

OPTIMASI PRODUKSI ASAP CAIR DARI KAYU MEDANG (*Cinnamomum* sp.) MENGUNAKAN METODE PERMUKAAN RESPON

Optimization of wood vinegar production from medang wood (Cinnamomum sp.) using response surface methodology (RSM)

H. A. Oramahi¹⁾, Farah Diba²⁾, Rizka Diah Permana³⁾

^{1,2)} Fakultas Kehutanan Universitas Tanjungpura, Pontianak

¹⁾ email: oramahi_stp@yahoo.com; oramahi@fahutan.untan.ac.id

³⁾ Mahasiswa Pascasarjana Program Studi Ilmu Kehutanan
Universitas Tanjungpura, Pontianak

Abstract

In this work medang wood (*Cinnamomum* spp.) was pyrolyzed to produces wood vinegar. The effect of several parameters including the wood particle size, pyrolysis temperature, and pyrolysis time on the pyrolysis efficiency was tested to identify the optimal wood vinegar production conditions. The efficient response surface methodology (RSM) with the Box-Behnken design (BBD) was used for modeling and optimization of the process parameters. RSM used three variable designs namely particle size of wood of 2.38, 3.36, and 4.76 mm, respectively, pyrolysis temperature of 370, 400 and 430°C, respectively, and pyrolysis times 90, 120 and 150 minutes, respectively, with the total of 15 experimental runs. The responses of the BBD fitted with a second-order polynomial equation, illustrating the wood vinegar yield was $Y = 15.20 + 0.31 X_1 + 5.00 X_2 + 0.48 X_3 - 1.84 X_{12} - 1.18 X_{22} + 0.63 X_1 X_2 + 0.35 X_1 X_3 + 0.31 X_2 X_3 - 0.27 X_3 X_3$. The optimal conditions found to be at the particle size of wood, pyrolysis temperature, and pyrolysis time were 4.76 mm, 475 °C, 195 minutes, respectively, and yield of wood vinegar was 22.90 %.

Keywords: wood vinegar; Cinnamomum spp.; response surface methodology; pyrolysis temperature

PENDAHULUAN

Asap cair merupakan kondensat atau produk berupa cairan yang diperoleh dari hasil pemanasan suhu tinggi tanpa udara (Lee et al. 2011). Asap cair telah dimanfaatkan dalam berbagai keperluan seperti sebagai bahan antirayap (Indrayani et al. 2012), antijamur (Chungsiriporn et al. 2018), anti bakteri (Yang et al. 2016), anti serangga (Temiz et al. 2010), dan antioksidan (Ma et al. 2014). Mengingat banyak kegunaan asap cair banyak peneliti yang melakukan proses produksi dengan

mengkombinasikan berbagai faktor yang mempengaruhi produksi asap cair.

Beberapa penelitian terdahulu yang dilakukan mengevaluasi perbedaan jenis, ukuran partikel kayu, suhu pirolisis dan waktu pirolisis terhadap rendemen asap cair dan komponen penyusun asap cair (Ma et al. 2013; Oramahi et al. 2019; Sarwendah et al. 2019). Sarwendah et al. (2019) menyatakan bahwa adanya perbedaan produksi asap cair dari tempurung kelapa, cangkang kelapa sawit, dan serbuk gergaji. Produksi asap cair tertinggi sebesar 36% diperoleh dari hasil pirolisis tempurung kelapa, diikuti oleh produksi asap cair cangkang kelapa sawit dan serbuk gergaji, masing-masing sebesar 21,8 % dan 15,73 %. Oramahi et al. (2020)

mengatakan bahwa ukuran partikel kayu dan suhu pirolisis sebagai faktor utama mempengaruhi produksi asap cair. Komponen penyusun asap cair dari tandan kosong kelapa sawit seperti fenol dan total asam sebesar masing-masing 3,13% dan 10,04%.

Perbedaan faktor tersebut diduga mempengaruhi produksi asap cair, oleh karena itu perlu metode yang tepat untuk melakukan optimasi terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi produksi asap cair. Beberapa peneliti telah melakukan percobaan tentang perbedaan partikel bahan baku kayu, suhu pirolisis, dan waktu pirolisis (Ngo et al. 2013; Crespo et al, 2017; Akhtar et al. 2012). Metode permukaan respon (*response surface methodology*) telah banyak diadopsi oleh peneliti dalam optimasi terhadap faktor yang mempengaruhi produksi asap cair. RSM telah dilakukan untuk optimasi terhadap produksi asap cair dari *Shorea leavis* (Oramahi et al. 2020). Kondisi optimum produksi asap cair sebesar 30,31 % dicapai pada kondisi partikel kayu sebesar 3,85 mm, suhu pirolisis (400 °C) dan waktu pirolisis (93 menit).

Produksi optimal *bi oil* yang diperoleh dari limbah makanan adalah 30,24 % pada kondisi suhu pirolisis (400 °C), waktu *residence* (30 menit) dan, *nitrogen flow rate* sebesar 50 mL min⁻¹ (Kadlimatti et al. 2019). Tujuan penelitian ini adalah optimasi produksi asap cair dari kayu medang (*Cinnamomum sp.*) pada ukuran partikel kayu, suhu pirolisis dan waktu pirolisis.

METODE PENELITIAN

Preparasi bahan dan pirolisis asap cair

Bahan baku kayu medang diperoleh dari toko bangunan di Pontianak. Kayu medang dipotong dan dibuat partikel dengan ukuran sebesar 2,38, 3,36, dan 4,76 mm. Partikel kayu tersebut dimasukan ke dalam alat pirolisis pada suhu yang berbeda (370, 400, dan 430 °C) dan waktu pirolisis selama

90, 120, dan 150 menit. Pirolisis dilakukan dengan alat pirolisis mengacu pada metode Tranggono et al. (1996) dan dilaksanakan di Laboratorium Rekayasa Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada.

Desain ekperimental

Metode permukaan respon merupakan suatu kumpulan teknik matematik dan statistik yang dimanfaatkan dalam pemodelan dan analisis masalah pada suatu respon (Y) sebagai variabel terikat, yang dipengaruhi oleh beberapa variabel bebas dan tujuannya adalah untuk mengoptimasi respon tersebut (Montgomery, 2008). Montgomery (2008) menyatakan bahwa dalam penyelesaian RSM digunakan model matematika polinomial orde satu atau orde dua, sebagai berikut:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (\text{orde pertama}) \quad (1)$$

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (\text{orde kedua}) \quad (2)$$

Persamaan (1) merupakan model matematika yang umum digunakan untuk RSM. Persamaan (2) dibuat dalam persamaan matrik:

$$\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + X'b + X'BX \quad (3)$$

Kondisi optimum yang dicari menggunakan nilai turunan pertama dari model matematika yang didapat, sebagai catatan turunan model matematika tersebut sama dengan nol. Persamaan matematika yang mengekspresikan kondisi di atas yaitu:

$$\frac{\partial \hat{Y}}{\partial X} = b + 2BX = 0 \quad (4)$$

Selanjutnya titik stasioner atau titik optimum sebagai berikut:

$$X_0 = -\frac{1}{2} B^{-1} b \quad (4) \text{ atau}$$

X_0 = prediksi variabel yang menghasilkan Y optimum (Y_0)

Nilai respon yang optimum atau Y_0 , dicari dengan mensubstitusi persamaan (5) ke persamaan (3) seperti:

$$\hat{Y}_0 = \beta_0 + \frac{1}{2} X_0' b \quad (5)$$

Selanjutnya, persamaan untuk mendapatkan nilai eigen matrik B sebagai berikut:

$$Y = Y_0 + \lambda_1 W_1^2 + \lambda_2 W_2^2 + \dots + \lambda_k W_k^2 \quad (6)$$

Bila semua nilai λ adalah positif semua, grafik yang dihasilkan adalah berbentuk minimum, bila λ semua negatif, grafik yang dihasilkan berbentuk maksimum, bila nilai λ kombinasi yang positif dan negatif, grafik yang didapatkan berupa *saddle* (Montgomery, 2008).

Penelitian menggunakan metode permukaan respon dengan desain BBD dengan tiga faktor. Faktor pertama yaitu asap cair kayu medang hasil pirolisis pada kondisi ukuran artikel kayu (2,38, 3,36, dan 4,76 mm). Faktor kedua adalah suhu pirolisis yaitu 370, 400, dan 430 °C. Faktor ketiga adalah waktu pirolisis yaitu 90, 120, dan 150 menit, seperti tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel bebas pada Desain Box-Behnken

Variabel bebas	Simbol	Kode level variabel		
		Rendah	Tengah	Tinggi
		-1	0	1
Ukuran partikel kayu (mm)	X_1	2.38	3.36	4.76
Suhu Pirolisis (°C)	X_2	370	400	430
Waktu Pirolisis (menit)	X_3	90	120	150

Analisis Statistik

Analisis data menggunakan *SAS Software* (versi 8.2, SAS Institute Inc., NC. USA) dan *Statistica Software* (versi 6.0).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil percobaan dan prediksi produksi asap cair yang diperoleh dari kayu medang menggunakan pirolisis, terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai hasil dari percobaan dan prediksi dalam Desain Box-Behnken Design

No	X_1	X_2	X_3	Produksi Asap Cair (%)	
				Percobaan	Prediksi
1	-1	-1	0	18,75	19,54
2	-1	1	0	14,38	14,22
3	1	-1	0	15,63	16,26
4	1	1	0	15,63	15,20
5	-1	0	-1	15,63	15,20
6	-1	0	1	11,15	12,57
7	1	0	-1	14,34	15,20
8	1	0	1	12,50	12,66
9	0	-1	-1	14,34	12,92
10	0	-1	1	18,75	18,12
11	0	1	-1	6,88	7,51
12	0	1	1	7,50	6,87
13	0	0	0	8,13	8,92
14	0	0	0	18,75	17,96
15	0	0	0	9,38	8,59

Faktor utama yang mempunyai kontribusi terhadap produksi asap cair adalah suhu pirolisis (Kartal *et al.* 2011). Nilai koefisien variasi dalam memprediksi respon sebesar 10,14 mengindikasikan bahwa model ini cukup baik dalam memprediksi produksi asap cair (Tabel 3).

Analisis varian pada model polinomial kuadratik tercermin pada Tabel 4. Model polinomial orde kedua adalah signifikan terlihat dengan rendahnya nilai F-tests ($p < 0.01$) dalam memprediksi produksi asap cair.

Tabel 3. Koefisien regresi pada model polinomial kuadratik

Sumber variasi	Polinomial koefisien	Error	t-value	Pr>t
Intercept	15.20	0,79	19.31	<0.000
X1	0.31	0.48	0.63	0.556
X2	5.00	0.48	10.37	0.000
X3	0.48	0.48	0.99	0.367
X1 * X1	-1.84	0,71	-2.59	0.049
X2 * X1	0.63	0,68	0.92	0.401
X2 * X2	-1.18	0,71	-1.66	0.158
X3 * X1	0.35	0,68	0.51	0.632
X3 * X2	0.31	0,68	0.46	0.666
X3 * X3	-0.27	0,71	-0.38	0.717

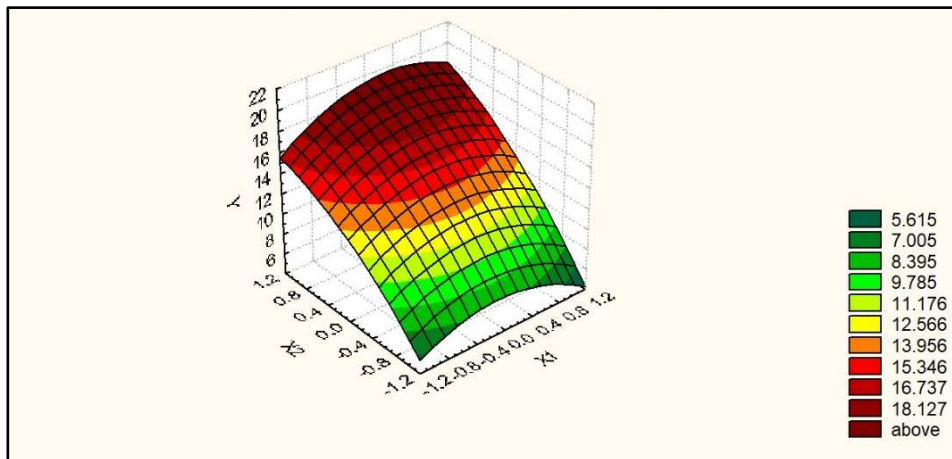
Koefisien variasi = 10,14 %, $R^2 = 0,96$

Koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,96 menunjukkan model ini sangat baik dalam mengestimasi suatu respon. Hal ini mengindikasikan bahwa variabel bebas (X1, X2 dan X3) memberikan pengaruh sebesar 96 % terhadap respon (Y) dan sebesar 4 % dari total variasi yang tidak dapat dijelaskan oleh model yang ada.

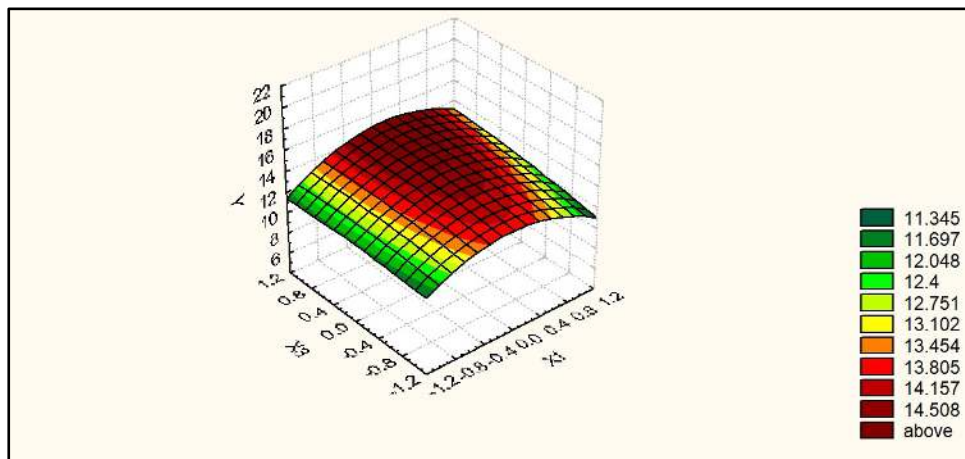
Hasil penelitian ini didukung oleh hasil penelitian Barbanera *et al.* (2018) yang mendapatkan nilai koefisien determinasi yang tinggi menunjukkan bahwa model ini dapat diandalkan dalam memprediksi respon yang ada. Hal yang sama ditemukan oleh Brown and Brown (2012) yang menyatakan bahwa nilai koefisien determinasi yang tinggi menunjukkan model yang diperoleh dapat diterima. Gambar 1-3 menunjukkan kurva tiga dimensi (3D) yang mengilustrasikan pengaruh variabel bebas yaitu ukuran partikel kayu (X1), suhu pirolisis (X2), dan waktu pirolisis (X3) terhadap respon (produksi asap cair). Kondisi optimal proses operasi adalah pada ukuran partikel (4,76 mm), suhu pirolisis (475 °C), dan waktu pirolisis (195 menit)

dan produksi asap cair optimal sebesar 22,90 %.

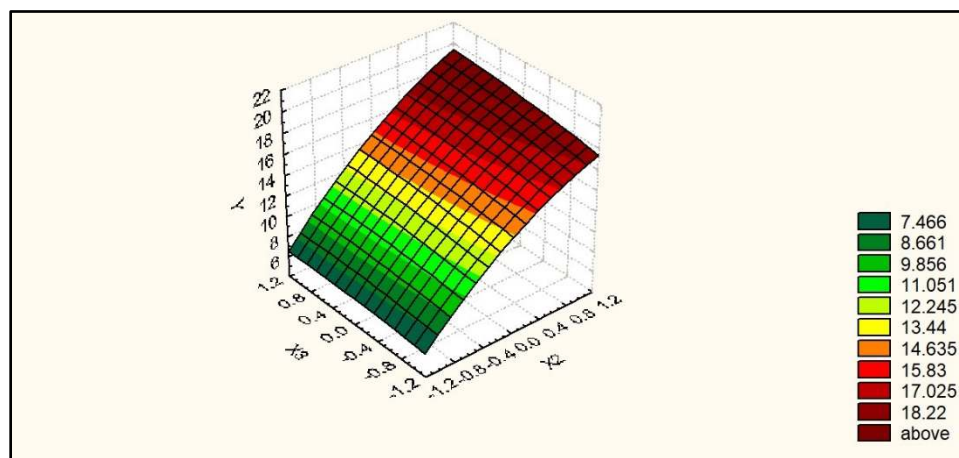
Oramahi *et al.* (2020) melaporkan bahwa produksi asap cair optimal yang diperoleh dari pirolisis kayu bengkirai sebesar 30,31 %. Perbedaan rendemen (produksi) asap cair yang diperoleh disebabkan oleh beberapa faktor antara lain jenis bahan baku, ukuran partikel bahan baku dan suhu pirolisis (Abnisa *et al.*, 2012; Ma *et al.* 2013; Oramahi *et al.* 2020)). Perbedaan jenis bahan baku ini menyebabkan perbedaan kandungan kimia penyusun kayu seperti selulosa, hemiselulosa dan lignin. Hal ini diperkuat oleh Grewal *et al.* (2018) dan Choi *et al.* (2015) yang menyatakan bahwa kandungan kimiawi kayu tersusun oleh selulosa, hemiselulosa dan lignin.



Gambar 1. Permukaan respon produksi asap cair dari kayu medang sebagai fungsi dari ukuran partikel kayu (X_1 ; mm) dan suhu pirolisis (X_2 ; °C)



Gambar 2. Permukaan respon produksi asap cair dari kayu medang sebagai fungsi dari ukuran partikel kayu (X_1 ; mm) dan waktu pirolisis (X_3 ; menit)



Gambar 3. Permukaan respon produksi asap cair dari kayu medang sebagai fungsi dari suhu pirolisis (X_2 ; °C) dan waktu pirolisis (X_3 ; menit)

Analisis varian pada model kuadratik tercantum pada Tabel 4. Hasil tersebut

menunjukkan bahwa model linear signifikan ($p < 0.05$), sementara kuadratik

dan interaksi tidak signifikan.

Tabel 4. Analisis varian pada model kuadrat

Regresi	DF	Sum of squares	R ²	p-value (prob > F)
Linear	3	202.46	0.88	0.001
Quadratic	3	16.42	0.07	0.138
Cross product	3	2.44	0.02	0.736
Total Model	9	221.31	0.96	0.005

Persamaan polinomial orde kedua desain BBD yang mengilustrasikan produksi asap cair sebagai berikut:

$$Y = 15.20 + 0.31 X_1 + 5.00 X_2 + 0.48 X_3 - 1.84 X_1^2 - 1.18 X_2^2 + 0.63 X_1 X_2 + 0.35 X_1 X_3 + 0.31 X_2 X_3 - 0.27 X_3 X_3 \quad (7)$$

Persamaan kanonik sebagai iluastasi bentuk grafik sebagai berikut:

$$Y = 22.90 - 0.21 W_1^2 - 1.10 W_2^2 - 1.97 W_3^2 \quad (8)$$

Nilai λ adalah semua negatif sehingga grafik yang dihasilkan berbentuk maksimum (Gambar 1-3).

KESIMPULAN

Optimasi dengan metode permukaan respon diperoleh produksi asap cair optimal pada ukuran partikel kayu (4,76 mm), suhu pirolisis (475 °C), dan waktu pirolisis (22,90 %). Kondisi operasi tersebut menghasilkan asap cair sebesar 22,90 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan kepada Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Inovasi Nasional yang telah memberikan hibah Penelitian Tesis Magister Tahun 2020.

DAFTAR PUSTAKA

- Abnisa F, Arami-Niya A, Wan Daud, WMA, Sahu JN, Noor IM. (2013). Utilization of oil palm tree residues to produce bio-oil and bio-char via pyrolysis. *Energy Conversion and Management*, 76:1073-1082.
- Akhtar, J., and Amin, N.S. (2012). "A review on operating parameters for optimum liquid oil yield in biomass pyrolysis,". *Renew. Sust. Energy. Rev.* 16(7), 5101–5109. DOI: 10.1016/j.rser.2012.05.033
- Barbanera, M., Pelosi, C., Taddei, A. R., & Cotana, F. (2018). Optimization of bio-oil production from solid digestate by microwave-assisted liquefaction. *Energy conversion and management*, 171, 1263-1272.
- Brown, J. N., & Brown, R. C. (2012). Process optimization of an auger pyrolyzer with heat carrier using response surface methodology. *Bioresour. technology*, 103(1), 405-414.
- Choi, G.G., Oh, S.J., Lee, S.J., and Kim, J.S. (2015) "Production of bio-based phenolic resin and activated carbon from bio-oil and biochar derived from fast pyrolysis of palm kernel shells," *Bioresour. Technol.* 178, 99–107. hDOI: 10.1016/j.biortech.2014.08.053
- Chungsiriporn J, Pongyeela P, Iewkittayakorn J. (2018). Use of wood vinegar as fungus and malodor retarding agent for natural rubber products. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 40:87-92.

- Crespo, Y.A., Naranjo, R.A., Quitana, Y.G., Sanchez, C.G., and Sanchez, E.M.S. (2017) "Optimisation and characterisation of bio-oil produced by Acacia mangium Willd wood pyrolysis," *Wood Sci. Technol.* 51(5), 1155–1171. DOI: 10.1007/s00226-017-0913-x
- Grewal A, Abbey L, Gunupuru LR. (2018). Production, Prospects and Potential Application of Pyroligneous Acid in Agriculture. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 135:152-159.
- Indrayani Y, Oramahi HA, Nurhaida. (2012). Evaluation of wood vinegar as bio-pesticide to control subterranean termites *Coptotermes* sp. *Tengkawang Jurnal*, 1:87-96.
- 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.
- Kartal, S.N., E. Terzi, K. Kose, J. Hofmeyr, & Y.Imamura. (2011). Efficacy of Tar Oil Recovered during Slow Pyrolysis of Macadamia Nut Shells. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 65: 369–373.
- Lee, S.H., H'ng, P.S., Lee, A.N., Sajap, A.S., Tey, B.T., and Salmiah, U. (2011), "Production of of wood vinegar from lignocellulosic biomass and their Effectiveness against biological attacks,". *J. Appl. Sci.* 10(20), 2440–2446
- Ma, C., Song, K., Yu, J., Yang, L., Zhao, C., Wang, W., Zu, G., and Zu, Y., (2013). "Pyrolysis process and antioxidant activity of wood vinegar from Rosmarinus officinalis leaves," *J. Anal. Apl. Pyrol.* 104, 38–47. DOI: 10.1016/j.jaap.2013.09.011
- Montgomery, D.C. (2008). *Design and analysis of experiments*. John Wiley & Sons, New York.
- Ngo, T.A., Kim, J., Kim, S.S. (2013). "Fast pyrolysis of palm kernel cake using a fluidized bed reactor: Design of experiment and characteristics of bio-oil," *J. Ind. Eng. Chem.* 19(1), 137–143. DOI: 10.1016/j.jiec.2012.07.015
- Oramahi, H. A., Wardoyo, E. R. P., Kustiati (2019). Optimization of pyrolysis condition for bioactive compounds of wood vinegar from oil palm empty bunches using response surface methodology (RSM). In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 633). IOP Publishing.
- Oramahi, H. A., Diba, F., and Yoshimura, T. (2015). "Optimization of production of lignocellulosic biomass bio-oil from oil palm trunk," *Procedia Environmental Sciences* 28, 769-777. DOI: 10.1016/j.proenv.2015.07.090
- Oramahi, H.A., Yoshimura, T., Rusmiyanto, E., Kustiati, 2020. Optmization and Characterization of Wood Vinegr Produced by *Shorea leavis* Ridl Wood Pyrolysis, Indones, J. Chem. DOI: 10.22146/ijc.45783
- 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.
- Temiz A, Alma MH, Terziev N, Palanti S. Feci E. (2010). Efficiency of bio-oil against wood destroying organisms. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 4:317-323.
- Tranggono, Suhardi, Setiadi, B., Darmadji, P., Supranto, Sudarmanto, (1996). "Identifikasi asap cair dari berbagai jenis kayu dan tempurung kelapa," *J. Ilmu dan Teknologi Pangan* 1, 15–24
- Yang JF, Yang CH, Liang MT, Gao ZJ, Wu YW, Chuang LY. (2016). Chemical composition, antioxidant, and antibacterial activity of wood vinegar from Litchi chinensis. *Molecules*, 21:1150.