

# PENGARUH TEMPERATUR PEMANASAN TERHADAP KARAKTERISTIK FISIK MINYAK HASIL PIROLISIS PLASTIK *HIGH DENSITY POLYETHYLENE* (HDPE)

Sirrun Ni'am, Widya Wijayanti, Slamet Wahyudi  
Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya  
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia  
E-mail: sirrunniam@gmail.com

## ABSTRAK

*Pirolisis plastik merupakan proses dekomposisi thermal polimer plastik menjadi monomer pembentuknya dan bertujuan untuk menghasilkan energi alternatif pengganti bahan bakar fosil. Pada penelitian ini menggunakan variasi temperatur pemanasan, yaitu 500°C, 550°C, 600°C, dan 650°C. Proses pirolisis dilakukan selama 60 menit dengan bahan baku plastik HDPE. Dengan meningkatnya temperatur pemanasan di dalam reaktor pirolisis menghasilkan volume minyak yang semakin meningkat. Begitu juga dengan nilai kalor minyak yang diperoleh dari proses pirolisis semakin meningkat dengan meningkatnya temperatur pemanasan dalam reaktor pirolisis.*

**Kata Kunci:** *Pirolisis, Temperatur Pemanasan, Minyak Hasil Pirolisis.*

## PENDAHULUAN

Tidak dapat dipungkiri bahwa peningkatan populasi manusia, berpengaruh pada kebutuhan energi yang pasti juga akan meningkat. Bertambahnya populasi manusia juga memberi peningkatan pada jumlah sampah yang dihasilkan setiap harinya. Dari kedua masalah diatas, para ilmuwan beramai-ramai mencari solusi untuk mengatasinya. Kebutuhan akan energi untuk menunjang kehidupan yang sangat bergantung pada energi fosil yang jumlahnya terus menipis, memaksa pencarian pada energi alternatif baru sebagai pengganti energi fosil.

Bagi sebagian orang, sampah dianggap tidak berguna atau hanya sebagai kotoran yang harus disingkirkan. Disisi lain, telah ditemukan bahwa sampah adalah salah satu sumber energi alternatif yang dapat dimaksimalkan penggunaannya. Hal ini didasari oleh kebutuhan manusia akan bahan bakar yang begitu besar, sehingga tercipta inovasi untuk mengolah sampah menjadi energi alternatif yang dapat dimanfaatkan manusia. Salah satu teknologi yang mudah dan sederhana untuk mengubah sampah menjadi sumber energi alternatif sekaligus dapat mengurangi massa dan volume sampah adalah pirolisis.

Pirolisis plastik adalah proses degradasi *thermal* bahan polimer yang

dipanaskan hingga temperatur tinggi guna memecah struktur makromolekular polimer menjadi molekul yang lebih kecil (monomer) dan untuk menghasilkan berbagai hidrokarbon. Hasil pirolisis plastik terbagi menjadi fraksi gas, fraksi cair (minyak pirolisis), dan sisa padatan.

Proses pirolisis material polimer yang terjadi secara umum menggunakan mekanisme degradasi tergantung pada energi ikatan karbon tiap polimer. Terdapat tiga jenis degradasi thermal yang terjadi pada polimer, yaitu *random scission*, *side group scission*, dan *depolymerization*<sup>[1]</sup>.

Minyak hasil pirolisis merupakan salah satu zat yang dihasilkan dari proses pirolisis plastik dengan warna hitam pekat kecoklatan. Secara umum hasil pirolisis plastik adalah hidrokarbon berkisar C<sub>1</sub>-C<sub>60</sub>. Lebih spesifiknya pirolisis plastik menghasilkan hidrokarbon dengan kisaran C<sub>10</sub>-C<sub>35</sub> dengan C<sub>19</sub> sebagai hasil konsentrasi tertinggi yang mewakili kumpulan minyak pada kondensor pertama dan pada kondensor kedua terkumpul fraksi yang lebih kecil berkisar C<sub>8</sub>-C<sub>15</sub> dengan C<sub>9</sub> sebagai konsentrasi tertinggi (mendekati fraksi kerosene yang berkisar C<sub>10</sub>-C<sub>18</sub>)<sup>[2]</sup>.

Selain itu kandungan minyak hasil pirolisis yang dipengaruhi oleh temperatur dan lamanya proses pemanasan. Minyak hasil

pirolisis tersusun dari hidrokarbon tidak jenuh dan senyawa aromatik yang terdiri dari fraksi  $C_5-C_9$ ,  $C_{10}-C_{13}$ , dan  $>C_{13}$ . Dan  $C_5-C_9$  merupakan fraksi utama dari penelitian ini karena merupakan kisaran nomer karbon pada *gasoline*. Namun harus dilakukan perlakuan lanjut untuk menyesuaikan kandungan aromatik pada minyak hasil pirolisis<sup>[3]</sup>.

Nilai kalor rendah (LHV, *Lower Heating Value*) adalah jumlah energi yang dilepaskan dalam proses pembakaran suatu bahan bakar dimana kalor laten dari uap air tidak diperhitungkan atau setelah terbakar temperatur gas pembakaran dibuat  $150^\circ\text{C}$ . Nilai kalor bahan bakar dapat diketahui dengan menggunakan kalorimeter. Bahan bakar yang akan diuji nilai kalornya dibakar menggunakan kumparan kawat yang dialiri arus listrik dalam bilik yang disebut bom dan dibenamkan di dalam air.

## METODE PENELITIAN

Metode yang akan digunakan di dalam penelitian ini adalah metode penelitian nyata (*true experimental research*). Jenis penelitian ini dapat dipergunakan untuk menguji suatu perlakuan dengan membandingkannya dengan perlakuan lainnya.

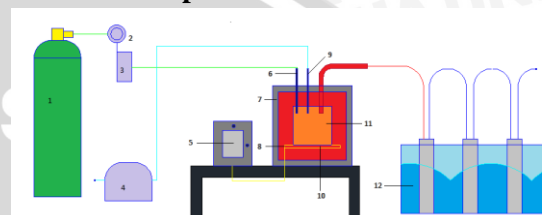
Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah temperatur pemanasan pada saat proses pirolisis yaitu  $500^\circ\text{C}$ ,  $550^\circ\text{C}$ ,  $600^\circ\text{C}$ , dan  $650^\circ\text{C}$ . Sedangkan variabel terikat yang diamati dalam penelitian pirolisis ini adalah *physical properties* minyak yaitu massa, volum dan nilai kalor minyak. Variabel terkontrolnya adalah plastik HDPE 150 gram yang dipanaskan selama 60 menit.

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu plastik HDPE, kompresor  $\frac{1}{4}$  PK, gelas ukur, timbangan elektrik, nitrogen, *flow meter*, *pressure gauge*, *thermocouple*.

Prosedur penelitian ini yaitu menyiapkan plastik HDPE, kemudian dipotong dengan ukuran  $2 \times 2 \text{ cm}^2$ . Setelah itu, potongan plastik dimasukkan ke dalam gelas ukur dan ditimbang seberat 150 gram, selanjutnya dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis. Kemudian menutup semua katup dan

memvakumkan reaktor pirolisis dengan kompresor. Lalu kita masukkan nitrogen kedalam reaktor. Setelah itu mengatur temperatur pemanasan pada suhu  $500^\circ\text{C}$ ,  $550^\circ\text{C}$ ,  $600^\circ\text{C}$ , dan  $650^\circ\text{C}$ . Setelah itu dilakukan proses pemanasan selama 60 menit, kemudian mencatat perubahan temperatur di dalam reaktor, serta massa dan volume minyak dari hasil pirolisis.

## Instalasi Alat pirolisis



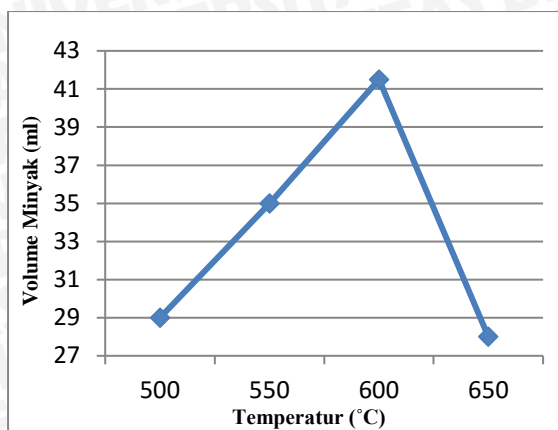
**Gambar 1.** Skema instalasi alat pirolisis

Keterangan gambar :

1. Nitrogen
2. *Pressure Gauge*
3. *Flow meter*
4. *Vacuum valve*
5. *Thermocontrol*
6. Nitrogen valve
7. *Rock wall*
8. *Thermocouple*
9. *Vacuum pump valve*
10. *Heater*
11. *Pyrolizer*
12. *Cooling trap*

## HASIL DAN PEMBAHASAN





**Gambar 2.** Hubungan antara variasi temperatur pemanasan dengan volume minyak hasil pirolisis plastik HDPE

Pada grafik hubungan antara variasi temperatur pemanasan dengan volume minyak hasil pirolisis plastik HDPE dapat dilihat bahwa grafik mengalami peningkatan dari temperatur 500°C sampai pada 600°C kemudian menurun pada temperatur 650°C.

Pada temperatur pemanasan 500°C volume minyak yang dihasilkan adalah sebesar 29 ml. Hal itu dikarenakan pada temperatur tersebut, plastik yang berada pada reaktor belum terdekomposisi seluruhnya. Sehingga volume minyak yang dihasilkan hanya sebesar 29 ml.

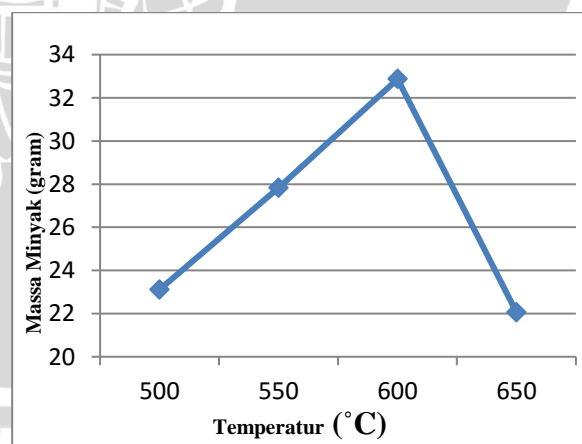
Pada temperatur pemanasan 550°C, volume minyak yang dihasilkan meningkat daripada temperatur pemanasan 500°C yaitu menjadi 35 ml. Hal ini dikarenakan pada temperatur 550°C, energi kalor yang digunakan untuk proses dekomposisi hidrokarbon semakin besar. Semakin banyak ikatan plastik yang terdekomposisi, maka jumlah minyak hasil pirolisis juga akan meningkat.

Volume minyak terbesar dihasilkan pada saat temperatur pemanasan 600°C yaitu sebesar 41,5 ml. Hal ini dikarenakan dengan adanya energi kalor yang besar akan mempercepat reaksi dekomposisi ikatan hidrokarbon pada plastik HDPE pada proses pirolisis. Pada temperatur 600°C ikatan hidrokarbon pada plastik HDPE telah terdekomposisi seluruhnya. Sehingga volume minyak hasil pirolisis plastik HDPE pada

temperatur 600°C menghasilkan jumlah paling besar.

Pada temperatur pemanasan 650°C, volume minyak hasil pirolisis menurun yaitu hanya sebesar 28 ml. Hal ini dikarenakan terjadinya reaksi sekunder didalam reaktor pirolisis. Reaksi sekunder menyebabkan ikatan hidrokarbon yang telah terdekomposisi, mengalami proses dekomposisi lagi dikarenakan temperatur yang tinggi. Karena adanya reaksi sekunder, ikatan hidrokarbon yang harusnya keluar dari reaktor berupa *condensable gas*, terdegradasi lagi di dalam reaktor sehingga sebagian berubah fase menjadi *non condensable gas*. Hal ini menyebabkan ikatan hidrokarbon yang keluar dari reaktor lebih banyak berupa *non condensable gas*. Hal ini menyebabkan volume minyak hasil pirolisis HDPE menurun.

Jadi dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan pada reaktor pirolisis, maka semakin banyak pula volume minyak yang dihasilkan sampai pada titik tertentu kemudian jumlahnya menurun. Hal ini dikarenakan semakin tinggi temperatur pemanasan akan membuat ikatan hidrokarbon yang terdekomposisi semakin banyak sehingga didapatkan volume minyak yang semakin besar pula.



**Gambar 3.** Hubungan antara variasi temperatur pemanasan dengan massa minyak hasil pirolisis plastik HDPE

Pada grafik hubungan antara variasi temperatur pemanasan dengan massa minyak

hasil pirolisis plastik HDPE, dapat dilihat bahwa grafik mengalami peningkatan dari temperatur 500°C sampai pada 600°C kemudian menurun pada temperatur 650°C.

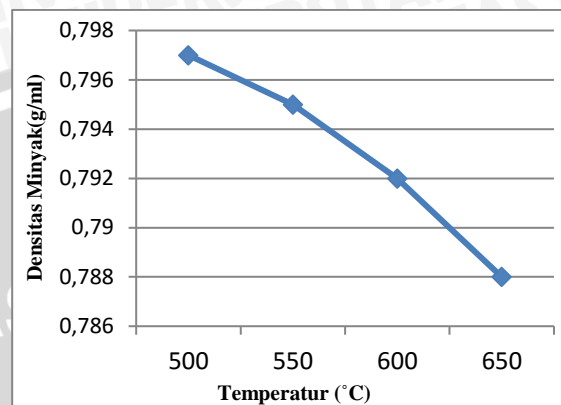
Pada temperatur 500°C massa minyak yang didapatkan sebesar 23,11 gram. Hal itu dikarenakan plastik HDPE yang berada didalam reaktor belum seluruhnya terdekomposisi, sehingga massa minyak hasil pirolisis plastik HDPE masih berjumlah sedikit.

Pada saat temperatur pemanasan 550°C, massa minyak hasil pirolisis yang dihasilkan sebesar 27,82 gram. Temperatur yang lebih tinggi akan mempercepat proses dekomposisi plastik HDPE yang berada didalam reaktor pirolisis. Hal ini dapat dilihat pada saat temperatur 600°C, didapat massa minyak hasil pirolisis yang paling tinggi diantara suhu 500°C dan 550°C. Pada suhu 600°C seluruh plastik HDPE dapat terdekomposisi seluruhnya sehingga didapat produk hasil pirolisis yang banyak daripada pada saat suhu pemanasan yang lebih rendah lainnya. Massa minyak hasil pirolisis plastik HDPE pada temperatur 600°C mencapai 32,86 gram.

Sedangkan pada temperatur 650°C, massa minyak hasil pirolisis plastik HDPE mengalami penurunan jumlah yaitu hanya sebesar 22,04 gram. Hal ini dikarenakan terjadinya reaksi sekunder didalam reaktor pirolisis. Reaksi sekunder menyebabkan ikatan hidrokarbon yang telah terdekomposisi, mengalami proses dekomposisi lagi dikarenakan temperatur yang tinggi. Karena adanya reaksi sekunder, ikatan hidrokarbon yang harusnya keluar dari reaktor berupa *condensable gas*, terdegradasi lagi di dalam reaktor sehingga sebagian berubah fase menjadi *non condensable gas*. Hal ini menyebabkan ikatan hidrokarbon yang keluar dari reaktor lebih banyak berupa *non condensable gas*. Hal ini menyebabkan massa minyak hasil pirolisis HDPE menurun.

Jadi dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan pada reaktor pirolisis, maka semakin banyak pula massa minyak yang dihasilkan sampai pada titik tertentu kemudian jumlahnya menurun. Hal ini

dikarenakan semakin tinggi temperatur pemanasan akan membuat ikatan hidrokarbon yang terdekomposisi semakin banyak sehingga didapatkan massa minyak yang semakin besar pula.



**Gambar 4.** Hubungan antara variasi temperatur pemanasan dengan densitas minyak hasil pirolisis plastik HDPE

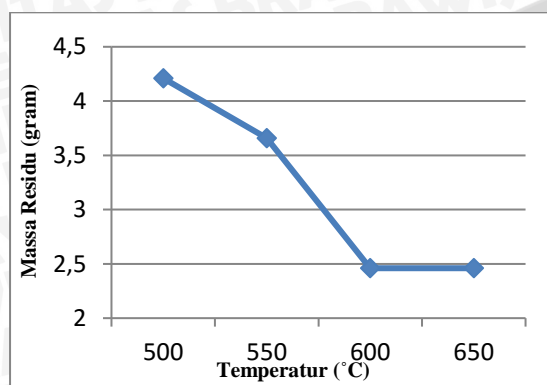
Pada grafik hubungan antara variasi temperatur pemanasan dengan densitas minyak hasil pirolisis plastik HDPE, dapat dilihat bahwa densitas minyak nilainya terus menurun seiring dengan meningkatnya temperatur pemanasan.

Pada temperatur 500°C densitas dari minyak hasil pirolisis 0,797 gr/ml. Pada temperatur berikutnya juga didapati nilai densitas yang terus menurun seiring meningkatnya temperatur pemanasan pada reaktor pirolisis. Pada temperatur 550°C densitas minyak adalah sebesar 0,795 gr/ml. Pada temperatur 600°C 0,792 ml/gr dan pada temperatur 650°C didapat densitas minyak paling kecil yaitu 0,788 ml/gr.

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan maka nilai densitas minyak semakin menurun. Hal ini dikarenakan semakin tinggi temperatur pemanasan, maka kemungkinan untuk terjadi reaksi sekunder semakin besar. Reaksi sekunder adalah suatu reaksi yang terjadi dimana proses dekomposisi lanjut ikatan karbon dengan massa molekul yang berat menjadi ikatan karbon dengan molekul rendah yang terjadi diluar reaksi utama dikarenakan



tingginya temperatur didalam reaktor. Karena adanya reaksi sekunder, maka ikatan karbon yang dihasilkan lebih banyak karbon dengan massa molekul ringan daripada karbon dengan massa molekul yang lebih berat. Sehingga apabila berat molekul menurun tetapi dengan volume yang sama, maka nilai densitasnya akan menurun.



**Gambar 5.** Hubungan antara variasi temperatur pemanasan dengan massa residu hasil pirolisis plastik HDPE

Pada grafik hubungan antara variasi temperatur pemanasan dengan massa residu hasil pirolisis plastik HDPE, dapat dilihat bahwa grafik mengalami penurunan dari temperatur 500°C sampai pada 600°C kemudian jumlahnya tetap sampai pada temperatur 650°C.

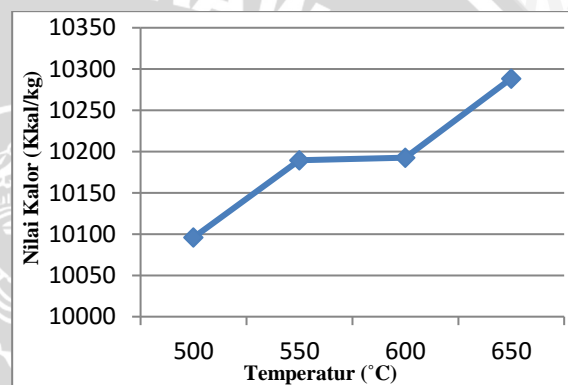
Pada temperatur 500°C massa residu yang didapatkan sebesar 4,21 gram. Hal itu dikarenakan plastik HDPE yang berada didalam reaktor belum seluruhnya terdekomposisi, sehingga masih meninggalkan residu yang jumlahnya paling tinggi diantara temperatur lainnya.

Pada suhu 550°C, massa residu mengalami penurunan jumlah yaitu menjadi 3,66 gram. Pada temperatur 550°C, plastik yang terdekomposisi lebih banyak daripada pada saat temperatur 500°C. Hal ini juga berpengaruh pada massa residu yang jumlahnya lebih sedikit daripada temperatur 500°C.

Pada suhu 600°C massa residu berjumlah sangat sedikit dikarenakan plastik HDPE telah terdekomposisi seluruhnya. Massa residu yang dihasilkan hanya sebesar 2,46

gram. Residu yang tersisa tidak dapat terdekomposisi lagi, sehingga tertinggal didalam reaktor pirolisis. Begitu juga pada suhu 650°C, massa residu yang dihasilkan hanya sebesar 2,46 gram. Dikarenakan seluruh plastik HDPE yang ada didalam reaktor telah terdekomposisi seluruhnya.

Jadi dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan pada reaktor pirolisis, maka massa residu akan semakin kecil. Temperatur yang tinggi akan membuat seluruh plastik HDPE terdekomposisi seluruhnya, sehingga massa residu yang ditinggalkan akan semakin sedikit.



**Gambar 6.** Hubungan antara variasi temperatur pemanasan dengan nilai kalor minyak hasil pirolisis plastik HDPE

Pada grafik hubungan antara variasi temperatur pemanasan dengan nilai kalor minyak hasil pirolisis plastik HDPE, dapat dilihat bahwa seiring meningkatnya temperatur pemanasan maka nilai kalor juga semakin tinggi. Pada temperatur 500°C didapatkan nilai kalor sebesar 10095,92 kkal/kg. Lalu pada temperatur 550°C didapatkan nilai kalor yang lebih besar yaitu sebesar 10192,45 kkal/kg. Temperatur berikutnya, yaitu temperatur 600°C nilai kalor menjadi 10189,53 kkal/kg. Temperatur tertinggi yaitu 650°C didapatkan nilai kalor tertinggi yaitu 10288,58 kkal/kg.

Dari grafik dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan, maka nilai kalor minyak hasil pirolisis plastik HDPE semakin tinggi pula. Hal ini dikarenakan semakin tinggi temperatur pemanasan, maka ikatan karbon rantai panjang akan terdegradasi

menjadi ikatan karbon dengan rantai yang lebih pendek. Hubungan antara panjang atau pendeknya ikatan karbon terhadap nilai kalor dapat kita lihat pada perbandingan antara *gasoline*, *kerosene*, dan *diesel*. Dimana *gasoline* memiliki rantai karbon C<sub>8</sub>-C<sub>9</sub> dengan nilai kalor 11.300 kkal/kg, *kerosene* dengan rantai karbon C<sub>10</sub>-C<sub>15</sub> dengan nilai kalor 11.037 kkal/kg, dan *diesel* dengan rantai karbon C<sub>16</sub>-C<sub>25</sub> dengan nilai kalor 10.702 kkal/kg. Dapat dilihat apabila semakin pendek rantai karbon yang terbentuk, maka nilai kalor yang dihasilkan akan semakin besar.

### KESIMPULAN

1. Massa dan volume minyak yang dihasilkan akan semakin tinggi dengan bertambahnya temperatur pemanasan.
2. Massa residu setiap variasi temperatur pemanasan sama karena plastik terdekomposisi secara sempurna pada saat proses pirolisis.
3. Densitas minyak yang dihasilkan menurun dikarenakan ikatan karbon yang dihasilkan pada temperatur tinggi adalah ikatan karbon dengan berat molekul ringan.
4. Nilai kalor minyak semakin meningkat dengan bertambahnya temperatur pemanasan dikarenakan ikatan karbon yang dihasilkan adalah ikatan karbon dengan rantai pendek.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Stauffer, E. ; 2003 : *Concept of Pyrolysis for Fire Debris Analysts: Fire Investigation Department, Applied Technical Service, Inc., Marietta, GA 30066. US*
- [2] Khaghanikavkani *et al* ; 2009 : *Microwave Pyrolysis of Plastic: Chemical Engineering and Process Technology, University of Auckland, New Plymouth. New Zealand*
- [3] Lopez, A. *et al* ; 2011 : *Influence of Time and Temperature on Pyrolysis of Plastic Wastes in a Semi-Batch Reactor: Chemical and Environmental Engineering Department, Scool of Engineering of Bilbao, Bilbao. Spain*