

Pembuatan *Fuel* dari *Liquid* Hasil Pirolisis Plastik Polipropilen Melalui Proses *Reforming* Dengan Katalis NiO/ γ -Al₂O₃

Mahendra Fajri Nugraha, Arifuddin Wahyudi, dan Ignatius Gunardi
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: ignatius@chem-eng.its.ac.id

Abstrak— Estimasi jumlah timbulan sampah di Indonesia pada tahun 2008 mencapai 38,5 juta ton/tahun. Melihat dari sifat penyusun plastik yang tersusun dari komponen hidrokarbon minyak bumi, maka limbah plastik sangat berpotensi untuk dikonversi menjadi BBM. Tujuan penelitian ini Mempelajari proses konversi limbah plastik khususnya jenis polipropilen (PP) menjadi *fuel* serta pengaruh berbagai macam komposisi katalis NiO/ γ -Al₂O₃, temperatur, laju alir reaktan pada reactor *reforming* terhadap kualitas *fuel* (yield aromatis) yang dihasilkan. Pada penelitian ini bahan baku yang digunakan merupakan plastik jenis Polipropilen (PP). Pada penelitian ini minyak yang telah dihasilkan pada proses pirolisis selanjutnya akan di *reforming*. Pada penelitian ini digunakan logam NiO dengan penyangga γ -Al₂O₃ (NiO/ γ -Al₂O₃) sebagai katalis untuk proses *reforming* minyak hasil pirolisis plastik polipropilen. Variabel penelitian meliputi *Loading* Ni (% massa) : 6; 10; 14, Laju alir (ml/jam) : 217; 500; 690, Suhu reaksi (°C) : 400; 450; 500. Berdasarkan hasil penelitian dan analisa diketahui bahwa % yield aromatis terbesar pada proses *reforming* minyak hasil pirolisis plastik polipropilen dihasilkan dengan kondisi operasi 14 % *loading* Ni pada katalis, temperatur *reforming* 500°C serta laju reaktan sebesar 217 mL/jam. Dengan kata lain dapat disimpulkan bahwa pada penelitian ini, hasil terbaik didapat pada variabel *flow*laju terendah dan variabel suhu tertinggi. Kondisi operasi efektif dalam pembuatan *fuel* pada proses *reforming* diperoleh saat *loading* Ni pada katalis NiO/ γ -Al₂O₃ 14 %, temperatur *reforming* 400°C serta laju reaktan 500 mL/jam.

Kata Kunci— *Fuel*, Pirolisis, *Reforming*, katalis NiO/ γ -Al₂O₃

I. PENDAHULUAN

Peningkatan konsumsi energi dan peningkatan timbulan sampah merupakan dua permasalahan besar yang muncul seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan penambahan penduduk. Di Indonesia, konsumsi energi di berbagai sektor seperti transportasi, industri dan energi listrik untuk rumah tangga tercatat terus meningkat dengan laju pertumbuhan rata-rata pertahun sebesar 5,2 % , sebaliknya cadangan energi nasional yang semakin menipis menimbulkan kekhawatiran akan krisis energi di masa mendatang jika tidak ditemukan sumber-sumber energi yang baru.

Bahan bakar cair yang dipergunakan untuk memenuhi kebutuhan energi di Indonesia dikenal dengan nama Bahan Bakar Minyak (BBM). BBM terdiri dari tujuh jenis yaitu avtur *gasoline* (avgas), avtur, mogas (*motor gasoline*), minyak tanah (mitan), minyak solar, minyak diesel dan minyak bakar. Konsumsi BBM dibandingkan konsumsi Non-BBM dan LPG

memang jauh lebih tinggi. BBM sudah menjadi sumber energi utama, tidak hanya di Indonesia, tetapi juga seluruh dunia.

Dari statistik diatas terlihat bahwa konsumsi BBM di Indonesia dari tahun ke tahun cenderung mengalami kenaikan. Dan pada tahun 2011 mencapai angka yang sangat tinggi yakni 394.052 juta barrel dimana konsumsi terbesar berasal dari bahan bakar kendaraan bermotor yakni minyak solar dan mogas (*bensin/gasoline*). Untuk memenuhi kebutuhan yang sangat besar tersebut, saat ini BBM disuplay dari sumber minyak bumi dan sebagian kecil oleh energi terbarukan (berkisar 4.79%). Sebaliknya ketersediaan minyak bumi yang merupakan sumberdaya fosil secara terus menerus mengalami penurunan dan tidak ditemukan cadangan minyak baru di Indonesia. Beberapa upaya yang telah dilakukan oleh pemerintah untuk mengatasi krisis energi diantaranya adalah dengan mengembangkan bahan bakar alternatif, yang berasal dari sumberdaya energi terbarukan, batubara, hidrogen, nuklir dan lain-lain. Namun, Penelitian dan pengembangan energi baru yang selama ini dilakukan hanya berfokus pada pengembangan sumber dari bahan nabati, tambang dan nuklir. Padahal masih terdapat banyak sumber lain yang berpotensi cukup besar sebagai sumber energi baru. Salah satunya adalah limbah atau sampah.

Pada saat ini, sekitar 129 juta ton plastik setiap tahunnya diproduksi, dari jumlah tersebut, hampir seluruhnya diproduksi dari bahan minyak bumi. Untuk memproduksi plastik dalam jumlah tersebut dibutuhkan sekitar 12 juta barell minyak bumi per tahunnya. Jumlah ini mencapai 8% dari jumlah minyak bumi yang dihasilkan. Namun disamping masalah bahan baku yang berasal dari minyak bumi, ada masalah lain berkaitan penggunaan plastik, yaitu plastik merupakan bahan yang susah terurai.

Jenis-jenis plastik yang paling banyak digunakan diantaranya adalah polypropilena (PP) dan *poly ethylene therephtalate* (PET/HDPE). Polypropilena (PP) adalah sebuah polimer termoplastik yang dibuat oleh industri kimia dan digunakan dalam berbagai aplikasi, diantaranya adalah untuk kantong plastik, gelas plastik, ember dan botol. *Polypropylene* bersifat lebih tahan panas, keras, fleksibel dan dapat tembus cahaya. Polypropilena dapat mengalami degradasi rantai saat terkena radiasi ultra ungu dari sinar matahari. *Poly ethylene therephtalate* (PET) digunakan pembuatan botol minuman berkarbonasi, tas bantal dan peralatan tidur. *Poly ethylene therephtalate* memiliki sifat keras, dan tahan terhadap pelarut. Jenis plastik PP dan PET ini biasanya banyak dijumpai pada gelas dan botol air mineral.

Dari kenyataan tersebut, maka perlu dilakukan tindakan untuk mengurangi jumlah sampah terutama plastik sekaligus mengatasi masalah konsumsi BBM. Melihat dari sifat penyusun plastik yang tersusun dari komponen hidrokarbon minyak bumi, maka limbah plastik sangat berpotensi untuk dikonversi menjadi BBM. Pada penelitian ini bahan baku yang digunakan merupakan plastik jenis Polipropilen (PP). Hal ini dikarenakan PP merupakan plastik dengan limbah terbesar setelah PET.

Teknik yang digunakan untuk mengembalikan material plastik tersebut adalah dengan cara pemecahan rantai karbon atau polimer sehingga menjadi hidrokarbon. Pada penelitian ini untuk dekomposisi tersebut digunakan teknik pirolisis. Pirolisis yaitu pemanasan pada kondisi bebas oksigen. Dalam proses pirolisis komponen organik dalam bahan dapat menghasilkan produk cair dan gas, yang dapat berguna sebagai bahan bakar atau sumber bahan kimia.

Pirolisis plastik dengan bahan baku 40% PE, 35% PP, 18% PS, 4% PET dan 3% PVC telah dilakukan oleh A.Lopez dkk. Yang menghasilkan produk minyak 78.1% C5-C9, 7.4% C10-C13, 8.5% C13+ pada suhu 460^o. Dari hasil tersebut terlihat bahwa produk terbesar pirolisis plastik tersebut adalah C5-C9 yang merupakan komponen dasar penyusun *Gasoline*/bensin. Namun minyak hasil pirolisis tersebut tidak dapat langsung digunakan sebagai bahan bakar kendaraan bermotor [1].

Pada penelitian ini minyak yang telah dihasilkan pada proses pirolisis selanjutnya akan dilakukan *reforming* yang merupakan serangkaian proses reaksi kimia. Proses reaksi tersebut berfungsi untuk memperbaiki struktur dan susunan rantai produk hasil pirolisis sehingga dapat memiliki spesifikasi komponen bahan bakar minyak dengan angka oktan yang tinggi. Untuk peningkatan angka oktan tersebut dilakukan konversi senyawa yang memiliki angka oktan rendah menjadi senyawa yang memiliki angka oktan tinggi. Dimana senyawa-senyawa *naftanic* dan *paraffinic* yang memiliki angka oktan rendah akan diubah menjadi senyawa-senyawa aromatik yang memiliki angka oktan tinggi [2]. Pada proses *reforming* dibutuhkan katalis untuk proses terjadinya reaksi konversi senyawa-senyawa hidrokarbon. Selama ini katalis yang umum digunakan dalam proses *reforming* adalah Pt/ γ -Al₂O₃ dan Pd/ γ -Al₂O₃ dimana logam Pt dan Pd merupakan logam yang berharga mahal [3].

Pada penelitian ini digunakan logam NiO dengan penyangga γ -Al₂O₃ (NiO/ γ -Al₂O₃) sebagai katalis untuk proses *reforming* minyak hasil pirolisis plastik polipropilen.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini digunakan bahan baku plastik type polipropilen(PP) untuk proses pirolisis. Produk cair hasil pirolisis dilakukan proses katalitik *reforming* untuk menghasilkan minyak dengan angka oktan yang lebih tinggi. Pada proses *reforming* ini digunakan katalis dengan *promot* katalis NiO dan *support* katalis γ - Al₂O₃.

Pada penelitian ini dipelajari pengaruh *loading* Ni pada katalis NiO/ γ -Al₂O₃, temperatur operasi, serta laju alir reaktan pada proses *cathalytic reforming* terhadap *yield* aromatis yang dihasilkan.

Al₂O₃ (Alumina Oksida)

Secara umum, alumina sering dijumpai dalam bentuk kristal. Struktur kristalnya yaitu trigonal. Oksigen pada aluminium oksida struktur heksagonal ion aluminium yang mengisi 2/3 celah oktahedral. Alumina juga sering dijumpai dalam bentuk lain misalnya η , χ , γ , δ and θ theta alumina.

Nikel Chlorida (NiCl₂).

Katalis dibuat dengan kadar nikel sebesar 20% (b/b) serta 25% (b/b), di mana masing-masing katalis dibuat dengan dua metoda yaitu impregnasi. Pembuatan katalis dengan metoda impregnasi dilakukan dengan menambahkan larutan NiCl₂ 0.5 M ke dalam suspensi bahan penyangga (MNaB) sedikit demi sedikit pada suhu 70^oC disertai pengadukan. Selanjutnya campuran diaduk pada suhu tersebut hingga menjadi kering. Katalis kemudian dikeringkan pada suhu 120^oC selama 10 jam, dan dilanjutkan dengan kalsinasi pada suhu 550^oC dalam udara selama 4 jam. Kecepatan pemanasan sewaktu kalsinasi sebesar 10^oC/menit.

1. Preparasi Katalis

Katalis yang digunakan adalah yang dibuat dengan metode Impregnasi. Pertama menuangkan larutan γ -Al₂O₃ kedalam *Beaker glass* dan diletakkan diatas *heater*. kemudian melakukan impregnasi pada γ -Al₂O₃ dengan larutan Ni(NO₃)₂.6H₂O pada temperatur 30^oC selama 3 jam dengan pengadukan terus menerus. Larutan yang telah tercampur terus diaduk setelah 3 jam seraya diuapkan pada suhu 75^oC, hingga terbentuk pasta. Menghilangkan kandungan air yang masih tersisa dengan menggunakan Oven selama 12 jam pada suhu 110^oC. Setelah kering, maka dilakukan Kalsinasi pada suhu 550^oC selama 4 jam. kemudian setelah terbentuk katalis, dilakukan karakterisasi katalis menggunakan XRD

2. Prosedur Pirolisis dan *Reforming*

a. Pirolisis

1 kg sampel ditempatkan ke dalam reaktor dan nitrogen dialirkan selama 30 menit sebelum proses pirolisis. Kemudian Sampel dipanaskan sampai suhu 400-500^oC. Uap yang terbentuk dikondensasikan dengan Air pendingin dan ditampung dalam suatu wadah. Pirolisis Dilakukan hingga di dapat minyak hasil pirolisis mencapai 10 liter untuk feedstock. *Reforming*.

Pertama mempersiapkan minyak hasil Pirolisis sebanyak 500 ml. kemudian Mempersiapkan katalis dengan persen *loading* 6 % sebanyak 5 gram dan menginjeksikan N₂ pada reactor. Dilanjutkan dengan Menyalakan alat *reforming* dan *mensetting* pada suhu 400^oC. Setelah itu Mengalirkan air pendingin. Terakhir, menampung hasil kondensasi dalam wadah.

III. HASIL PENELITIAN

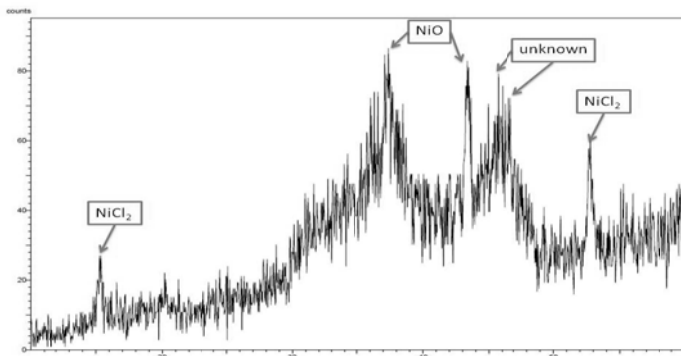
Minyak produk pirolisis yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki densitas (60^oF) 749.919 kg/m³ dan viskositas (60^oF) 0.721 cp. Dari besaran densitas minyak yang dihasilkan telah memenuhi syarat spesifikasi bensin komersil pertamina. Standar bensin komersial pertamina sesuai keputusan Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi No. 3674 K/24/DJM/2006 memiliki densitas (60^oF) 715 - 780 kg/m³. Sedangkan

viskositas minyak ini sedikit berbeda dengan standar bensin secara umum yakni viskositas (60°F) 0.5 cp.

Tabel 1.
Fraksi Penting Hasil GC-MS Minyak Produk Pirolisis Plastik Polipropilen (%area)

Fraksi	Senyawa	% Area
C5-C9	Aromatis	0
	Non-Aromatis	51.58
	Total	51.58
C10-C13	Aromatis	0
	Non-Aromatis	39.21
	Total	39.21
>C13	Aromatis	0
	Non-Aromatis	9.21
	Total	9.21
Total aromatis		0
Total non-aromatis		100

Karakteristik Katalis



Gambar. 1. Difraktogram hasil XRD katalis NiO/ γ -Al₂O₃ dengan 14 % loading N

Difraktogram menunjukkan pola difraksi tak teratur (amorf) karena kandungan *support* katalis (γ -Al₂O₃) yang berstruktur amorf sangat besar dibanding *promotennya* (NiO) yang berstruktur kristalin. Pada difraktogram terlihat bahwa telah terbentuk senyawa NiO yang diharapkan pada katalis, hal ini ditandai dengan terdeteksinya peak NiO pada difraktogram ketika theta 37.33869° dan 43.37125° yang merupakan peak difraksi senyawa NiO. Namun NiO yang dihasilkan pada pembuatan katalis ini masih belum sempurna. Hal ini terlihat dengan munculnya peak pada difraktogram ketika theta 15.30599° dan 52.74157° yang merupakan peak difraksi senyawa NiCl₂. Diketahui bahwa pada proses pembuatan katalis ini digunakan senyawa NiCl₂ sebagai *precursor*. Dengan ditemukannya peak NiCl₂ pada difraktogram difraksi NiO/ γ -Al₂O₃ menunjukkan bahwa NiCl₂ belum sepenuhnya terkonversi menjadi NiO pada saat pembuatan katalis (pada tahap kalsinasi katalis).

Disamping itu pada difraktogram katalis NiO/ γ -Al₂O₃ muncul peak pada theta 45.70058° dan 46.69684°. Namun masih belum diketahui secara pasti senyawa apa yang terdifraksi pada sudut theta tersebut. Dapat dimungkinkan senyawa tersebut adalah senyawa turunan *precursor* katalis yang digunakan berupa turunan senyawa NiCl₂ yang terbentuk akibat reaksi yang terjadi dengan udara pada tahap kalsinasi katalis

Aktivitas Katalis NiO/ γ -Al₂O₃

Proses *reforming* pada uji aktivitas katalis ini dilakukan pada 3 variasi % *loading* Ni pada katalis NiO/ γ -Al₂O₃ sebesar 6 %, 10%, dan 14% NiO. Kondisi operasi *reforming* dibuat sama pada setiap *reforming* dengan variasi *loading* katalis, yakni pada temperatur 500°C , laju reaktan 500 mL/jam dan berat katalis 5 gram.

% *Loading* Ni pada katalis merupakan faktor yang mempengaruhi besarnya % *yield* aromatis pada proses *reforming*. Kenaikan % *yield* aromatis pada proses *reforming* ini berbanding lurus dengan kenaikan % *loading* Ni pada katalis. % *Yield* aromatis terbesar dihasilkan pada penggunaan katalis dengan *loading* Ni 14 % yang menghasilkan *yield* aromatis sebesar 71.12 %. Kenaikan % *yield* aromatis seiring naiknya %*loading* Ni pada katalis dimungkinkan karena dengan semakin besarnya kadar *promote* (%wt) pada suatu katalis maka akan bertambah pula komponen katalis yang memiliki aktivitas tinggi sehingga mengakibatkan % *yield* aromatis yang dihasilkan semakin naik.

Pengaruh Temperatur Operasi dan Laju Alir Reaktan

Pada tahap ini digunakan variabel tetap massa katalis 5 gram serta % *loading* Ni terbaik yakni 14 %. % *Yield* aromatis dari proses *reforming* minyak hasil pirolisis plastik polipropilen dengan variasi temperatur *reforming* dan laju reaktan disajikan pada tabel 2.

Tabel 2.
Hasil *Reforming* Minyak Hasil Pirolisis Plastik Polipropilen dengan Katalis NiO/ γ -Al₂O₃

Temperatur (°C)	Laju Reaktan (mL/jam)	% <i>Yield</i> Aromatis
400	217	20.81
	500	18.29
	690	3.74
450	217	34.00
	500	33.88
	690	17.89
500	217	80.30
	500	71.12
	690	52.74

Dari tabel terlihat bahwa % *yield* aromatis yang dihasilkan naik sebanding dengan naiknya temperatur *reforming*. % *Yield* aromatis terbesar dihasilkan pada temperatur 500°C untuk semua variasi laju reaktan yakni 80.30 % untuk laju reaktan 217 mL/jam, 71.12 % untuk laju reaktan 500 mL/jam dan 52.74 % untuk laju reaktan 690 mL/jam. Hal ini sesuai dengan literature yang menyatakan bahwa optimum temperatur operasi pada suatu proses *reforming* berada pada range temperatur 490 hingga 525°C (914 hingga 977°F) [3].

Pada kondisi operasi yang sama, besarnya laju alir reaktan berbanding terbalik dengan % *yield* aromatis yang dihasilkan. Terlihat bahwa untuk semua variasi temperatur, semakin besar laju alir reaktan dihasilkan % *yield* aromatis yang semakin rendah. Hal ini diakibatkan karena semakin besar laju alir reaktan maka semakin pendek waktu tinggal reaktan dalam reaktor, sehingga kontak reaktan dengan katalis akan semakin singkat pula. Dengan singkatnya waktu kontak antara reaktan dan katalis mengakibatkan ternyata reaksi aromatisasi dari senyawa-senyawa *naftanic* menjadi sangat

rendah. Sebaliknya dengan laju alir reaktan yang rendah maka waktu tinggal reaktan dalam reaktor akan semakin besar.

Analisa Efektivitas Pembuatan Fuel Pada Proses Reforming

Ditinjau dari komposisi senyawa penyusunnya, sesuai dengan Keputusan Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi N0.3674 K/24/DJM/2006 bensin komersial diharuskan memiliki batas maksimum kandungan senyawa aromatis tidak lebih dari 50% . untuk bahan bakar solar diberikan batasan aromatis yang sangat rendah, dimana komposisi utama solar adalah minimum 90% tersusun dari senyawa paraffinic. Sedangkan kerosene dibatasi kandungan aromatic berkisar antara 15.5 – 19.6 % vol [4].

Dari hasil perbandingan ketiga kondisi operasi diatas dapat disimpulkan bahwa kondisi operasi *reforming* yang paling efektif dalam pembuatan fuel pada penelitian ini terjadi pada temperatur *reforming* 400°C dengan laju reaktan 500 mL/jam. Hal ini didasarkan karena semua fraksi bahan bakar yang dihasilkan telah memenuhi syarat seperti yang dijelaskan sebelumnya.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Plastik polipropilen dapat dikonversi menjadi *fuel* melalui proses pirolisis dan dilanjutkan proses katalitik *reforming* dengan pada katalis NiO/ γ -Al₂O₃. kecenderungan untuk kondisi operasi yaitu *temperatur reforming* terhadap *yield* aromatis menunjukkan bahwa temperatur terbaik untuk menghasilkan *yield* aromatis terbesar adalah 500°C dan laju alir reaktan 217 mL/jam. Kondisi operasi paling effectif dalam pembuatan *fuel* pada proses *reforming* adalah *loading* NiO pada katalis NiO/ γ -Al₂O₃ 14 %, temperatur *reforming* 400°C serta laju reaktan 500 mL/jam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lopez, A.,Marco, I., Caballero, B.M., Laresgoiti, M.F., Adrados, A. 2011. "*Influence of Time and Temperatur on Pyrolysis of Plastic Waste in a Semi-Batch Reactor*". Chemical Engineering Journal 173 (2011) 62-71.
- [2] Joners, D.S.J. 1995. "*Elemen of Petroleum Processing*". New York : John Willey & Sons, Inc.
- [3] Meyers, R.A. 1990. "*Handbook of Petroleum Refining Rocess*". Third Edition. New York: McGraw-Hill International Book.
- [4] Kerosene/Jet Fuel Category Assessment Document. 2010. The American Institute Petroleum HPV Testing Group