

Desain Dan Optimasi Proses Pirolisis Waste Oil Menggunakan Pendekatan RSM

Dody Sukoco^{1*}

¹Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat

*E-mail : dody.sukoco@mail.ugm.ac.id

Received: 14 Juli 2023; Received in revised form: 17 Juli 2023; Accepted: 12 Agustus 2023

Abstract

The management of abundant oil waste in companies that are spread over tin mining operational locations is still not optimal. The waste oil comes from engine oil and hydraulic oil. With proper management, waste oil will become useful and have added value. This waste can be processed into HSD (High Speed Diesel) fuel, so the company will get profit. The processing method used in waste treatment is the pyrolysis process. In this study, a pyrolysis tool was designed and built, and a test was carried out to obtain optimal parameters for the resulting fuel product using the Response Surface Methodology (RSM) method. The tests were carried out using activated Zeolite powder catalyst and 1000 ml of oil in each test. The indicators and parameters observed are the Quantity HSD and the percentage of Zeolite. The results of the optimization of the research process with the optimum formulation, namely setting temperature 285 °C, catalyst 109.8 gr, product yield 898.1 ml. Whereas in the use of Raw Material Hydraulic Oil, the optimum formulation is a temperature of 325.8 °C, 118.6 gr catalyst, and a product yield of 920 ml with a duration of 60 minutes.

Keywords: *Pyrolysis; Response surface methodology; Waste oil; Zeolite.*

Abstrak

Pengelolaan limbah oli yang melimpah di perusahaan yang tersebar di lokasi operasional penambangan timah masih belum optimal. Limbah oli tersebut berasal dari oli *engine* dan oli hidrolik. Dengan pengelolaan yang tepat, limbah oli akan menjadi bermanfaat dan memiliki nilai tambah. Limbah tersebut dapat diproses menjadi bahan bakar HSD (*High Speed Diesel*), sehingga perusahaan akan mendapatkan profit. Metode pengolahan yang digunakan dalam pengolahan limbah adalah dengan proses pirolisis. Pada penelitian ini, dirancang dan dibuat alat pirolisis, serta dilakukan uji coba alat untuk mendapatkan parameter yang optimal pada produk bahan bakar yang dihasilkan dengan menggunakan metode *Respon Surface Methodology* (RSM). Pengujian yang dilakukan menggunakan katalis serbuk Zeolit yang sudah diaktivasi dan oli sebanyak 1000 ml pada masing-masing pengujian. Indikator dan parameter yang diamati adalah *Quantity HSD* dan jumlah persentase Zeolit. Hasil optimasi dari proses penelitian tersebut dengan formulasi optimum yaitu setting suhu 285 °C, katalis 109,8 gr, hasil produk 898,1 ml. Sedangkan pada penggunaan *Raw Material Oil Hidrolik*, formulasi optimumnya yaitu suhu 325,8 °C, katalis 118,6 gr, dan hasil produk 920 ml dengan durasi 60 menit.

Kata kunci: *Pirolisis; Response surface methodology; Waste oil; Zeolite.*

1. PENDAHULUAN

Melimpahnya limbah oli yang pengelolaannya belum optimal. dengan potensi limbah oli yang cukup besar tersebut sangat disayangkan jika tidak diolah dengan baik. Pengolahan secara tepat dan benar justru akan memberikan keuntungan bagi perusahaan. Salah satu metode yang tepat dalam pengolahan limbah oli tersebut adalah dengan proses pirolisis.

Pirolisis adalah proses dekomposisi suatu bahan pada suhu tinggi yang berlangsung tanpa adanya udara atau dengan udara terbatas. Proses dekomposisi pada pirolisis ini juga sering disebut dengan *devolatilisasi* [1]. Metode ini merupakan salah satu metode yang tepat bagi industri karena hasil produk langsung bisa digunakan sebagai bahan bakar. Produk yang dihasilkan antara lain HSD dan

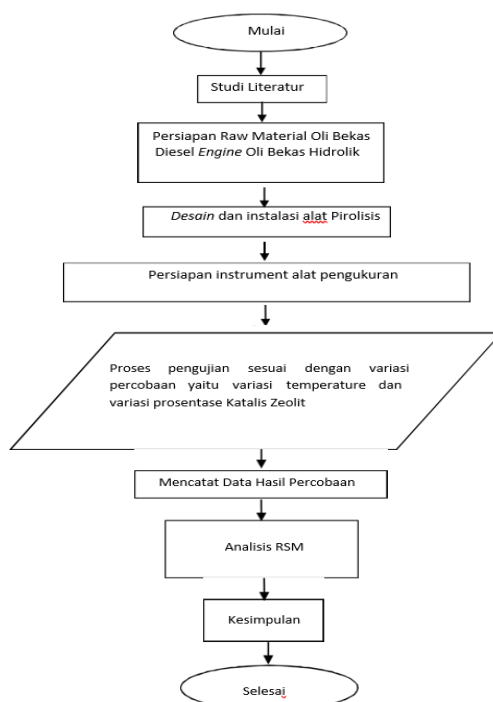
Gasoline. Penelitian ini menggunakan metode experiment dengan pendekatan *Response Surface Metodology*. Penelitian ini ada di fokuskan pada beberapa permasalahan yang dialami pada kondisi saat ini yaitu Bagaimana proses pirolisis berjalan dengan optimal, Bagaimana menemukan kombinasi formulasi yang paling optimal dengan metode RSM Bagaimana menemukan faktor dominan yang mempengaruhi proses pirolisis tersebut. Tujuan utama adalah untuk mendapatkan formulasi yang paling optimum dari rangkaian *trial* dan analisis pirolisis dengan variasi 2 faktor yaitu suhu dan persentase campuran katalis (*Zeolite*). Sehingga ketika diproduksi *scale plant* akan mendapatkan *profit*.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini termasuk penelitian eksperimen. Eksperimen adalah satu cara untuk mencari hubungan sebab akibat (hubungan kasual) antara dua faktor yang sengaja ditimbulkan oleh peneliti dengan mengeliminasi atau mengurangi atau menyisihkan faktor-faktor lain yang mengganggu [2]. Penelitian ini mencoba mencari formula yang optimal dengan variasi suhu dan katalis kemudian hasilnya dibandingkan, substansi yang menjadi pokok dari penelitian metode pirolisis yaitu

untuk mencari solusi dari permasalahan limbah oli di perusahaan. Mengkonversi limbah oli yang tidak berguna menjadi suatu bentuk energi lain yang memiliki nilai lebih. Menentukan sebuah metode yang efisien, sehingga didapatkan kondisi optimal untuk mengolah timbunan limbah oli. Karena setiap harinya limbah oli diproduksi dalam jumlah yang cukup banyak. Tanpa adanya penanganan yang baik maka akan timbul permasalahan lain dikemudian hari. Metode pirolisis perlu dilakukan pengembangan untuk mendapatkan produk BBM Solar CN 48 yang berkualitas. Dan pada akhirnya akan menuju *Zero Waste* pada perusahaan.

Berdasarkan data yang diperoleh maka penelitian ini termasuk jenis penelitian kuantitatif. yaitu analisis datanya dilakukan setelah data terkumpul, dengan menggunakan perhitungan (angka-angka) atau analisis statistik. Tujuan penelitian kuantitatif dilakukan untuk mengukur hubungan (korelasi, pengaruh) antara dua variabel atau lebih. Penelitian kuantitatif banyak digunakan untuk menguji suatu teori, untuk menyajikan suatu fakta atau mendeskripsikan statistik, untuk menunjukkan hubungan antara variabel. Sehingga data-data yang diperoleh dalam penelitian ini berupa angka-angka hasil dari pengujian setelah dilakukan perlakuan [3].



Gambar 1. Diagram Alir

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, sebagai berikut:

1. Alat *Pyrolysis*
2. Alat Uji Raw Material Oli bekas SKF *Oil Check Monitor*
3. Gelas ukur
4. *Density Meter*
5. *Thermal Imager*
6. Raw Material oli bekas diesel engine
7. Raw Material Oli Bekas Hidrolik
8. Zeolit Powder

Parameter bebas merupakan variabel yang memberikan pengaruh ataupun yang dijadikan sebagai penyebab dari perubahan atau munculnya variabel dependent atau variabel terikat [4]. Dalam penelitian ini, variabel bebas yang digunakan yaitu pengaruh laju pemanasan dan prosentase katalis terhadap kuantiti produk bahan bakar solar CN 48 yang dihasilkan. Parameter terikat yaitu variabel yang mendapat pengaruh atau dijadikan sebagai akibat dari adanya variabel bebas [4]. Penggunaan variabel terikat pada penelitian ini yaitu

- Efisiensi Proses Pembakaran
- Kuantiti Output Produk

- Kecepatan Alir *Output* Produk
- Kualitas hasil minyak pada proses pirolisis

Parameter kontrol yaitu suatu variabel yang dibuat konstan ataupun dapat dikendalikan, sehingga pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen dan tidak dipengaruhi oleh adanya faktor lain (luar) yang tidak diteliti. Berikut adalah variabel kontrol pada penelitian ini yaitu

- Bahan bakar yang dipakai adalah LPG
- Raw Material Oli Bekas Diesel Engine dan Oli bekas Hidrolik
- Sistem Kondensor menggunakan murni air tawar biasa dengan suhu ambient
- *Set temperature* pada suhu sesuai desain penelitian
- Proses pembakaran dengan burner / kompor bertekanan
- Menggunakan pompa air sirkulasi *Flowrate* 30 liter/menit

Rancangan penelitian RSM (Minitab 2020 dapat dilihat pada Tabel 1. Rencana penelitian limbah oli hidrolik dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel1. Rancangan penelitian limbah oli *diesel engine*

Run	Suhu °C	Σ Katalis gr	Σ Raw gr	Durasi menit
1	200	20	1000	40
2	300	20	1000	40
3	200	100	1000	40
4	300	100	1000	40
5	179	60	1000	40
6	320	60	1000	40
7	250	3.43	1000	40
8	250	116	1000	40
9	250	60	1000	40
10	250	60	1000	40
11	250	60	1000	40
12	250	60	1000	40
13	250	60	1000	40

Tabel 2. Rencana penelitian limbah oli hidrolik

Run	Suhu °C	Σ Katalis gr	Σ Raw gr	Durasi Menit
1	175	10	1000	30
2	300	10	1000	30
3	175	100	1000	30
4	300	100	1000	30
5	149	55	1000	30
6	325	55	1000	30
7	237	-8	1000	30

8	237	118	1000	30
9	237	55	1000	30
10	237	55	1000	30
11	237	55	1000	30
12	237	55	1000	30
13	237	55	1000	30

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

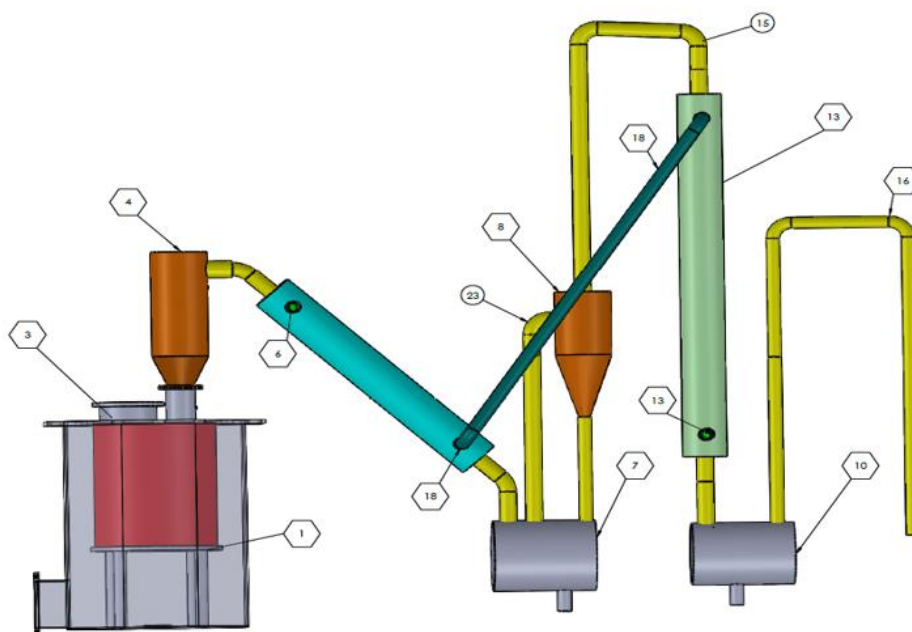
Dalam Proses Perancangan Alat Pirolisis tidak ada aturan yang baku. Masalah perancangan mungkin bisa diselesaikan dengan banyak cara. Jadi, Proses perancangan perlu menentukan fungsi dari alat agar sesuatu yang di rancang dapat bekerja sesuai dengan kebutuhan. proses perancangan alat, yaitu dimulai dengan input berupa waste oil sebagai Raw Material dan menghasilkan output dari alat pirolisis ini adalah BBM. Penjelasan singkatnya yaitu, *Waste Oil* dan katalis Zeolite dimasukkan ke dalam reaktor untuk dilakukan proses pembakaran yang memerlukan pengaturan suhu, langkah selanjutnya uap hasil pembakaran dikondensasikan menggunakan air pendingin yang selanjutnya akan menghasilkan BBM yang ditampung dalam wadah. Adapun langkah-langkah untuk pemilihan konsep desain alat pirolisis adalah sebagai berikut :

a. Mengidentifikasi teori yang berkaitan dengan alat pirolisis pengolah *waste oil* menjadi bahan bakar beserta fungsi dan mekanismenya.

b. Menganalisa desain alat pirolisis *waste oil* yang ada sebelumnya agar dapat dipelajari dan dikembangkan pada varian-varian bentuk lain. Material yang dipilih untuk digunakan sebagai material rangka alat pirolisis ini adalah material yang mendapatkan perlakuan, yaitu material SS 304 dikarenakan dalam operasi alat pirolisis ini bersentuhan dengan suhu dan tekanan yang tinggi , oleh karena itu diperlukan material rangka yang tahan terhadap korosi dan suhu tinggi.

Desain pirolisis dapat dilihat pada Gambar 2. Sedangkan komponen pirolisis sebagai berikut:

1. Reaktor
2. Tungku
3. Kondensor 1st
4. Tabung Turbulensi
5. Kondensor 2nd
6. Tangki Tampung 1st
7. Dudukan Reaktor
8. Tangki Tampung 2nd
9. Cyclone



Gambar 2. Desain Alat Pirolisis

3.1. Analisa RSM Raw Material Waste Diesel Oil

Pada proses penelitian pirolisis ini menggunakan variable tetap yaitu 1000 ml limbah oli sebagai raw material dan Durasi

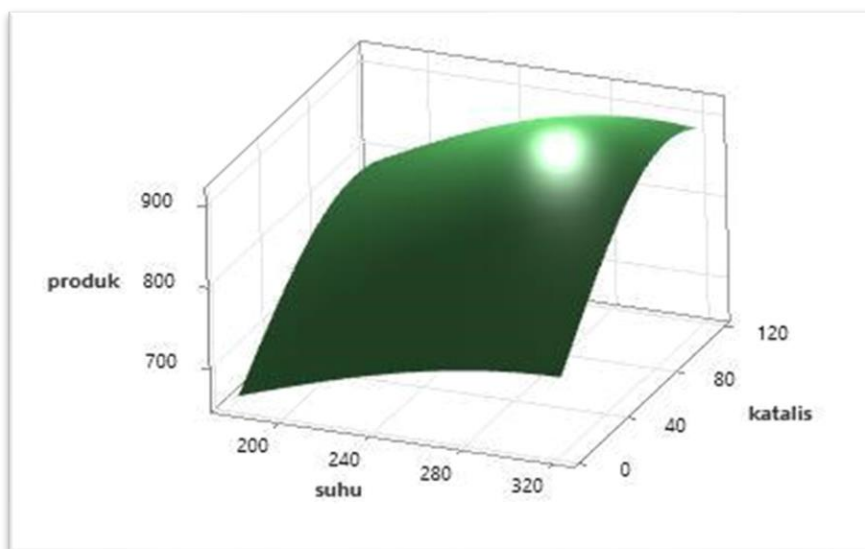
waktu 40 menit untuk oli mesin, sedangkan variable bebas adalah Jumlah Katalis Zeolite dan Suhu Pirolisis. Sumber *Raw Material* limbah oli tersebut berasal dari oli *engine* di kapal tambang timah.

Tabel 3. Hasil percobaan proses pirolisis bahan baku limbah *oil engine*

Run	Suhu °C	Σ Katalis gr	Σ Katalis %	Produk Cair ml	Produk %	Residu gr	Residu %	Rilis CH4 %	Durasi Menit
1	200	20	2	715	71,5	285	28	1,4	40
2	300	20	2	775	77,5	225	22	2,2	40
3	200	100	10	825	82,5	175	17	3,1	40
4	300	100	10	895	89,5	105	10	3,9	40
5	179	60	6	765	76,5	235	23	4,8	40
6	321	60	6	898	89,8	102	10	5,6	40
7	250	3	0,34	725	72,5	275	27	6,5	40
8	250	117	11,7	876	87,6	124	12	7,3	40
9	250	60	6	846	84,6	154	15	8,2	40
10	250	60	6	843	84,3	157	16	8,2	40
11	250	60	6	854	85,4	146	15	8,2	40
12	250	60	6	853	85,3	147	15	8,2	40
13	250	60	6	859	85,9	141	14	9,0	40
Raw	1000 ml								

Pada Grafik dibawah tujuan nya adalah melihat pola permukaan desain antara

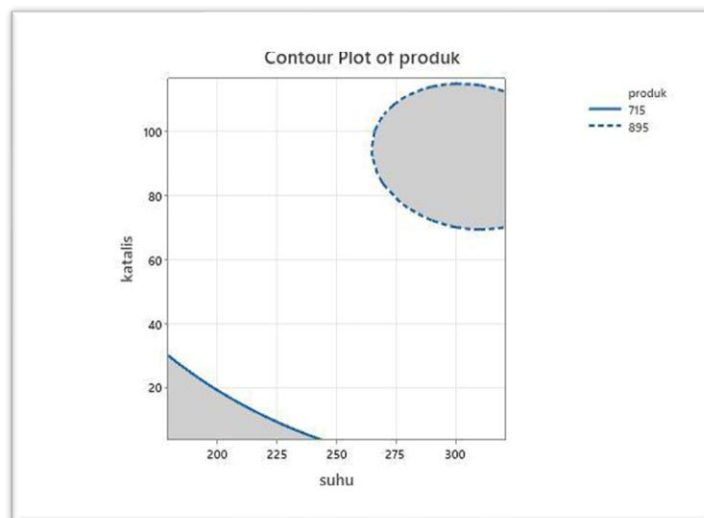
fomulasi katalis dan suhu terhadap produk dilihat secara 3D.



Gambar 3. Grafik Pengaruh Suhu dan Katalis terhadap Hasil Produk

Terlihat bahwa semakin besar suhu dan semakin banyak katalis maka produk solar yang dihasilkan semakin banyak namun hal tersebut belum berarti berada pada titik optimum maka akan dilakukan analisis RSM

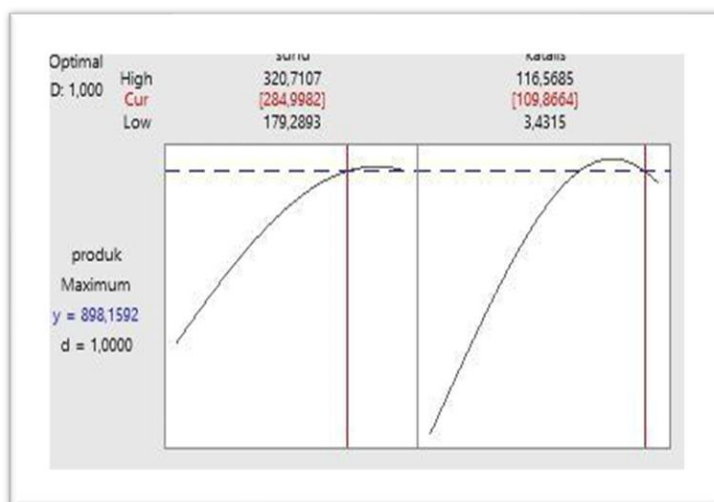
selanjutnya untuk menemukan titik optimum. Pada grafik dibawah ini bisa kita lihat bahwa hasil produk terbanyak dicapai diatas suhu 250 °C dan Jumlah katalis diatas 60 gr atau 6%.



Gambar 4. *Contour Plot* terkait Kuantitas Hasil Produk

Maka dapat kita lihat bahwa nilai optimum pada grafik diatas yaitu kuantitas jumlah katalis 109 gr dan suhu 289 °C dengan durasi waktu 40 menit akan

menghasilkan produk solar sebesar 898 ml dari Raw Material diesel engine waste oil 1000 ml.



Gambar 5. Grafik Nilai Optimum Proses Pirolisis

Maka dapat kita lihat bahwa nilai optimum pada grafik diatas yaitu kuantitas jumlah katalis 109 gr dan suhu 284 0C dengan durasi waktu 40 menit akan

menghasilkan produk solar sebesar 898 ml dari Raw Material diesel engine waste oil 1000 ml.

Tabel 3. Response optimization parameters

Response	Goal	Lower	Target	Upper Weight
produk	Maximum	715	898	1
Solution				
Solution	suhu	katalis	produk Fit	Composite Desirability
1	284,998	109,866	898,159	1

Multiple Response Prediction

Variable	Setting		
suhu	284,998		
katalis	109,866		
Response	Fit	95% CI	95% PI
produk	898,159	(874,104; 924,381)	(860,695; 941,158)

Grafik optimasi capaian terbaik dari fomulasi dengan formulasi adalah Suhu operasi angka 284 °C dan jumlah Katalis 109 gr maka akan menghasilkan produk 898 ml.

Pengujian RSM Waste Hidrolik Oil dengan 2 faktor yaitu suhu dan kuantitas katalis dengan *base running* 13 kali maka akan kita tentukan. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.

3.2. Analisa RSM Raw Material Waste Hidrolik oil

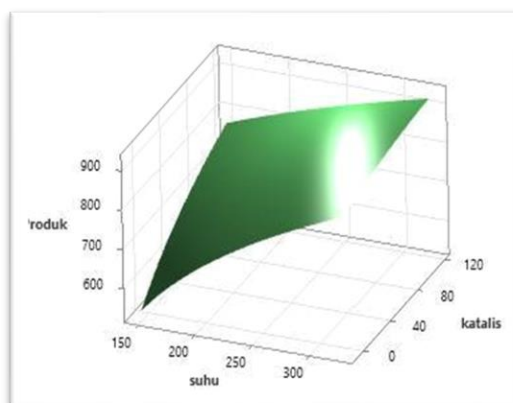
Tabel 4. Hasil percobaan proses pirolisis bahan baku limbah hidrolik oil

Run	Suhu °C	Σ Katalis gr	Σ Katalis %	Produk Cair ml	Produk %	Residu ml	Residu %	Rilis CH4 %	Durasi Menit
1	175	10	1,0	687	68,7	282	28	3,1	30
2	300	10	1,0	876	87,6	81	8	4,3	30
3	175	100	10,0	765	76,5	194	19	4,1	30
4	300	100	10,0	894	89,4	67	7	3,9	30
5	149	55	5,5	675	67,5	283	28	4,2	30
6	326	55	5,5	887	88,7	72	7	4,1	30
7	238	-9	-0,9	695	69,5	255	26	5,0	30
8	238	119	11,9	864	86,4	94	9	4,2	30
9	238	55	5,5	783	78,3	172	17	4,5	30
10	238	55	5,5	821	82,1	136	14	4,3	30
11	238	55	5,5	797	79,7	154	15	4,9	30
12	238	55	5,5	817	81,7	143	14	4,0	30
13	238	55	5,5	822	82,2	140	14	3,8	30

Raw 1000 ml

Perbedaan pada pengujian ini adalah bahan baku yang digunakan yaitu waste hidrolik oil Maka durasi waktu dan hasil juga akan berbeda. Guna melihat kondisi

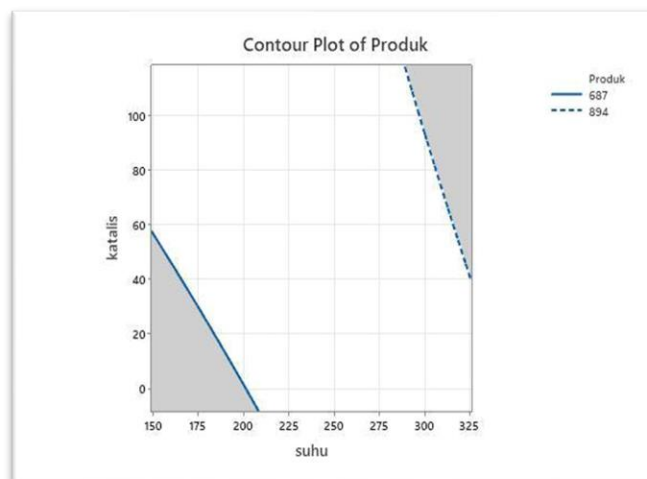
formulasi data secara 3D disajikan dalam bentuk *surface* yang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Surface Plot

Gambar 3D pola dari 2 Faktor dan 1 Respon suhu semakin tinggi akan mendapatkan nilai kuantitas produk yang lebih banyak dibanding suhu yang rendah.

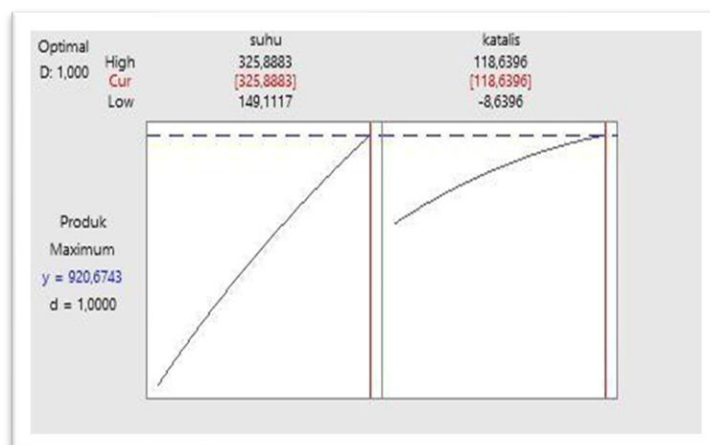
Cara mempermudah melihat kondisi Formulasi dari sudut titik maksimal dan minimal dari kuantitas produk dapat kita lihat pada grafik yang ada pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik *Contour Plot* Produk

Pada Grafik *Countour* diatas bahwa besaran produk 687 ml itu dikisaran suhu dibawah 210 °C dengan jumlah katalis di bawah 60 gr , besaran kuantitas produk 894 ml akan tercapai dengan rentang suhu 285 °C - 325 °C. dan campuran katalis rentang 50

gr s/d 100 gr. Kita simulasikan formulasi yang sudah kita rancang dalam penelitian ini dengan *respon prediction* yaitu melihat titik optimum dari proses pirolisis tersebut. Grafik nilai optimum produk dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Nilai Optimum Produk

Bahwa dari kondisi Grafik diatas maka nilai optimum yang dapat dicapai adalah dengan komposisi katalis 118 gr dan Suhu 325 °C menghasilkan Produk 920 ml sehingga untuk produksi skala *plant* dianjurkan menggunakan rumus diatas untuk mencapai optimum.

4. SIMPULAN

Menggunakan Material SS 304 sebagai Tungku reaktor terbukti lebih cepat

panas daripada material *Mild Steel* ST 37. Suhu menjadi faktor dominan terhadap kuantitas produk bahan bakar yang dihasilkan, pada penelitian ini menunjukan semakin tinggi suhu maka semakin cepat dan lebih banyak hasil produk yang dihasilkan. Katalis menjadi faktor kedua setelah suhu yang mempengaruhi dalam hal kuantitas produk bahan bakar yaitu semakin banyak katalis pada rentang skala 20 gr s/d 100 gr maka semakin cepat proses *Cracking*

Carbon berdampak pada *flowrate* hasil produk lebih cepat. Formula komposisi titik optimum Pirolisis dengan bahan baku oli diesel *engine* adalah Formulasi *Setting* suhu 285 °C katalis 109,8 gr hasil produk 898,1 ml. Formula *setting* kondisi titik optimum proses pirolisis dengan menggunakan bahan baku oli Hidrolik adalah formulasi dengan suhu 325,8 °C Katalis 118,6 gr maka hasil produk 920 ml. Dari semua data hasil yang didapatkan maka pengembangan pada *skala Plant* akan sangat layak diaplikasikan pada industri sebagai supporting untuk menambah profit dari segi BBM.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Santoso Djoko Fadjar. (2021 January 29). PT Pertamina (Persero). [www.pertamina.com:https://www.pertamina.com/id/news-room/energianews/apa-itu-pirolisis-bisa-ubah-sampah-plastik-jadi-bbm](https://www.pertamina.com/id/news-room/energianews/apa-itu-pirolisis-bisa-ubah-sampah-plastik-jadi-bbm)
- [2] Arikunto. (2010). Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktek . Jakarta.
- [3] Hamidi. (2010). Metode Penelitian Kualitatif Pendekatan Praktis Penulisan Proposal. Malang: UMM Press.
- [4] Sugiyono. (2011). Metode Penelitian Kuantitatif. Bandung: Alfabeta.
- [5] H. Napitupulu F. (2006). Pengaruh Nilai Kalor. Sumatera Utara: Teknik Mesin FT USU.
- [6] Kamaruddin AK.I, Dirwan. S. dkkAbdul. (1999). Energi dan Listrik Pertanian. Bogor: IPB Bogor.
- [7] Asrori. (2021). Mekanika Fluida Dasar. Malang: Politeknik Negeri malang.
- [8] Gaspersz. (1995). Teknik Analisis Dalam Penelitian Percobaan. Jakarta: Erlangga.
- [9] Giles. (1993). Mekanika Fluida dan Hidraulika. Jakarta: Erlangga.
- [10] Holman J. (1997). Perpindahan Kalor. Jakarta: Erlangga.
- [11] Montgomery D. (2005). Design and Analysis of Experiments. 6th Edition. New York: John Wiley & Sons.
- [12] Pauliza O. (2008). Fisika. Jakarta: Erlangga.
- [13] Wuryani S. (1995). Teknik energi Perpindahan panas. Bandung: Depdikbud.