



## OPTIMASI VARIABEL MASSA, SUHU DAN WAKTU PIROLISIS PADA PEMBUATAN ASAP CAIR (*liquid smoke*) DARI LIMBAH PADAT NILAM MENGGUNAKAN METODE RSM

Salimuddin, Zainuddin Ginting\*, Syamsul Bahri, Muhammad, Jalaluddin

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh  
Kampus Utama Cot Teungku Nie Reuleut, Muara Batu, Aceh Utara – 24355

\* e-mail: [zginting@unimal.ac.id](mailto:zginting@unimal.ac.id)

### Abstrak

Limbah padat hasil Penyulingan minyak nilam banyak dijumpai diindustri penyulingan minyak nilam terutama dikota Lhokseumawe. Besarnya volume limbah padat penyulingan nilam belum termanfaatkan secara optimal. Dengan memanfaatkan limbah tersebut menjadi produk yang berguna dan mempunyai nilai tambah yang nyata. Ketersediaan limbah padat nilam sangat berpotensi untuk diolah menjadi asap cair karena memiliki komponen senyawa organik yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin. Penelitian ini sudah pernah dilakukan sebelumnya, yang belum pernah dilakukan pada pembuatan asap cair adalah menggunakan limbah padat nilam dan mengoptimasi dengan metode RSM. Tujuan penelitian ini adalah Untuk Mengoptimasi variable massa, suhu dan waktu Pirolisis pada pembuatan asap cair dari limbah padat nilam menggunakan metode RSM (Respon Surface Method) dengan Software Design Expert 13. Penelitian ini menvariasikan massa 600, 1200 dan 1800 gr. Suhu 250, 300 dan 350°C. Waktu 60, 90 dan 120 menit. Dari hasil yang didapat, kadar asap cair paling besar terdapat pada suhu 350°C, waktu 120 menit dan massa 1200 gr dengan kadar asap cair sebesar 14,33 %. Dan densitas tertinggi 0,9949 g/m<sup>3</sup> pada suhu 250°C, waktu 60 menit dan massa 1200 gr. Dan pH tertinggi yaitu 3,35 yang mana asap cair bersifat Asam. Kandungan asap cair pada uji menggunakan GC-MS adalah fenol sebesar 46,14% dan benzene sebesar 15,55%.

**Kata kunci:** Limbah Padat Nilam, Pirolisis, Asap Cair, Yield, Densitas, pH, dan GC-MS

DOI : : <https://doi.org/10.29103/cejs.v3i3.9720>

### 1. Pendahuluan

Setiap tahun, Indonesia menghasilkan ratusan juta ton limbah pertanian berupa jerami, kulit padi, seresah tebu, dan lain-lain. Sebagian besar dari limbah tersebut belum dimanfaatkan dan banyak yang hanya dibakar dilahan. Sebagai bahan bakar padat, limbah pertanian dan biomassa lainnya dapat dioptimalkan dengan cara mengkonversinya menjadi bahan bakar gas atau merubahnya menjadi

asap cair melalui sebuah reactor pirolisis. Minyak nilam atau patchouly oil banyak dipergunakan dalam industri kosmetik, parfum, sabun, dan industry lainnya (pujianto dkk, 2012). Manfaat lainnya, minyak nilam adalah sebagai pengikat minyak atsiri lainnya yang sampai sekarang belum bisa diganti oleh minyak lain.

Pirolisis adalah proses pembakaran bahan organik tanpa adanya oksigen dengan suhu tinggi (Chouhan, 2015). Lignin dalam pirolisis menghasilkan senyawa fenol dan turunannya dan pirolisis pada suhu tinggi akan menghasilkan tar, sedangkan pada pirolisis hemiselulosa akan menghasilkan furfuran, furan dan asam karboksilat (Budaraga, dkk., 2017). Senyawa-senyawa ini memiliki proporsi yang berbeda, tergantung pada jenis bahan baku, kadar air, dan suhu pirolisis. Pirolisis hemiselulosa dan selulosa pada suhu 260°C hingga 300°C menghasilkan asam karboksilat dan senyawa karbonil. Pirolisis lignin pada suhu 310°C hingga 500°C menghasilkan senyawa fenol (Budaraga, dkk., 2016). Senyawa-senyawa hasil pirolisis ini memiliki fungsi yang beragam. Senyawa fenol dan karbonil bermanfaat sebagai pemberi rasa dan warna, senyawa fenol dan asam organik digunakan pada pengawetan. Namun senyawa benzopiren dan tar yang terdapat pada asap cair tidak diinginkan karena bersifat toksik dan karsinogenik (Wijaya, dkk., 2008).

Metode permukaan respon (*response surface methodology*) merupakan sekumpulan teknik matematika dan statistika yang berguna untuk menganalisis permasalahan dimana beberapa variabel independen mempengaruhi variabel respon dan tujuan akhirnya adalah untuk mengoptimalkan respon. Ide dasar metode ini adalah memanfaatkan desain eksperimen berbantuan statistika untuk mencari nilai optimal dari suatu respon. Metode ini pertama kali diajukan sejak tahun 1951 dan sampai saat ini telah banyak dimanfaatkan baik dalam dunia penelitian maupun aplikasi industri. Misalnya, dengan menyusun suatu model matematika, peneliti dapat mengetahui nilai variabel-variabel independen yang menyebabkan nilai variabel respon menjadi optimal (Montgomery, 2001). **Penelitian ini sudah pernah dilakukan seperti yang diuraikan diatas, yang**

**belum pernah dilakukan pada pembuatan asap cair adalah menggunakan limbah padat nilam dan mengoptimasi dengan metode RSM.**

Berdasarkan uraian diatas penelitian ini bermaksud melakukan penelitian mengenai “Optimasi Variabel Massa, Suhu Dan Waktu Pirolisis Pada Pembuatan Asap Cair (*liquid smoke*) Dari Limbah Padat Nilam Menggunakan RSM” dengan mengetahui proses Optimasi pembuatan Asap cair dengan metode rsm dari limbah padat nilam maka dapat meningkat nilai ekonomi hasil dari pirolisis biomassa menjadi asap cair dari limbah padat nilam kota lhokseumawe.

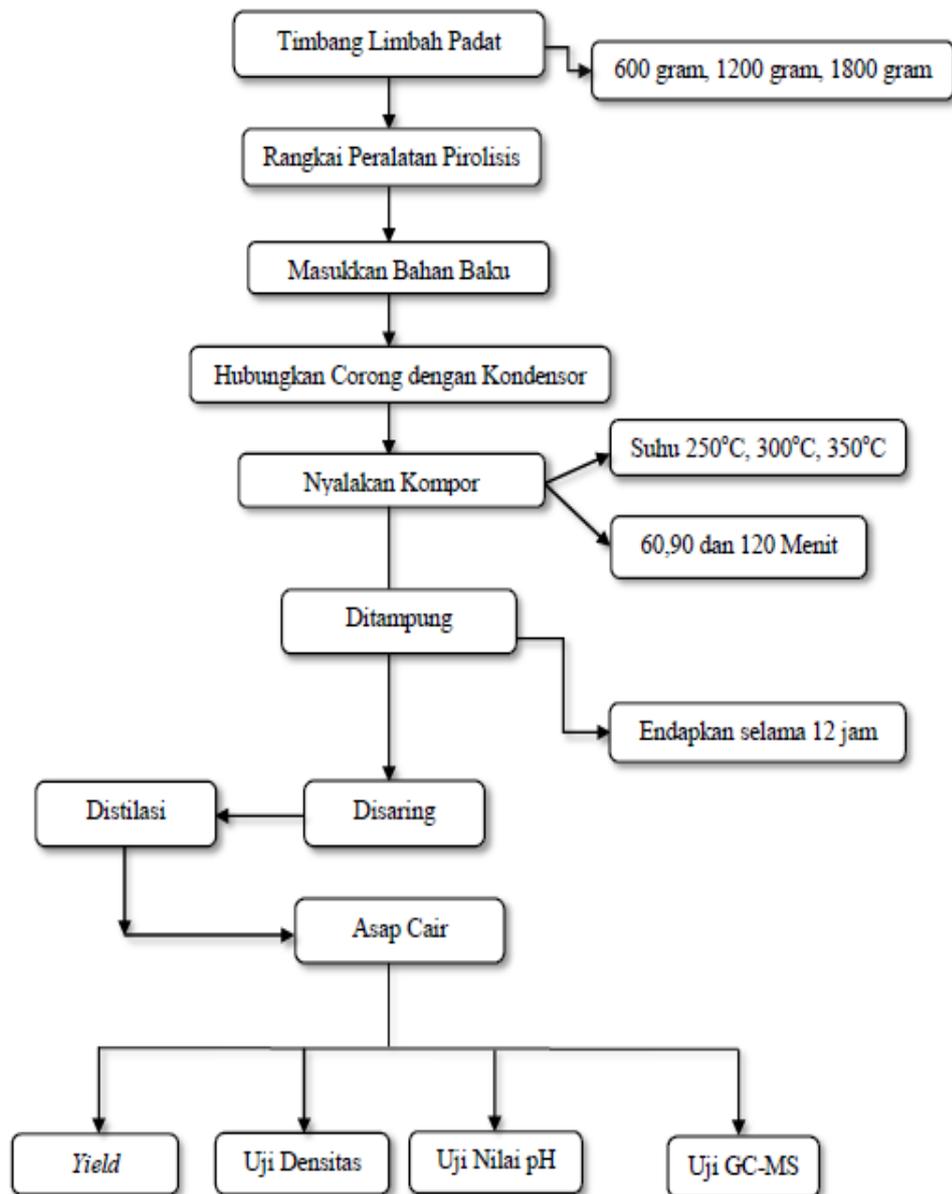
## **2. Bahan dan Metode**

Bahan dan peralatan yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain adalah Limbah padat hasil penyulingan minyak nilam, es batu, reactor pirolisis, kompor gas, erlenmeyer, stopwatch, gelas ukur, gelas beaker, pengaduk, gelas ukur, labu ukur.

Penelitian ini terdiri dari empat tahap yaitu persiapan bahan baku limbah padat hasil penyulingan minyak nilam, proses pirolisis, distilasi, lalu tahap analisa. Variasi percobaan dilakukan terhadap massa, suhu dan waktu pirolisis sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1.

Pembuatan Asap cair (*liquid smoke*) dilakukan dengan metode pirolisis kemudian dilakukan optimasi menggunakan *Software Design Expert V.13*. Persiapkan Bahan baku sebanyak 600, 1200 dan 1800 gram lalu dimasukkan kedalam reaktor pirolisis, kemudian tutup reaktor tersebut hingga rapat. Kemudian atur variasi suhu pada 250, 300 dan 350°C lalu atur variasi waktu pada 60, 90 dan 120 menit. Setelah selesai matikan alat, kemudian asap cair yang sudah tertampung diendapkan terlebih dahulu selama 12 jam. Kemudian asap cair yang sudah ditampung dimasukkan kedalam botol kemudian disaring terlebih dahulu sebelum dilakukan ketahap selanjutnya, dalam penyaringan asap cair dilakukan sebanyak 2x penyaringan. Setelah melakukan penyaringan maka tahap selanjutnya dilakukan pemurnian dengan cara distilasi. Setelah tahap distilasi maka asap cair (*liquid smoke*) akan diuji beberapa pengujian yaitu kadar asap cair,

pH, Densitas dan uji GC-MS untuk mengetahui komponen komponen yang terdapat didalam asap cair.



**Gambar 1.** Blok Diagram Penelitian Proses Pembuatan Asap Cair

### 3. Hasil dan Diskusi

Penelitian ini dilakukan dengan bervariasikan Massa , Suhu dan Waktu yang di desain menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) dengan *Software Design Expert 13* menggunakan *Box-Behnken Design*. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan sampel Limbah padat nilam, maka dapat diketahui nilai Densitas, yield dan nilai pH.

**Tabel 1** Hasil Penelitian Pembuatan Asap Cair.

Run	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Response 1	Response 2	Response 3
	A (Massa)	B (Suhu)	C (Waktu)	Yield	pH	Density
	(gr)	(°C)	(menit)	(%)	(value)	(g/m3)
1	600	250	90	6.89	3.32	0.9945
2	600	300	60	7.05	3.34	0.9943
3	600	300	120	10.18	3.35	0.9945
4	600	350	90	11.75	3.33	0.9925
5	1200	250	60	6.25	3.33	0.9949
6	1200	250	120	9.33	3.34	0.9932
7	1200	300	90	9.41	3.35	0.9927
8	1200	300	90	9.41	3.35	0.9927
9	1200	300	90	9.41	3.35	0.9927
10	1200	300	90	9.41	3.35	0.9927
11	1200	300	90	9.41	3.35	0.9927
12	1200	350	60	10.75	3.32	0.9922
13	1200	350	120	14.33	3.33	0.9918
14	1800	250	90	5.38	3.35	0.9935
15	1800	300	60	8.11	3.29	0.9931
16	1800	300	120	9.55	3.35	0.9925
17	1800	350	90	12.61	3.31	0.9921

(Sumber : Analisa Asap Cair 2022 , Laboratorium Teknik Kimia Unimal)

*Analysis Of Variance* (ANOVA) untuk model *Quadratic* dapat dilihat pada Tabel 4.2 yaitu untuk mengetahui adanya pengaruh yang signifikan terhadap model penelitian ANOVA pada Pembuatan Asap Cair.

**Tabel 2** Data *Analysis Of Variance* (ANOVA) Pembuatan asap cair.

Sumber	Jumlah kuadrat	DF	Mean Square	F Value	p Value	Keterangan
Model	80.61	9	8.96	40.97	< 0.0001	<i>Significant</i>
A	0.0060	1	0.0060	0.0277	0.8726	
B	58.27	1	58.27	266.52	< 0.0001	
C	15.76	1	15.76	72.11	< 0.0001	
AB	1.40	1	1.40	6.42	0.0390	
AC	0.7140	1	0.7140	3.27	0.1137	
BC	0.0625	1	0.0625	0.2859	0.6094	
A <sup>2</sup>	3.02	1	3.02	13.83	0.0075	
B <sup>2</sup>	1.49	1	1.49	6.82	0.0349	
C <sup>2</sup>	0.1078	1	0.1078	0.4930	0.5052	
<i>Residual</i>	1.53	7	0.2186			
<i>Lack of Fit</i>	1.53	3	0.5101			
<i>Pure Error</i>	0.0000	4	0.0000			
<i>Cor Total</i>	82.14	16				

**Sumber:** *Software Design Expert 13.*

Nilai F Model sebesar 40,97 menyiratkan model tersebut signifikan. Hanya ada kemungkinan 0,01% bahwa nilai F sebesar ini dapat terjadi karena noise. P-nilai kurang dari 0,0500 menunjukkan istilah model yang signifikan. Dalam hal ini B, C, AB, A<sup>2</sup>, B<sup>2</sup> adalah suku-suku model signifikan. Nilai lebih besar dari 0,1000 menunjukkan istilah model tidak signifikan. Jika ada banyak istilah model yang tidak signifikan (tidak termasuk yang diperlukan untuk mendukung hierarki), pengurangan model dapat meningkatkan model.

Sebuah model dapat dikategorikan sebagai model yang sesuai apabila model tersebut memiliki koefisien korelasi  $R^2 > 0,85$ . Model yang secara statistik dikategorikan cukup baik bila  $R^2$  mendekati nilai tersebut. Model pada penelitian ini menunjukkan nilai  $R^2$  yaitu 0,9814. (Brown, J. N., & Brown, R.C.(2012).

Parameter yang diberikan untuk menentukan nilai optimum pada masing-masing variabel bebas dan variabel terikat dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3** Parameter dan Kondisi Batas pada Variabel Bebas dan Variabel terikat

Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Lower Weight	Upper Weight
Massa	Dalam Range	600	1800	1	1
Suhu	Dalam Range	250	350	1	1
Waktu	Dalam Range	60	120	1	1
Yield	Dalam Range	5.38	14.33	1	1
pH	Dalam Range	3.31	3.35	1	1
Densitas	Dalam Range	0.9918	0.9949	1	1

**Tabel 4** Hasil Analisa Optimasi Pada Pembuatan Asap Cair (*liquid smoke*).

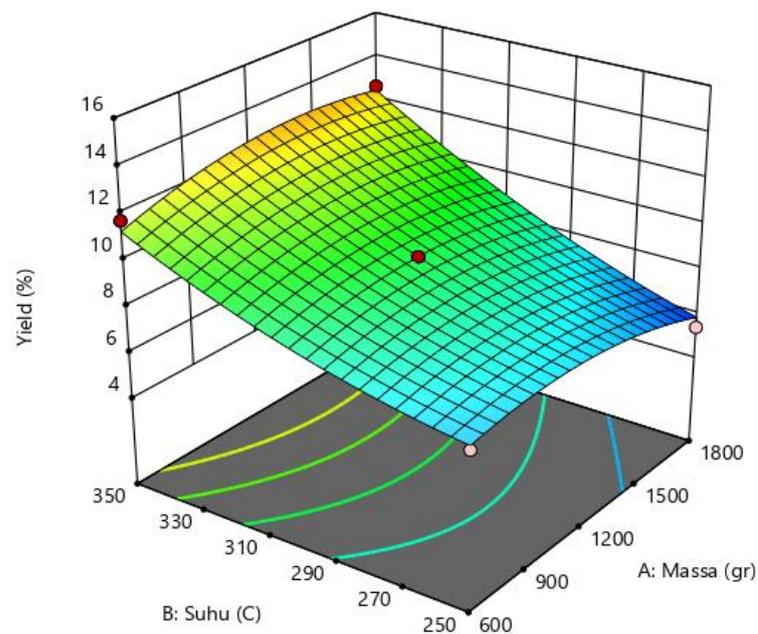
Massa (gr)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Yield (%)	pH (value)	Densitas (g/m3)	Desirability
1032.8	317.5	120	12.042	3.38	0.993	0.6

Dari hasil optimasi tersebut dapat diketahui bahwa kombinasi level variabel bebas yang mampu memberikan nilai respon optimal adalah pada massa 1032.8 gr , suhu 317.5 °C. dan waktu 120 menit. Sedangkan untuk nilai desirability-nya adalah 0.6. Nilai desirability merupakan nilai fungsi untuk tujuan optimasi yang menunjukkan kemampuan program untuk memenuhi kriteria berdasarkan kriteria yang ditetapkan pada produk akhir. Nilai *desirability* yang mendekati 1 menunjukkan bahwa kemampuan program untuk menghasilkan produk yang baik semakin sempurna (Ramadhani, 2017). Namun tujuan optimasi

bukan untuk mendapatkan nilai *desirability* 1, melainkan untuk mencari kondisi terbaik yang mempertemukan semua fungsi tujuan (Nurmiah, 2013). Hasil penelitian pemanfaatan limbah padat nilam menjadi asap cair dilaksanakan di Laboratorium Teknik Kimia Universitas Malikussaleh. Metode yang digunakan untuk memperoleh asap cair dari limbah padat nilam ini adalah metode pirolisis. Penelitian ini di desain menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) dengan *Software Design Expert* 13.

### 3.1 Pengaruh Massa, Suhu dan Waktu Pirolisis Terhadap Kadar Asap Cair

Adapun pengaruh Suhu dan Massa Pirolisis terhadap kadar Asap Cair yang didapatkan dapat dilihat pada Gambar 3.1



**Gambar 3.1** Pengaruh Massa, Suhu dan Waktu Pirolisis Terhadap Kadar Asap Cair

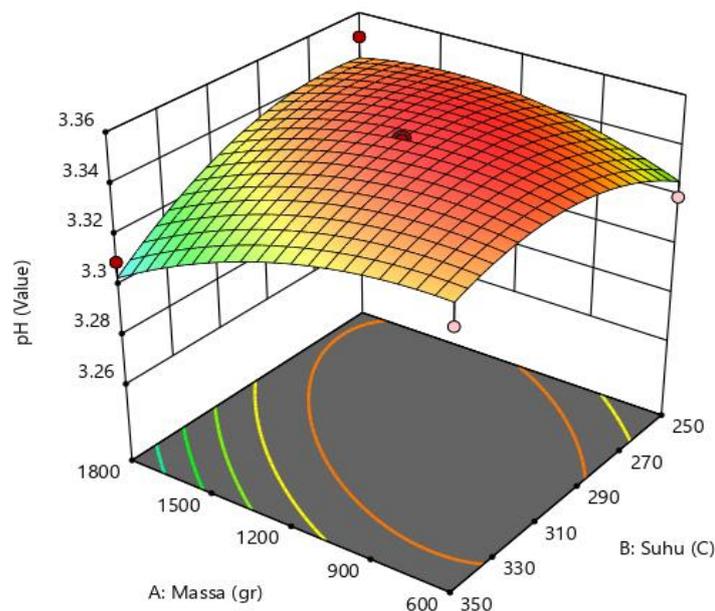
Gambar 4.1 Menunjukkan bahwa Jumlah total kadar asap cair tertinggi yaitu sebesar 14.33% pada suhu 350 °C dengan massa 1200 gr dan waktu 120 menit. Maka berdasarkan grafik diatas dapat dilihat bahwa semakin lama waktu dan suhu pirolisis, maka volume asap cair yang didapatkan akan semakin meningkat sampai batas tertentu. Kenaikan volume asap cair terjadi karena

semakin tinggi suhu pirolisis maka semakin banyak limbah yang terdekomposisi (Ratnawati dkk. 2010)

Dan semakin lama waktu tinggal pada reaktor pirolisis, limbah padat nilam yang terdekomposisi semakin banyak dan waktu untuk panas berkontak dengan limbah padat nilam akan semakin lama juga.

### 3.2 Pengaruh Massa, Suhu dan Waktu Pirolisis Terhadap pH Asap Cair

Adapun pengaruh Suhu dan Massa Pirolisis terhadap pH Asap Cair yang didapatkan dapat dilihat pada Gambar 3.2



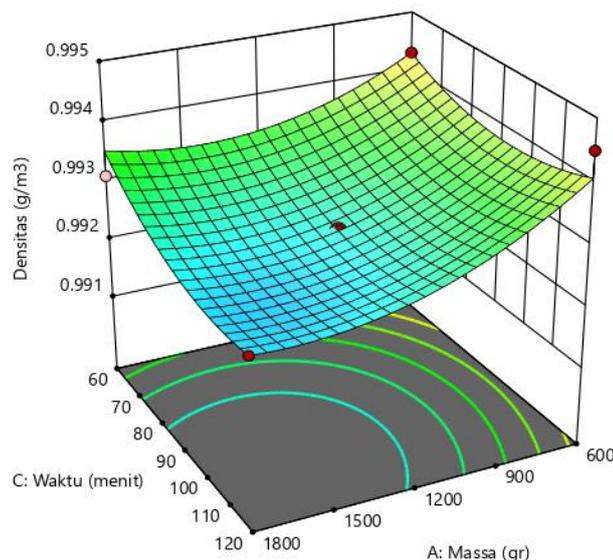
**Gambar 3.2** Pengaruh Massa , Suhu dan Waktu Pirolisis Terhadap pH Asap Cair

Nilai pH merupakan salah satu parameter kualitas asap cair yang dihasilkan. Pengukuran nilai pH pada asap cair bertujuan untuk mengetahui tingkat proses penguraian bahan baku dalam menghasilkan asam organik pada asap cair. Pamori, dkk (2015) menyatakan bahwa tingginya kadar asap cair memberikan pengaruh terhadap nilai pH yang dihasilkan. Grafik Pengaruh massa , suhu dan waktu pirolisis terhadap pH pada asap cair dapat dilihat pada gambar 3.2. Berdasarkan grafik di atas diperlihatkan rata-rata nilai pH asap cair yang dihasilkan pada proses pirolisis limbah pada nilam cenderung bervariasi. Nilai pH tertinggi yaitu 3,35 pada suhu 300 °C , Massa 1200 gr, dan waktu 90 menit. dan

nilai pH terendah yaitu 3,29 pada suhu 300°C, massa 1800 dan waktu 60 menit. Perbedaan nilai pH dapat disebabkan oleh perbedaan jumlah bahan baku asap cair maupun suhu pirolisisnya. pH yang dihasilkan menunjukkan bahwa produk asap cair bersifat asam. Hasil asap cair yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwa asap cair ini memenuhi syarat mutu asap cair yang berkisar antara 1,5-3,7%.

### 3.3 Pengaruh Massa, Suhu dan Waktu Pirolisis Terhadap Densitas Asap Cair

Adapun pengaruh Suhu dan Massa Pirolisis terhadap kadar Asap Cair yang didapatkan dapat dilihat pada Gambar 3.3



**Gambar 3.3** Pengaruh Massa, Suhu, Waktu Pirolisis Terhadap Densitas Asap Cair

Densitas merupakan rasio antara berat suatu sampel dengan volumenya. Dalam sifat asap cair, berat jenis tidak berhubungan langsung dengan tinggi rendahnya asap cair. Namun berat jenis dapat menunjukkan banyaknya komponen di dalam asap cair. Densitas diuji dengan piknometer 25 ml. Berdasarkan grafik 4.3 menunjukkan bahwa semakin lama waktu dan suhu pirolisis maka semakin rendah densitas asap cair yang diperoleh. Densitas yang diperoleh bervariasi berkisar antara 0,9918-0,9949 gr/ml. Densitas tertinggi terdapat pada variasi waktu pirolisis 60 menit dengan waktu pirolisis 250 °C, massa 1200 gr yaitu

0,9949 gr/ml. Pada grafik di atas dapat dilihat bahwa semakin lama waktu pirolisis maka semakin rendah densitas asap cair yang di hasilkan. Nurrasyidin, dkk (2010) menyatakan bahwa hal ini dapat terjadi karena semakin lama waktu pirolisis maka temperatur akan semakin tinggi sehingga produk yang lebih banyak terbentuk adalah senyawa-senyawa organik seperti asam-asam organik, fenol, karbonil sedangkan pada waktu yang lebih pendek menghasilkan asap cair yang lebih encer atau memiliki densitas yang lebih tinggi yang berarti kadar air di dalam asap cair tersebut tinggi.

#### **4. Simpulan dan Saran**

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada pembahasan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut, Kondisi Optimal pada proses pirolisis limbah padat nilam menghasilkan asap cair menggunakan Software Design Expert V.13 terdapat pada massa 1032.8 gr, Suhu 317.5°C dan waktu 120 menit. Nilai *yeild* asap cair tertinggi terdapat pada massa 1200 gr, suhu 350°C dan waktu 150 menit sebesar 14,33 %. Densitas asap cair terendah terdapat pada massa 1200 gr, suhu pirolisis 350°C dan waktu 120 menit sebesar 0,9918 gr/ml dan densitas tertinggi terdapat pada massa 1200 gr, suhu 250°C dan waktu 60 menit sebesar 0,9949 gr/ml. pH asap cair terendah didapat pada massa 1800 gr, suhu 300°C dan waktu 60 sebesar 3,29 dan pH tertinggi pada massa 1200 gr, suhu 300°C dan waktu 90 menit sebesar 3,35. ini menunjukkan bahwa produk asap cair memenuhi Standar Asap Cair Kualitas Jepang berkisar antara 1,5-3,7. Hasil uji kandungan asap cair menggunakan GC-MS (*Gas Chromatography Mass Spectrometry*) menunjukan adanya senyawa yang terkandung pada sampel asap cair yaitu fenol sebesar 46,14 %, karbonil sebesar 15,55 % dan senyawa lainnya sebesar 38,3 %.

Penelitian selanjutnya dapat melakukan pengujian Nilai Kalor dan Viskositas terhadap Asap cair. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan proses Distilasi guna memurnikan asap cair. Kemudian untuk peneliti selanjutnya dapat memilih model respon surface yang berbeda dari software design expert v.13.

## 5. Daftar Pustaka

1. Budaraga, I Ketut, Arnim, Yetti Marlida, dan Usman Bulanin. 2016. *Liquid Smoke Production Quality from Raw Materials Variation and Different Pyrolysis Temperature. International Journal of ChemTech Research*, Vol.6 No.3 ISSN: 2088-5334. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.6.3.737>
2. Brown, J. N., & Brown, R. C. (2012). Process optimization of an auger pyrolyzer with heat carrier using response surface methodology. *Bioresource technology*, 103(1), 405-414. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.09.117>
3. Bahri, S., Ginting, Z., Vanesa, S., & ZA, N. (2021). Formulasi Sediaan Gel Minyak Atsiri Tanaman Nilam (Pogostemon Cablin Benth) Sebagai Antiseptik Tangan (Hand Sanitizer). *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 8(1), 87. <https://doi.org/10.29103/jtku.v10i1.4179>
4. Ginting, Z., Ishak, I., & Ilyas, M. (2021). Analisa Kandungan Patchouli Alcohol Dalam Formulasi Sediaan Minyak Nilam Aceh Utara (Pogostemon Cablin Benth) Sebagai Zat Pengikat Pada Parfum (Eau De Toilette). *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 8 (1) ,12 . <https://doi.org/10.29103/jtku.v10i1.4162>
5. Guenther, E. 1948, *The Essential Oils*, Volume I, Van Nostrand Company Inc., New York. <https://doi.org/10.1002/jps.3030410627>
6. Montgomery, D.C. (2008). *Design and analysis of experiments. John Wiley & Sons, New York*. <https://doi.org/10.1016/j.jspi.2008.04.004>
7. Manoi ,F; 2012 *Perkembangan teknologi pengolahan dan penggunaan minyak nilam serta pemanfaatan limbahnya, Balai penelitian tanaman obat dan aromatic*. <http://doi.org/10.31941/biofarm.v15i2.1195>
8. Wijaya, M., E. Noor, T. Tedja Irawadi, dan G. Pari. 2008. *Karakterisasi Asap Cair dan Pemanfaatannya sebagai Biopestisida. Bionature*, vol 9(1):34-40. <https://doi.org/10.20961/jkpk.v2i3.11974>
9. Yuliani, S., Tritransingih dan S. Rusli. 2005. *Efektivitas Lilin Penolak Lalat (Repelen) Dengan Bahan Aktif Limbah Penyulingan Minyak Nilam*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian. <http://doi.org/10.21082/jpasca.v2n1.2005.1-10>
10. Oramahi, H.A., Yoshimura, T., Rusmiyanto,E., Kustiati, 2020. *Optimization and Characterization of Wood Vinegr Produced by Shorea leavis Ridl Wood*. <https://doi.org/10.22146/ijc.45783>

11. Pyrolysis, Indones, J. Chem. <https://doi.org/10.22146/ijc.45783>
12. Sulhatun, , Hasibuan, R., Harahap, H., Iriani, and Fithra, H. (2018), "Improving Production of Liquid Smoke from Candlenut Shell by Pyrolysis Process", *Proceedings of MICO MS 2017 (Emerald Reach Proceedings Series, Vol. 1)*, Emerald Publishing Limited, Bingley, pp. 143-149. <https://doi.org/10.1108/978-1-78756-793-1-00056>
13. Sarwendah,M.,Feriadi,F.,Wahyuni,T., & Arisanti,T.N. (2019). PEMANFAATAN LIMBAH KOMODITAS PERKEBUNAN UNTUK PEMBUATAN ASAP CAIR/Utilization of Plantation Commodities Waste for Liquid Smoke. *Jurnal Penelitian Tanaman Industri*, 25(1), 22-30. <http://dx.doi.org/10.21082/litri.v25n1.2019.22-30>
14. Kadlimatti, H. M., Mohan, B. R., & Saidutta, M. B. (2019). Bio-oil from microwave assisted pyrolysis of food waste optimization using response surface methodology. *Biomass and Bioenergy*, 123, 25-33. <https://doi.org/10.1080/17597269.2019.1573609>