

PENGARUH VARIASI DAYA GELOMBANG MIKRO TERHADAP PRODUKSI PIROLISIS BIOMASSA KULIT PINUS DENGAN KATALIS ZEOLIT

Bagus Fatkhur Rochman¹, Ena Marlina², Nur Robbi³

1) Universitas Islam Malang

email: bfatkhur4@gmail.com

2) Universitas Islam Malang

email: enamarlina@unisma.ac.id

3) Universitas Islam Malang

email: nurrobby@unisma.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi daya gelombang mikro terhadap produksi pirolisis biomassa kulit pinus dengan katalis zeolit. Dalam konteks krisis energi di Indonesia, pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi terbarukan menjadi sangat relevan. Kulit pinus, yang kaya akan hemiselulosa dan lignin, diolah melalui pirolisis dengan metode *Microwave Assisted Pyrolysis* (MAP) untuk menghasilkan produk berupa asap cair, arang, dan gas. Penelitian dilakukan dengan variasi daya microwave pada 400 watt, 600 watt, dan 800 watt selama 30 menit. Hasil menunjukkan bahwa daya 800 watt menghasilkan *liquid smoke* tertinggi sebesar 16,82% dengan suhu akhir mencapai 138,56°C, sedangkan daya 400 watt menghasilkan *yield liquid* terendah sebesar 10%. Selain itu, peningkatan daya juga berpengaruh pada penurunan hasil char, dengan *yield char* tertinggi tercatat pada daya 400 watt. Kesimpulannya, penggunaan daya yang lebih tinggi dalam proses pirolisis meningkatkan efisiensi produksi *liquid smoke* dan mengurangi residu arang, sehingga memberikan kontribusi positif terhadap pengembangan energi terbarukan dari biomassa.

Kata kunci: Pirolisis, Biomassa Kulit Pinus, *Microwave Assisted Pyrolysis* (MAP)

ABSTRACT

This study aims to examine the effect of varying microwave power on the pyrolysis production of pine bark biomass using zeolite catalyst. In the context of the energy crisis in Indonesia, utilizing biomass as a renewable energy source is highly relevant. Pine bark, which is rich in hemicellulose and lignin, is processed through pyrolysis using the Microwave Assisted Pyrolysis (MAP) method to produce products such as liquid smoke, charcoal, and gas. The research was conducted with microwave power variations of 400 watts, 600 watts, and 800 watts for 30 minutes. The results indicate that 800 watts produced the highest liquid smoke yield of 16.82% with a final temperature of 138.56 °C, while 400 watts yielded the lowest liquid output at 10%. Additionally, increasing power also affected the reduction in charcoal yield, with the highest charcoal yield recorded at 400 watts. In conclusion, using higher power during pyrolysis enhances the efficiency of liquid smoke production and reduces charcoal residue, thus contributing positively to the development of renewable energy from biomass.

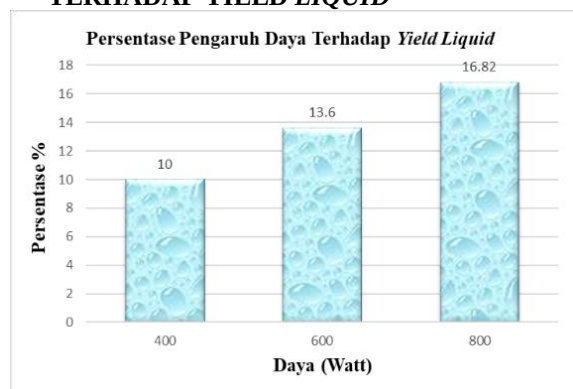
Keywords: pyrolysis, pine bark biomass, microwave assisted pyrolysis (MAP)

Tabel 1. Data hasil penelitian

Daya (watt)	Liquid (gr)	Char (gr)	Liquid (%)	Char (%)	Gas (%)
400	5	42,28	10	84,56	5,44
600	6,80	39,06	13,6	78,12	8,28
800	8,41	36,42	16,82	72,84	10,34

Dari tabel 1 data hasil penelitian MAP (*Microwave Assited Pyrolysis*) biomassa kulit pinus dengan katalis zeolit memiliki persentase yang bervariasi sesuai dengan daya yang di tetapkan yakni, pada daya 400 watt menghasilkan liquid paling rendah yakni 5 ml dengan termpratur akhir 87,28°C, sedangkan pada daya 800 watt menghasilkan liquid paling tinggi yakni 8,41 ml dengan tempratur akhir 138,56°C, Pada hal ini daya juga berpengaruh terhadap hasil *char* yang diperoleh, pada daya 400 watt *char* yang di peroleh sebanyak 42,28 gram sedangkan pada daya 800 watt *char* yang diperoleh sebanyak 36,42 gram.

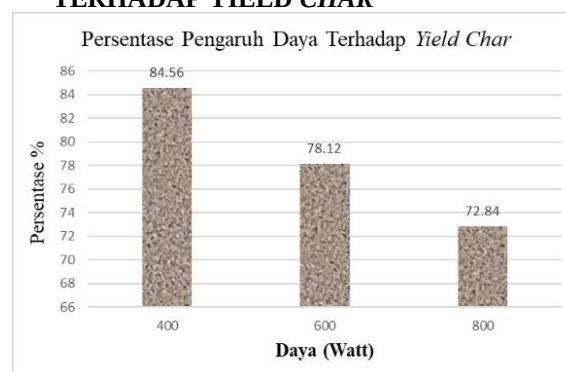
a. PERSENTASE PENGARUH DAYA TERHADAP YIELD LIQUID

**Gambar 2.** Persentase Pengaruh Daya Terhadap Yield Liquid

Pada gambar 2. menunjukan persentase hasil dari pirolisis biomaasa kulit pinus dengan katalis zeolit dengan daya *microwave* 400, 600 dan 800 watt dengan waktu 30 menit, jumlah produksi *liquid* paling tinggi di hasilkan pada daya 800 watt dengan persentase 16,82 %, sedangkan jumlah *liquid* paling rendah di hasilkan pada daya 400 Watt dengan persentase 10%. Terlihat dari seiring peningkatan daya, persentase *yield liquid* juga mengalami peningkatan. Hal ini menunjukkan bahwa daya yang di gunakan lebih tinggi menghasilkan lebih banyak *liquid* dalam proses pirolisis.

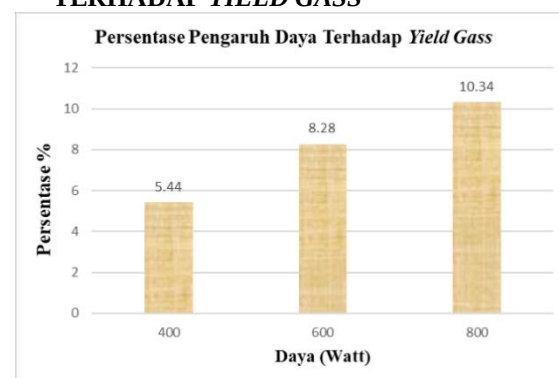
Asap cair (*liquid smoke*) adalah produk yang dihasilkan dari proses kondensasi atau pengembunan uap yang berasal dari pembakaran bahan-bahan yang kaya akan lignin, selulosa, hemiselulosa, serta senyawa karbon lainnya, baik melalui metode pembakaran langsung maupun tidak langsung [11].

b. PERSENTASE PENGARUH DAYA TERHADAP YIELD CHAR

**Gambar 3.** Persentase Pengaruh Daya Terhadap Yield Char

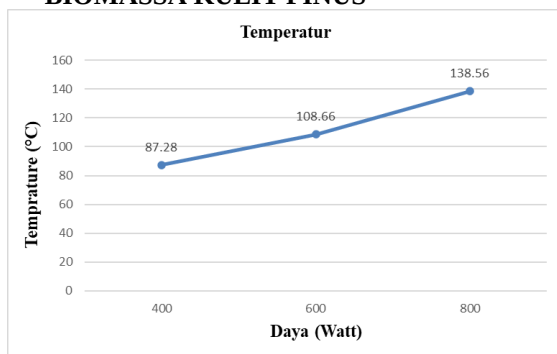
Selanjutnya pada 3 gambar menunjukkan hasil persentase dari *yield char* yang di hasilkan dalam proses produksi pirolisis dengan menggunakan metode MAP (*Microwave Assited Pyrolysis*). Pada daya 400 Watt memperoleh hasil *yield char* tertinggi tercapai, dengan persentase sebesar 84,56%, sedangkan pada daya 600 Watt, persentase *yield char* menurun menjadi 78,12%. *Yield char* terendah tercatat sebesar 72,84% dengan daya 800Watt. Ini menunjukkan bahwa pada daya yang relatif rendah, proses pirolisis menghasilkan lebih banyak residu *char*, yang disebabkan oleh pembakaran yang kurang sempurna di dalam reaktor, bertambahnya daya *microwave*, intensitas pemanasan di dalam reaktor juga semakin meningkat. Hal ini mengakibatkan reaksi pirolisis yang lebih intens, yang memecah bahan baku secara lebih efektif menjadi komponen gas atau minyak, sehingga hasil *char* yang dihasilkan cenderung lebih rendah pada daya yang lebih tinggi. Penggunaan temperatur juga memiliki dampak signifikan terhadap dekomposisi termal biomassa. Semakin tinggi suhu pirolisis, semakin banyak biomassa yang mengalami proses dekomposisi, yang mengakibatkan penurunan jumlah produk akhir berupa *char* [12].

c. PERSENTASE PENGARUH DAYA TERHADAP YIELD GASS

**Gambar 4** Persentase Pengaruh Daya Terhadap Yield Gass

Berikutnya pada gambar 4 menunjukkan persentase hasil gas pada produksi pirolisis. Hasil penelitian menunjukkan tiga tingkat daya yang berbeda, yaitu 400 watt, 600 watt, dan 800 watt, menunjukkan perubahan persentase *yield gas* pada masing-masing tingkat daya tersebut. Pada daya 400 watt, *Yield gass* tercatat sebesar 5,44%. Ini merupakan nilai terendah, yang menunjukkan bahwa daya rendah menghasilkan *yield gass* yang relatif kecil. Pada daya 600watt *Yield gass* mengalami peningkatan yang signifikan menjadi 8,28%. Kenaikan ini menunjukkan bahwa dengan meningkatkan daya dari 400 watt ke 600 watt, *yield gas* bertambah sekitar 2,84%. Pada daya 800 watt *Yield gass* kembali mengalami peningkatan menjadi 10,34%, ini merupakan persentase tertinggi. Kenaikan dari 600 watt ke 800 watt menghasilkan peningkatan *yield gas* sebesar 2,06%, yang sedikit lebih rendah dibandingkan kenaikan dari 400 watt ke 600 watt. Gas yang dihasilkan dalam proses pirolisis dapat berjumlah terlalu banyak, sehingga menyebabkan penurunan pada produksi minyak [13].

2. TEMPERATURE AKHIR DARI PIROLISIS BIOMASSA KULIT PINUS



Gambar 5. Temperatur Akhir Dari Pirolisis Biomassa Kulit Pinus

Pada gambar 4.6 menunjukkan temperatur hasil penelitian yang dilaksanakan selama 30 menit. Suhu temperatur cenderung naik, hal ini disebabkan karena perbedaan pada daya *microwave* yang telah ditentukan. Temperatur tertinggi diperoleh pada daya 800 watt sebesar 138,56 °C dan temperatur terendah pada daya 400 watt sebesar 87,28 °C. Pada grafik di atas menunjukkan kenaikan temperatur yang cukup konsisten yang bisa diartikan semakin tinggi daya yang digunakan memberikan kontribusi yang signifikan terhadap temperatur pada saat proses pirolisis. Peningkatan temperatur pirolisis, mengakibatkan komposisi biomassa (selulosa, hemiselulosa, dan lignin) yang terurai semakin banyak sehingga *yield bio-oil* meningkat dengan meningkatnya temperatur pirolisis [14].

3. KESETIMBANGAN ENERGI

Keseimbangan energi (*Energy Balance*) adalah persamaan matematis yang menyatakan

interaksi antara energi masuk dan energi yang keluar suatu sistem yang berdasarkan pada satuan waktu operasi [15].

Tabel 2. *Specific Heat Capacity* biomassa

Nama Sampel	Cp Specific Heat Capacity (kJ/kg K)	Sumber
Kulit pinus	3,4	[16]
Liquid	3	[17]
Char	1,3	[17]
Gas	0,8	[18]

Tabel 3. Perhitungan Kesetimbangan Energi

Daya Microwave (Watt)	Q _{in} (kJ)	Q _{out} Total (KJ)	Energi loss Q _{in} -Q _{out}
400	720	308.900	411,1
600	1080	473,210	606,79
800	1440	649,780	790,22

Energi total (Q_{out} Total) meningkat seiring dengan peningkatan daya microwave, menunjukkan bahwa daya yang lebih tinggi meningkatkan efisiensi pirolisis. Namun, peningkatan kontribusi *liquid* dan gas lebih dominan dibandingkan *char* pada daya yang lebih tinggi, menandakan kemungkinan optimasi untuk menghasilkan produk gas atau cair. Pada daya yang lebih rendah 400 watt, sistem lebih efisien meskipun hasil produk lebih sedikit. Pada daya yang lebih tinggi 800 watt, total produk meningkat, tetapi energi hilang juga menjadi lebih besar.

4. Visualisasi *liquid smoke*



Gambar 6. Visualisasi *liquid smoke*

Pada gambar 6. visualisasi *liquid smoke* hasil dari proses MAP (*microwave assisted pyrolysis*) dapat dilihat dari warna *liquid smoke* pada daya 800

watt cenderung lebih gelap, dari 600 watt dan 400 watt, hal ini disebabkan oleh residu yang ikut terkondensasi pada proses pirolisis berlangsung. Dapat dilihat dari gambar di atas bahwa dari visualisasi warna ketiga tampilan hampir sama, perbedaan yang terlihat jelas adalah dari segi kuantitas, dimana hasil *liquid smoke* pada variasi daya 400 watt memiliki jumlah produk yang paling sedikit dan pada daya 800 watt memiliki jumlah produk yang paling banyak.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini bahwa penggunaan metode pirolisis dengan *Microwave Assisted Pyrolysis* (MAP) pada biomassa kulit pinus dengan katalis zeolit menunjukkan hasil optimal pada daya 800 watt. Daya 800 watt ini menghasilkan produk *liquid smoke* (asap cair) yang paling tinggi dengan persentase 16,82%, disertai hasil *char* (arang) yang lebih sedikit dan gas yang lebih banyak dibandingkan daya yang lebih rendah (400 watt dan 600 watt). Semakin tinggi daya *microwave* yang digunakan, semakin tinggi suhu dalam reaktor, yang meningkatkan efisiensi proses pirolisis dalam menghasilkan *liquid smoke* yang lebih tinggi dan hasil arang yang lebih rendah. Pada daya **800 watt**, energi total (Q_{out}) mencapai **649,78 kJ**, lebih tinggi dibanding daya 600 watt (473,21 kJ) dan 400 watt (308,90 kJ). Namun, energi hilang (*loss*) juga meningkat pada daya tinggi.

REFERENSI

- [1] Nini Astarini. (2022). Pengaruh Daya Microwave Pada Metode Pirolisis Terhadap Produksi Dan Karakterisasi Biochar Ampas Sagu. *Jurnal Teknologi*, 8.5.2017, 2003–2005. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/autism-spectrum-disorders>
- [2] Güngör, A., Öncü, S., Uç, S., & Yanık, J. (2012). *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis Comparison between the "one-step" and "two-step" catalytic pyrolysis of pine bark*. 97, 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2012.06.011>
- [3] Yunanda, I. Y., Bahri, S., Saputra, E., Teknik, F., Riau, U., Kimia, J. T., Teknik, F., & Riau, U. (2016). Bio-Oil Menggunakan Katalis Mo / Lempung Cengar. *Jom FTEKNIK*, 3(1), 1–8.
- [4] Febrian, R., & Bahri, S. (2013). *BIO-OIL MENGGUNAKAN KATALIS Cr / LEMPUNG CENGAR*. 1–6.
- [5] Nu'ainir Rosyidah, K. S. (2022). *Pengaruh berbagai jenis biomassa terhadap hasil asap cair pada proses pirolisis*. 8(9), 900–908.
- [6] Pertamina. (2021). *Apa Itu Pirolisis? Bisa Ubah Sampah Plastik Jadi BBM*. Pertamina. [https://www.pertamina.com/id/news-room/energi-news/apa-itu-pirolisis-bisa-](https://www.pertamina.com/id/news-room/energi-news/apa-itu-pirolisis-bisa-ubah-sampah-plastik-jadi-bbm)
- [7] Manajemen, J., Faisal, R. A., Pramudita, Y. D., & Purwoko, S. (2023). *Analisis Strategi Pemasaran Bio-Oil Di Kabupaten Sumenep*. XXIII(2). <https://doi.org/10.350587/Matrik>
- [8] Rusdi, S. M. (2019). *Sulhatun Mah m ud Rusydi Editor: Prof. DR. IR. Rosdanelli Hasibuan, M:I*.
- [9] Marlina, E., Wijayanti, W., Yulianti, L., & Wardana, I. N. G. (2022). The role of 1,8-cineole addition on the change in triglyceride geometry and combustion characteristics of vegetable oils droplets. *Fuel*, 314(November 2021). <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122721>
- [10] Mahfud, M., Qadariah, L., Haqqyana, H., & Aswie, V. (2024). Optimization bio-oil production from *Chlorella* sp. through microwave-assisted pyrolysis using response surface methodology. *Green Energy and Resources*, 2(1), 100057. <https://doi.org/10.1016/j.gerr.2024.100057>
- [11] Ridhuan, K., Irawan, D., & Inthifawzi, R. (2019). Proses Pembakaran Pirolisis dengan Jenis Biomassa dan Karakteristik Asap Cair yang Dihasilkan. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 8(1), 69–78. <https://doi.org/10.24127/trb.v8i1.924>
- [12] Wijayanti, W. (2021). *EFEK ZEOLIT UNTUK PRODUKSI TAR DAN CHAR PADA PIROLISIS ROTARY KILN*. June 2020, 51–58.
- [13] Wahyudi, R., Marlina, E., & Robbi, N. (2023). PENGARUH KATALIS TANAH MERAH TERHADAP PRODUKSI BAHAN BAKAR PIROLISIS DARI SAMPAH PLASTIK PP. *Jim.Unisma*, 1–6. <https://jim.unisma.ac.id/index.php/jts/article/view/18955>
- [14] Rezki, A. S., Wulandari, Y. R., Alvita, L. R., & Sari, N. P. (2023). Potensi Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) sebagai Bioenergi pada Produksi Bio-Oil dengan Metode Pirolisis: Efek Temperatur. *Rekayasa Bahan Alam Dan Energi Berkelanjutan*, 7(1), 22–29. <https://rbaet.ub.ac.id/index.php/rbaet/article/view/2930>
- [15] Sirait, R., Maulana, E., & Mahardika, D. (2020). Analisis Keseimbangan Energi pada Reaktor Pirolisis Kapasitas 75 Kg/Jam. *Seminar Nasional Penelitian LPPM UMJ*, 1–8. website: <http://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnaslit>
- [16] Subasinghe Achchige, Y. M., Volkova, L., Filkov, A. I., & Weston, C. J. (2022). Effect of bark properties on the cambium cell viability of *Eucalyptus* species under low radiative heat exposure. *Forest Ecology and Management*, 521(July), 120443.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120443>
[17] Björnsson, L., Pettersson, M., Börjesson, P., Ottosson, P., & Gustavsson, C. (2021). Integrating bio-oil production from wood fuels to an existing heat and power plant - evaluation of energy and greenhouse gas performance in a Swedish case study. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 48(January).

<https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101648>
[18] Kyle, B. . (1983). *Table A-2_Ideal-gas specific heats of various common gases*.