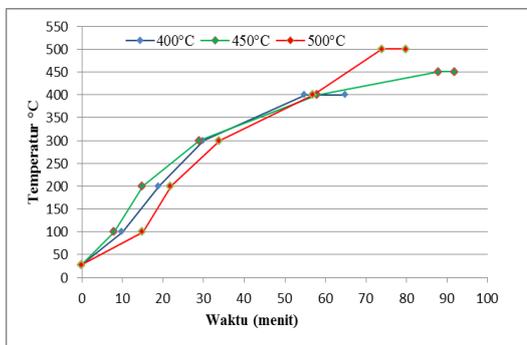


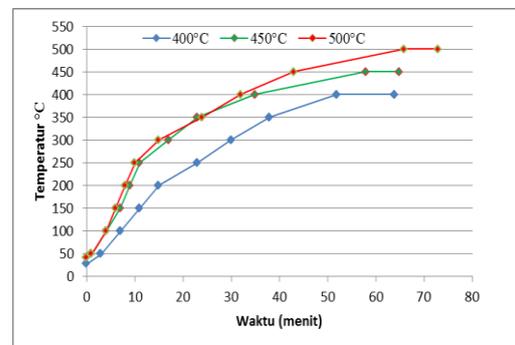
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Distribusi Temperatur Pirolisis Terhadap Waktu

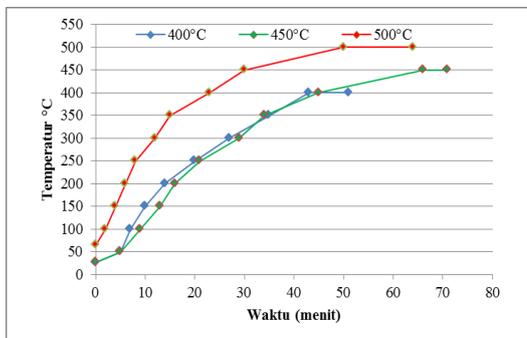
Pirolisis dilakukan dengan variasi tiga temperatur yaitu 400°C, 450°C, dan 500°C pada variasi campuran batubara dan plastik baik dengan menggunakan katalis maupun tanpa katalis yang ditampilkan pada Gambar 4.1.



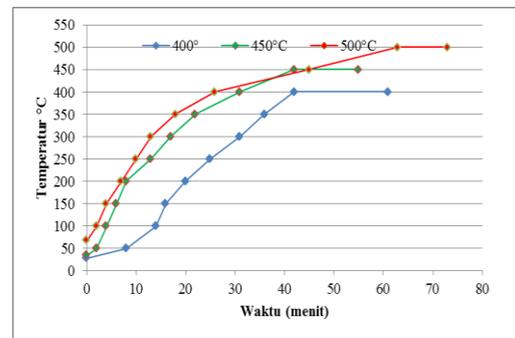
(a)



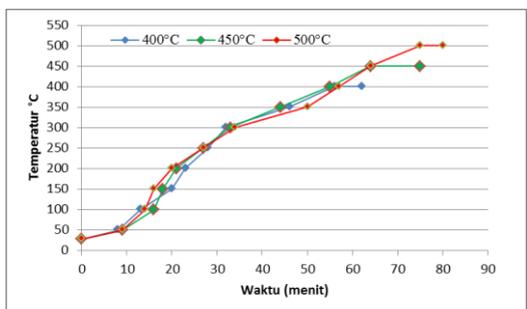
(b)



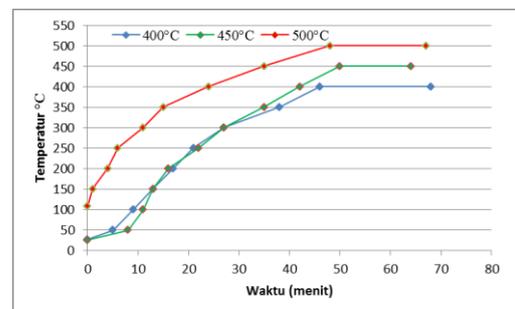
(c)



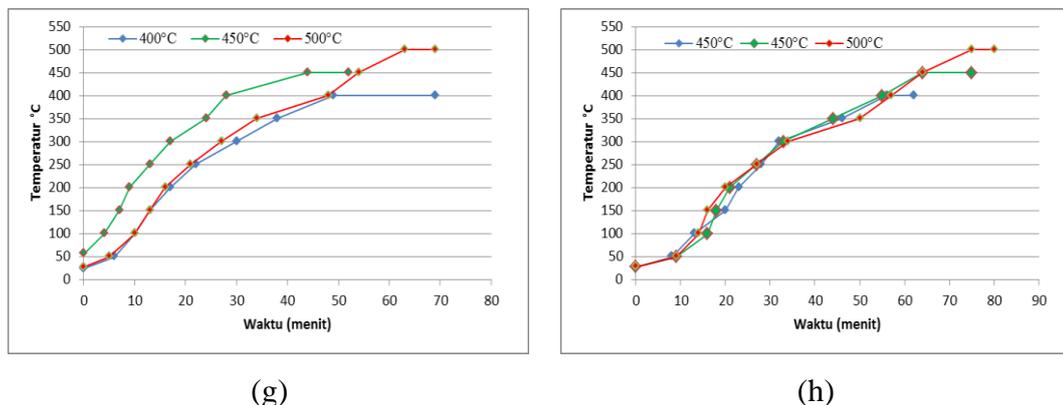
(d)



(e)



(f)



Gambar 4.1. Perubahan temperatur pirolisis terhadap waktu

- Variasi 100 % batubara, tanpa katalis pada temperatur 400, 450 dan 500°C.
- Variasi 90 % batubara dan 10 % plastik, tanpa katalis pada temperatur 400, 450 dan 500°C.
- Variasi 80 % batubara dan 20 % plastik, tanpa katalis pada temperatur 400, 450 dan 500°C.
- Variasi 70 % batubara dan 30 % plastik, tanpa katalis pada temperatur 400, 450, dan 500°C.
- Variasi 100 % batubara dan 40 gram katalis, pada temperatur 400, 450, dan 500°C.
- Variasi 90 % batubara, plastik 10 % dan katalis 40 gram, pada temperatur 400, 450, dan 500°C.
- Variasi 80 % batubara, plastik 20 % dan katalis 40 gram, pada temperatur 400, 450, dan 500°C.
- Variasi 70 % batubara, plastik 30 % dan katalis 40 gram, pada temperatur 400, 450, dan 500°C.

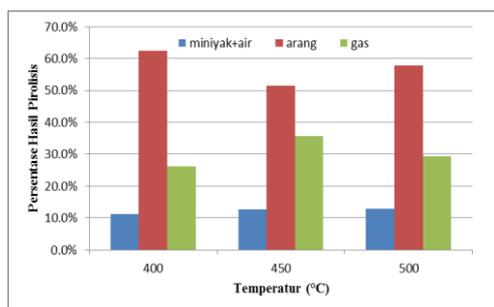
Secara umum terlihat pada Gambar 4.1 bahwa dengan semakin besar capaian temperatur dibutuhkan waktu lebih lama agar proses pirolisis berakhir. Hal ini karena dengan semakin tinggi temperatur pirolisis maka bahan baku padat pirolisis semakin banyak yang terdekomposisi menjadi cair atau gas sehingga

memerlukan waktu yang lebih lama agar proses pirolisis tidak mengeluarkan gas lagi atau dikatakan berakhir.

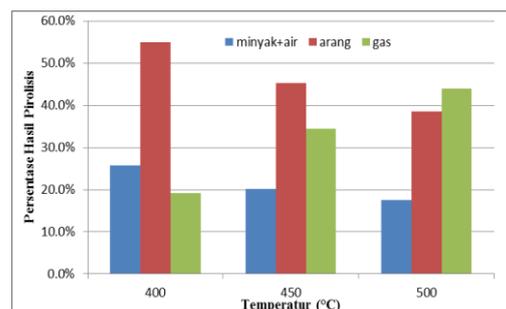
Disamping itu, Gambar 4.1 juga menampilkan distribusi laju waktu pemanasan yang beragam pada tiap variasi capaian temperatur pirolisis meskipun dengan daya pemanasan yang sama. Terlihat pada Gambar 4.1 (b), (c), (d) dan (f) capaian temperatur 500°C memiliki laju pemanasan yang lebih besar dari variasi yang lain sementara pada Gambar 4.1 (a), (e), (g) dan (h) capaian temperatur yang sama terlihat laju pemanasan yang hampir sama dengan variasi yang lain. Hal ini dimungkinkan karena letak pemanas reaktor pirolisis berada di dinding samping reaktor sehingga distribusi temperatur pada proses yang tidak seragam yang berdampak pada hasil minyak yang diperoleh pada proses pirolisis.

4.2 Pengaruh Temperatur Pirolisis

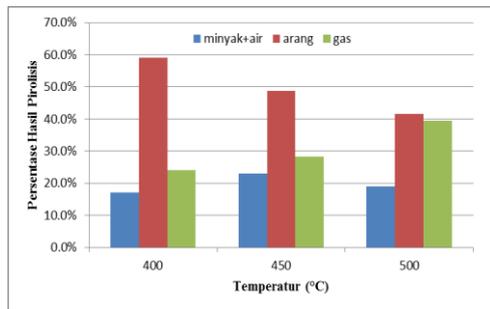
Penelitian produk pirolisis sangat dipengaruhi oleh temperatur. Gambar 4.2 memperlihatkan adanya pengaruh antara temperatur pirolisis terhadap kuantitas sampel produk pirolisis yang diperoleh dengan campuran batubara dan 10% hingga 30% plastik dari massa total 400 gram, dan pengaruh dari zeolit alam sebagai katalis pirolisis.



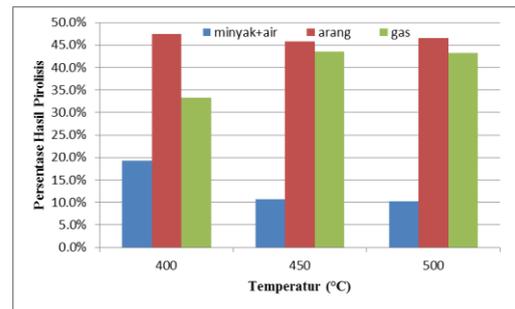
(a)



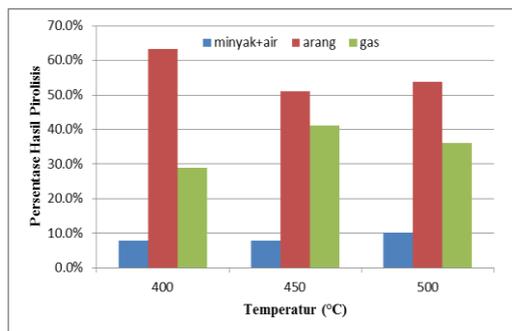
(b)



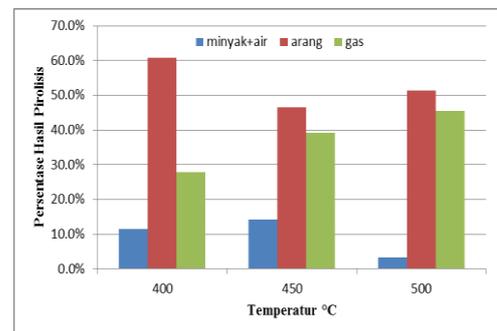
(c)



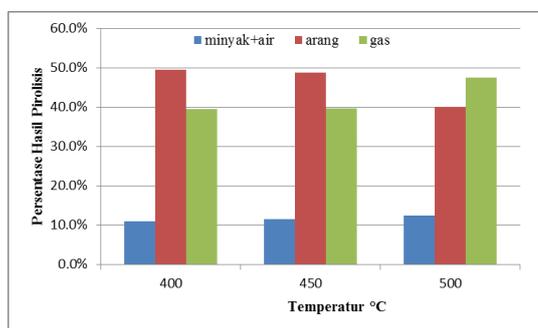
(d)



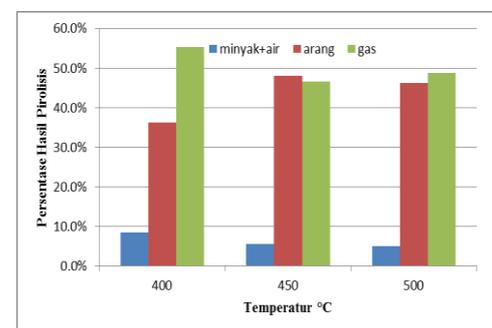
(e)



(f)



(g)



(h)

Gambar 4.2. Grafik Pengaruh Temperatur Terhadap Hasil Pirolisis pada Teperatur 400, 450 dan 500°C.

- Variasi 100 % batubara tanpa katalis, pada temperatur 400, 450, dan 500°C.
- Variasi 90 % batubara, 10 % plastik tanpa katalis, pada temperatur 400, 450 dan 500°C.
- Variasi 80 % batubara, 20 % plastik tanpa katalis, pada temperatur 400, 450, dan 500°C.

- d. Variasi 70 % batubara, 30 % plastik tanpa katalis, pada temperatur 400, 450, 500°C.
- e. Variasi 100 % batubara menggunakan katalis, pada temperatur 400, 450, dan 500°C.
- f. Variasi 90 % batubara, 10 % plastik menggunakan katalis 40 gram, pada temperatur 400, 450 dan 500°C.
- g. Variasi 80 % batubara, 20 % plastik menggunakan katalis 40 gram, pada temperatur 400, 450, dan 500°C.
- h. Variasi 70 % batubara, 30 % plastik menggunakan katalis 40 gram, pada temperatur 400, 450, 500°C.

Secara umum Gambar 4.2 menjelaskan bahwa dengan semakin tinggi temperatur pirolisis maka akan semakin rendah hasil arang yang diperoleh. Hal ini disebabkan karena dengan semakin tingginya temperatur pirolisis, semakin besar batubara dan plastik terdekomposisi sehingga volatil terlepas dari batubara dan plastik menjadi cairan dan gas semakin banyak. Penelitian yang dilakukan (Liu, 2014), volatil akan terlepas dari batubara pada temperatur 300°C - 600°C. Sehingga dengan semakin tinggi temperatur maka semakin tinggi pula volatil yang terlepas dari batubara yang ditandai dengan menurunnya hasil dari limbah arang.

Selain itu, pada gambar 4.2 juga memperlihatkan bahwa dengan semakin tinggi temperatur pirolisis maka semakin rendah produk cairan dengan disertai tingginya produk gas. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur maka volatil yang terlepas dari batubara akan terjadi reaksi sekunder yang menghasilkan rantai karbon yang pendek sehingga tidak dapat terkondensasikan pada temperatur ruangan.

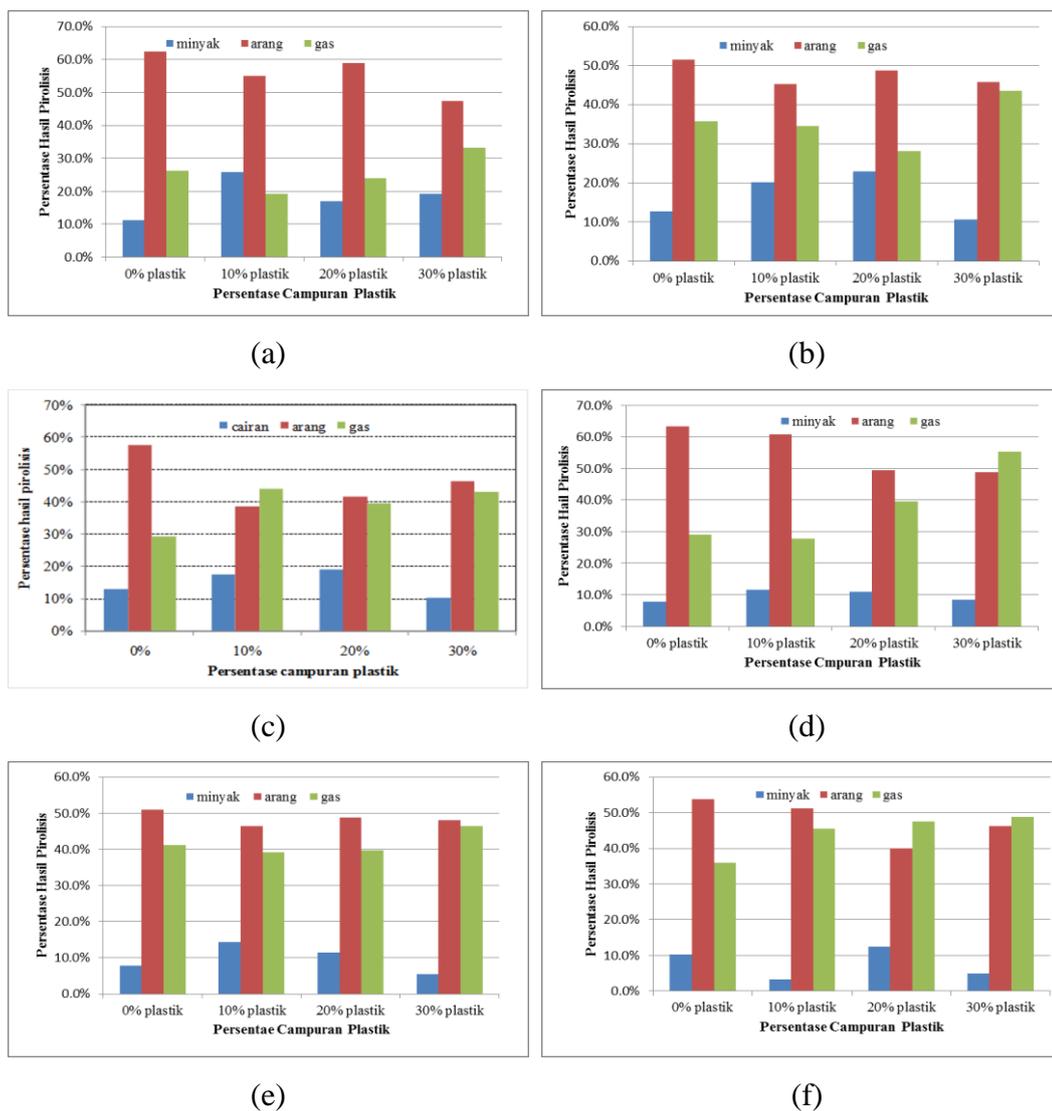
4.3 Pengaruh Persentase Plastik

Gambar 4.3 memperlihatkan adanya hubungan antara persentase campuran plastik terhadap batubara dengan produk yang diperoleh pada pirolisis temperatur 400, 450 dan 500°C baik pirolisis dilakukan dengan katalis maupun tanpa katalis.

Terlihat pada Gambar 4.3 bahwa penambahan plastik pada pirolisis batubara memiliki hasil yang beragam baik pada temperatur yang berbeda dan pada penggunaan katalis dan tanpa katalis. Pengaruh keberagaman hasil ini tidak lepas dari distribusi temperatur pada reaktor pirolisis yang telah dijelaskan pada Gambar 4.1. Salah satu faktor yang mempengaruhi hasil pirolisis adalah laju pemanasan. Dengan laju pemanasan yang berbeda akan diperoleh hasil yang berbeda pula. Akan tetapi, secara umum dengan penambahan plastik berdampak pada penurunan jumlah arang yang tertinggal di dalam reaktor pirolisis dan meningkatkan jumlah gas atau cairan.

Menurut Aboulkas dkk (2011), bahwa plastik akan terdekomposisi menjadi gas dan cairan dalam jumlah yang besar dibandingkan dengan produk arangnya pada proses pirolisis. Gas yang terbentuk dapat bereaksi dengan karbon pada batubara sebagai reaksi sekunder sehingga terjadi reaksi antara karbon dengan gas-gas tersebut yang menyebabkan produk arang berkurang yang ditandai oleh peningkatan produk gas secara signifikan.

Pada Gambar 4.3 (c) terlihat bahwa semakin banyak persentase plastik terjadi kenaikan produk arang dan disertai pengurangan produk gas atau cairan. Karena semakin besar jumlah plastik akan mempersulit terlepasnya volatil dari batubara menjadi gas. Dalam proses penelitian pirolisis bahan baku (batubara dan plastik) dimasukkan dalam kondisi temperatur ruangan kemudian dipanaskan sesuai dengan variasi penelitian. Menurut Kunceser (2015), pada proses pemanasan plastik jenis *polyethilene* (PE) akan meleleh pada temperatur 105°C - 130°C. Plastik yang meleleh tersebut bersinggungan langsung dengan batubara kemudian membentuk lapisan pada permukaan batubara yang menghambat volatil keluar dari batubara. Akibatnya terjadi kenaikan produk arang seiring dengan kenaikan plastik dan tempertur yang rendah.

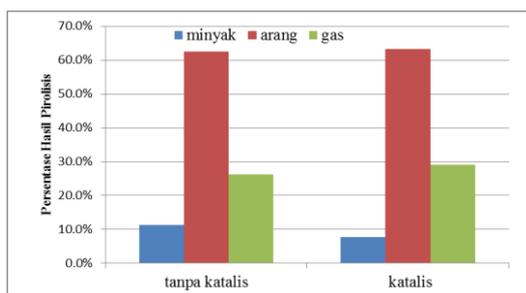


Gambar 4.3. Pengaruh Persentase Plastik Terhadap Hasil Pirolisis.

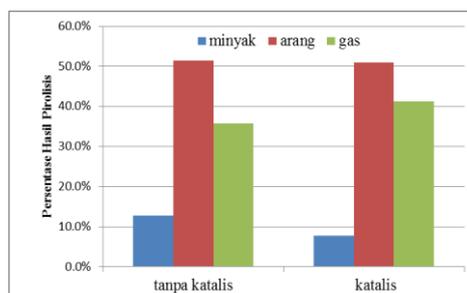
- Pengaruh hasil dari variasi plastik tanpa katalis dengan temperatur 400°C.
- Pengaruh hasil dari variasi plastik tanpa katalis dengan temperatur 450°C.
- Pengaruh hasil dari variasi plastik tanpa katalis dengan temperatur 500°C.
- Pengaruh hasil dari variasi plastik menggunakan katalis dengan temperatur 400°C.
- Pengaruh hasil dari variasi plastik menggunakan katalis dengan temperatur 450°C.
- Pengaruh hasil dari variasi plastik menggunakan katalis dengan temperatur 500°C.

4.4 Pengaruh Katalis Zeolit Alam

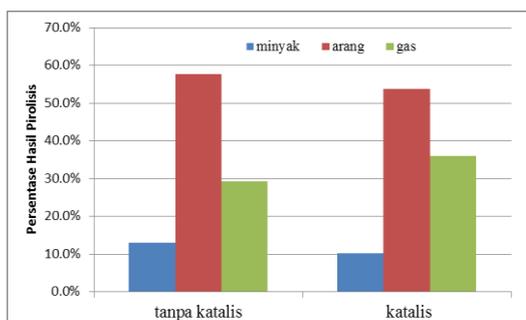
Katalis berfungsi untuk mempercepat reaksi pada pirolisis. Gambar 4.4 menunjukkan pengaruh antara pirolisis batubara dan plastik menggunakan katalis zeolit alam dan tidak menggunakan katalis zeolit alam. Pada gambar 4.4 terlihat bahwa dengan penggunaan katalis zeolit alam persentase hasil arang lebih rendah jika dibanding dengan tidak menggunakan katalis zeolit alam disertai dengan peningkatan jumlah gas yang berakibat pada penurunan cairan. Hal ini disebabkan karena katalis zeolit alam bekerja dengan memecah molekul makro (cair) menjadi mikro (gas) dan senyawa dengan massa molekul yang lebih ringan melalui reaksi yang terjadi pada permukaan katalis. Hal yang sama juga terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh Marco dkk, (2009) dan Miskolczi dkk, (2006).



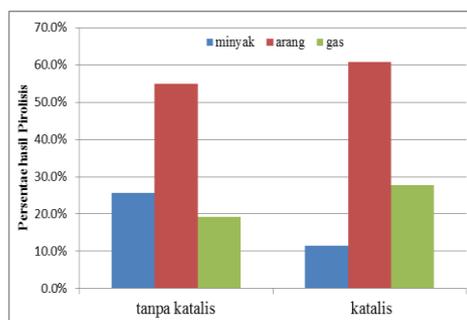
(a)



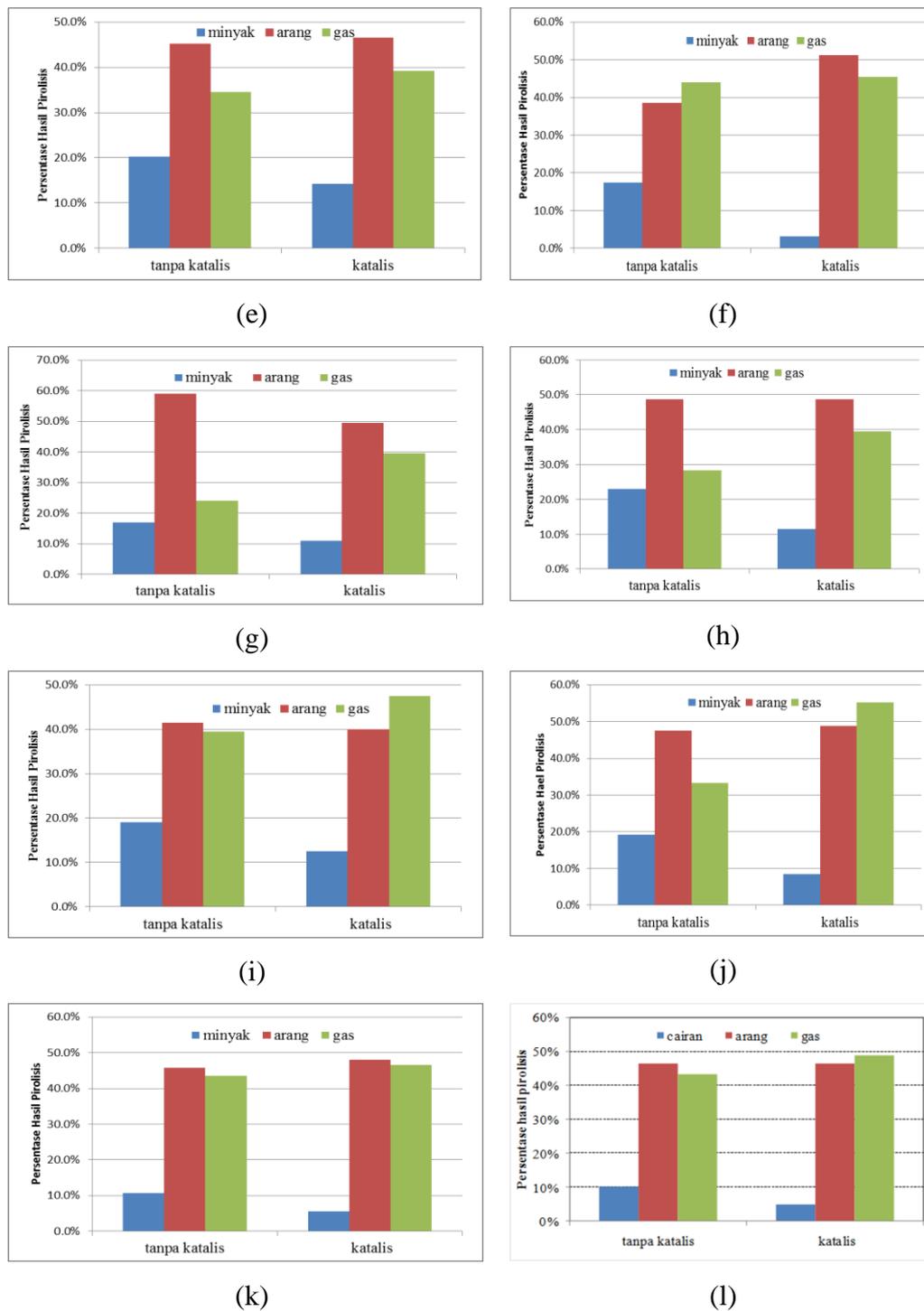
(b)



(c)



(d)



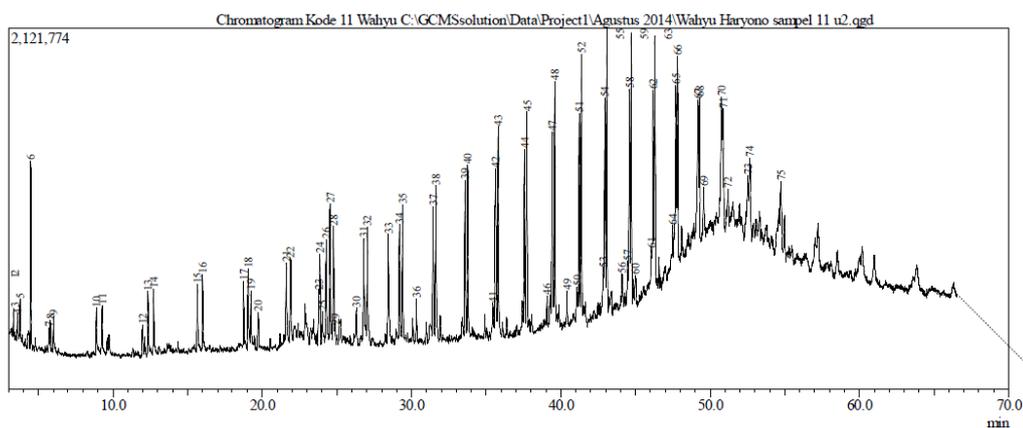
Gambar 4.5. Persentase Hasil Pirolisis Menggunakan Katalis Zeolit Alam

- Variasi 100 % batubara dengan temperatur 400°C.
- Variasi 100 % batubara dengan temperatur 450°C.
- Variasi 100 % batubara dengan temperatur 500°C.

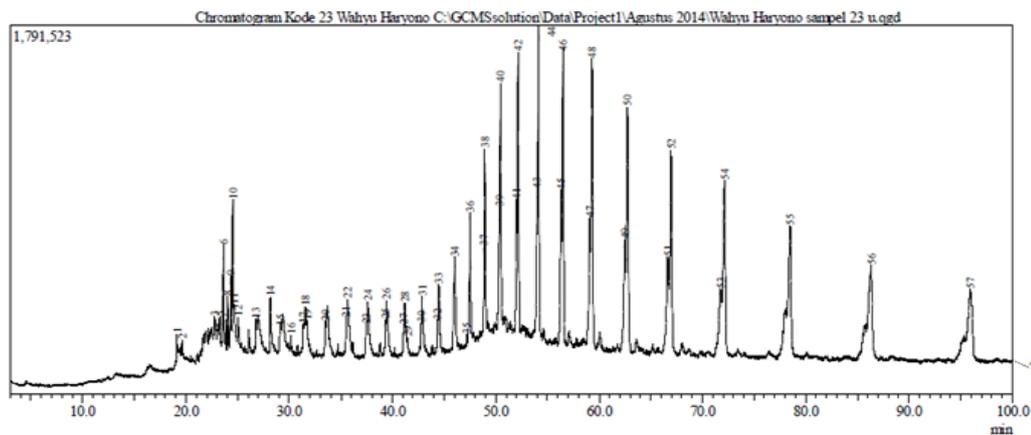
- d. Variasi 90 % batubara dan 10 % plastik dengan temperatur 400°C.
- e. Variasi 90 % batubara dan 10 % plastik dengan temperatur 450°C.
- f. Variasi 90 % batubara dan 10 % plastik dengan temperatur 500°C.
- g. Variasi 80 % batubara dan 20 % plastik dengan temperatur 400°C.
- h. Variasi 80 % batubara dan 20 % plastik dengan temperatur 450°C.
- i. Variasi 80 % batubara dan 20 % plastik dengan temperatur 500°C.
- j. Variasi 70 % batubara dan 30 % plastik dengan temperatur 400°C.
- k. Variasi 70 % batubara dan 30 % plastik dengan temperatur 450°C.
- l. Variasi 70 % batubara dan 30 % plastik dengan temperatur 500°C.

4.5 Sifat Kimia Produk Cair Pirolisis

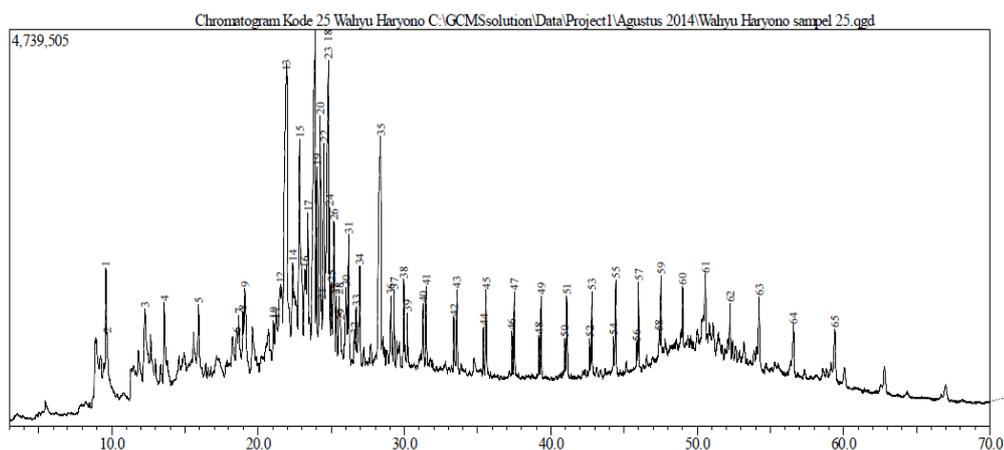
Sifat kimia produk cair pirolisis diuji dengan alat *Gas Chromatography and Mass Spectrometry* (GCMS) yang ditampilkan pada Gambar 4.6. Cairan hasil pirolisis diinjeksikan pada alat GCMS selama waktu penyimpanan (retention time) tertentu hingga terdeteksi puncak-puncak yang mengindikasikan terdapat senyawa penyusun cairan hasil pirolisis. Semakin banyak puncak menandakan semakin banyak jumlah senyawa penyusunnya dan semakin tinggi dan lebar puncak menandakan semakin besar persentase senyawa pada puncak tersebut.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.6. Hasil Pengujian GCMS Cairan Pirolisis

- Variasi 70 % batubara 30 % plastik tanpa katalis, dengan temperatur 450°C.
- Variasi 70 % batubara 30 % plastik dengan katalis 40 gram, dengan temperatur 450°C.
- Variasi 100 % batubara tanpa katalis, dengan temperatur 500°C.

Pada Gambar 4.6. (a), (b) dan (c) terlihat bahwa tiap variasi pengujian memiliki jumlah komponen senyawa dengan jumlah dan persentase yang berbeda-beda yang rentang jumlahnya tidak terlalu besar dari 57 hingga 75 senyawa. Hal ini karena batubara dan plastik merupakan sama-sama bahan bakar fosil sehingga

komponen jumlah komponen yang terbentuk tidak terjadi perbedaan yang signifikan.

Senyawa yang terdeteksi pada uji GCMS tersebut kemudian digolongkan berdasarkan rantai utama golongan, antara lain golongan *Aromatic*, *Cycloalkane*, *Cycloalkene*, *Alakane*, *Alkene*, PAH, *Aldehyde*, *Alcohol*, *Acid* dan *Ketone*. Hasil penggolongan senyawa pirolisis tersebut ditampilkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Komposisi Produk Cair Pirolisis

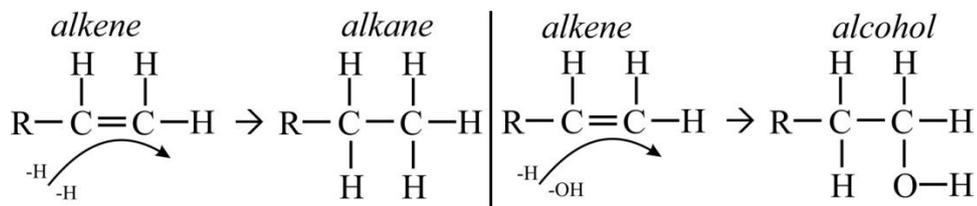
Golongan	Cairan Pirolisis		
	Batubara Temperatur 450°C.	Batubara dan plastik 30% Temperatur 450°C.	Batubara, plastik 30% dan katalis Temperatur 500°C.
Aromatic (%)	24,46	2,21	1,91
Cycloalkane (%)	25,08	2,78	6,73
Cycloalkene (%)	2,76	0,72	0,31
Alkane (%)	18,52	46,55	67,08
Alkene (%)	8,21	38,08	1,25
PAH (%)	17,47	1,61	1,19
Aldehyde (%)	1,43	0,00	0,00
Alcohol (%)	1,06	7,32	20,21
Furan (%)	0,99	0,45	0,00
Acid (%)	0,00	0,00	0,24
Ketone (%)	0,00	0,28	0,00

Tabel 4.1. menjelaskan golongan senyawa pembentuk cairan pirolisis. Pirolisis batubara didominasi oleh senyawa *Aromatic*, *Cycloalkane*, *Alkane* dan PAH. Sementara pada pirolisis batubara dan plastik 10% didominasi oleh senyawa golongan *Alkane* dan *Alkene*. Pirolisis batubara dan plastik 10% ditambah zeolit alat sebagai katalis didominasi oleh senyawa golongan *Alkene* dan *Alcohol*.

Tabel 4.1 memperlihatkan peningkatan yang signifikan terhadap senyawa golongan *Alkane* dan *Alkene* dengan reduksi senyawa golongan *Aromatic*, *Cycloalkane*, dan PAH pada hasil cairan pirolisis batubara dan pirolisis campuran batubara dan plastik. Hal ini dimungkinkan karena dengan penambahan plastik terjadi reaksi pemutusan ikatan siklik menjadi ikatan alifatik sehingga mengakibatkan penurunan golongan siklik (*Aromatic*, *Cycloalkane* dan PAH) dan peningkatan persentase golongan alifatik (*Alkane* dan *Alkene*).

Penurunan jumlah hasil PAH merupakan keuntungan dari pirolisis campuran batubara dan plastik. Menurut Hsu (2016) PAH diklasifikasikan zat karsinogen oleh *International Agency for Research on Cancer* (IARC) sebagai salah satu penyebab tumbuhnya sel kanker.

Selain itu pada Tabel 2 terlihat bahwa dengan penambahan katalis zeolit alam terjadi penambahan senyawa golongan *Alkane* dan *Alcohol* yang signifikan dan terjadi penurunan pada golongan *Alkene*. Peningkatan senyawa golongan *Alkane* dan *Alcohol* tersebut terjadi karena aktivitas katalis yang memecah ikatan rangkap karbon *Alkene* dan berikatan dengan radikal -H dan -OH seperti terlihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.7. Pembentukan senyawa golongan *Alkene* menjadi senyawa golongan *Alkane* dan *Alcohol*.