farmasetika* **2019**, 4, 32–34, doi:10.24198/farmasetika.v4i2.22589.
7. Sitanggang, D.R. Uji Karakteristik Asap

- Cair Sekam Padi pada Alat Pirolisis Plastik-Sekam Padi. *Jurnal Rekayasa Pangan dan Pertanian* **2018**, 6, 787–794.
8. Ridhuan, K.; Irawan, D.; Zanaria, Y.; Firmansyah, F. Pengaruh Jenis Biomassa Pada Pembakaran Pirolisis Terhadap Karakteristik Dan Efisiensi bioarang - Asap Cair Yang Dihasilkan. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin* **2019**, 20, 18–27, doi:10.23917/mesin.v20i1.7976.
9. Anom, I.D.K. *Pemanfaatan Ssampah Plastik Dalam Indsutri Bahan Bakar Minyak*; Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Tingkat I Sulut Kerjasama dengan Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Keguruan dan Ilmu Pendidikan Negeri Manado, 1991;
10. Bemis, R.; Jamarun, N.; Arief, S. PENGOLAHAN Limbah Polipropilen Menjadi Bahan Bakar Cair Melalui Metode Pirolisis. *Jurnal Riset Kimia* **2012**, 5, 158, doi:10.25077/jrk.v5i2.217.
11. Arita, S.; Assslami, A.; Naibaho, D.I. Proses Pembuatan Bahan Bakar Cair Dengan Memanfaatkan Limbah Ban Bekas Menggunakan Katalis Zeolit. *Jurnal Teknik Kimia* **2015**, 21, 8–14.
12. Kauwo, F.A.G.; Anom, I.D.K.; Lombok, J.Z. Pyrolysis Reaction Kinetics of Styrofoam Plastic Waste. *Indonesian Journal of Chemical Research* **2021**, 9, 57–62, doi:10.30598/ijcr.2021.9-fey.
13. Wicaksono, M.A.; Arijanto, A. Pengolahan Sampah Plastik Jenis Pet(Polyethylene Perephthalathe) Menggunakan Metode Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Alternatif. *JURNAL TEKNIK MESIN* **2017**, 5, 9–15.
14. Wiratmaja, I.G. Pengujian Karakteristik Fisika Biogasoline Sebagai Bahan Bakar Alternatif Pengganti Bensin Murni. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* **2010**, 4, 145–154.
15. Adoe, D.G.H.; Bunganaen, W.; Krisnawi, I.F.; Soekwanto, F.A. Pirolisis Sampah Plastik PP (Polypropylene) Menjadi Minyak Pirolisis Sebagai Bahan Bakar Primer. *LONTAR Jurnal Teknik Mesin Undana (LJTMU)* **2016**, 3, 17–26, doi:10.1234/ljtmu.v3i1.455.
16. Setiawati, E.; Edwar, F. Teknologi Pengolahan Biodiesel Dari Minyak Goreng Bekas Dengan Teknik Mikrofiltrasi Dan Transesterifikasi Sebagai Alternatif Bahan Bakar Mesin Diesel. *Journal of Industrial Research (Jurnal Riset Industri)* **2012**, 6, 1–11.
17. Anom, I.D.K.; Lombok, J.Z. Karakterisasi Asap Cair Hasil Pirolisis Sampah Kantong Plastik Sebagai Bahan Bakar Bensin. *Fullerene Journal of Chemistry* **2020**, 5, 96–101, doi:10.37033/fjc.v5i2.206.