

Produksi Bahan Bakar Minyak Alternatif Dari Pirolisis Plastik Polipropilen dan Oli Bekas

Mochamad Syamsiro¹, Bayu Megaprastio¹, Joko Winarno¹, Muhammad Arief Saputro¹,
Zahrul Mufrodi²

¹ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra Yogyakarta, syamsiro@janabadra.ac.id

² Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta

ABSTRACT

The increasing use of food packaging plastic has an impact on the addition of plastic waste in the final disposal site. Furthermore, used motor oil from vehicle by-products is also increasing so that it can damage the environment. In this study, we perform the disposing of plastic waste and used motor oil by converting them into alternative fuels by using co-pyrolysis method. The material used is 250 grams of polypropylene (PP) plastic waste and 150 grams of used motor oil which are processed together in a pyrolysis reactor using variations in operating temperature (450 °C, 500 °C and 550 °C) and variations in the outer diameter of the reactor tube (Ø60 mm, Ø80 mm and Ø100 mm) with a height of 450 mm. The experimental results show that increasing the temperature reduced a liquid product with the highest yield (66,3%) at the temperature of 450 C. The smaller the diameter of the reactor tube produced an increased liquid product with the highest yield (90,025%) at a diameter of Ø60 mm. The synergistic effect is also discussed in terms of the weight of the liquid product obtained in the co-pyrolysis process by comparing it to the calculation of the liquid yield in the single pyrolysis of plastic waste and waste motor oil. The results of the synergistic effect were at operating temperatures of 450 °C and 550 °C with the increased yields of 20,475% and 16,575%, respectively.

Keywords: co-pyrolysis; plastic waste; polypropylene; synergistic effect; used motor oil

ABSTRAK

Meningkatnya penggunaan plastik kemasan makanan berimbas pada penambahan sampah plastik di tempat pembuangan akhir sampah. Di samping itu oli bekas dari produk samping kendaraan bermotor semakin meningkat sehingga dapat merusak lingkungan. Dalam penelitian ini akan dikaji mengenai penanganan sampah plastik dan oli bekas dengan cara mengubah bentuknya menjadi bahan bakar alternatif dengan metode pirolisis campuran. Input yang digunakan adalah 250 gram sampah plastik polipropilen dan 150 gram oli bekas yang diproses bersama di dalam reaktor pirolisis menggunakan variasi temperatur operasi (450 °C, 500 °C dan 550 °C) dan variasi diameter luar tabung reaktor (Ø60 mm, Ø 80 mm dan Ø 100 mm) dengan tinggi 450 mm. Hasil eksperimen menunjukkan, meningkatnya temperatur akan mendapatkan produk cair yang menurun dengan hasil terbanyak (66,3 %) pada suhu 450 °C dan semakin kecil diameter tabung reaktor pada diameternya menghasilkan produk cair yang meningkat dengan hasil terbanyak (90,025 %) pada diameter Ø60 mm. Efek sinergistik juga dibahas yang ditinjau dari berat produk cair yang didapat pada proses co-pirolisis dengan membandingkannya pada kalkulasi hasil cair di pirolisis tunggal sampah plastik dan limbah oli bekas. Hasil efek sinergistik berada pada temperatur operasi 450 °C dan 550 °C dengan kenaikan hasil masing-masing adalah 20,475 % dan 16,575 %.

Kata kunci: co-pirolisis; efek sinergistik; oli bekas; polipropilen; sampah plastik

PENDAHULUAN

Berdasarkan Badan Pusat Statistik Indonesia (2020) menunjukkan jumlah sampah yang terangkut per hari pada tahun 2019 yang terdapat di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Yogyakarta tercatat sebesar 252,95 ton. Dengan rincian jumlah sampah organik 154,6 ton dan jumlah sampah anorganik 98,35 ton. Sampah plastik yang masuk ke dalam jenis non organik memiliki persentase sebanyak 14 % dengan jumlah terbanyak yaitu bungkus makanan atau kemasan kemudian menyusul jenis kantong kresek atau kantong plastik (Purwaningrum, 2016). Dengan demikian jumlah sampah plastik yang ada di Yogyakarta pada tahun 2019 mencapai 13,769 ton.

Berdasarkan (Praputri et al., 2016) mengenai komposisi umum sampah plastik maka dapat

dilakukan perhitungan jenis polipropilen yang terdapat di Yogyakarta tahun 2019 yaitu sebesar 2,2 ton sampah plastik polipropilen.

Akibat penggunaan kendaraan yang meningkat juga akan meningkatkan konsumsi bahan bakar. Kendaraan bermotor membutuhkan bahan bakar minyak sebagai sumber energi yang kemudian akan dikonversi menjadi tenaga untuk dapat menggerakkan kendaraan. Bahan bakar minyak didapatkan dengan waktu proses pembentukan yang sangat lama di alam dan termasuk dalam jenis energi yang bukan terbarukan dengan jumlah yang terbatas (Wiratmaja, 2010).

Menurut ESDM (2021) ketersediaan bahan bakar minyak di Indonesia hanya mencapai 9,5 tahun ke

depan atau mencapai pertengahan tahun 2030. Jumlah yang dapat diperkirakan memenuhi sebagai cadangan tanpa mengasumsikan adanya penemuan cadangan migas yang baru hanya mencapai 4,17 miliar barel dengan 2,44 miliar barel yang terbukti dan 2,44 miliar barel yang belum terbukti sebagai cadangan.

Meningkatnya jumlah kendaraan bermotor di Yogyakarta menunjukan angka 1.575.074 unit untuk total kendaraan bermotor tercatat pada tahun 2019 (Badan Pusat Statistik Yogyakarta, 2020). Peningkatan jumlah ini tercatat dari tahun 2017 yang menunjukkan nilai kendaraan berdasarkan jenisnya meningkat dari tahun ke-tahun. Data menunjukkan tahun 2019 seluruh jenis kendaraan mengalami peningkatan unit yang beroperasi di Daerah Istimewa Yogyakarta.

Jika diasumsikan jumlah oli bekas yang menguap akibat pemakaian kendaraan adalah 20 % (Virgiawan, 2021) maka didapatkan jumlah oli bekas pada pengoperasian kendaraan dalam satu tahun didapatkan volume sebesar 2.132.182 liter.

Ditinjau dari bahan bakunya, plastik dan oli terbuat dari material yang sama yaitu minyak bumi. Hal ini berarti terdapat kandungan energi pada plastik dan oli yang dapat dimanfaatkan. Proses daur ulang merupakan teknologi yang tepat untuk dapat menghasilkan energi yang diharapkan berfungsi sama dengan bahan bakar dari minyak bumi. Produk dari proses ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif di samping itu, proses daur ulang sampah plastik dan oli bekas juga dapat mengatasi permasalahan sampah yang menimbulkan efek negatif bagi lingkungan.

Oli bekas memiliki nilai konduktivitas termal yang cukup tinggi dibandingkan dengan udara nilainya di atas 0,132 W/m.°C (Nugroho, 2009). Dengan

penambahan oli bekas sebagai campuran dalam proses pirolisis diharapkan mampu mengisi celah antara plastik dan akan meneruskan panas secara cepat ke dalam bahan baku plastik di dalam reaktor.

Sampah plastik bersama dengan oli bekas akan diolah menggunakan metode eksperimen pirolisis campuran menggunakan alat pirolisis berskala laboratorium yang dilakukan pada tekanan atmosfer dan tanpa menggunakan katalis. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh penggunaan perbedaan temperatur operasi, pengaruh perbedaan dimensi reaktor dan mengetahui efek sinergistik yang terjadi pada proses eksperimen pirolisis campuran sampah plastik dengan oli bekas.

Plastik terbentuk dari proses kimia yang menggabungkan molekul-molekul sederhana dengan berat molekul rendah (monomer) sehingga menjadi kelompok molekul besar (makromolekul) yang membentuk rantai panjang dengan struktur molekul yang disebut dengan polimer. Plastik memiliki penyusun utama berupa hidrokarbon yaitu senyawa yang terbentuk dari unsur karbon (C) dan unsur hidrogen (H) (Surono, 2013).

Aplikasi penggunaan produk plastik memiliki banyak aspek seperti yang paling banyak adalah pada bidang makanan dan minuman sebagai kemasan; bidang industri berupa alat dan suku cadang; bidang elektronik berupa isolator dan cover. Sehingga kandungan energi yang didapat dari plastik memiliki tingkatan nilai sendiri-sendiri tergantung dengan jenis plastik yang ada. Kandungan energi tersebut berupa nilai kalor yang mengindikasikan besarnya energi dalam satuan mega joule pada setiap satuan massa dalam satuan kilogram (MJ/kg).

Tabel 1. Kalkulasi volume oli bekas dalam setahun

Jenis Kendaraan	Jumlah (Unit)	Periode Penggantian Oli Dalam Setahun	Volume Penggantian (Liter)	Jumlah Volume Oli Bekas Dalam Setahun (Liter)
Mobil Penumpang	168.114	2	4	1.344.912
Bus	5.041	4	12,7	256.082,8
Truk	47.372	4	13,5	2.558.088
Sepeda Motor	1.354.547	6	0,8	6.501.826
			Jumlah (liter)	10.660.908

Tabel 2. Tabel nilai kalor dikandung beberapa jenis plastik dan bahan *lainnya* (Surono, 2013)

Jenis Plastik	Nilai Kalor (MJ/kg)
Polyethylene	46,3
Polypropylene	46,4
Polyvinyl chloride	18,0
Polystyrene	41,4
Coal	24,3
Petrol	44,0
Diesel	43,0
Heavy fuel oil	41,1
Light fuel oil	41,9
LPG	46,1
Kerosene	43,3

Plastik polipropilen memiliki nama lain polipropena yang mengartikan asal terbentuknya. Polipropena merupakan sebuah gabungan dari 2 kata yaitu poli yang berarti banyak dan propena yang merupakan monomer dari golongan senyawa hidrokarbon tak jenuh yang membentuk rantai panjang sehingga membentuk polimer. Propena adalah senyawa hidrokarbon tak jenuh yang termasuk dalam golongan alkena dengan ikatan rangkap 2 yaitu ikatan yang terbentuk antara atom karbon dengan 2 pasang ikatan elektron. Propena memiliki rumus molekul C_3H_6 yang kemudian dilakukan proses polimerisasi membentuk rantai molekul yang berulang dan sangat panjang sehingga menjadi polipropilen $(C_3H_6)_n$. Proses pengulangan dinyatakan dengan huruf n yang dapat mencapai $n = 7.500 - 18.000$ hingga terbentuk rantai panjang polimer (Sampurno, 2019)

Oli adalah cairan memiliki fungsi utama membentuk lapisan pelindung pada permukaan logam untuk dapat menjaga kinerja dari bagian-bagian mesin baik yang bergerak maupun diam. Dengan adanya lapisan yang dibentuk oleh oli pada permukaan logam, tingkat keausan pada logam akan dapat diatasi karena adanya pelumasan. Selama mesin bekerja minyak pelumas akan bersirkulasi membawa serta zat kontaminasi akibat gerakan mesin yang menghasilkan serbuk-atau gram-gram logam. Hal ini dapat menyebabkan penurunan kualitas dari minyak pelumas yang jika dalam penggunaan jangka panjang dapat menurunkan kinerja dari mesin. Kualitas ditandai dengan warna dari oli yang dapat dilihat dari *dipstick*. Semakin pekat warna oli menunjukkan kandungan zat pengotor di dalam oli semakin banyak.

Pirolisis termasuk dalam teknologi perengkahan (*cracking*) yang mereaksikan bahan baku secara proses kimia dengan menggunakan pemanasan. Pada umumnya pemanasan dilakukan dengan cara

endotermis yaitu terbentuknya proses melalui penyerapan panas. Proses perengkahan dari bahan baku berupa plastik terjadi dengan cara pemutusan rantai kimia dari polimer pada plastik menjadi monomer hidrokarbon yang kemudian dapat difungsikan sebagai sumber energi (Naimah dkk, 2012)

Menurut Danarto dkk (2010) pirolisis adalah proses dekomposisi yang menggunakan panas selama proses berlangsung yang dilakukan pada material sebagai bahan bakunya. Proses dilakukan tanpa menggunakan oksigen (*inert*) untuk menghasilkan gas atau uap dari material padat (*volatile*).

Tujuan dari pirolisis adalah untuk mendapatkan nilai kandungan energi dari dalam suatu bahan baku. Penggunaan bahan baku akan memengaruhi produk yang dihasilkan. Bahan baku yang digunakan dalam pirolisis mencakup banyak macam dengan meninjau pada material penyusunnya berupa hidrogen dan karbon. Bahan baku dalam proses pirolisis dapat berupa biomassa, polimer, batubara, dan lainnya.

Dalam tahapan akhir proses pirolisis perhitungan produk yang dihasilkan digunakan untuk mengetahui nilai efektivitas dari proses yang berlangsung. Perhitungan dilakukan dengan melakukan perbandingan jumlah masa produk dengan massa awal bahan baku yang dimasukkan ke dalam reaktor kemudian dikalikan dengan 100%. Hasil ini ditentukan dengan kesetimbangan massa dengan asumsi bahwa berat total semua produk sama dengan berat awal bahan baku.

$$Yield\ of\ Product\ (wt\%) = \frac{m_1(gr)}{m_0(gr)} \times 100\ \% \quad (1)$$

Keterangan:

m_1 : Massa produk yang dihasilkan (gram)

m_0 : Massa awal bahan baku yang digunakan (gram)

Variasi pirolisis dengan menggabungkan 2 bahan baku yang berbeda untuk kemudian diamati fenomena yang terjadi. Dalam proses kombinasi bahan baku salah satu indikasi keberhasilan dalam proses co-pirolisis adalah pada efek sinergistik yang dihasilkan. Efek sinergistik adalah interaksi yang dihasilkan dengan menggabungkan 2 jenis bahan dalam sebuah proses. Peningkatan sinergis dapat diketahui dengan melakukan kalkulasi kumulatif terhadap hasil produk campuran dalam satuan (wt%) yang dibandingkan dengan produk individu berdasarkan fraksi massa yang digunakan. Penentuan tingkat efek sinergis dilakukan dengan membandingkan hasil eksperimen dengan nilai kalkulasi (Y_{Cal}) yang didapatkan dengan menjumlahkan hasil masing-masing komponen yang dikalikan dengan fraksi massa yang digunakan.

$$Y_{Cal} = W_{oli} \cdot Y_{Oli} + W_{PP} \cdot Y_{PP} \quad (2)$$

Keterangan:

- Y_{Cal} : Hasil kal kulasi pirolisis tunggal masing-masing komponen (%)
 W_{oli} : Proporsi massa komponen bahan baku oli bekas
 Y_{oli} : Massa produk cair pirolisis tunggal oli bekas (gram)
 W_{PP} : Proporsi massa komponen bahan baku Plastik PP

Tingkat sinergistik didapatkan oleh perbedaan yang terjadi antara produk cair hasil eksperimen (Y_{Eks}) dengan nilai kalkulasi (Y_{Cal}). Hasil yang digunakan dalam menyatakan efek sinergistik ketika nilai yang didapatkan menunjukkan nilai positif. (Stančin dkk, 2021).

$$\Delta Y = Y_{Eks} - Y_{Cal} \quad (3)$$

Keterangan:

- ΔY : Nilai Efek Sinergistik (%)
 Y_{Eks} : Hasil eksperimen pirolisis campuran PP dan Oli (%)
 Y_{Cal} : Hasil kalkulasi pirolisis tunggal masing-masing komponen (%)

METODE

Pada proses penelitian menggunakan metode pengumpulan data secara sekunder dan primer. Data sekunder digunakan sebagai data untuk kajian pustaka yang berfungsi menguatkan argumen dalam penelitian. Data sekunder didapatkan dari pihak lain berupa data laporan yang telah tersedia dalam bentuk artikel, buku dan jurnal. Sedangkan untuk data primer didapat dengan melakukan pengambilan data secara mandiri oleh penulis dengan memberikan variabel dalam pelaksanaan prosesnya. Data primer didapat dengan mengamati dan mengambil data selama proses pirolisis menggunakan material yang dikombinasikan antara sampah plastik kemasan makanan jenis polipropilen (PP) dan limbah oli bekas untuk didapatkan hasil cair.

Metode analisis data yang digunakan berupa metode deskriptif dengan memproses dan menyajikan data melalui laporan yang disusun secara sistematis untuk memudahkan dalam penyampaian informasi.

Pengamatan dilakukan dengan mengambil data selama proses pirolisis berlangsung dengan melihat fenomena yang terjadi tiap satuan waktu yang digunakan. Waktu yang digunakan ialah tiap 15 menit yang dimulai sejak alat pirolisis dinyalakan.

Proses pirolisis campuran menggunakan 2 jenis variabel yaitu variabel terikat (*dependent variable*) dan variabel bebas (*independent variable*). Variable

terikat adalah variabel yang tetap berdasarkan tujuan utama dari penelitian. Variabel terkait yang digunakan ialah sampah plastik kemasan makanan yang termasuk dalam kelompok plastik polipropilen (PP) dan oli bekas dengan komposisi sampah plastik seberat 250 gram (62,5%) dan oli bekas seberat 150 gram (37,5%).

Variabel bebas adalah variabel yang ditujukan untuk mengetahui pengaruh yang dihasilkan berdasarkan pada variabel terkait. Variabel bebas yang digunakan ada 2 yaitu variasi dimensi reaktor dan variasi suhu operasi pirolisis. Variasi dimensi reaktor menggunakan diameter luar yang berbeda yaitu Ø 100 mm, Ø 80 mm dan Ø 60 mm hal ini berdasarkan pada diameter pipa stainless stell yang mana dimensinya terdiri dari beberapa diameter tersebut. Untuk variasi suhu operasi pirolisis menggunakan suhu 450 °C, 500 °C dan 550 °C.



Gambar 1. Variasi dimensi reaktor

HASIL

Data diperoleh dari proses pengujian *raw material* berupa sampah plastik polipropilen dan oli bekas yang dilakukan dalam reaksi pirolisis tunggal. Proses reaksi pirolisis tunggal pada sampah plastik polipropilen dan oli bekas dilakukan pada tekanan atmosfer dengan variabel bebas yang digunakan yaitu variasi temperatur 450 °C, 500 °C dan 550 °C pada reaktor 1 dengan dimensi Ø 100 mm x 450 mm.

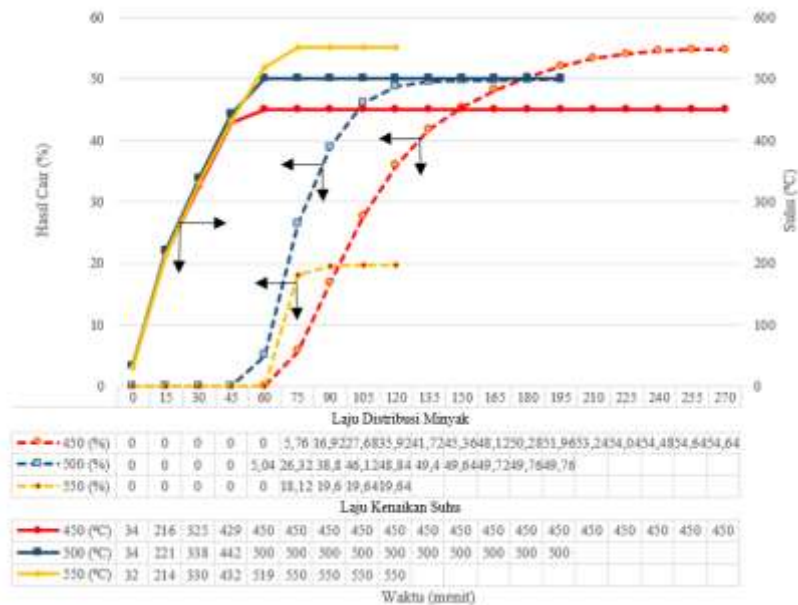
Proses pirolisis tunggal masing-masing bahan baku dilakukan menggunakan sampah plastik polipropilen bungkus makanan dengan massa 250 gram setiap prosesnya, sedangkan untuk pirolisis *raw material* limbah oli bekas digunakan massa 150 gram dalam setiap prosesnya. Hasil produk dihitung menggunakan rumus (1) sehingga dinyatakan dalam % massa yang dihasilkan.

Produk minyak paling banyak pada temperatur 450 °C yaitu sebanyak 54,64 % atau seberat 136,6 gram dari massa bahan baku total yang digunakan (250 gram) dengan waktu proses produksi selama 270 menit atau 4,5 jam dari awal proses mesin dinyalakan sampai produksi minyak telah berhenti. Temperatur 500 °C menghasilkan seluruh minyak sampai berhenti produksi tercatat pada menit ke 195. Produk minyak yang dihasilkan hanya mencapai 49,76 % berat yang

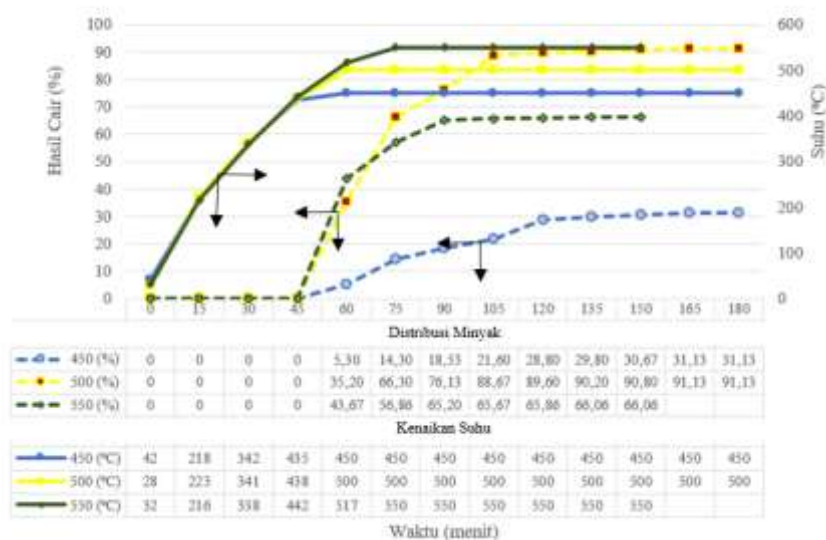
dihasilkan. Pada temperatur 550 °C yaitu sebesar 18,12 % dengan waktu produksi minyak tersingkat dan jumlah yang paling sedikit dibanding dengan suhu 450 °C dan 500 °C.

Temperatur 500 °C menghasilkan nilai produk cair 91,13 % atau dalam satuan massa sebesar 136,7 gram dengan waktu berakhirnya produksi minyak pada 180 menit atau 3 jam dari awal mesin pirolisis

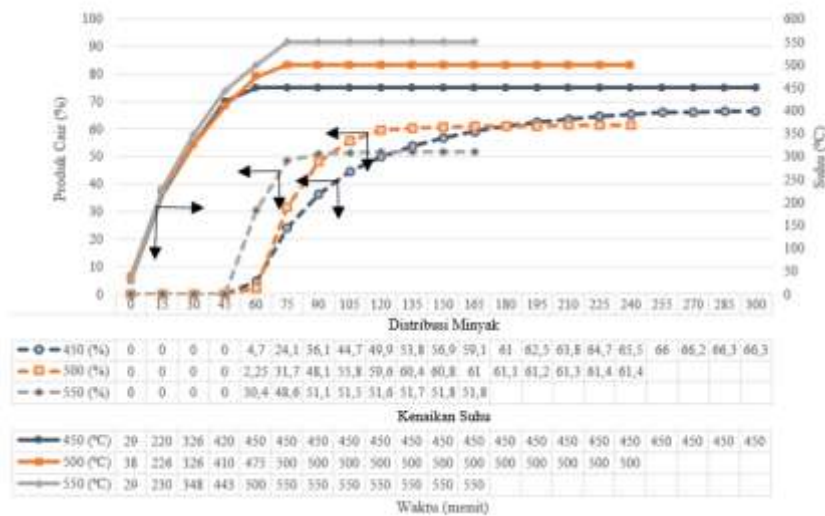
dioperasikan. Pada proses pirolisis 550 °C didapatkan sebesar 66,07 % atau 99,1 gram dari total bahan baku limbah oli bekas yang digunakan yaitu 150 gram. Pada temperatur operasi 450 °C proses pirolisis berjalan lambat, hal ini ditunjukkan pada proses produksi minyak dengan jumlah paling sedikit yaitu 31,13 % atau 46,7 gram dalam waktu capai hingga berhenti produksi sampai 180 menit.



Gambar 2. Grafik hasil cair pirolisis tunggal sampah plastik polipropilen



Gambar 3. Grafik hasil cair pirolisis tunggal oli bekas

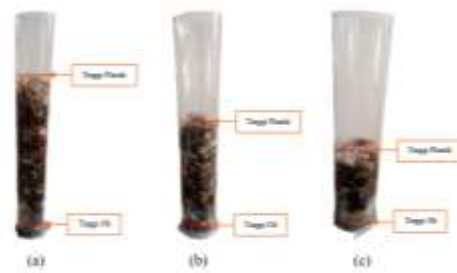


Gambar 4. Grafik hasil eksperimen co-pirolisis dalam variasi temperatur operasi

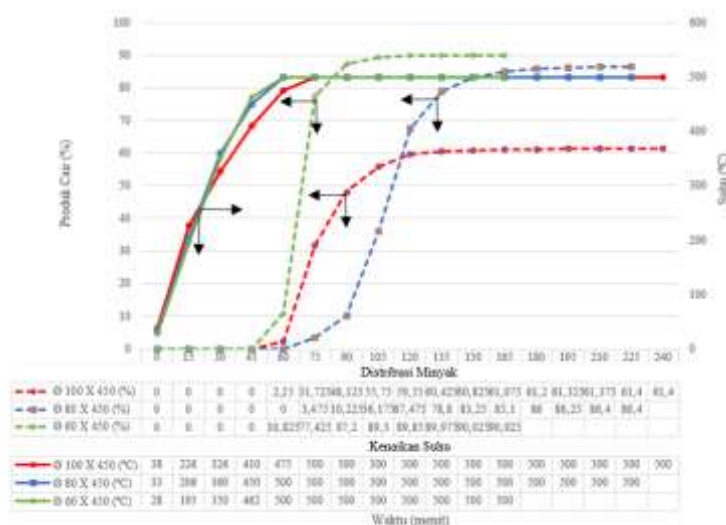
Produksi minyak pada temperatur 550 °C didapatkan 51,8 % atau sebesar 207,3 gram massa yang didapat di tabung pengumpul dengan waktu 165 menit. pada temperatur operasi 500 °C jumlah hasil produk minyak sebesar 61,4 % atau sebesar 245,6 gram dengan waktu 240 menit. Hasil pada tingkat temperatur 450 °C operasi produk minyak memiliki jumlah 66,3 % atau dalam massa didapat 265,2 gram. Waktu pengoperasian ini paling lama yang terjadi yaitu memerlukan 300 menit atau 5 jam dari mesin pirolisis dihidupkan sampai produksi minyak berhenti menetes dari tabung kondensor.

Pengoperasian pirolisis dilakukan pada temperatur 500 °C dan pada tekanan atmosfer menggunakan variasi dimensi tabung reaktor dengan

3 ukuran yaitu Ø 100 x 450 mm, Ø 80 x 450 mm dan Ø 60 x 450 mm.



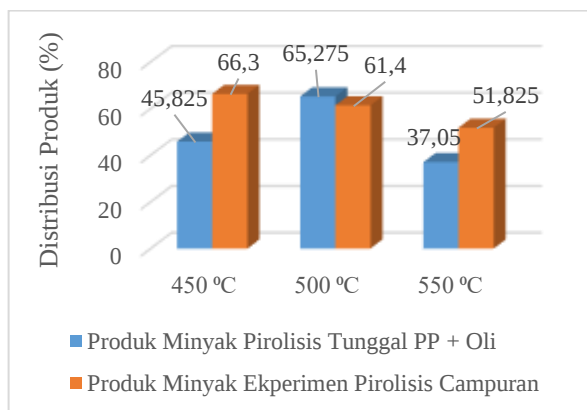
Gambar 5. Visualisasi kondisi bahan baku campuran di dalam reaktor (a) Ø 60 x 450 mm; (b) Ø 80 x 450 mm dan (c) Ø 100 x 450 mm



Gambar 6. Grafik hasil eksperimen co-pirolisis dalam variasi dimensi tabung reaktor

Dimensi Ø 100 x 450 mm memiliki jumlah hasil produk cair dengan persentase 61,4 % atau dalam massa menjadi 245,6 gram. dengan waktu proses yang paling lama yaitu 240 menit atau selama 4 jam proses. reaktor Ø 80 x 450 mm menghasilkan produk cair 86,4 % atau seberat 345,6 gram. Dengan waktu proses mencapai 225 menit atau 3 jam 45 menit. Dimensi tabung reaktor Ø 60 x 450 mm dengan persentase 90,025 atau dalam satuan massa sebanyak 360,1 gram. Perolehan minyak didapatkan dalam waktu operasi yang cukup singkat yaitu hanya 165 menit atau 3 jam kurang 15 menit.

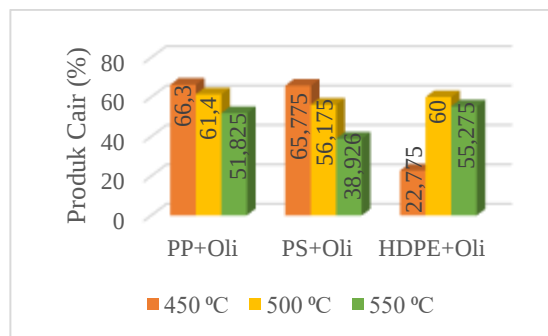
Penggunaan rumus (2) dan (3) diterapkan untuk menghasilkan nilai hasil perhitungan mengenai efek sinergistik. Nilai efek sinergistik dinyatakan dalam perolehan produk cair yang bernilai positif sehingga dapat mengetahui tingkat interaksi antar bahan baku yang dilakukan dalam kajian eksperimen pirolisis campuran.



Gambar 7. Diagram perbandingan hasil minyak untuk efek sinergistik

Tabel 3. Hasil kalkulasi, eksperimen dan efek sinergistik

Sampel		Hasil Produk Cair (%)		
		Y _{Cal}	Y _{Eks}	ΔY
PP	450 °C	34,15	34,15	0
Oli		11,675	11,675	0
PP	500 °C	31,1	31,1	0
Oli		34,175	34,175	0
PP	550 °C	12,275	12,275	0
Oli		24,775	24,775	0
PP/Oli	450 °C	45,825	66,3	20,475
PP/Oli	500 °C	65,275	61,4	-3,875
PP/Oli	550 °C	37,05	51,775	14,775



Gambar 8. Hasil minyak eksperimen pirolisis campuran variasi jenis plastik

PEMBAHASAN

Proses pirolisis tunggal sampah plastik PP penggunaan variasi temperatur menghasilkan produk cair yang menurun seiring dengan meningkatnya temperatur. Namun waktu yang diperlukan untuk produksi minyak adalah yang paling singkat dengan jumlah hasil minyak paling sedikit pula. Hal ini dipengaruhi oleh banyaknya uap hasil reaksi yang tidak dapat berubah wujud akibat kondensasi dari kondensor sehingga tetap pada wujud gas. Konsep dari kondensor adalah membuang kalor dari gas reaksi menggunakan media pendingin sehingga mampu berubah bentuk. Pengaruh tidak terjadinya kondensasi pada gas reaksi adalah temperatur yang tinggi, hal ini akan menghasilkan proses perengkahan termal yang cepat sehingga gas reaksi akan langsung keluar melewati kondensor tanpa sempat melakukan proses kondensasi.

Pada temperatur operasi 450 °C proses pirolisis berjalan lambat, hal ini ditunjukkan pada proses produksi minyak dengan jumlah paling sedikit yaitu 31,13 % atau seberat 46,7 gram dalam waktu capai hingga berhenti produksi sampai 180 menit. Sebagai perbandingan untuk suhu 500 °C produksi minyak yang dihasilkan sebanyak 91,13 %, selisih yang dihasilkan cukup banyak yaitu 60 % produk minyak. Sedangkan untuk temperatur 550 °C jumlah presentasi produk minyak didapatkan 66,07 %, nilai ini masih cukup rendah dibanding dengan pirolisis pada temperatur 500 °C. Dengan demikian dapat disimpulkan temperatur ideal untuk pirolisis limbah oli bekas untuk menghasilkan produk minyak yang banyak terdapat pada temperatur 500 °C.

Hal ini dipengaruhi oleh penggunaan temperatur yang tidak cukup tinggi pada suhu 450 °C untuk menguraikan bahan baku, hal ini terbukti dengan menaikkan suhu temperatur akan meningkatkan proses perengkahan yang lebih intensif untuk mendapatkan gas reaksi hidrokarbon (Syamsiro et al., 2018)

Proses pirolisis campuran dengan variasi temperatur mendapat produk minyak dengan volume terbanyak pada temperatur 450 °C hal ini didasari dengan komposisi bahan baku yaitu 250 gram untuk sampah plastik PP dan 150 gram untuk limbah oli bekas yang mana masing-masing bahan baku memiliki temperatur operasi yang optimal untuk menghasilkan minyak terbanyak pada pirolisis tunggal. Komposisi bahan baku untuk pirolisis tunggal, sampah plastik PP menempati posisi dominan untuk massanya dibanding dengan limbah oli bekas dan temperatur 450 °C juga merupakan temperatur operasi yang optimal di pirolisis tunggal sehingga menghasilkan minyak yang paling banyak di antara temperatur operasi lainnya.

Sedangkan pada temperatur 500 °C yang merupakan temperatur operasi optimal di pirolisis tunggal limbah oli bekas menghasilkan jumlah minyak yang lebih rendah dibanding temperatur operasi 450 °C pada eksperimen co-pirolisis dengan sampah plastik PP. hal ini dipengaruhi oleh komposisi bahan baku yang digunakan dengan jumlah massa sampah plastik PP lebih banyak dibanding dengan oli bekas sehingga dalam proses dekomposisi termal sampah di temperatur operasi 500 °C limbah oli bekas menempati perannya sebagai penghasil minyak yang dominan, namun karena jumlah oli bekas yang tidak sama dengan sampah plastik PP maka jumlah minyak yang didapatkan di temperatur operasi 500 °C lebih rendah dibanding pada 450 °C.

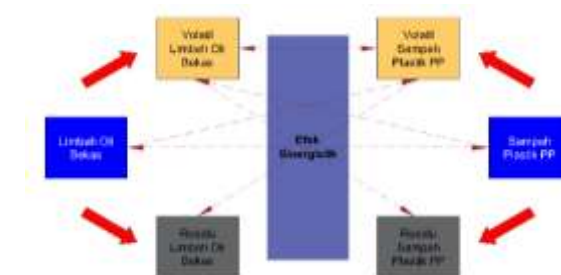
Peningkatan jumlah produksi minyak seiring dengan mengecilnya ukuran diameter hal ini dipengaruhi oleh kondisi bahan baku yang menempati bagian dalam tabung reaktor.

Semakin tinggi bahan baku yang terbentuk menghasilkan luas permukaan yang semakin meningkat. Hal ini akan menyebabkan bahan baku menerima panas dari tungku pemanas lebih banyak serta transfer panas yang terjadi akan lebih cepat ke dalam pusat bahan baku karena diameter yang kecil. Dengan transfer panas yang lebih banyak akibat luasan bahan baku proses dekomposisi bahan baku juga semakin cepat dengan jumlah yang banyak pula.

Efek sinergistik tercatat memiliki nilai tertinggi pada temperatur operasi 450 °C sebesar 20,475 % kemudian disusul dengan hasil pada temperatur operasi 550 °C dengan hasil 14,775 %. Namun pada temperatur operasi 500 °C tidak menunjukkan efek yang terjadi, nilai produk eksperimen co-pirolisis lebih rendah 3,875 % dari kalkulasi jumlah produk minyak pirolisis tunggal. Hal ini dipengaruhi oleh perbedaan temperatur operasi proses yang optimal dari sampah plastik PP dan oli bekas. Pembuktian didapatkan dengan jumlah produk tertinggi pirolisis tunggal sampah plastik PP pada temperatur operasi 450 °C dengan hasil cair 136,6 gram dan untuk pirolisis

tunggal limbah oli bekas hasil produk tertinggi berada di temperatur operasi 500 °C dengan hasil cair sebesar 136,7 gram.

Hasil cair yang menurun seiring dengan bertambahnya temperatur operasi yang digunakan pada pirolisis campuran. Sedangkan untuk gas berbanding terbalik dengan hasil cair hal ini disebabkan reaksi perengkahan yang lebih intensi pada suhu yang lebih tinggi sehingga rantai hidrokarbon yang panjang akan terdekomposisi menjadi hidrokarbon rantai pendek sehingga produk minyak diubah menjadi gas (Syamsiro et al., 2020)



Gambar 9. Kemungkinan efek sinergistik yang terjadi pada co-pirolisis

Kemungkinan efek sinergis yang terjadi pada proses co-pirolisis sampah plastik PP dan oli bekas. Saat proses pirolisis dijalankan limbah oli bekas memberikan efek transfer panas yang lebih cepat sehingga akan melelehkan sampah plastik PP terlebih dahulu sebelum memulai proses *cracking* bersama. Saat proses *cracking* berlangsung masing-masing bahan baku akan berubah wujud menjadi gas dan karena dilakukan bersamaan maka gas akan saling memberikan efek berupa penambahan massa gas.

Gas hasil proses craking campuran dipengaruhi oleh jenis bahan baku yang digunakan waktu tinggal uap panas, pemisahan char/residu, dan kandungan abu (Savira & Hendriyanto, 2018)

Untuk gas sampah plastik PP akan menambah massa pada volatile oli bekas dan untuk gas oli bekas akan menambah massa pada volatil sampah plastik PP sehingga masing-masing volatil akan menghasilkan efek berupa massa yang bertambah. Dengan pengaruh cepatnya waktu perpindahan panas yang terjadi maka residu masing-masing bahan baku akan sedikit ikut terbawa gas reaksi sehingga akan meninggalkan sisa residu yang ada di dalam reaktor.

Hasil dari pirolisis campuran sampah plastik dan oli bekas berupa minyak yang terbentuk akibat proses kondensasi, gas ringan yang tidak terkondensasi dan residu berupa padatan yang tersisa pada reaktor. Pirolisis menghasilkan volatile gas menggunakan panas dengan memisahkan titik didih dan berat molekul pada bahan baku yang

digunakan, perbandingan yang lebih berat akan tertinggal sebagai bagian dari residu padat (Cahyono et al., 2021).

SIMPULAN

Peningkatan temperatur operasi pirolisis akan mengurangi tingkat persentase distribusi produk cair yang terjadi, hasil distribusi produk cair terbanyak pada temperatur operasi 450 °C dengan persentase 66,3 % atau dalam satuan massa menjadi 265,2 gram.

Penggunaan dimensi tabung reaktor dengan diameter yang semakin kecil akan meningkatkan persentase hasil minyak yang terjadi selama proses co-pirolisis berlangsung, hasil produk cair tertinggi pada penggunaan tabung reaktor Ø 60 x 450 mm yaitu sebesar 90,025 % atau dalam satuan massa menjadi 360,1 gram.

Efek sinergistik yang terbentuk pada pengoperasian temperatur 450 °C sebesar 20,475 % dan pada pengoperasian temperatur 550 °C sebesar 16,575 % dibandingkan dengan kalkulasi jumlah produk cair pada pirolisis tunggal masing-masing bahan baku. Jenis Plastik PP menghasilkan produk minyak dan efek sinergistik terbanyak dibanding dengan jenis plastik HDPE dan PS pada proses co-pirolisis dengan oli bekas.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik Indonesia. (2020). *Statistik Lingkungan Hidup Indonesia Air dan Lingkungan*. Badan Pusat Statistik Lingkungan Hidup Indonesia.
- Badan Pusat Statistik Yogyakarta. (2020). *Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Dalam Rangka 2020 (Bidang Integrasi Pengolahan dan Diseminasi Statistik (ed.))*. CV. Lontar Mediatama. <https://doi.org/1102001.34>
- Cahyono, M. S., Prasetya, A., & Syamsiro, M. (2020). *Influence of Residence Time to The Properties of Liquid Product From Plastic Waste Pyrolysis*. Multitek Indonesia. Vol. 14. No. 1. 34-40.
- Danarto, Y. C., Utomo, P. B., & Sasmita, F. (2010). *Pirolisis Limbah Serbuk Kayu dengan Katalisator Zeolit*. 1-6.
- ESDM. (2021). *Mentri ESDM: Cadangan Minyak Indonesia Tersedia untuk 9,5 tahun dan Cadangan Gas 19,9 Tahun*. Kementrian Energi Dan Sumber Daya Mineral. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/menteri-esdm-cadangan-minyak-indonesia-tersedia-untuk-95-tahun-dan-cadangan-gas-199-tahun>
- Naimah, S., Nuraeni, C., Rumondang, I., Nugroho, B., & Ermawati, R. (2012). *Dekomposisi Limbah Plastik Polypropylene Dengan Metode Pirolisis*. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 13(3), 226-229.
- Nugroho, M. A. (2009). *Analisa karakteristik viskositas dan konduktivitas termal oli mpx2 baru dan oli mpx2 bekas beserta pengaruhnya terhadap kinerja motor honda motor beat 110 cc tahun 2009* [Universitas Muhammadiyah Yogyakarta]. <http://repository.umsida.ac.id/handle/123456789/17608>
- Praputri, E., Sari, E., & Martynis, M. (2016). *Pengolahan Limbah Plastik Polypropylene Sebagai Bahan Bakar Minyak (BBM) Dengan Proses Pyrolysis*. *Seminar Nasional Teknik Kimia*, 159-168.
- Purwaningrum, P. (2016). *Upaya Mengurangi Timbunan Sampah Plastik di Lingkungan*. *Indonesian Journal Of Urban And Environmental Technology*, 8(2), 141. <https://doi.org/10.25105/urbanenvirotech.v8i2.1421>
- Sampurno, R. B. (2019). *Aplikasi Polimer Dalam Industri Kemasan*. *Jurnal Sains Materi Indonesia*.
- Savira, F. L., & Hendriyanto, O. (2018). *Pirolisis Sampah Plastik Sebagai Bahan Bakar Alternatif Dengan Penambahan Sampah Ranting*. *Jurnal Envirotek*, 9(2), 1-6.
- Stančin, H., Šafář, M., Růžicková, J., Mikulčić, H., Raclavská, H., Wang, X., & Duić, N. (2021). *Co-pyrolysis and synergistic effect analysis of biomass sawdust and polystyrene mixtures for production of high-quality bio-oils*. *Process Safety and Environmental Protection*, 145(August), 1-11.
- Surono, U. B. (2013). *Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak*. *Jurnal Teknik*, 3, 32-40.
- Syamsiro, M., Mathias, D. Y., Saptoadi, H., Sawitri, D. R., Nizami, A. S., & Rehan, M. (2018). *Pyrolysis of Compact Disc (CD) Case Wastes to Produce Liquid Fuel as a Renewable Source of Electricity Generation*. *Energy Procedia*, 145, 484-489. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.04.096>
- Syamsiro, M., Mufrodi, Z., Rafly, R., & Machmud, S. (2020). *Energy Recovery from Food Packaging Plastics by Thermal and Catalytic Pyrolysis Processes*. *Universal Journal of Mechanical Engineering*, 8(1), 51-58. <https://doi.org/10.13189/ujme.2020.080107>
- Virgiawan, N. A. (2021). *Produksi Bahan Bakar Minyak Dari Limbah Plastik Polistirena dan Oli Bekas dengan Teknologi Pirolisis*. Universitas Janabadra.
- Wiratmaja, I. G. (2010). *Pengujian Karakteristik Fisika Biogasoline Sebagai Bahan Bakar Alternatif Pengganti Bensin Murni*. 4(2).