

Investigasi Terhadap Hasil Proses Pyrolisis Sampah Plastik Jenis Pet Dengan Katalis Alam Dari Klaten Jawa Tengah Indonesia

Nuryosuwito¹, Sudjito S.², Widya Wijayanti³, Nurholis Hamidi⁴, Am. Mufarrih⁵

^{1,5}Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Nusantara PGRI Kediri

^{2,3,4}Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

Email : ¹suwitounp@gmail.com, ⁵mufarrih@unpkediri.ac.id

Abstrak-Produksi plastik global meningkat selama bertahun-tahun karena banyaknya aplikasi plastik di banyak sektor. Permintaan terus menerus dari plastik menyebabkan akumulasi limbah plastik di TPA menghabiskan banyak ruang yang berkontribusi terhadap masalah lingkungan. Meningkatnya permintaan plastik menyebabkan pelepasan minyak bumi sebagai bagian dari bahan bakar fosil yang tidak terbarukan karena plastik adalah bahan berbasis minyak bumi. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan dilakukan studi terhadap karakteristik pirolisis, material Sampah plastik PET dengan katalis alam Klaten, Jawa Tengah, Indonesia. Dari hasil proses pirolisis menunjukkan bahwa jenis bahan baku sangat mempengaruhi hasil produk dan kualitas produk cair dan padat Sampah plastik PET menghasilkan fraksi cairan tertinggi. Paduan katalis mengurangi fraksi cairan dan meningkatkan fraksi gas. Selanjutnya, sampah plastik kotamadya menghasilkan produk dengan nilai lebih tinggi dari pada produk biomassa sampah plastik bisa digunakan sebagai bahan bakar alternatif.

Kata Kunci: Pirolisis, Sampah Plastic, PET dengan Katalis Alam.

1. PENDAHULUAN

Plastik memainkan peran penting dalam meningkatkan kehidupan standar manusia selama lebih dari 50 tahun. Ini merupakan kunci inovasi banyak produk di berbagai sektor seperti konstruksi, perawatan kesehatan, elektronik, otomotif, kemasan dan lain-lain. Permintaan plastik komersial meningkat karena pesatnya pertumbuhan populasi dunia. Produksi global plastik telah mencapai sekitar 299 juta ton pada tahun 2013 dan telah meningkat sebesar 4% 2012.[1]

Meningkatnya permintaan plastik terus berlanjut menyebabkan pertumbuhan akumulasi limbah setiap tahunnya. Dilaporkan bahwa 33 juta ton limbah plastik dihasilkan di AS berdasarkan statistik 2013.[2] Seperti di Eropa, 25 juta ton plastik berakhir pada aliran limbah selama tahun 2012. Berdasarkan statistik yang ditetapkan di Eropa, sekitar 38% sampah plastik masih sampai ke tempat pembuangan akhir, 26% didaur ulang sementara 36% digunakan untuk pemulihan energi.[1]

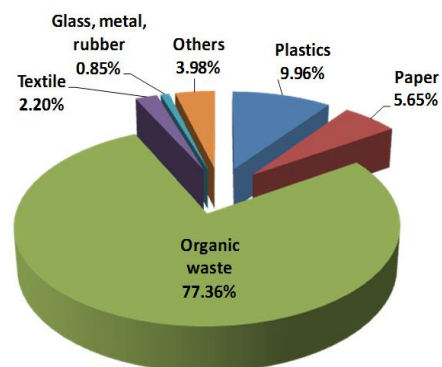
Hal ini menunjukkan bahwa persentase sampah plastik yang berakhir di TPA masih sangat tinggi sehingga menempati ruang yang sangat luas.

Plastik bisa memakan waktu hingga miliaran tahun untuk menurun secara alami.

Mereka menurunkan secara bertahap sejak ikatan molekul yang mengandung hidrogen, karbon dan beberapa unsur lainnya seperti nitrogen, klorin dan lainnya yang membuat plastik sangat tahan lama. Penempatan plastik secara kontinu di tempat pembuangan sampah pasti akan menyebabkan masalah lingkungan yang serius.[1]

Meningkatnya permintaan plastik terus berlanjut menyebabkan pertumbuhan akumulasi limbah setiap tahunnya, pesatnya pembangunan kota Yogyakarta diikuti dengan peningkatan jumlah penduduk yang berdampak pula pada volume sampah yang diproduksi.

Pertumbuhan produksi dan penggunaan plastik yang semakin tinggi menyebabkan terjadinya peningkatan jumlah sampah yang dihasilkan dari plastik tersebut. Di Yogyakarta, ada sekitar 9,98% sampah plastik dihasilkan dari total sampah yang dibuang di tempat pembuangan akhir sampah (TPA) Piyungan. [3]



Gambar 1. Komposisi Sampah di TPA Piyungan, Yogyakarta [3]

2. Metode PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah *action research* (penelitian tindakan). *Action research* merupakan penelitian yang berfokus langsung pada tindakan sosial. Penelitian tindakan (*action*

research) adalah penelitian baik kualitatif maupun kuantitatif. Penelitian tindakan adalah cara melakukan masalah pada saat yang bersamaan. (Hasibuan, 2007) [2]. Tahapan *Action research* atau penelitian tindakan menurut Davidson, dkk (2004) terbagi menjadi lima yaitu:

- a. *Diagnosing*, melakukan diagnose terhadap pokok permasalahan yang ada.
- b. *Action Planning*, membuat rencana tindakan yang tepat untuk menyelesaikan masalah yang ada berdasarkan pemahaman.
- c. *Action Taking*, melakukan tindakan berupa implementasi dari rencana tindakan.
- d. *Evaluation*, melakukan evaluasi terhadap hasil perencanaan
- e. *Learning*, Pembelajaran dengan melakukan review tahap per tahap yang telah berakhir dan kemudian penelitian ini dapat selesai.

Untuk melaksanakan langkah-langkah penelitian ini dilakukan pemahaman mengenai hal-hal yang terkait langsung dalam penelitian, yaitu:

2.1 Sampah Plastik

Plastik memainkan peran penting dalam meningkatkan kehidupan standar manusia selama lebih dari 50 tahun. Ini merupakan kunci inovasi banyak produk di berbagai sektor seperti konstruksi, perawatan kesehatan, elektronik, otomotif, kemasan dan lain-lain. Permintaan plastik komersial meningkat karena pesatnya pertumbuhan populasi dunia. Produksi global plastik telah mencapai sekitar 299 juta ton pada tahun 2013 dan telah meningkat sebesar 4%. [1]

Penanganan sampah plastik untuk meminimalisasi dampak lingkungan dari sampah plastik, maka material ini harus didaur-ulang untuk mendapatkan kembali produk plastiknya ataupun untuk menghasilkan produk lain yang bernilai ek^on^omi. Ada beberapa metode untuk mendaur-ulang sampah plastic ini yaitu *mechanical recycling*, *feed stock recycling* dan *energy recovery*. [4]

Mechanical recycling adalah proses untuk mendapatkan kembali produk plastik dari sampah plastic dengan cara-cara mekanis. Pada sistem ini, sampah plastik dilelehkan untuk kemudian dibuat pelet plastik yang kemudian digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan produk-produk berbahan baku plastik pada umumnya plastic hasil daur-ulang ini digunakan untuk membuat produk-produk dengan kualitas yang lebih rendah. Metode ini hanya dapat digunakan untuk jenis plastic tunggal, sehingga perlu adanya pemisahan berdasarkan jenis plastik sebelum dilelehkan. Sampah plastik yang terlalu banyak kontaminasi juga sulit didaur-ulang dengan metode ini karena akan berpengaruh terhadap kualitas produk plastik yang dihasilkan.

Feedstock atau *chemical recycling* merupakan teknologi yang lebih maju dimana sampah plastik dikonversi menjadi molekul dengan ukuran yang lebih kecil berbentuk cairan maupun

gas untuk memproduksi bahan bakar maupun zat-zat kimia.

Energy recovery adalah suatu metode untuk mendapatkan kembali energi yang terkandung di dalam sampah plastik dengan cara dibakar untuk menghasilkan energi dalam bentuk kalor, uap maupun listrik. oleh karena itu, mengkonversi sampah plastik menjadi bahan bakar dengan metode *feedstock recycling* merupakan pilihan yang menjanjikan untuk daur-ulang plastik yang tidak dapat didaur-ulang secara mekanis karena pertimbangan keekonomian.

Tabel 2. Nilai Kalor Beberapa Jenis Plastik Dan Bahan Bakar

Jenis Bahan	Nilai Kalor(MJ kg ⁻¹)
Polietilen	43.3-46.5
Polipropilen	46.50
Polistiren	41.90
Minyak tanah	46.50
Solar	45.20
Minyak berat	42.50
Minyak bumi	42.30

Sumber:Al-Salem dkk. [4]

Feedstock recycling adalah metode daur-ulang yang melibatkan proses degradasi termal yang disebut dengan pirolisis untuk memecah polimer dengan rantai panjang menjadi lebih pendek. Ada beberapa metode degradasi termal yang telah dikembangkan oleh banyak peneliti yaitu degradasi termal atau pirolisis, pirolisis katalitik dan kombinasi pirolisis dan reformasi katalitik.

Untuk mengurangi pembuangan plastik ke tempat pembuangan akhir, metode daur ulang dianggap sebagai alternatif lain untuk mengel^ola sampah plastik. Kembali ke statistik yang disebutkan di atas, persentase daur ulang masih di titik terendah.

Pirolisis adalah proses molekul molekul rantai panjang yang merendahkan termos menjadi molekul kecil yang lebih kompleks melalui panas dan tekanan. Proses ini membutuhkan panas yang hebat dengan durasi yang lebih pendek dan tanpa oksigen.

Tiga produk utama yang diproduksi selama pirolisa adalah minyak, gas dan char yang sangat berharga untuk industri terutama produksi dan kilang. Pirolisis dipilih oleh banyak peneliti karena prosesnya mampu menghasilkan minyak cair dalam jumlah tinggi hingga 80% berat pada suhu sedang sekitar 500 C [5].

Pirolisis merupakan teknik daur ulang limbah tersier atau teknik yang mampu mengkonversi limbah plastic menjadi bahan bakar, monomer, atau bahan berharga lainnya melalui proses degradasi termal dan katalitik. [6] Pirolisis dinilai sebagai salah satu metode terbaik karena selain dapat mengurangi sampah yang tidak dapat diuraikan (*non-degradable waste*), pirolisis juga dapat menghasilkan produk hidrokarbon yang memiliki nilai ekonomis yang

tinggi. Parameter utama meliputi suhu, jenis reaktor, waktu tinggal, tekanan, penggunaan katalis yang berbeda dan jenis gas fluidisasi dengan laju alirnya.

2.2 Pirolisis plastik

Pada dasarnya, berbagai jenis plastik memiliki posisi yang berbeda yang biasanya dilaporkan dalam hal analisis terdekatnya. Analisis proksimat dapat didefinisikan sebagai teknik untuk mengukur sifat kimia dari senyawa plastik berdasarkan empat elemen tertentu yaitu kadar air, karbon tetap, kandungan volatil dan kadar abu [7]. Kandungan volatil dan kadar abu merupakan faktor utama yang mempengaruhi perolehan minyak cair dalam proses pirolisis. Bahan volatil tinggi disukai produksi minyak cair sementara kandungan abu tinggi menurunkan jumlah minyak cair, akibatnya meningkatkan yield gas dan pembentukan char [8].

Beberapa faktor yang mempengaruhi kuantitas dan kualitas produk pirolisis diantaranya model reaktor yang digunakan, temperatur, tekanan reaktor, residence time, komposisi plastik dan tipe katalis yang digunakan.

3. SKENARIO PENGUJIAN

Dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian pirolisis plastic menggunakan sistem reactor tipe *batch* dan sebuah kondenser yang diintegrasikan dengan tanki penyimpanan minyak (*oiltank*).

3.1 Faktor-faktor atau kondisi yang mempengaruhi proses pirolisis.

Dalam persiapan dilakukan identifikasi terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi proses pirolisis, yaitu:

1) Waktu

Waktu berpengaruh pada produk yang akan dihasilkan, semakin lama waktu proses pirolisis berlangsung, produk yang dihasilkannya (residu padat, tar, dan gas) makin naik.

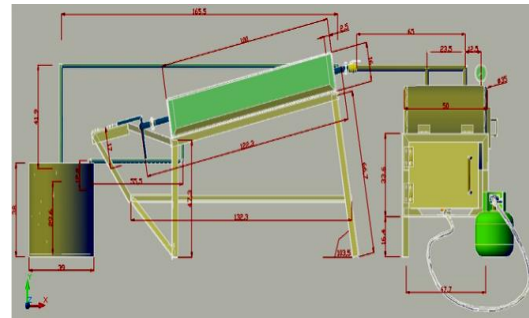
Kenaikan itu sebatas sampai dengan waktu tak hingga (τ) yaitu waktu yang diperlukan sampai dengan hasil padatan residu, tar, dan gas mencapai konstan. Nilai τ dihitung sejak proses isothermal berlangsung. Tetapi jika melebihi waktu optimal maka karbon akan teroksidasi oleh oksigen (terbakar), menjadi karbondioksida dan abu. Untuk itu pada proses pirolisis penentuan waktu optimal sangatlah penting.

2) Suhu

Suhu sangat mempengaruhi produk yang dihasilkan karena sesuai dengan persamaan Arrhenius, suhu makin tinggi nilainya konstanta dekomposisi termal makin besar akibatnya laju pirolisis bertambah dan konversi naik. Pada proses pirolisis suhu rendah (<700) dimulai pada suhu antara 225-275°C.[9] Untuk itu, variasi Percobaan agar reaksi pirolisis benar-benar telah

terjadi maka diambil kisaran suhu yang perlu dipelajari, yaitu 300-500 °C.

Aktivasi ini dilakukan dengan pemanasan pada suhu 300-500°C, baik secara langsung (dengan udara panas) maupun secara tak langsung (dengan vakum), yang bertujuan untuk menguapkan air dan pengotor-pengotor organik yang terperangkap dalam pori-pori kristal zeolit, sehingga ukuran poridan luas permukaan spesifik zeolit bertambah. [68]



Gambar 4. Instalasi Peralatan Pengujian Pirolisis.

Keterangan gambar :

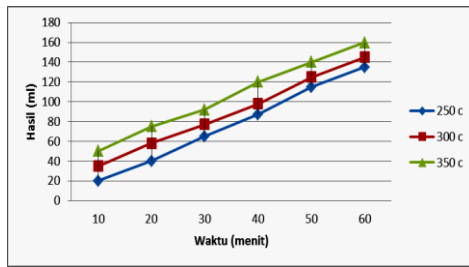
- | | |
|--------------------------------|-----------------------------|
| 1. Valve | 7. Pengatur aliran |
| 2. Wadah sampel (<i>Gas</i>) | nitrogen/ rotameter |
| 3. Dinding Reaktor. | 8. <i>Furnace</i> (Reaktor) |
| 4. Pompa | 9. <i>Thermocontroller</i> |
| 5. Bak pendingin | 10. Kompom |
| (<i>condenser</i>) | <i>Termokopel reader.</i> |
| 6. Tabung nitrogen | |

3.2 Percobaan pirolisis dan katalisator

Percobaan pirolisis dan katalisisasi katalis dilakukan pada reaktor skala dua tahap pilot dengan menggunakan sistem batch. Ini terdiri dari reaktor pirolisa dan reaktor pembentuk katalitik. Gambar instalasi eksperimental ditunjukkan pada Gambar 2. Reaktor pirolisa dan pembaharu terbuat dari baja tahan karat dan ditutup dengan pemanas listrik. Diameter dalam piroklester dan tinggi masing-masing adalah 200 mm dan 400 mm. Diameter dan tinggi tengah reformer masing-masing adalah 100 mm dan 400 mm. Kondensor tipe shell dan tube dipasang di outlet pembaharu untuk memisahkan produk gas dan cairan. Dalam Percobaan ini, 2,5 – 4 kg bahan baku dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis. Pirolisis dan reformer kemudian dipanaskan sampai suhu yang ditentukan sebelumnya. Katalis (100 g).

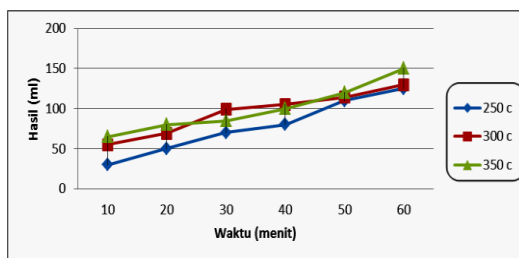
1) Pengaruh Temperatur Terhadap Hasil Cair Yang Diperoleh.

Dari gambar 5 semakin tinggi temperatur, hasil yang diperoleh juga semakin banyak. Hasil terbanyak di dapat pada suhu 350°C dengan waktu selama 60 menit. Hasil yang didapat sebanyak 160 ml.



Gambar 5. Perbandingan Hasil Cair Bahan Plastik Pet Berdasarkan Dalam Rentan Waktu 60 Menit

Sedangkan untuk grafik pengaruh temperatur terhadap hasil yang diperoleh dari bahan plastik PET dengan katalis dapat digambarkan seperti gambar 6 dibawah ini:

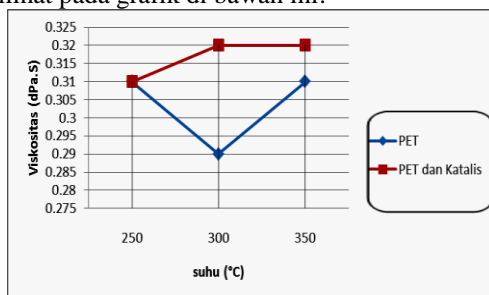


Gambar 6. Perbandingan hasil cair bahan plastik PET dengan katalis dalam rentan waktu 60 menit.

Dari gambar 6 dapat dijelaskan jika semakin tinggi temperatur hasil yang diperoleh juga semakin banyak. Dari gambar 6 hasil terbanyak terdapat pada suhu 350°C dengan hasil sebanyak 150 ml. Perbandingan hasil cair dari bahan plastik dan plastik PET dengan katalis cukup signifikan. Bahan yang menggunakan campuran katalis memiliki hasil cair yang lebih sedikit dibandingkan dengan bahan dari PET murni. Hal ini disebabkan karena bahan yang menggunakan katalis rantai panjang karbonnya akan dipecah oleh katalis sehingga hasilnya lebih banyak ke fraksi gas dan fraksi cairnya lebih sedikit.

2) Pengaruh Temperatur Terhadap Viskositas

Temperatur optimum saat pemanasan berpengaruh terhadap sifat karakteristiknya. Pengaruh temperatur terhadap viskositas dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



Gambar 7. Pengaruh temperatur terhadap viskositas

Semakin rendah nilai viskositas yang dimiliki cairan maka cairan tersebut semakin encer. Viskositas dari bahan plastik murni

memiliki nilai terendah sebesar 0.29 dPa.S pada sampel suhu 300°C. Sedangkan pada plastik PET yang ditambah dengan katalis nilai viskositas terendah sebesar 0.31 dPa.S pada sampel dengan suhu 250°C.

3) Pengaruh katalis

Gambar 5 menunjukkan hasil produk yang diperoleh dari pirolisis sekuensial dan pembaharuan katalitik limbah plastik k^ota sebagai efek katalis. Plastik jenis PET yang digunakan sebagai bahan baku dalam Percobaan ini. Dapat dilihat bahwa pirolisa termal (tanpa katalis) menghasilkan fraksi cairan tertinggi. Kehadiran katalis mengurangi fraksi cairan dan meningkatkan fraksi gas. Secara teoritis, katalis dapat meningkatkan reaksi retak gas pirolisa. Hidrokarbon rantai panjang telah retak menjadi gas hidrokarbon yang lebih ringan.

Pirolisis terhadap katalis zeolit alami menghasilkan produk cairan yang lebih tinggi dibandingkan dengan katalis zeolit Y. Hal ini disebabkan adanya aktivitas yang berbeda

antara zeolit alam dan zeolit Y. Seperti dapat dilihat pada Tabel 3, NZ memiliki luas permukaan BET yang lebih rendah dari pada zeolit Y. Luas permukaan yang lebih tinggi akan memberi lebih banyak k^ontak antara katalis dan gas pirolisa yang berarti lebih banyak gas akan retak untuk menghasilkan hidrokarbon rantai yang lebih pendek. Namun, kehadiran katalis sedikit berpengaruh terhadap hasil produk. Ini mungkin karena adanya kotoran seperti yang disebutkan sebelumnya. Pengotor yang mengandung beberapa bahan beracun akan menonaktifkan katalis. Dengan demikian, katalis akan memiliki aktivitas pada awal proses reformasi dan menonaktifkan pada akhir proses. Gambar 5 (b) menunjukkan distribusi bilangan atom karbon WPO dengan katalis berbeda. Fraksi minyak berat (> C₂₀) bisa sedikit berkurang yang mempengaruhi kualitas minyak. Di sisi lain, fraksi bensin (C₅-C₁₂) meningkat karena retak hidrokarbon rantai panjang menjadi hidr^okarbon rantai ringan. Fraksi diesel hampir serupa dalam segala kondisi .

4. HASIL UJI DAN PEMBAHASAN

Pirolisis berurutan dan pembuktian katalitik limbah plastik kota Yogyakarta Indonesia telah dilakukan menggunakan katalis zeolit alam Klaten Jawa Tengah. Hasilnya menunjukkan bahwa jenis bahan baku sangat mempengaruhi hasil produk dan kualitas produk cair dan padat. Sampah plastik PET menghasilkan fraksi bensin. Fraksi dari sampah plastik jenis PET setelah diproduksi sampah plastik jenis PET menghasilkan fraksi bensin yang tinggi.

Kajian ini mempelajari proses pirolisis sampah plastik untuk menghasilkan produk yang lebih berharga seperti bahan bakar minyak cair dan hasilnya meyakinkan.

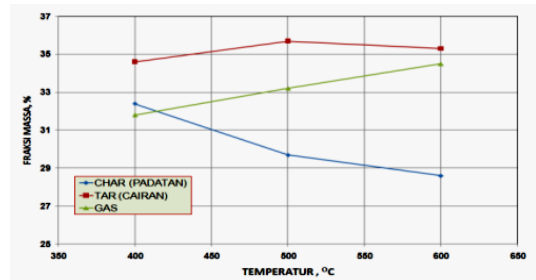
Teknik ini menawarkan beberapa keunggulan seperti meningkatkan sistem pengelolaan sampah untuk mengurangi kendala bahan bakar fosil, meningkatkan sumber energi dan juga mencegah kontaminasi terhadap lingkungan.

Teknik ini dapat dilakukan pada parameter yang berbeda untuk menghasilkan berbagai hasil dan kualitas minyak cair. Selain itu, teknik ini menawarkan fleksibilitas yang besar dan kelayakan ekonomi yang lebih baik dalam hal penanganan proses dan variabilitas produk yang diperoleh. Seperti yang disebutkan pada paragraf di atas, berbagai parameter dapat mempengaruhi hasil minyak cair dan faktor yang paling penting adalah suhu. Plastik yang berbeda mungkin memiliki suhu degradasi yang berbeda tergantung pada struktur kimianya. Oleh karena itu, suhu efektif untuk optimasi cairan dalam pirolisis juga bervariasi untuk setiap jenis plastik dan juga sangat bergantung pada parameter proses lainnya.

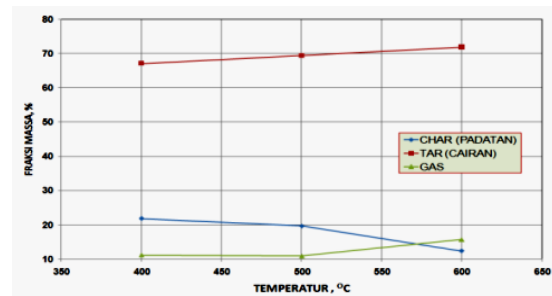
Dari hasil analisis yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Hasil terbanyak produk pirolisis (cair) dari bahan plastik PET murni terdapat pada suhu 350°C sebanyak 160 ml dan pada plastic PET dengan katalis hasil terbanyak pada suhu tertinggi yaitu 350°C sebanyak 150 ml.
- 2) Sifat karakteristik yang dimiliki dari variasi temperatur berbeda-beda, adapun nilainya:
 - a. Nilai Viskositas terendah terdapat pada suhu 300°C dengan sampel plastik PET murni yaitu 0,29 dPa.S sedangkan untuk sampel plastik yang dicampur dengan katalis viskositas terendah terdapat pada suhu 250°C dengan nilai 0,29 d.Pa.S.
 - b. Nilai Densitas terendah terdapat pada suhu 300°C dengan sampel plastik PET murni yaitu 730 kg/m³, sedangkan untuk sampel plastik PET yang dicampur dengan katalis densitas terendah berada pada suhu 250°C dengan nilai 780 Kg/m³
 - c. Paduan katalis mengurangi fraksi cairan dan meningkatkan fraksi gas. Pirolisis dengan katalis zeolit alam menghasilkan produk cair yang lebih tinggi.

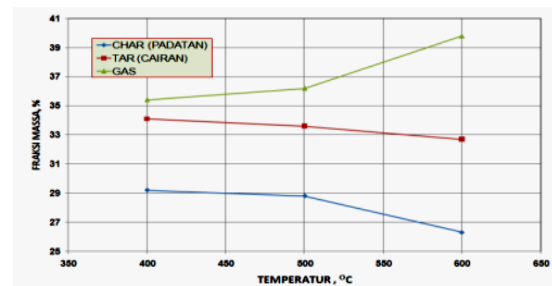
Dalam studi ini akan dikaji pirolisis terhadap campuran sampah plastik secara eksperimental di dalam reaktor pirolisis laboratorium. Studi dilakukan pada variasi temperatur pirolisis dan laju pemanasan masing-masing adalah 400, 500, dan 600°C pada tekanan lingkungan. Pirolisis dilakukan pada kondisi isothermal dan pengaruh dari temperatur pirolisis dan laju pemanasan terhadap distribusi produk gas, cairan dan formasi char juga akan dilakukan pengkajian yang mendalam untuk mendapatkan kondisi operasi yang menghasilkan produk cair dan gas. Hasil pirolisis komponen tunggal sampah plastic PET dengan laju pemanasan 10°C/ menit dalam berbagai temperatur dilihat pada tabel berikut.



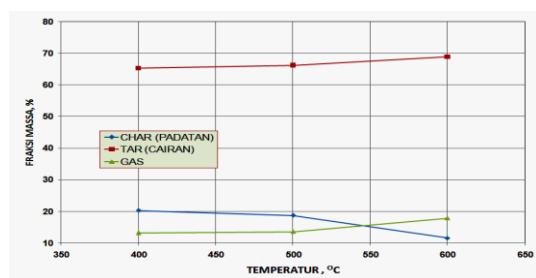
Gambar 6. Distribusi Produk Akhir Pirolisis Sampah Plastik Pada Laju Pemanasan 10°C/menit



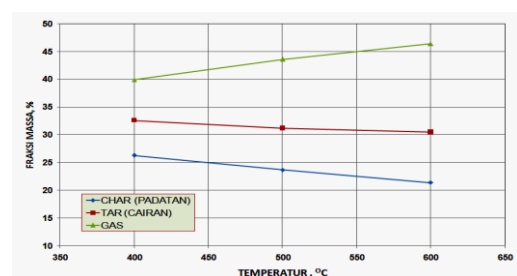
Gambar 7. Distribusi Produk Akhir Pirolisis Sampah Plastic Pada Laju Pemanasan 10°C/menit



Gambar 8. Distribusi Produk Akhir Pirolisis Sampah Plastik Pada Laju pemanasan 15°C/menit.

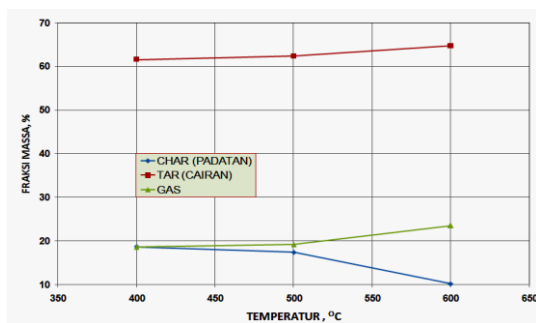


Gambar 9. Distribusi Produk Akhir Pirolisis Sampah Plastik Pada Laju Pemanasan 15°C/menit.



Gambar 10. Distribusi Produk Akhir Pirolisis

Sampah Plastic Pada Laju Pemanasan 20°C/menit.



Gambar 11. Distribusi Produk Akhir

5. SIMPULAN

Dari hasil uji dengan pengamatan langsung, maka dapat disimpulkan beberapa hal yang merupakan hasil dari penelitian ini, yaitu:

- 1) Temperatur akhir pirolisis dan laju pemanasan mempengaruhi distribusi produk pirolisis untuk semua sampel sampah yang dikaji campuran sampah plastik oleh gambar 1 hingga gambar 3.7 di atas dapat diketahui bahwa temperatur pirolisis dapat mempengaruhi distribusi produk pirolisis campuran sampah.
Dalam hal ini, persentase produk car (padatan) cenderung mengalami penurunan seiring dengan naiknya temperatur pirolisis, sedangkan persentase produk car (cairan) dan gas cenderung mengalami kenaikan seiring dengan naiknya temperature pirolisis.
Dari hasil pirolisis campuran katalis dan sampah plastic juga dapat diketahui bahwa komposisi campuran sampah plastik dan katalis dapat mempengaruhi distribusi produk pirolisis campuran sampah plastik. Dalam hal ini, persentase produk car (padatan) cenderung mengalami penurunan seiring dengan naik persentase sampah plastik dalam campuran, sedangkan persentase produk tar (cairan) dan gas.
- 2) Untuk komponen sampah tunggal, seiring dengan naiknya temperature pirolisis maka produk cair dan gas mengalami kenaikan, sementara produk padat cenderung mengalami penurunan.
- 3) Produk pirolisis fraksi dengan temperature 600 °C laju pemnsasan 20 °C/menit, sementara produk pirolisis fraksi gas diperoleh pada campuran 70% katalis dan 30% sampah plastic pada temperature 600°C laju pemnsasan 20°C/menit.
- 4) Dalam rentang temperature 400–600°C, temperatur pirolisis 600°C merupakan temperatur yang ideal untuk mendapatkan produk pirolisis fraksi cair dan fraksi gas yang maksimal untuk semua jenis sampah yang dikaji.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DR. Sulistiono, M.si. Selaku Rektor Universitas

Nusantara PGRI Kediri, atas dukungan finansial. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada DR. Deendarlianto, S.T., M.Eng. dari Universitas Gadjah Mada, atas diskusi dan kontribusi yang berharga.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Association of Plastic Manufacturers Europe. *An analysis of European plastics production, demand and waste data*. Belgium: European Association of Plastics Recycling and Recovery organisations; 2015. p. 1–32.
- [2] U.S. Environmental Protection Agency. *Common wastes and materials*. US; 2014.
- [3] Mochamad Syamsiro, d*, Harwin Saptoadib, Tinton Norsujiantob, Putri Noviasria, b, Shuo Chenga, Zainal Alimuddinc, Kunio Yoshikawad (2013) *Fuel oil Production from Municipal Plastic Wastes in Sequential Pirolisis and Catalytic Reforming Reactors Department of Environmental Science and Technology*, Tokyo Institute of Technology, G5-8, 4259 Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama 226-8502, Japan.
- [4] Al-Salem, S.M., Lettieri P. dan Baeyens J., 2009. *Recycling And Recovery Routes of plastic Solid Waste (PSW)*. Waste Management, 29, 2625-2643.
- [5] Fakhrohoseini SM, Dastanian M. Predicting pirolisis products of PE, PP and PET using NRTL activity coefficient model. Hindawi Publishing Corporation; 2013. p. 1–5.
- [6] J. Scheirs, W. Kaminsky, “Feedstock recycling and pirolisis of waste plastics: converting waste plastics into diesel and other fuels”, J. Wiley & Sons, 2006.
- [7] J. Yang, R. Miranda, and C. Roy. “Using the DTG curve fitting method to determine the apparent kinetic parameters of thermal decomposition of polymers”. *Polymer Degradation and Stability*, vol 73, pp. 455-461, 2001.
- [8] Das, S. dan Pande, S., 2007, *Pirolisis and Catalytic Cracking of Municipal Plastic Waste for Recovery of Gasoline Range Hydrocarbons*, Thesis, Chemical Engineering Department National Institute of Technology Rourkela.
- [9] Al-Salem, S.M., Lettieri, P., *Kinetics of Polyethylene Terephthalate (PET) and Polystyrene (PS) Dynamic Pirolisis*, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 66 2010, pp. 1267-1275.
- [10] Suyartono & Husaini. 1991. *Tinjauan Terhadap Kegiatan Lit-Bang Pemanfaatan Zeolit Indonesia Yang Dilakukan oleh PPTM periode 1980 – 1990*. Buletin PPTM. Vol. 13(4):1–13.