ANALISIS PENGARUH LAJU PEMANASAN, SUHU DAN UKURAN KATALIS PADA HASIL PIROLISIS LIMBAH PLASTIK POLYPROPYLENE

Faza fauzan Karisno¹, Aichal Sunenda², Maya R. Musadi³

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional
Jl. PH.H. Mustofa No.23, Neglasari, Cibeunying Kaler, Kota Bandung, Jawa Barat
40124

Email: aichalsuhenda@gmail.com

Received | Revised | Accepted DD MM YYYY

ABSTRAK

Sumber bahan bakar fosil yang berupa minyak bumi semakin hari mengalami penurunan jumlah dan membutuhkan waktu yang lama untuk meregenerasinya. Selain itu, kegiatan manusia menghasilkan limbah yang pada umumnya belum dimanfaatkan kembali menjadi produk yang berguna. Misalnya limbah plastik, yang keberadaannya sering kali menjadi penyebab masalah lingkungan. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengkonversikan limbah plastik menjadi suatu bahan bakar cair dengan menggunakan proses pirolisis katalitik sehingga limbah plastik dapat menjadi substitusi energi. Pada penelitian ini dilakukan analisis secara statistik dengan metode ANOVA dan analisis regresi untuk mengetahui pengaruh laju pemanasan, suhu dan ukuran katalis terhadap hasil pirolisis katalitik limbah plastik polypropylene yang berupa yield, densitas, viskositas dan nilai kalor. Data yang digunakan adalah data penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Jonathan dan Yohanes pada tahun 2018, dengan variasi laju pemanasan sebesar 3,80°C/menit dan 11,41°C/menit, suhu 300°C, 350°C dan 400°C, serta ukuran katalis 100, 200, 300 dan 400 mesh. Didapatkan bahwa laju pemanasan berpengaruh pada Yield, densitas, dan viskositas. Kemudian suhu berpengaruh pada nilai kalor pada laju pemanasan 3,80°C/menit. Sedangkan ukuran katalis tidak berpengaruh pada yield, densitas, viskositas dan nilai kalor. Berdasarkan analisis regresi diperoleh persamaan yang menyatakan hubungan antara laju pemanasan, suhu dan ukuran katalis terhadap yield, densitas, viskositas dan nilai kalor hasil pirolisis katalitik.

Kata kunci: Anova, analisis regresi, pirolisis katalitik, limbah plastik

ABSTRACT

Sources of fossil fuels are decreasing in number and it takes a long time to regenerate. However, human activities produce waste that in general has not been reused into useful products. For example, plastic waste often the cause of environmental problems. Several studies have been carried out to convert plastic waste into a liquid fuel using a catalytic pyrolysis process so that plastic waste can be an energy substitute. This study, statistical analysis was carried out to determine the effect on the results of catalytic pyrolysis using ANOVA and regression by comparing the parameters from previous studies the effect of heating rate, temperature and size of the catalyst so that it can be known which parameters can affect the yield, density, viscosity and heat value. The data used is previous research data conducted by Jonathan and Yohanes in 2018. Variation of heating rate 3.80 °C/m and 11.41 °C/m, temperature at 300, 350 and 400 C, variation of catalyst size 100, 200, 300 and 400 mesh. It was obtained that the rate of heating had a significant effect on yield, density, and viscosity. Then the temperature has a significant effect on the heat value at a heating rate of 3.80 °C/m. The catalyst size obtained insignificant results on yield, density, viscosity and heat value. The regression analysis obtained equations that stete the relationship between the heating rate, temeperture and size of catalyst to yield, density, viscosity and heat value of catalytic pyrolysis results.

Keywords : Anova, regression analysis, catalytic pyrolysis, plastic waste

1. PENDAHULUAN

Keberadaan limbah plastik di lingkungan sekitar selalu menimbulkan masalah baik masalah yang berkaitan dengan kesehatan lingkungan ataupun keindahan estetik. Penyebab ini semua adalah kandungan senyawa karbon yang terdapat pada plastik yang tidak mudah untuk didegradasi, sehingga menimbulkan penumpukan seiring dengan penggunaannya di kalangan masyarakat yang tidak dapat dihindari. Berkaitan dengan hal tersebut telah banyak dilakukan penelitian untuk mencari solusi dari menumpuknya sampah plastik ini, agar dapat dijadikan barang atau sesuatu yang memiliki nilai tambah dengan memanfaatkan kandungan senyawa karbon didalamnya.

Pada penelitian rujukan yang digunakan sebagai data sekunder yaitu hasil penelitian Jonathan dan Yohanes (2018). Pada penelitian terdahulu digunakan plastic polypropylene dengan parameter laju pemanasan 3,80 °C/m dan 11,41 °C/m, suhu pada 300, 350 dan 400 °C dan ukuran katalis 100, 200, 300 dan 400 mesh. Katalis yang digunakan berupa zeolite alam.

Melansir dari Kementerian Lingkungan Hidup, setiap hari penduduk Indonesia menghasilkan 0,8 Kg sampah per orang atau secara total sebanyak 189 ribu ton sampah/hari. Dari jumlah tersebut, 15% berupa sampah plastik atau sejumlah 28,4 ribu ton sampah plastik/hari. Hal ini yang menyebabkan jumlah penggunaan plastik meningkat terus menerus. Kemudian dari penelitian sebelumnya masih belum diketahui secara statistik pengaruh laju pemanasan, suhu dan ukuran katalis terhadap hasil pirolisis maka pada penelitian ini dipelajari bagaimana pengaruh dari ketiga faktor tersebut terhadap densitas, viskositas, yield dan nilai kalor. Metode analisis yang digunakan pada penelitian ini adalah ANOVA Two-ways dengan tiga faktor.

2. METODOLOGI

2.1 Metode Pengumpulan Data

Pada penelitian ini dilakukan analisis statistika untuk mengetahui pengaruh laju pemanasan, suhu dan ukuran katalis pada produk cair hasil pirolisis katalitik limbah plastik polypropylene. Data yang digunakan untuk analisis adalah data sekunder yang diambil dari penelitian Jonathan dan Yohanes (2018). Data sekunder yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Sekunder Hasil Pirolisis Katalitik Limbah Plastik Polypropylene

Laju Pemanasan (°C/menit)	Suhu (°C)	Ukuran Katalis (mesh)	Yield (%)	Densitas (g/ml)	Viskositas (cP)	Nilai Kalor (Joule/gram)
11,41	300	100	43,03	0,879	2,04	
	300	200	43,54	0,879	2,44	
	300	300	45,49	0,873	1,84	
	300	400	44,96	0,872	1,79	
	350	100	49,90	0,879	2,11	
	350	200	51,57	0,883	2,09	
	350	300	56,86	0,878	1,85	
	350	400	59,39	0,875	1,75	

Analisis Pengaruh Laju Pemanasan, Suhu dan Ukuran Katalis pada Hasil Pirolisis Limbah Plastik Polypropylene

Tabel 1. Data Sekunder Hasil Pirolisis Katalitik Limbah Plastik Polypropylene (Lanjutan)

Laju Pemanasan (°C/menit)	Suhu (°C)	Ukuran Katalis (mesh)	Yield (%)	Densitas (g/ml)	Viskositas (cP)	Nilai Kalor (Joule/gram)
11,41	400	100	53,80	0,874	2,28	-
	400	200	45,06	0,872	1,61	
	400	300	52,15	0,867	1,64	
	400	400	51,35	0,871	1,91	
3,80	300	100	44,82	0,862	1,25	42107,325
	300	200	50,82	0,859	1,23	41031,7467
	300	300	43,48	0,867	1,34	42162,2012
	300	400	42,07	0,862	1,33	42064,4421
	350	100	69,46	0,862	1,36	42195,4329
	350	200	66,24	0,864	1,29	42134,9904
	350	300	64,55	0,865	1,33	42583,28
	350	400	55,09	0,866	1,32	42690,7063
	400	100	75,84	0,863	1,37	43002,6768
	400	200	66,03	0,864	1,42	43396,7429
	400	300	60,77	0,867	1,37	43090,81729
	400	400	71,13	0,863	1,25	43196,355

Sumber : (Saferiaga dan Chandra, 2018)

2.2 Metode Analisis Data

Uji Hipotesis digunakan untuk menguji kebenaran suatu pernyataan dan menyatakan kesimpulan dapat diterima atau ditolak dari pernyataan yang digunakan. Pernyataan sementara yang dibuat untuk diuji kebenarannya dinamakan dengan Hipotesis (Hypothesis). Tujuan Hipotesis adalah untuk menerapkan suatu dasar sehingga dapat mengumpulkan bukti yang berupa data – data dalam menentukan keputusan apakah menolak atau menerima dari pernyataan yang telah dibuat. Uji hipotesis juga dapat memberikan kepercayaan dalam pengambilan keputusan yang bersifat objektif.

Hipotesis yang diberikan yaitu :

- H_0 = Faktor laju pemanasan (A) / suhu (B) / ukuran katalis (C) tidak mempengaruhi secara signifikan terhadap densitas / viskositas / yield / nilai kalor produk pirolisis.
- H_1 = Faktor laju pemanasan (A) / suhu (B) / ukuran katalis (C) mempengaruhi secara signifikan terhadap densitas / viskositas / yield / nilai kalor produk pirolisis.

Langkah – langkah perhitungan ANOVA sebagai uji hipotesis :

1. Mengumpulkan data pengamatan sekunder
2. Menyusun tabel perhitungan dua arah untuk data sekunder
3. Menghitung nilai FK dengan rumus $\frac{(\sum_i \sum_j \sum_k \sum_l Y_{ijkl})^2}{n}$
4. Menghitung JK_p dengan rumus $(\sum_j \sum_k \sum_l (\sum_i Y_{ijkl})^2) / n - FK$

5. Menghitung nilai JK_A dengan rumus $(\sum_j(\sum_i\sum_k\sum_l Y_{ijkl})^2)/nbc - FK$
6. Menghitung nilai JK_B dengan rumus $(\sum_k(\sum_i\sum_j\sum_l Y_{ijkl})^2)/nac - FK$
7. Menghitung nilai JK_C dengan rumus $(\sum_l(\sum_i\sum_k\sum_j Y_{ijkl})^2)/nab - FK$
8. Menghitung nilai JK_{AB} dengan rumus $\frac{(\sum_j\sum_k(\sum_i\sum_l Y_{ijkl})^2)}{nc} - FK - JK_A - JK_B$
9. Menghitung nilai JK_{AC} dengan rumus $\frac{(\sum_j\sum_l(\sum_i\sum_k Y_{ijkl})^2)}{nb} - FK - JK_A - JK_C$
10. Menghitung nilai JK_{BC} dengan rumus $\frac{(\sum_l\sum_k(\sum_i\sum_j Y_{ijkl})^2)}{na} - FK - JK_B - JK_C$
11. Menghitung nilai JK_{ABC} dengan rumus

$$\frac{(\sum_j\sum_k\sum_l(\sum_i Y_{ijkl})^2)}{n} - JK_A - JK_B - JK_C - JK_{AB} - JK_{AC} - JK_{BC} - FK$$

Atau $K_P - JK_A - JK_B - JK_C - JK_{AB} - JK_{AC} - JK_{BC}$
12. Karena pada data percobaan, iterasi atau pengulangan hanya dilakukan satu kali saja, maka nilai dari JK_{ABC} adalah sama dengan nilai JK_G
13. Menghitung nilai dari JK_T dengan rumus $\sum_i\sum_j\sum_k\sum_l Y_{ijkl}^2 - FK$
14. Membuat tabel anova
15. Mencari nilai F_{tabel} dari tabel nilai f hitung dengan alpha 0,05
16. Membandingkan hasil F hitung dengan F tabel, apabila F_{hitung} lebih besar dari F_{tabel} maka faktor tersebut dapat dianggap signifikan dan dengan begitu H_0 ditolak

Dalam suatu studi, peneliti akan mengetahui hubungan antar variabel. Variabel yang mempengaruhi disebut variabel bebas sedangkan yang dipengaruhi disebut sebagai variabel tak bebas atau variabel terikat. Secara kuantitatif hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat dapat dimodelkan dalam suatu persamaan matematik, sehingga dapat diduga nilai suatu variabel terikat bila diketahui nilai variabel bebasnya. Persamaan matematik yang menggambarkan hubungan antara variabel bebas dan terikat sering disebut persamaan regresi.

Langkah - langkah yang digunakan untuk mencari persamaan regresi menggunakan metoda matrik pada penelitian ini:

1. Mengumpulkan data pengamatan sekunder
2. Menyusun matrik untuk data sekunder
3. Menentukan $Y = X \beta + \epsilon$ dengan rumus

Analisis Pengaruh Laju Pemanasan, Suhu dan Ukuran Katalis pada Hasil Pirolisis Limbah Plastik Polypropylene

$$y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_3 \end{pmatrix}, X = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & x_{21} & \dots & x_{k1} \\ 1 & x_{12} & x_{22} & \dots & x_{k2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{1n} & x_{2n} & \dots & x_{kn} \end{pmatrix}, \beta = \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \dots \\ \beta_k \end{pmatrix}, \varepsilon = \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \dots \\ \varepsilon_n \end{pmatrix}$$

4. Menentukan $(X'X)b = X'y$ dengan rumus

$$A = X'X = \begin{pmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_{1i} & \sum_{i=1}^n x_{2i} & \dots & \sum_{i=1}^n x_{ki} \\ \sum_{i=1}^n x_{1i} & \sum_{i=1}^n x_{1i}^2 & \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{2i} & \dots & \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{ki} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_{i=1}^n x_{ki} & \sum_{i=1}^n x_{ki}x_{1i} & \sum_{i=1}^n x_{ki}x_{2i} & \dots & \sum_{i=1}^n x_{ki}^2 \end{pmatrix}$$

$$g = X'y = \begin{pmatrix} g_0 = \sum_{i=1}^n y_i \\ g_1 = \sum_{i=1}^n x_{1i} y_i \\ g_k = \sum_{i=1}^n x_{ki} y_{ki} \end{pmatrix}$$

5. Menyatakan $Ab = g$

6. Menghitung b dengan rumus $b = A^{-1}g = (X'X)^{-1}X'y$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Laju Pemanasan Terhadap Yield, Densitas dan Viskositas

Tabel 2. Hasil perhitungan F (F-hitung) dan data F-tabel untuk pengaruh laju pemanasan terhadap yield, densitas dan viskositas

Variabel	F hitung	F table (0,05)	Analisis
Yield	30,92	5,99	Signifikan
Densitas	156,53	5,99	Signifikan
Viskositas	55,82	5,99	Signifikan

Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa laju pemanasan sangat berpengaruh terhadap yield, densitas dan viskositas. Laju pemanasan yang cepat menyebabkan suhu operasi pirolisis yang telah ditentukan tercapai dengan cepat, sehingga rantai panjang hidrokarbon plastik Polypropilene akan lebih cepat terpecah menjadi rantai hidrokarbon yang lebih pendek, ketika plastik polypropilene mendapatkan energy panas yang tinggi maka akan menjadi senyawa hidrokarbon yang memiliki rantai hidrokarbon lebih pendek dan berfasa gas. Gas hasil cracking tersebut akan terbentuk dalam waktu yang singkat. Sedangkan pada laju pemanasan yang lebih lambat, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu operasinya juga lebih lama, sehingga senyawa hidrokarbon plastik Polypropilene akan lebih lama terpecah. Gas hasil cracking akan dikondensasi menjadi fasa cair didalam kondensor yang menggunakan air kran sebagai fluida pendinginnya. Gas yang dihasilkan oleh laju pemanasan yang cepat maka akan menghasilkan gas yang lebih banyak sehingga membutuhkan laju fluida pendingin yang lebih besar atau suhu fluida pendingin yang lebih rendah sedangkan pada percobaan yang dilakukan di laboratorium laju alir dan suhu dari fluida dingin relatif konstan, dengan kondisi dari fluida dingin yang konstan tersebut akan berdampak pada yield yang dihasilkan, jika laju pemanasan yang digunakan lebih tinggi maka yield yang dihasilkan akan lebih sedikit dibandingkan dengan laju pemanasan yang lebih rendah, karena pada laju pemanasan yang tinggi justru akan lebih banyak gas yang terbuang, gas tersebut tidak terkondensasi pada kondensor karena fluida dingin yang digunakan pada bagian kondensor memiliki kondisi yang terbatas.

3.2 Pengaruh Suhu Terhadap Yield, Densitas dan Viskositas

Tabel 3 Hasil perhitungan F (F-hitung) dan data F-tabel untuk pengaruh suhu terhadap yield, densitas dan viskositas

Variabel	F hitung	Ftable (0,05)	Analisis
Yield	32,30	5,14	Signifikan
Densitas	6,02	5,14	Signifikan
Viskositas	0,13	5,14	Tidak Signifikan

Analisis Pengaruh Laju Pemanasan, Suhu dan Ukuran Katalis pada Hasil Pirolisis Limbah Plastik Polypropylene

Hasil perhitungan statistic menggunakan metode anova menunjukkan bahwa pengaruh suhu terhadap yield dan densitas diperoleh hasil yang signifikan. Suhu pada proses pirolisis ini menjadi penting karena energi yang memicu adanya reaksi perengkahan adalah suhu. Semakin besar energi yang diberikan kepada sistem berupa panas yang dideteksi dengan kenaikan suhu maka reaksi perengkahan juga akan lebih banyak terjadi. Semakin tinggi suhu yang diberikan, maka semakin tinggi juga kemungkinan reaksinya terjadi. Apabila reaksi yang terjadi semakin tinggi maka yield dari proses akan meningkat. Peningkatan suhu yang diberikan akan meningkatkan adanya reaksi perengkahan sehingga dapat memutuskan ikatan-ikatan hidrokarbon rantai panjang menjadi lebih pendek. Pada hidrokarbon dengan rantai yang lebih pendek akan memiliki nilai densitas yang lebih kecil dibandingkan hidrokarbon dengan rantai karbon yang lebih panjang. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan suhu yang semakin tinggi akan memberikan dampak perengkahan yang lebih banyak. Dengan begitu adanya kenaikan suhu operasi akan secara signifikan berpengaruh terhadap hasil akhir dari pirolisis. Dengan derajat kepercayaan 95% dapat dilihat berdasarkan pengaruh suhu terhadap viskositas bahwa nilai F hitung lebih kecil dari F tabel maka dapat disimpulkan bahwa suhu tidak mempengaruhi viskositas secara signifikan. Hal ini dapat terjadi karena adanya pengaruh pengotor yang mendominasi terhadap hasil viskositas, senyawa pengotor dapat dihasilkan pada saat proses pirolisis berlangsung. Nilai viskositas menjadi tidak jauh berbeda sehingga adanya molekul pengotor dapat mengganggu terhadap hasil kualitas produk cair pirolisis. Untuk menghilangkan senyawa pengotor maka perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut seperti pemurnian dengan cara distilasi.

3.3 Pengaruh Ukuran Katalis Terhadap Yield, Densitas dan Viskositas

Tabel 4 Hasil perhitungan F (F-hitung) dan data F-tabel untuk pengaruh ukuran katalis terhadap yield, densitas dan viskositas

Variabel	F hitung	Ftable (0,05)	Analisis
Yield	0,42	4,76	Tidak Signifikan
Densitas	0,91	4,76	Tidak Signifikan
Viskositas	1,11	4,76	Tidak Signifikan

Katalis digunakan agar proses cracking berlangsung lebih baik, ukuran katalis menentukan luas perpindahan panas saat proses cracking terjadi, semakin kecil ukuran suatu katalis maka luas perpindahan panas akan semakin besar sehingga proses cracking plastik Polypropilene akan lebih optimal jika menggunakan katalis dengan ukuran yang lebih kecil. Ukuran katalis tidak mempengaruhi Yield, Densitas maupun Viskositas. Hal tersebut dapat dikarenakan ukuran katalis tidak memiliki perbedaan yang jauh apabila ditinjau berdasarkan ukuran millimeter. Hasil perhitungan statistic yang tidak signifikan juga dapat disebabkan karena pada percobaan yang dilakukan oleh peneliti terdahulu katalis zeolite alam yang digunakan tidak diaktivasi. Proses aktivasi katalis merupakan proses untuk menjadikan katalis lebih aktif. Proses aktivasi katalis bertujuan untuk membersihkan katalis dari pengotor agar pori-pori lebih terbuka dan meningkatkan aktivasinya. Penggunaan katalis dalam proses pirolisis memiliki persyaratan utama yaitu luas permukaan yang besar dan pori yang besar, salah satu metode yang dapat dilakukan agar luas permukaan dan volume pori katalis besar yaitu dengan cara aktivasi.

Luas permukaan katalis yang semakin besar ini akan berpengaruh terhadap kontak terjadinya reaksi karena semakin besar luas permukaan katalis maka semakin luas juga kontak antara katalis dengan suatu zat sehingga dapat diperoleh hasil produk pirolisis yang lebih baik. Namun ukuran katalis juga perlu dipertimbangkan karena apabila ukuran katalis yang digunakan sangat kecil maka akan memungkinkan butiran katalis ikut terbawa bersamaan dengan uap produk hasil pirolisis karena memiliki berat jenis katalis yang sangat ringan, sehingga dikhawatirkan produk hasil pirolisis justru mengandung katalis. Katalis juga berperan dalam berkurangnya energi aktivasi yang dibutuhkan oleh reaksi, karena katalis dapat mempercepat laju reaksi dengan cara menurunkan energi aktivasi. Pada reaksi yang berlangsung cepat maka energi aktivasinya rendah sedangkan jika reaksi yang berlangsung lebih lambat maka energi aktivasinya lebih besar.

3.4 Pengaruh Interaksi Laju Pemanasan & Suhu Terhadap Yield, Densitas dan Viskositas

Tabel 5 Hasil perhitungan F (F-hitung) dan data F-tabel untuk pengaruh interaksi laju pemanasan dan suhu terhadap yield, densitas dan viskositas

Variabel	F hitung	Ftable (0,05)	Analisis
Yield	8,04	5,14	Signifikan
Densitas	6,83	5,14	Signifikan
Viskositas	0,65	5,14	Tidak Signifikan

Hasil perhitungan statistic menggunakan metode anova dengan derajat kepercayaan 95%. Berdasarkan analisis statistika, interaksi laju pemanasan dan suhu mempengaruhi yield dan densitas hasil produk pirolisis, namun tidak mempengaruhi viskositas produk. Kesimpulan ini diperoleh dengan membandingkan nilai F hitung dan nilai F tabel. Interaksi antara laju pemanasan dan suhu mempengaruhi yield karena apabila laju pemanasan yang diberikan tetap dan suhu dinaikkan maka akan memperoleh yield yang lebih besar, begitupun apabila dilakukan dengan laju pemanasan berbeda kemudian suhu dinaikkan maka akan memperoleh yield yang lebih besar, perolehan yield ini berbanding lurus terhadap perubahan suhu yang diberikan dan berbanding terbalik terhadap laju pemanasan yang digunakan karena akan memberikan dampak terhadap gas hasil cracking yang tidak terkondensasi. interaksi ini memberikan perbedaan yang cukup besar terhadap yield. Keterkaitan antara laju pemanasan dengan suhu terhadap yield yang dihasilkan ini memiliki pengaruh yang sangat signifikan. Interaksi antara laju pemanasan dan suhu mempengaruhi densitas produk hasil pirolisis. Perbedaan yang cukup signifikan pada densitas. apabila suhu ditingkatkan dan laju pemanasan dibuat tetap maka densitas yang diperoleh lebih rendah. Namun apabila suhu yang diberikan tetap kemudian laju pemanasan ditingkatkan maka akan menghasilkan nilai densitas yang tinggi, hal ini disebabkan apabila laju pemanasan yang diberikan tinggi maka akan menghasilkan senyawa yang memiliki hidrokarbon berantai panjang dan jumlah jenis komponen zat yang lebih banyak sehingga akan menghasilkan densitas yang lebih besar. . Dengan demikian keterkaitan antara laju pemanasan dengan suhu terhadap densitas yang dihasilkan ini memiliki pengaruh yang sangat signifikan.

Analisis Pengaruh Laju Pemanasan, Suhu dan Ukuran Katalis pada Hasil Pirolisis Limbah Plastik Polypropylene

3.5 Pengaruh Laju Pemanasan & Ukuran Katalis Terhadap Yield, Densitas dan Viskositas

Tabel 6 Hasil perhitungan F (F-hitung) dan data F-tabel untuk pengaruh interaksi laju pemanasan dan ukuran katalis terhadap yield, densitas dan viskositas

Variabel	F hitung	Ftable (0,05)	Analisis
Yield	2,80	4,76	Tidak Signifikan
Densitas	6,17	4,76	Signifikan
Viskositas	1,17	4,76	Tidak Signifikan

Interaksi antara laju pemanasan dan ukuran katalis tidak memberikan dampak yang signifikan terhadap hasil yield dan viskositas. Interaksi ini lebih didominasi oleh katalis yang digunakan karena apabila hanya laju pemanasan yang digunakan maka akan memberikan dampak yang sangat berbeda terhadap hasil yield dan densitas, namun apabila interaksi dengan ukuran katalis dilakukan tidak memberikan hasil yang cukup berbeda terhadap yield dan densitas. Ketidak signifikan tersebut dikarenakan ukuran katalis yang digunakan tidak memiliki perbedaan yang terlalu besar apabila di konversi menjadi ukuran millimeter. Kemudian hasil yang tidak signifikan ini kemungkinan dapat disebabkan oleh adanya senyawa lain yang bereaksi dalam sistem reaktor pirolisis.

3.6 Pengaruh Interaksi Suhu & Ukuran Katalis Terhadap Yield, Densitas dan Viskositas

Tabel 7 Hasil perhitungan F (F-hitung) dan data F-tabel untuk pengaruh interaksi suhu dan ukuran katalis terhadap yield, densitas dan viskositas

Variabel	F hitung	Ftable (0,05)	Analisis
Yield	1,15	4,28	Tidak Signifikan
Densitas	0,52	4,28	Tidak Signifikan
Viskositas	0,54	4,28	Tidak Signifikan

Hasil perhitungan anova menunjukkan bahwa yield, densitas dan viskositas menghasilkan nilai yang tidak signifikan. interaksi ini pengaruh ukuran katalis lebih mendominasi dibandingkan dengan pengaruh suhu. Suhu pada proses pirolisis ini menjadi penting karena energi yang memicu adanya reaksi perengkahan adalah suhu. Semakin besar energi yang diberikan kepada system berupa panas yang dideteksi dengan kenaikan suhu maka reaksi perengkahan juga akan lebih banyak terjadi. Meskipun suhu dan katalis memegang peranan penting pada terjadinya reaksi, menurut hasil perhitungan anova didapatkan bahwa interaksi diantara keduanya memberikan hasil yang tidak signifikan pada semua variabel yang diamati yaitu yield, densitas, dan viskositas. Dengan ukuran katalis yang tidak jauh berbeda dan belum diaktivasi juga dapat menyebabkan interaksi ini lebih didominasi oleh pengaruh variasi ukuran katalis.

3.7 Pengaruh Laju Pemanasan, Ukuran Katalis & Suhu Terhadap Yield, Densitas dan Viskositas

Tabel 8 Hasil perhitungan F (F-hitung) dan data F-tabel untuk pengaruh interaksi laju pemanasan, suhu, dan katalis terhadap yield, densitas dan viskositas

Variabel	F hitung	Ftable (0,05)	Analisis
Yield	1	4,28	Tidak Signifikan
Densitas	1	4,28	Tidak Signifikan
Viskositas	1	4,28	Tidak Signifikan

Pada hasil perhitungan Anova yang digunakan, didapatkan hasil dimana tidak ada signifikansi dari laju pemanasan, suhu, dan ukuran katalis terhadap semua variabel yang diamati yaitu yield, viskositas, dan desitas. Ketiga interaksi dari perlakuan terhadap system ini seharusnya menghasilkan adanya kemungkinan terjadinya signifikansi dari hasil perhitungan anova. Apabila suatu percobaan dilakukan dengan melibatkan tiga pengaruh terhadap system dan tidak terjadi interaksi dalam percobaan tersebut maka dapat dinyatakan bahwa interaksi ketiganya adalah galat atau *error* dari percobaan itu sendiri (Walpole, 2012). Maka dengan perhitungan anova yang mengharuskan penghitung melakukan perbandingan antara nilai dari kuadrat tengah dari interaksi ketiga pengaruh yang dilakukan ini dengan jumlah kuadrat dari galat atau *error*-nya maka didapatkan hasil bernilai satu. Maka saat dilakukan perbandingan dengan nilai F-tabel, hasilnya menjadi tidak signifikan karena hasil F-hitung yang didapat lebih kecil dari F-tabel.

3.8 Pengaruh Suhu, Ukuran Katalis dan Interaksi Suhu dengan Ukuran Katalis Terhadap Nilai Kalor Pada laju Pemanasan 3,8 °C/menit

Tabel 9 Hasil perhitungan F (F-hitung) dan data F-tabel untuk pengaruh suhu, ukuran katalis dan interaksi suhu dan katalis terhadap Nilai kalor

Variabel	F hitung	F table (0,05)	Analisis
Nilai Kalor (Suhu)	12,81	5,14	Signifikan
Nilai Kalor (Ukuran Katalis)	0,75	4,76	Tidak Signifikan
Nilai Kalor (Interaksi Suhu dan Ukuran Katalis)	1	4,28	Tidak Signifikan

Analisis Pengaruh Laju Pemanasan, Suhu dan Ukuran Katalis pada Hasil Pirolisis Limbah Plastik Polypropylene

Pada hasil perhitungan Anova yang digunakan, didapatkan hasil dimana tidak ada signifikansi dari ukuran katalis kemudian interaksi suhu dan ukuran katalis terhadap variabel yang diamati yaitu nilai kalor. Kedua interaksi dari perlakuan terhadap system ini seharusnya menghasilkan adanya kemungkinan terjadinya signifikansi dari hasil perhitungan anova. Apabila suatu percobaan dilakukan dengan melibatkan dua pengaruh terhadap system dan tidak terjadi iterasi dalam percobaan tersebut maka dapat dinyatakan bahwa interaksi keduanya adalah galat atau error dari percobaan itu sendiri. Maka dengan perhitungan anova yang mengharuskan penghitung melakukan perbandingan antara nilai dari kuadrat tengah dari interaksi ketiga pengaruh yang dilakukan ini dengan jumlah kuadrat dari galat atau error-nya maka didapatkan hasil bernilai satu. Maka saat dilakukan perbandingan dengan nilai F-tabel hasilnya menjadi tidak signifikan karena hasil F-hitung yang didapat lebih kecil dari F-tabel. Diperoleh bahwa variable yang mempengaruhi nilai kalor hanya suhu. Pada variable ukuran katalis dan interaksi suhu dan ukuran katalis tidak mempengaruhi nilai kalor karena variasi yang diterapkan pada penelitian terdahulu memiliki ukuran yang relative tidak terlalu jauh sehingga menyebabkan ukuran katalis dan interaksi suhu dengan ukuran katalis tidak mempengaruhi nilai kalor.

3.9 Analisis Regresi Data Sekunder

Persamaan regresi yang menyatakan hubungan antara laju pemanasan, suhu dan ukuran katalis terhadap yield, densitas, viskositas dan nilai kalor. Persamaan regresi (4.1) sampai dengan (4.3) berlaku untuk rentang laju pemanasan 3,8 dan 11,41 °C/menit, suhu 300 sampai 400 °C dan ukuran katalis dari 100 sampai 400 mesh. Sedangkan persamaan (4.4) hanya berlaku untuk laju pemanasan 3,8 °C/menit. Persamaan regresi ini didapat menggunakan metode regresi matriks dan persamaan regresi yang diperoleh sebagai berikut:

$$Yield = 13,917 - 1,239 X_1 + 0,1474 X_2 - 0,006 X_3 \dots \dots \dots (1)$$

$$Densitas = 0,864 + 0,0015 X_1 - 0,000015 X_2 - 0,000006 X_3 \dots \dots (2)$$

$$Viskositas = 1,351 + 0,082 X_1 - 0,0005 X_2 - 0,0006 X_3 \dots \dots \dots (3)$$

$$Nilai\ kalor = 37548,04 + 13,302 X_2 - 1,703 X_3 \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan :

X_1 = Laju Pemanasan (°C/menit)

X_2 = Suhu (°C)

X_3 = Ukuran Katalis (mesh)

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis statistika pada data sekunder hasil penelitian Jonathan dan Yohanes (2018) dapat disimpulkan bahwa:

1. Analisis statistik metode anova *Two - Ways* pada hasil pirolisis plastik polipropilen (PP) menunjukkan bahwa:
 - a. Laju pemanasan mempengaruhi yield, densitas dan viskositas.
 - b. Suhu mempengaruhi yield dan densitas.

- c. Ukuran katalis tidak mempengaruhi yield, densitas dan viskositas.
 - d. Interaksi laju pemanasan dan suhu mempengaruhi yield dan densitas
 - e. Interaksi laju pemanasan dan ukuran katalis mempengaruhi densitas
 - f. Interaksi suhu dan ukuran katalis tidak mempengaruhi yield, densitas dan viskositas.
 - g. Interaksi laju pemanasan, suhu dan ukuran katalis tidak mempengaruhi yield, densitas dan viskositas.
2. Analisis statistik metode anova *Two- Ways* dengan laju pemanasan 3,80°C / menit hasil pirolisis plastik polipropilen (PP) menunjukkan bahwa:
 - a. Suhu mempengaruhi nilai kalor
 - b. Ukuran katalis tidak mempengaruhi nilai kalor
 - c. Interaksi suhu dan ukuran katalis tidak mempengaruhi nilai kalor
 3. Analisis regresi memperlihatkan bahwa faktor yang paling berpengaruh terhadap yield, densitas dan viskositas hasil pirolisis plastik polipropilen adalah laju pemanasan, dan faktor yang paling berpengaruh terhadap nilai kalor adalah suhu.

DAFTAR PUSTAKA

- Kementrian Lingkungan Hidup. (2018). *Timbunan sampah plastik berkurang*. (http://perpustakaan.menlhk.go.id/pustaka/home/index.php?page=detail_news&newsid=815) diakses pada tanggal 23 Februari 2021.
- Saferiaga, Y dan Chandra, J. (2018). Pengaruh suhu, ukuran katalis dan laju pemanasan pada pembuatan bahan bakar cair dari limbah plastik polypropylene (pp) dengan metode pirolisis katalitik. Itenas : Bandung.
- Walpole, M. (2017). Probability and statistics for Engineers and Scientists, London : Pearson Education Limited.