



Pemanfaatan Limbah Pecahan Genteng sebagai Katalis dalam Reaksi Pirolisis Plastik Polipropilena Menjadi Bahan Bakar Alternatif

Utilization of Roof-tile Fragments as a Catalyst in Pyrolysis Reaction of Polypropylene Plastics into Alternative Fuels

Rahmat Jaya Eka Syahputra, Tri Utami, Khoirina Dwi Nugrahaningtyas*, Arikasuci Fitonnah Ridasepri, Widy Astuti

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret
Jl.Ir Sutami 36A, Surakarta 55281 Indonesia

*E-mail: khairinadwi@yahoo.com

Abstrak

Artikel ini mendiskusikan karakterisasi pecahan genteng dan pemanfaatannya untuk memproduksi katalis. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik pecahan genteng dan kemudian melakukan modifikasi untuk pembuatan katalis. Katalis dibuat dengan pilarisasi nikel ke dalam pecahan genteng, dan dikarakterisasi menggunakan *x-ray diffractometer* (XRD). Pirolisis dilakukan terhadap limbah plastik polipropilena hingga diperoleh cairan minyak. Minyak *direforming* menggunakan katalis pecahan genteng terpillarisasi nikel. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa pecahan genteng mempunyai kandungan logam oksida berdasarkan standar Fe_2O_3 , NiO_2 , Al_2O_3 , SiO_2 . *Refinement* dilakukan menggunakan program Rietica metode Le-Bail dan diperoleh hasil nilai keberterimaan $R_p/R_{wp} < 10$. Setiap 1,3 kg sampel limbah polipropilena diperoleh hasil minyak sebanyak 1,7 L. Hasil *reforming* menunjukkan bahwa densitas minyak sebesar $745,919 \text{ kg/m}^3$ dan viskositas 0,720 cp. Berdasarkan analisis GC-MS diperoleh fraksi pembentukan terbesar dari katalis pecahan genteng terpillarisasi nikel adalah fraksi C10 - C12. Sehingga, pecahan genteng yang terpillarisasi nikel efektif dijadikan sebagai katalisator dalam proses pirolisis untuk mengubah limbah plastik polipropilena menjadi bahan bakar.

Kata Kunci: katalis, pecahan genteng, *reforming*, XRD

Abstract

This article discusses the characterization of roof-tile fragments and its benefit to produce catalyst. The objective of this study was to determine the characteristic of the roof-tile fragment and its modification on the fabrication of catalyst. Catalyst was prepared by nickel pillarization into roof-tile fragments, and then characterized by *x-ray diffractometer* (XRD). The pyrolysis was carried out by heating up polypropylene plastics until the oil produced. The oil was reformed by using catalyst from roof-tile fragments nickel pillarized. The characterization results showed that the roof-tile fragment has metal oxide content as based on standard of Fe_2O_3 , NiO_2 , Al_2O_3 , and SiO_2 . Refinement was done by using Rietica program with Le-Bail method and the acceptance value obtained was $R_p/R_{wp} < 10$. 1.7 L oil was attained for every 1.3 kg polypropylene waste sample. The result of reforming informed that the generated oil has a density of 745.919 kg/m^3 and viscosity of 0.720 cp. GC-MS result confirmed that the biggest fraction formed in the reaction using catalyst from roof-tile fragments nickel pillarized was C10 - C11. Therefore, roof-tile fragments pillarized by nickel was useful for a catalyst in pyrolysis process to convert polypropylene plastic waste into fuel.

Keywords: catalyst, reforming, roof-tile fragments, XRD

1. Pendahuluan

Katalisator merupakan substansi yang mengubah laju suatu reaksi kimia tanpa mempengaruhi produk akhir reaksi. Katalisator akan mengalami penggabungan dengan senyawa kimia dan akan terbentuk suatu kompleks antara substansi tersebut dengan katalisator. Kompleks yang terbentuk hanya merupakan bentuk hasil antara yang akan terurai menjadi produk reaksi dan molekul

katalisator. Katalisator tidak mengalami perubahan pada akhir reaksi, karena itu tidak memberikan energi ke dalam sistem, tetapi akan memberikan mekanisme reaksi alternatif dengan energi pengaktifan yang lebih rendah dibandingkan dengan reaksi tanpa katalis, sehingga adanya katalis akan meningkatkan laju reaksi (Widjajanti, 2005).

Salah satu katalisator yang cukup baik adalah katalisator lempung (Ausavasukhi

dan Sooknoi, 2014). Lempung telah digunakan sebagai katalis untuk sejumlah reaksi organik dan anorganik dengan menawarkan beberapa keunggulan dibandingkan asam klasik. Misalnya keasaman yang kuat, sifat tidak korosif, kondisi reaksi ringan, tinggi hasil, dan selektivitas serta kemudahan pengaturan dan bekerja maksimal (Navjet dan Dharma, 2012). Katalisator menggunakan lempung dianggap sebagai katalis yang ramah lingkungan atau *green catalyst*. Lempung digunakan karena sifatnya yang *ecofriendly* ini tidak beracun, tidak korosif, ekonomis, dan dapat didaur ulang. Sehingga sangat efisien digunakan untuk berbagai reaksi organik (Theng, 1974; Krstic dkk., 2002; Aznárez dkk., 2015).

Produk lempung sangatlah beragam sebagai produk industri bangunan dan rumah tangga misalnya saja produk genteng sokka, vas bunga, gerabah, dan sebagainya. Tetapi produk-produk tersebut merupakan bahan yang tidak dapat didaur ulang sehingga pemanfaatannya hanya sekali pakai dan menjadi limbah apabila pecah. Oleh karena itu, diperlukan pemanfaatan kembali limbah pecahan produk lempung menjadi produk yang lebih bermanfaat, salah satunya adalah sebagai katalis (Olutoye dan Hameed, 2013). Genteng sokka dan gerabah dibuat dengan campuran lempung alam yang mengalami penggilingan beberapa kali hingga bahan lebih padat dan butir-butir lempung liat menjadi lebih halus atau dengan kata lain pori-pori lempung semakin rapat, yang selanjutnya dicetak dan dibakar pada suhu tinggi. Kerapatan pori-pori lempung akan menekan terjadinya susut kering dalam proses pengeringan genteng atau gerabah sehingga akan memperkecil pula porositas dalam proses pembakaran dan susut bakar yang terjadi semakin kecil (Sanjaya, 2009). Porositas dapat diartikan sebagai fraksi ruang kosong di dalam padatan berpori yang terjadi akibat terbentuknya pori antar partikel dan pori di dalam partikel. Pori di dalam partikel terbentuk karena adanya bahan yang terlepas atau terurai pada saat pembakaran yang kemudian terisi oleh silika sebagai hasil dari proses pembakaran.

Karakteristik genteng dan gerabah ini sangat menarik untuk ditinjau lebih jauh. Pecahan genteng dan gerabah yang terbuang masih memiliki komponen yang sama dengan genteng utuh. Perbedaan dimungkinkan pada kandungan air yang terdapat dalam pecahan genteng yang dipengaruhi kondisi lingkungan. Berdasarkan karakteristik yang terbuat dari lempung inilah pecahan genteng

atau gerabah diprediksikan mampu menjadi katalisator yang baik. Dari beberapa katalis dalam reaksi kimia, lempung alam yang dimodifikasi telah menarik perhatian yang signifikan karena sifat sangat serba guna (Bhatt dan Halligudi, 1994). Modifikasi lempung dapat dilakukan dengan interkalasi logam pada struktur kristal lempung untuk meningkatkan selektivitasnya.

Pirolisis merupakan salah satu teknologi alternatif yang digunakan untuk mendapatkan sumber energi hidrokarbon. Teknologi ini adalah pembakaran tanpa melibatkan oksigen dalam proses pembakarannya (Lailunnazar dkk., 2013). Proses pirolisis sudah banyak dilakukan untuk melakukan dekomposisi termal dari suatu bahan yang diharapkan nantinya bisa menghasilkan suatu zat yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif. Pirolisis suatu bahan umumnya membutuhkan energi yang sangat tinggi. Menurut Nugraha dkk. (2013), variasi tekanan, temperatur dan komposisi bahan perlu dipertimbangkan untuk didapatkan hasil optimal. Proses pirolisis akan menghasilkan zat cair melalui reaksi kimia yang terjadi. Dalam proses pirolisis diperlukan usaha alternatif dalam menurunkan energi aktivasi reaksi kimianya yang biasa digunakan adalah menambahkan katalisator. Pirolisis yang dilakukan terhadap plastik jenis polipropilena akan menghasilkan fuel dari reformasi struktur dan sifat kimianya.

2. Metodologi

2.1. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pecahan genteng yang dikumpulkan dari Sentra Industri Genteng Desa Grogol, Kecamatan Weru kabupaten Sukoharjo. Berukuran 200 mesh. Digunakan nikel klorida (NiCl_2) sebagai paduan genteng menjadi katalis dan aquades. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah mix mill, siever 200 mesh. Dalam pembuatan genteng *loading* Ni sebagai katalis digunakan peralatan gelas seperti gelas beaker, pengaduk, hot plate, magnetic stirrer, alat refluks, rotary evaporator, furnace dan XRD.

2.2. Loading Ni pada Paduan Genteng

Loading Ni dilakukan ke dalam partikel genteng. Partikel genteng telah mengalami pemanasan pada suhu tinggi dalam tungku pembakaran dihaluskan menggunakan *mix mill* dan diayak dengan *siever* 200 mesh. Sebanyak 8 gram sampel dilarutkan dalam larutan Ni 0,5 M, kemudian diimpregnasi

selama 3 jam pada suhu 30°C sambil diaduk terus menerus. Larutan yang telah jadi dikeringkan menggunakan *rotary evaporator* hingga kering. Sampel yang telah kering selanjutnya dikalsinasi pada suhu 550°C dengan aliran gas N_2 10 ml/menit selama 4 jam. Hasil pembuatan serbuk genteng *loading* Ni setelah dikalsinasi kemudian dilakukan analisis menggunakan XRD untuk mengetahui besarnya kandungan senyawa logam.

2.3. Analisis XRD

Analisis XRD dilakukan dengan menggunakan fasilitas peralatan XRD yang ada di Laboratorium Kimia FMIPA UGM dengan sudut baca 2θ dari 3° hingga 90° . Analisis XRD ini dilakukan terhadap sampel genteng mentah, genteng jadi, dan genteng katalis atau genteng *loading* Ni. Hasil XRD dianalisis kandungan senyawa logam oksida menggunakan standar Fe_2O_3 pada data ICSD 154191 *space group* R3-CR, NiO_2 pada data ICSD 88720 *space group* C12/M1, Al_2O_3 pada data ICSD 173014 *space group* P1 dan SiO_2 pada data ICSD 156198 *space group* P3221. Selanjutnya difraktogram sampel di refinement dengan metode *Le Bail* untuk mendapatkan nilai Rp dan Rwp.

2.4. Pirolisis Plastik Polipropilen untuk Menghasilkan Minyak

Pirolisis sampah plastik polipropilena dilakukan dengan mempersiapkan sampel berupa sampah plastik seberat 1,3 kg berasal dari gelas air minum dalam kemasan. Sampah plastik ini dipotong-potong kecil untuk memperluas permukaan sehingga lebih mudah dilakukan pembakaran dalam reaktor. Plastik yang telah dipotong kemudian dimasukkan ke dalam sistem reaktor. Sistem reaktor yang digunakan merupakan alat sederhana yang dikom-binasikan dengan proses destilasi menggunakan air es untuk mendinginkan sampel.

Pirolisis dilakukan terhadap limbah plastic polipropilena yang dipanaskan pada suhu tinggi kemudian di kondensasi hingga diperoleh cairan minyak. Pemanasan dilakukan pada suhu 450°C tanpa adanya proses pengadukan. Uap air yang terkondensasi akan menjadi minyak plastik yang kemudian ditampung. Minyak kemudian di-*reforming* menggunakan katalis pecahan genteng ter-pilarisasi nikel yang telah dibuat pada bagian awal penelitian ini. Proses *reforming* dilakukan dengan penguapan sampel minyak pada suhu 400°C yang kemudian uap ditangkap oleh katalis dan dikondensasi kembali.

2.5 Analisis Kandungan Minyak GC-MS

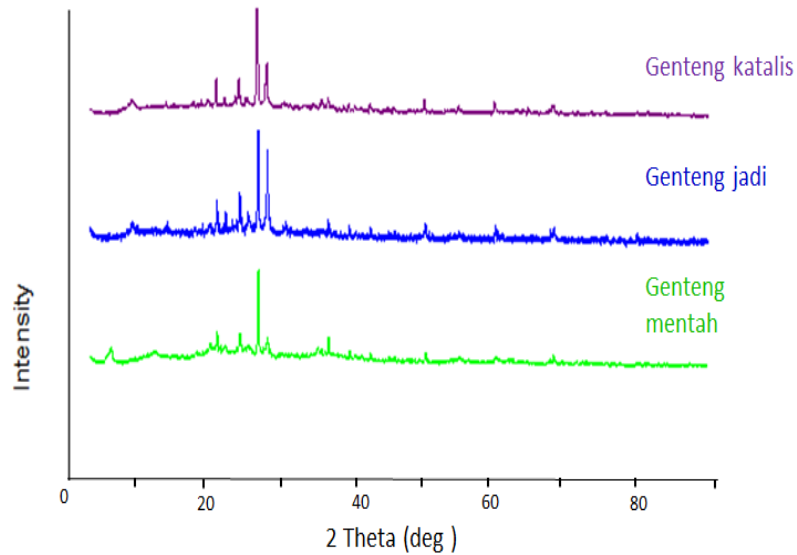
Analisis Kandungan minyak dilakukan berdasarkan analisis karakterisasi sifat minyak seperti densitas dan viskositas. Sementara untuk karakterisasi sifat kimia dilakukan analisis menggunakan GC-MS. Analisis GC-MS dilakukan dengan menggunakan *Gas Chromatography* dan *Mass Spectrofotometry* di Laboratorium Kimia Organik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Hasil analisis kemudian disesuaikan dengan literatur Wiley 229LIB.

3. Hasil dan Pembahasan

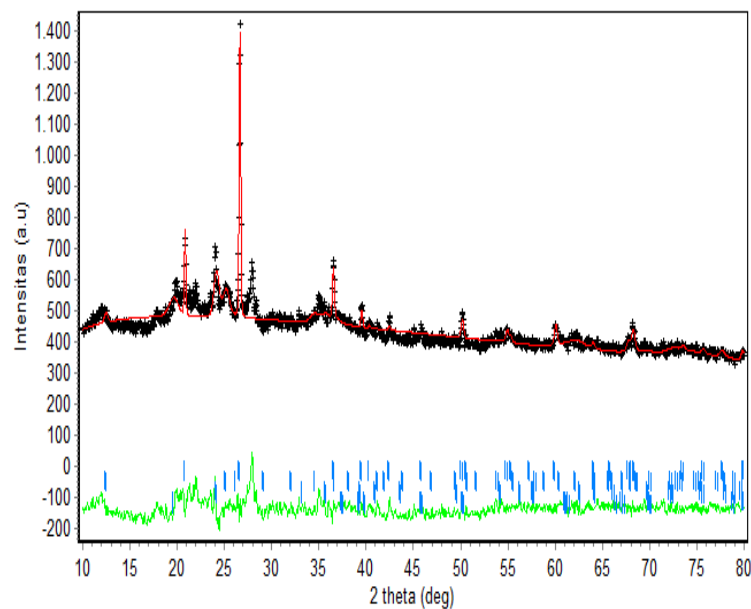
3.1. Hasil Pembacaan Sampel XRD

Hasil analisis data XRD terhadap semua sampel genteng diperlihatkan pada Gambar 1. Berdasarkan uji karakterisasi yang dilakukan dapat diketahui kandungan logam penyusun dalam sampel. Gambar 1 merupakan difraktogram analisis XRD genteng mentah atau genteng sebelum dilakukan pemanasan, genteng jadi atau genteng setelah dilakukan pemanasan dan genteng dengan *loading* Ni. Dari hasil difraktogram (Gambar 1), genteng mentah mempunyai puncak identik pada posisi 2θ ($26,6814^\circ$; $20,8458^\circ$, dan $27,9136^\circ$). Genteng jadi merupakan genteng yang telah dibakar pada suhu tinggi di dalam tungku pembakaran.

Berdasarkan hasil difraktogram menggunakan XRD, didapatkan hasil difraktogram genteng tidak mengalami pergeseran signifikan melainkan mengalami penurunan intensitas pada beberapa puncak dibandingkan dengan genteng mentah. Hal ini terlihat pada hasil XRD dimana intensitas puncak pada posisi $2\theta = 20,8458^\circ$ menurun dan terdapat puncak tinggi pada posisi $24,0060^\circ$. Karakterisasi ini memperlihatkan bahwa pemanasan pada suhu tinggi dalam pembentukan genteng, tidak banyak merusak struktur kristal genteng. Sementara itu, difraktogram genteng *loading* Ni menunjukkan adanya pergeseran pada puncak tertinggi dimana genteng *loading* Ni berada pada puncak $26,5068^\circ$; $27,8216^\circ$; dan $20,7116^\circ$. Puncak tertinggi yang dihasilkan berbeda dengan genteng mentah, tetapi puncak-puncak tersebut masih dalam *range* prekursor genteng yaitu lempung merah dan lempung putih. Sementara *loading* Ni, memberikan pengaruh pada perubahan intensitas dan peningkatan nilai *basal spacing* setiap puncak yang ada. Hal ini dimungkinkan bahwa Ni telah terinterkalasi pada struktur pori kristal genteng.



Gambar 1. Difraktogram Sampel



Gambar 2. Refinement difraktogram genteng mentah dengan standar

3.2. Perbandingan difraktogram XRD dengan Standar

Perbandingan difraktogram hasil analisis XRD dengan standar menyatakan bahwa sampel genteng mentah, genteng jadi, dan katalis pecahan-genteng/nikel mengandung logam oksida yang sesuai dengan standar. Fe_2O_3 pada data ICSD 154191 *space group* R3-CR dengan struktur kristal *trigonal/rhombohedral* dan mempunyai unit cell 5,4195(1) 5,4195(1) 5,4195(1). NiO_2 pada data ICSD 88720 *space group* C12/M1 dengan struktur kristal monoklinik dan mempunyai unit cell 4,8754(3) 2,8141(2)

5,5820(3). Al_2O_3 pada data ICSD 173014 *space group* P1 dengan struktur kristal triclinic dan mempunyai unit cell 3,4009(6) 2,7895(3) 7,0762(9). Dan SiO_2 pada data ICSD 156198 *space group* P3221 dengan struktur kristal trigonal/rhombohedral dan mempunyai struktur unit cell 4,917(5) 4,917(5) 5,410(5).

Nilai kecocokan sampel ditunjukkan dengan menggunakan metode *Le Bail* pada program *Rietica* dan diperoleh bahwa semua sampel mempunyai kandungan logam oksida sesuai dengan standar. Difraktogram hasil XRD untuk genteng mentah ditunjukkan pada

Gambar 2. *Refinement* dengan standar Fe_2O_3 ICSD 154191, NiO_2 ICSD 88720, Al_2O_3 ICSD 173014, SiO_2 ICSD 156198 dan diperoleh hasil Rp 3,64 dan Rwp 5,71. Penelitian sejenis telah dilaporkan oleh grup penelitian Erno dkk. (2003).

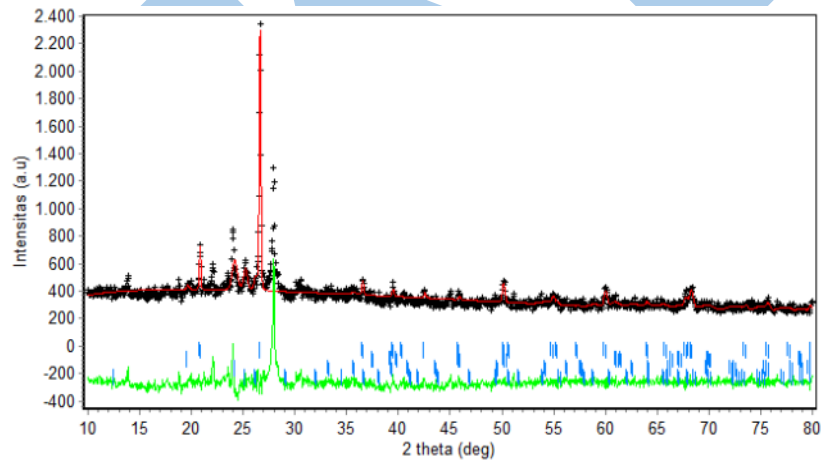
Untuk melihat kandungan senyawa pecahan genteng yang menjadi bahan katalis, *refinement* dilakukan terhadap standar yang sama dan hasil *refinement* ditunjukkan pada Gambar 3, dan diperoleh hasil Rp 6,98 dan Rwp 12,97. Hal ini menunjukkan bahwa proses pembuatan genteng tidak mengubah kandungan logam oksida di dalam sampel, sehingga pemanfaatan interkalasi nikel pada logam oksida tersebut dapat dilakukan dan dimungkinkan untuk menjadi katalis.

Produk katalis di-*refinement* juga menggunakan standar yang sama ditunjukkan pada Gambar 4, dan diperoleh nilai Rp 6,47 dan Rwp 8,48. Berdasarkan difraktogram, hal ini menunjukkan bahwa terdapat peningkatan kandungan nikel pada

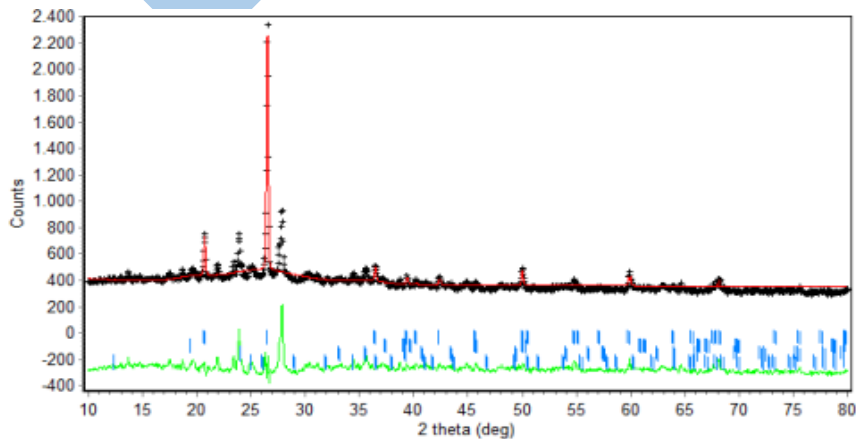
sampel. Sehingga menjadi gambaran bahwa interkalasi nikel pada pecahan genteng telah terjadi, sehingga pecahan genteng/nikel siap untuk dijadikan katalis.

3.3. Analisis Minyak Hasil Pirolisis Plastik

Dalam penelitian ini diperoleh 2 hasil minyak yang mempunyai ciri khas yang berbeda. Minyak hasil pirolisis dihasilkan sebesar 1700 ml dari bahan limbah polipropilena 1300 gram. Sementara proses *reforming* minyak hasil pirolisis yang dilakukan menggunakan katalis pecahan genteng *loading* Nikel, diperoleh hasil cairan minyak yang berbeda sifat fisika dan kimianya dengan hasil % *yield* sebesar 0,37%; 0,21% cairan atas bukan bahan bakar dan 0,42% residu minyak. Karakteristik minyak hasil pirolisis ditampilkan pada Tabel 1. Hasil kromatogram kedua jenis minyak yang didapatkan ditampilkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



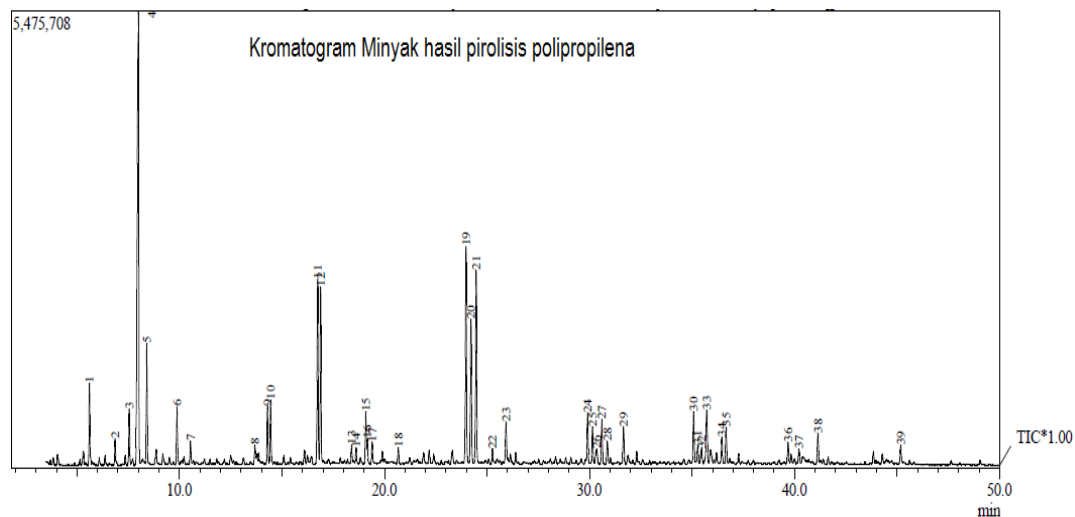
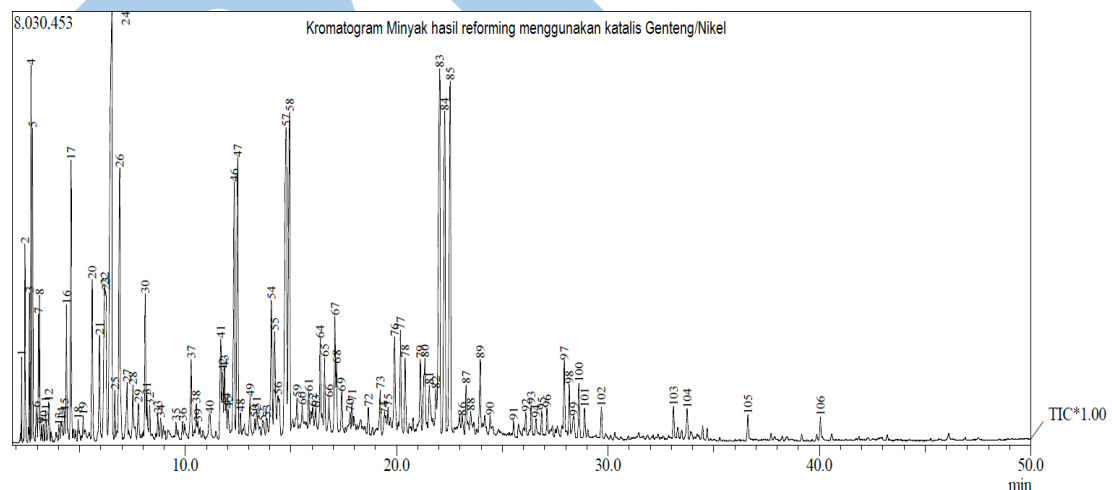
Gambar 3. *Refinement* difraktogram genteng jadi dengan standar



Gambar 4. *Refinement* difraktogram genteng/Ni dengan standar

Tabel 1. Perbandingan karakteristik fisika minyak hasil pirolisis dan *hydrocracking*

Parameter	Minyak Hasil Pirolisis Polipropilena	Minyak hasil reforming menggunakan Katalis
Warna	Kuning dan terdapat endapan	Kuning bening sedikit kecoklatan, tanpa endapan
Bau	Menyengat plastik terbakar	Seperti bensin menguap
Massa Jenis	754,64 kg/m ³	740,29 kg/m ³
Viskositas	0,723 cp	0,715 cp


Gambar 5. Kromatogram minyak hasil pirolisis polipropilena

Gambar 6. Kromatogram minyak hasil *reforming* menggunakan katalis genteng/nikel

Besaran densitas minyak yang dihasilkan dari penelitian ini dapat disimpulkan telah memenuhi syarat spesifikasi bensin komersil Pertamina. Standar bensin komersial Pertamina sesuai keputusan Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi No. 3674 K/24/DJM/2006 memiliki densitas (60°F) 715 – 780 kg/m³. Sementara itu dari hasil

analisis GC-MS, memberi konfirmasi bahwa dalam sampel mengandung banyak senyawa, yaitu terlihat dari banyaknya puncak (*peak*) dalam spektra GC-MS tersebut. Berdasarkan data waktu retensi yang sudah diketahui dari literatur WILEY229LIB, bisa diketahui senyawa apa saja yang ada dalam sampel.

Tabel 2. Hasil GC-MS minyak produk pirolisis plastik polipropilena (% Area)

Fraksi	% Area
C7 - C9	32,62
C10 - C12	45,30
≥C13	22,08
Total	100

Tabel 3. Hasil GC-MS minyak produk *reforming* menggunakan katalis pecahan genteng

Fraksi	% Area
C4 - C6	6,47
C7 - C9	27,49
C10 - C12	55,05
≥C13	10,99
Total	100

Berdasarkan perbedaan kedua kromatogram hasil GC-MS tersebut, dapat diketahui bahwa *reforming* dengan sistem *hidrocracking* menggunakan katalis pecahan-genteng/nikel akan mempengaruhi pemecahan ikatan rantai karbon. Perbandingan hasil kromatogram menunjukkan adanya peningkatan fraksi C10 - C12 setelah proses *hidrocracking* menggunakan katalis pecahan-genteng/Nikel. Sementara terjadi penurunan fraksi rantai karbon dengan jumlah C di atas 13. Hal ini menunjukkan bahwa katalis pecahan-genteng/Nikel efektif untuk mengkondisikan senyawa dengan jumlah C 10 - 12. Peningkatan terjadi sebesar 9,75% dari persentase sebelum *hidrocracking*. Setelah proses *hidrocracking*, diperoleh C10 - C12 sejumlah 55,05%.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil karakterisasi lempung dan pecahan genteng, diperoleh hasil bahwa pecahan genteng masih mempunyai struktur dan sifat kristalinitas yang sama dengan pecahan genteng sehingga dapat dimanfaatkan sebagai katalis dalam proses *hidrocracking* pirolisis plastik menjadi bahan bakar. Katalis pecahan-genteng/Nikel secara efektif mampu meningkatkan pemutusan ikatan rantai karbon menjadi fraksi C10 - C12 sebesar 9,75%. Minyak hasil pirolisis mempunyai densitas 754,64 kg/m³ dan viskositas 0,723 cp, sedangkan hasil *hidrocracking* diperoleh densitas 740,29 dengan viskositas 0,715 cp. Hasil pirolisis telah masuk dalam range standar bensin komersial Pertamina sesuai keputusan

Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi No. 3674 K/24/DJM/2006 memiliki densitas (60°F) 715 - 780 kg/m³.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terimakasih kepada Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang memberikan dana penelitian pada anggaran 2015.

Daftar Pustaka

- Ausavasukhi, A., Sooknoi, T. (2014) Catalytic activity enhancement by thermal treatment and re-swelling process of natural containing iron-clay for fenton oxidation, *Journal of Colloid and Interface Science*, 436, 37 - 40.
- Aznárez, A., Delaigle, R., Eloy, P., Gaigneaux, E. M., Korili, S. A., Gil, A. (2015) Catalysts based on pillared clays for the oxidation of chlorobenzene, *Catalysis Today*, 246, 15 - 27.
- Bhatt, K. N., Halligudi, S. B. (1994) Hydroformylation of allyl alcohol catalysed by (Rh(PPh₃)₃)⁺/montmorillonite: A kinetic study, *Journal of Molecular Catalysis*, 91(2), 187 - 194.
- Erno E. K., Jonjaua G.R., Radmila P. M.N., Tatjana J.V. (2003) Catalytic wet peroxide oxidation of phenol over AlFe pillared montmorillonite, *Reaction Kinetics and Catalysis Letter*, 80(2), 255-260.
- Krstic, L J., Sukdolak, S., Solujic, S. (2002) An efficient synthesis of warfarin acetals on montmorillonite clay K-10 with microwaves, *Journal of Serbian Chemical Society*, 67 (5), 325 - 329.
- Lailunnazar, L., Wijayanti, W., Sasongko, M.N. (2013) Pengaruh temperatur pirolisis terhadap kualitas tar hasil pirolisis serbuk kayu Mahoni, *Skripsi*, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya.
- Navjeet, K., Dharma, K. (2012) *Montmorillonite: An efficient, heterogeneous and green catalyst for organic synthesis*. India: Banasthali University.
- Nugraha, M. F., Wahyudi, A., Gunardi, I. (2013) Pembuatan fuel dari liquid hasil pirolisis plastik polipropilen melalui proses *reforming* dengan katalis NiO/f-

Al₂O₃, *Jurnal Teknik Pomits*, 2(2), 299 - 302.

Olutoye, M. A., Hameed, B. H. (2013) A highly active clay-based catalyst for the synthesis of fatty acid methyl ester from waste cooking palm oil, *Applied Catalysis A: General*, 450, 57 - 62.

Sanjaya, I. P. A. (2009) Pengaruh jumlah penggilingan tanah liat sebagai bahan

pembuat genteng terhadap karakterisasi genteng keramik, *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 13(1), 82 - 92.

Theng, B.K.G. (1974) *The chemistry of clay-organic reactions*, Hilger, London.

Widjajanti, E. (2005) *Pengaruh katalisator terhadap laju reaksi*, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.

ARK