

# Konversi Termal Campuran Polietilena-Tempurung Kelapa Menjadi Hidrokarbon Cair

Tri Windari dan Ahmad Suseno

Jurusan Kimia FMIPA, Universitas Diponegoro, Semarang

## ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang konversi termal campuran polietilena-tempurung kelapa menjadi hidrokarbon cair melalui proses pirolisis dan pirolisis katalitik menggunakan katalis zeolit alam. Katalis zeolit alam dibuat melalui 3 tahap yaitu: aktivasi, kalsinasi dan proses hidrotermal. Enam puluh gram campuran polietilena-tempurung kelapa dengan perbandingan 5:1, 4:2, 3:3, 2:4, 1:5 dipirolisis pada temperatur 300°C. Uap organik yang dihasilkan kemudian didinginkan sehingga diperoleh produk cair. Untuk proses pirolisis katalitik, prosedurnya sama, hanya dilakukan penambahan katalis pada reaktor. Produk cair kemudian dianalisis dengan GC dan GC-MS. Dari keseluruhan proses menunjukkan bahwa volume produk cair pirolisis dan pirolisis katalitik campuran polietilena-tempurung kelapa makin meningkat dengan meningkatnya jumlah polietilena di dalam campuran. Data GC dan GC-MS menunjukkan bahwa proses pirolisis menghasilkan produk utama berupa senyawa hidrokarbon rantai karbon C4 – C11 dan proses pirolisis katalitik menghasilkan senyawa hidrokarbon rantai karbon C8 – C12.

*Keywords: pirolisis, pirolisis katalitik, hidrokarbon cair*

## PENDAHULUAN

Polietilena sebagai bahan dasar pembuatan kantong plastik merupakan polimer termoplastik sehingga dapat terdegradasi dengan adanya perlakuan termal (Gandinagar, 2000). Windarti (2003) telah mencoba mengkonversi polietilena yang didapat dari sampah plastik melalui pirolisis dan pirolisis katalitik. Katalis yang digunakan adalah zeolit alam asam. Produk proses pirolisis polietilena adalah hidrokarbon C9 – C15 dan produk pirolisis katalitik adalah hidrokarbon C5 – C12.

Tempurung kelapa mengandung selulosa sebanyak 36,3%, lignin 28,3%, hemiselulosa 25,1%, ekstraktif 8,3% dan zat-zat anorganik sebanyak 0,7% (Awang, 1991). Dengan proses pirolisis diperoleh asap cair yang banyak mengandung fenol, dimetoksi fenol, metoksi fenol dan metil siklopentanadion. Perengkahan katalitik asap cair tempurung kelapa tersebut pada temperatur 300°C menghasilkan senyawa-senyawa asam asetat, asam propanoat, metoksi fenol dan fenol dengan prosentase yang bervariasi tergantung berat katalis (Windarti, 2004).

Billmeyer (1984) menyatakan bahwa, polietilena merupakan polimer dengan rumus kimia  $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2)_n$  dimana  $n$  menyatakan perulangan stuktur. Dari struktur tersebut terlihat bahwa polietilena

memiliki jumlah atom hidrogen yang banyak. Dengan membuat campuran polietilena-tempurung kelapa dalam proses pirolisis diharapkan polietilena dapat menjadi pensuplai hidrogen sehingga produk hidrokarbon cair akan meningkat.

Untuk mengetahui seberapa efektif pengaruh polietilena terhadap hidrokarbon cair yang dihasilkan, dilakukan variasi komposisi polietilena-tempurung kelapa. Dengan semakin banyak polietilena diharapkan akan semakin meningkatkan produk hidrokarbon cair. Sebagai katalis digunakan zeolit alam Wonosari. Dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya (Windarti, 2003) aktivasi terhadap zeolit alam Wonosari mampu meningkatkan luas permukaan, meningkatkan volume pori, mengurangi rerata jejari pori, meningkatkan rasio Si/Al dan meningkatkan keasaman zeolit alam, sehingga efektivitasnya sebagai katalis meningkat.

## METODE PENELITIAN

### • Preparasi Bahan

- Pembuatan Katalis

Pembuatan katalis dilakukan berdasarkan hasil penelitian sebelumnya (Windarti, 2003), yang dibuat melalui: aktivasi dan kalsinasi zeolit alam wonosari yang meliputi perendaman dalam larutan HF

1%, perlakuan HCl, perendaman dalam larutan NH<sub>4</sub>Cl dan kalsinasi tanpa gas N<sub>2</sub>. Kalsinasi dengan gas N<sub>2</sub> dilakukan pada temperatur 500°C. Dilanjutkan dengan proses hidrotermal yang dilakukan pada temperatur 500°C.

- Pengeringan tempurung kelapa  
Pengeringan dilakukan dengan menjemur tempurung kelapa yang sebelumnya telah diporong kecil-kecil. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan kandungan air dalam tempurung kelapa sehingga produk cair yang dihasilkan dalam proses pirolisis mengandung air seminimal mungkin.
- Pemilihan plastik  
Plastik dipilih yang benar-benar mengandung polietilena. Yang pertama, pemilihan berdasar uji termal, yaitu bila plastik ditusuk dengan besi panas dapat melunak berarti bersifat termoplastik, bila tetap keras berarti termoset. Berikutnya dilakukan uji perendaman, bila plastik mengapung dalam air, berarti mengandung poliolefin. Yang terakhir adalah uji pembakaran, bila saat dibakar ujungnya terjadi nyala biru dengan ujung nyala berwarna kuning berarti mengandung polietilena dan polipropilena, bila timbul bau seperti parafin dan terbakar dengan cepat berarti plastik tersebut adalah polietilena.

● **Proses Pirolisis**

Polietilena-tempurung kelapa sebanyak 60 gram ditempatkan dalam reaktor kemudian reaktor ditutup dan ditempatkan dalam furnish. Uap organik hasil pirolisis dengan bantuan gas N<sub>2</sub> untuk kemudian didinginkan dengan pendingin spiral dalam campuran es dan garam. Hasil berupa cairan kemudian dianalisis dengan GC dan GC-MS. Proses pirolisis dilakukan dengan perbandingan campuran polietilena-tempurung kelapa yang telah ditentukan (5:1, 4:2, 3:3, 2:4, 1:5). Untuk proses pirolisis katalitik, prosedurnya sama, hanya dilakukan penambahan katalis pada reaktor. Posisi katalis dalam reaktor dibuat sedemikian rupa sehingga gas hasil pirolisis akan melewati katalis sebelum menuju ke pendingin.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada pirolisis campuran polietilena tempurung kelapa, sampel Polietilena-tempurung kelapa seberat 60 gram dengan perbandingan masing-masing 5:1, 4:2, 3:3, 2:4, 1:5 ditempatkan dalam reaktor kemudian reaktor ditutup dan furnish dipanaskan. Uap organik hasil pirolisis dengan bantuan gas N<sub>2</sub> akan menuju pendingin spiral yang diletakkan dalam wadah berisi campuran es dan garam. Hasil berupa cairan kemudian dianalisis dengan GC dan GC-MS.

**Tabel 1.** Produk cair pirolisis campuran polietilena-tempurung kelapa pada temperatur 300°C.

PE: TK	Volume produk cair (ml)	Jml seluruh puncak	Jlm Puncak utama	% puncak utama	Volume puncak utama (ml)
1 : 5	3,5	29	4	71,9	2,50
2 : 4	3,0	13	3	74,6	2,24
3 : 3	13,0	51	6	29,2	3,80
4 : 2	11,5	51	3	36,8	4,24
5 : 1	13,0	41	5	49,1	6,38

Dari tabel 1 terlihat bahwa produk cair meningkat dengan meningkatnya jumlah Polietilena dalam campuran. Peningkatan volume produk cair ini diikuti dengan meningkatnya jumlah senyawa yang dihasilkan. Dengan melihat jumlah puncak utama kromatogram GC diketahui bahwa jumlah senyawa utama dalam produk cair tidak terlalu berbeda (antara 3 – 6 senyawa) dengan demikian diperoleh volume campuran senyawa utama yang semakin meningkat dengan meningkatnya jumlah polietilena dalam sampel. Hal ini mengindikasikan bahwa polietilena memberi kontribusi terbesar dalam menghasilkan produk cair. Perkiraan ini didukung dengan data GC-MS yang memperlihatkan bahwa produk cair didominasi oleh senyawa hidrokarbon, yang merupakan hasil pirolisis polietilena.

Dari tabel 2 diketahui bahwa pirolisis polietilena-tempurung kelapa pada perbandingan 3 : 3 menghasilkan senyawa dengan rantai karbon C<sub>4</sub> – C<sub>11</sub>. Sementara dari penelitian Windarti (2003) pirolisis polietilena adalah hidrokarbon dengan rantai karbon C<sub>9</sub> – C<sub>15</sub>.

**Tabel 2.** Senyawa utama dalam produk cair pirolisis polietilena-tempurung kelapa dengan perbandingan 3 : 3

Senyawa	Rumus struktur
2,4-dimetil 1- heptena	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub>
2,4-dimetil-3-nonena	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>
2,3-dimetil heksana	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>
2-metil-1-heksena	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>
6-metil-1-nonenol	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O
Isobutil alkohol	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O

Mekanisme reaksi pada pirolisis adalah melalui mekanisme radikal bebas (Gates, 1979). Panas menyebabkan makromolekul terurai dan terbentuk potongan-potongan senyawa organik. Species yang terbentuk setelah degradasi dapat berupa monomer, dimer atau trimer, serta hidrogen, karbon monoksida, karbon dioksida, metana dan molekul hidrokarbon lain (Guddeti et al, 2000). Apabila dilihat senyawa utama dalam produk cair, terdapat senyawa-senyawa yang merupakan pengulangan dari monomer polietilena yaitu elitena. Seperti 2,4-dimetil 1- heptena (C<sub>9</sub>H<sub>18</sub>), 2,4-dimetil-3-nonena (C<sub>11</sub>H<sub>22</sub>), 2-metil-1-heksena (C<sub>7</sub>H<sub>14</sub>) dan senyawa metana yaitu 2,3-dimetil heksana (C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>). Sisanya adalah senyawa alkohol hasil pemutusan ikatan makromolekul yang ada dalam tempurung kelapa.

Dalam penelitian Windarti (2004), produk pirolisis tempung kelapa pada temperatur 400°C adalah Fenol, 2,6-dimetoksi fenol, 2-metoksi fenol, 3-meti-1,2-siklopentanadion. Senyawa-senyawa tersebut merupakan potongan dari senyawa lignin yang banyak terdapat dalam tempurung kelapa (28,3%). Hal ini disebabkan karena pada temperatur 400°C selulosa dan hemiselulosa sudah menjadi arang (Agra, 1995). Untuk itu pada penelitian ini temperatur pirolisis diturunkan menjadi 300°C dengan harapan bahwa pada temperatur tersebut selulosa dan hemiselulosa belum berubah menjadi arang. Hal ini cukup berhasil terbukti dari terbentuknya senyawa 6-metil-1-nonenol (C<sub>10</sub>H<sub>20</sub>O) Isobutil alkohol (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>O) yang kemungkinan merupakan hasil pemutusan selulosa dan hemiselulosa dan bukan dari lignin karena lignin memiliki struktur dasar senyawa aromatik.

Pada pirolisis katalitik campuran polietilena-tempurung kelapa, katalis seberat 5gram diletakkan di atas sampel polietilena-tempurung kelapa dalam reaktor. Dengan perbandingan polietilena-tempurung masing-masing 5:1, 4:2, 3:3, 2:4, 1:5. Uap organik hasil pirolisis akan melewati katalis dengan bantuan gas N<sub>2</sub> untuk kemudian didinginkan dengan pendingin. Hasil berupa cairan kemudian dianalisis dengan GC dan GC-MS. Dari data pada tabel 3 terlihat bahwa produk cair pirolisis katalitik meningkat dengan meningkatnya jumlah polietilena dalam campuran. Secara keseluruhan produk cair pirolisis katalitik lebih banyak dibanding produk cair pirolisis tanpa katalis. Peningkatan volume produk cair ini juga diikuti dengan meningkatnya jumlah senyawa yang dihasilkan. Jumlah senyawa utama dalam produk cair tidak terlalu berbeda (antara 3 – 5 senyawa) dengan demikian diperoleh volume campuran senyawa utama yang semakin meningkat dengan meningkatnya jumlah polietilena dalam sampel. Hal ini mengindikasikan bahwa dalam pirolisis katalitik polietilena juga memberi kontribusi terbesar dalam menghasilkan produk cair.

**Tabel 3.** Produk cair pirolisis katalitik campuran polietilena-tempurung kelapa pada temperatur 300°C.

PE: TK	Volume produk cair (ml)	Jml seluruh puncak	Jlm Puncak utama	% puncak utama	Volume puncak utama (ml)
1 : 5	5	33	5	50,18	2,51
2 : 4	5	28	3	60,30	3,01
3 : 3	15	31	5	61,65	9,25
4 : 2	13	48	5	54,68	7,11
5 : 1	20	55	4	46,86	9,37

Bedasarkan analisis GC-MS (tabel 4) diketahui bahwa pirolisis katalitik polietilena-tempurung kelapa pada perbandingan 3 : 3 menghasilkan senyawa dengan rantai karbon C<sub>8</sub> – C<sub>12</sub>. Sementara dari penelitian Windarti (2003) pirolisis katalitik polietilena dengan katalis zeolit alam adalah hidrokarbon C<sub>5</sub> – C<sub>12</sub>. Makin sempitnya range rantai karbon menunjukkan bahwa katalis efektif menghasilkan senyawa dengan range rantai carbon C<sub>8</sub>-C<sub>12</sub>.

**Tabel 4.** Senyawa utama dalam produk cair pirolisis katalitik

Senyawa	Rumus struktur
Asam 1,2- benzena dikarboksilat	C <sub>8</sub> H <sub>6</sub> O <sub>4</sub>
2,4-dimetil-3-dekena	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub>
2,4-dimetil nonena	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub>
Benzil asetil eter	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O
6-metil-1-nonenol	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O

Mekanisme reaksi pirolisis katalitik yang dikatalisa oleh zeolit alam adalah mekanisme intermediet ion-karbonium. Zeolit alam memiliki permukaan asam yang memungkinkan terjadinya mekanisme tersebut. Pemutusan heteropolar ikatan C-H dari molekul polietilena dapat membentuk baik ion karbonium maupun karbanion. Ion karbonium juga merupakan intermediet reaksi pembentukan dan pemutusan ikatan C-C (Gates, 1979). Itulah yang menyebabkan volume produk cairnya meningkat karena gas-gas yang sebelumnya tidak terkondensasi, mengalami penggabungan sehingga terbentuk senyawa baru yang sebelumnya tidak ditemui dalam pirolisis tanpa katalis. Hilangnya senyawa dalam produk utama diperkirakan karena senyawa tersebut mengalami kraming lanjutan atau mengalami pemutusan C-C dengan adanya permukaan asam dalam katalis. Perengkahan adalah kebalikan dari reaksi polimerisasi yang terjadi pada ikatan β terhadap atom karbon dimana terdapat muatan positif.

**KESIMPULAN**

Dari keseluruhan proses menunjukkan bahwa volume produk cair pirolisis dan pirolisis katalitik campuran polietilena-tempurung kelapa makin meningkat dengan meningkatnya jumlah polietilena di dalam campuran. Data GC dan GC-MS menunjukkan bahwa proses pirolisis menghasilkan produk utama berupa senyawa hidrokarbon rantai karbon C<sub>4</sub> – C<sub>11</sub> dan proses pirolisis katalitik menghasilkan senyawa hidrokarbon rantai karbon C<sub>8</sub> – C<sub>12</sub>.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Proyek Peningkatan Penelitian Pendidikan Tinggi Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Agra, S. W., 1995, Pirolisis getah beberapa jenis tanaman untuk membuat bahan bakar cair pengganti bahan bakar minyak bumi, Disertasi, UGM, Yogyakarta.
- [2] Awang, S. A., 1991, Kelapa: Kajian social ekonomi, Aditya Media, Yogyakarta.
- [3] Billmeyer, F. W., 1984, Texbook of Polymer Science, third edition, John Wiley and Sons, New York
- [4] Gandinagar, 2000, Plasma Depolymerization of plastic; Centre for Plasma Technologies, India.
- [5] Gates, B. C., Katzer, J. R. and Schuit, G. C., 1979, Chemistry of catalytic processes, McGraw-Hill, New York.
- [6] Guddeti, R. R., Knigh, R and Grossmann, E. D., 2000, Plasma Chem. Plasma Processing 20, India.
- [7] Windarti, T., 2002, Profil keefektivan katalis zeolit alam asam dalam proses pirolisis polietilena dari sampah plastik menjadi olefin akibat perubahan temperatur, Laporan penelitian DIK Rutin UNDIP, Semarang.
- [8] Windarti, T., 2003, Konversi polietilena dari sampah plastik menjadi olefin dengan katalis zeolit alam, Laporan penelitian Dosen Muda, Semarang.
- [9] Windarti, T., 2004, Pengaruh jumlah katalis zeolit alam asam dalam proses perengkahan asap cair tempurung kelapa, Laporan penelitian Dosen Muda, Semarang.