

PENGARUH VARIASI DAYA GELOMBANG MIKRO TERHADAP PRODUKSI PIROLISIS BIOMASSA SERBUK KAYU DENGAN KATALIS ZEOLIT

Ilham Yogi El Hakim¹, Ena Marlina², Cepi Yazirin³

¹Universitas Islam Malang
e-mail: ilhamyogiel04@gmail.com

²Universitas Islam Malang
e-mail: enamarlina@unisma.ac.id

³Universitas Islam Malang
e-mail: cepiyazirin10@unisma.ac.id

ABSTRAK

Indonesia adalah salah satu negara tropis yang mempunyai industri kayu sangat besar, sehingga banyak limbah serbuk kayu yang dihasilkan cukup banyak. Maka dari itu banyak peneliti yang mulai mengembangkan pemanfaatan energi alternatif yaitu dengan cara menggunakan metode pirolisis. Metode pirolisis ini adalah salah satu cara alternatif untuk memanfaatkan serbuk kayu dengan mengubah menjadi senyawa yang bermanfaat. Pirolisis adalah proses dekomposisi thermal tanpa adanya oksigen yang menghasilkan char, liquid dan gas. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi daya gelombang mikro dengan penambahan katalis zeolit terhadap hasil produksi pirolisis. Metode yang dilakukan pada penelitian ini yaitu menggunakan alat microwave dan bahan serbuk kayu sejumlah 45gram dengan penambahan katalis zeolit 5gram dan dimasukkan ke dalam tabung reaktor dengan variasi daya 400Watt, 600Watt dan 800Watt dalam waktu 30 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya gelombang mikro yang optimal adalah pada daya 800Watt mendapatkan hasil liquid cukup banyak sejumlah 21,1 ml merupakan hasil tertinggi dan menghasilkan temperatur akhir pirolisis menghasilkan suhu 141,07 °C, hal ini disebabkan karena pada daya 800Watt pemanasan lebih intensif menyebabkan dekomposisi biomassa lebih cepat sehingga mengoptimalkan pembentukan liquid.

Kata Kunci: Pirolisis; Serbuk Kayu; Gelombang Mikro; Katalis Zeolit

ABSTRACT

Indonesia is one of the tropical countries that has a very large wood industry, so that a lot of sawdust waste is produced quite a lot. Therefore, many researchers have begun to develop the use of alternative energy, namely by using the pyrolysis method. This pyrolysis method is one alternative way to utilize sawdust by converting it into useful compounds. Pyrolysis is a thermal decomposition process without oxygen that produces char, liquid and gas. The purpose of this study was to determine the effect of variations in microwave power with the addition of zeolite catalysts on pyrolysis production results. The method used in this study was to use a microwave and 45 grams of sawdust with the addition of 5 grams of zeolite catalyst and inserted into a reactor tube with variations in power of 400Watts, 600Watts and 800Watts within 30 minutes. The results of the study showed that the optimal microwave power was at 800Watts of power to obtain a fairly large amount of liquid 21,1 ml which was the highest result and produced a final pyrolysis temperature of 141.07 ° C. This was because at 800Watts of power, more intensive heating caused faster biomass decomposition, thus optimizing liquid formation.

Keywords: Pyrolysis; Sawdust; Microwave; Zeolite Catalyst

PENDAHULUAN

Indonesia beberapa tahun ini sedang mengalami krisis sumber energi, ketersediaan sumber energi sangat terbatas [1]. Hal ini disebabkan pemanfaatan limbah

kehutanan dan Perkebunan sangat terbatas yang mengakibatkan pemanfaatan sumber daya fosil yaitu minyak bumi sangat banyak [2]. Energi alternatif saat ini gencar – gencarnya banyak dikembangkan peneliti

yaitu biomassa [3]. Bahan baku terbesar saat ini adalah sumber daya alam seperti serbuk kayu, serbuk kayu sendiri untuk kebutuhannya sangat melimpah dan cukup baik sebagai penyerap pencemaran karena mengandung banyak karbon. Sebagian besar industri belum bisa mengelola limbah serbuk kayu dengan baik [4]. Limbah biomassa serbuk kayu banyak dihasilkan unit pengolahan kayu dan industri berbasis furniture yang melalui pemotongan, pengukuran pemangkasan dan penghalusan kayu [5].

Microwave assisted pyrolysis atau (MAP) adalah proses panas yang dihasilkan dalam material dan dipindahkan diluar. Selain itu proses iridasi gelombang mikro tidak dilakukan dengan menggunakan sumber panas eksternal, pemanasan gelombang mikro memiliki kelebihan dibandingkan gelombang mikro [6]. Kesulitan dalam gelombang mikro yaitu mengubah gelombang mikro menjadi pemanas dielektrik menjadi prosedur volumetrik dimana panas yang dihasilkan didalam material melalui penyerapan energi elektromagnetik secara selektif [7]. Teknologi ini merupakan teknologi terbaik dalam proses pirolisis dikarenakan dapat mempercepat laju reaksi kimia [8]. Gelombang mikro dapat mengurangi waktu dalam pemrosesan dan juga dapat meningkatkan hasil produksi bio-oil karena gelombang mikro dapat memanaskan secara merata [9].

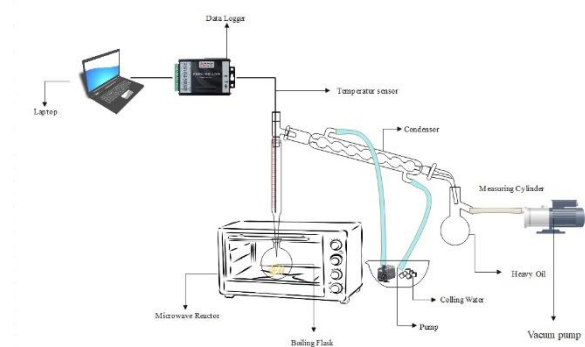
Katalis zeolit berfungsi untuk mempercepat laju reaksi dekomposisi atau penguraian rantai hidrokarbon [10]. Zeolit sintesis adalah senyawa yang mempunyai sifat fisika dan kimia yang sama dengan zeolit alam yang dibuat dari bahan dengan proses sintesis [11]. Zeolit juga bisa dimanfaatkan sebagai katalis dalam proses pirolisis yang dapat mengakomodasi pengolahan fungsi oksigen yang dapat menghasilkan hidrokarbon [12]. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan *yield bio-oil* dan mengurangi residu dalam proses pirolisis [13].

Pirolisis asap cair merupakan suatu proses dekomposisi thermal pada suhu tinggi tanpa adanya oksigen. Proses ini menghasilkan asap cair (*bio-oil*), arang (*char*) dan gas [14].

Char adalah biomassa yang telah diproses pirolisis pada kondisi tanpa oksigen yang diaplikasikan ke tanah pada tempat tertentu yang dapat menyimpan karbon secara berkelanjutan dan merangkap memperbaiki fungsi tanah [15].

METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen nyata (*experimental research*) dengan melakukan penelitian secara langsung dengan membandingkan pengaruh variasi daya dengan katalis zeolit. Dalam penelitian ini biomassa yang digunakan adalah serbuk kayu yang dicampur dengan katalis zeolit didalam reaktor kemudian dipanaskan dengan variasi daya yang berbeda hingga mendapatkan uap asap cair yang terkondensasi dan hasil *liquid* ditampung pada gelas ukur.



Gambar 1. *Microwave assisted pyrolysis*

Skema pada gambar 1 diatas adalah proses pirolisis dengan menggunakan metode *microwave assisted pyrolysis*. Sebelum mengelola pengambilan data, biomassa serbuk kayu dijemur terlebih dahulu selama 2 jam untuk mengurangi kadar air, setelah itu biomassa ditimbang dengan berat bahan baku 45 gram dan katalis zeolit 5 gram setelah itu di campurkan di *boiling flask* setelah itu mengatur tekanan vakum sebesar 800 mbar agar meningkatkan laju aliran ke kondensor dan mengurangi oksigen. Setelah itu mengatur daya *microwave* dengan daya 400Watt, 600Watt dan 800Watt dengan

waktu 30 menit. Asap cair yang mengalir dari reaktor ke kondensor agar terkondensasi menjadi hasil *liquid* yang kemudian ditampung ke gelas ukur, dan vakum dihidupkan dengan ukuran 800 mbar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pada penelitian yang dilakukan selama proses pengambilan data disajikan dalam bentuk data yang sesuai pada *microwave assisted pyrolysis*:

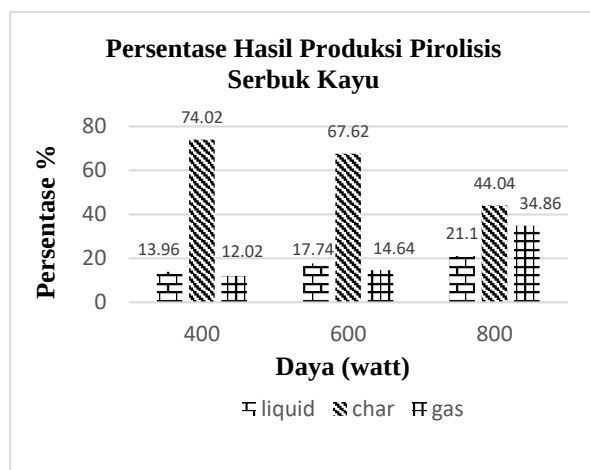
1. Data Hasil penelitian

Tabel 1. Data Hasil Penelitian

Daya (Watt)	Liquid (gram)	Char (gram)	Liquid (%)	Char (%)	Gas (%)
400	6,98	37,01	13,96	74,02	12,02
600	8,87	33,81	17,74	67,62	14,64
800	10,55	22,02	21,1	44,04	34,86

Peningkatan daya 400Watt sampai 800Watt menghasilkan peningkatan *liquid* dan *char*. *liquid* dan *char* mengalami penurunan seiring bertambahnya daya sedangkan gas mengalami peningkatan. Hal tersebut menunjukkan bahwa peningkatan daya mempengaruhi konversi bahan baku dengan baik [16].

2. Persentase Hasil Produksi Pirolisis

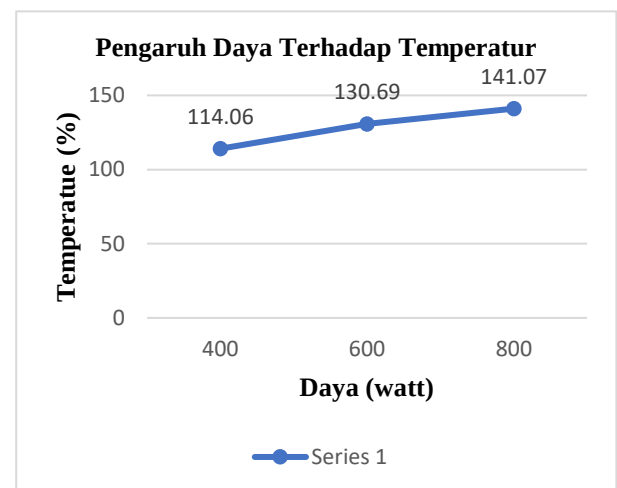


Gambar 2. Persentase Hasil Produksi Pirolisis

Persentase pada hasil pirolisis serbuk kayu menggunakan daya 400Watt, 600Watt dan 800Watt. Dalam waktu 30 menit pada daya 800Watt menghasilkan *liquid* sebanyak 21,1

ml dan *char* 44,04gram. Pada daya 600Watt *liquid* yang dihasilkan sebanyak 17,74 ml dan *char* 67,62gram. Pada daya 400Watt menghasilkan *liquid* sebanyak 13,96gram dan *char* dengan 74,02 gram. Hasil *liquid* ini dipengaruhi oleh temperatur yang menyebabkan semakin tinggi daya yang dihasilkan maka semakin banyak *liquid* yang di hasilkan. Dengan demikian dengan daya yang tinggi dapat meningkatkan laju dekomposisi biomassa menjadi gas yang menghasilkan *liquid* cukup banyak [17]. Densitas yang tinggi mempengaruhi proses yang sangat besar, sehingga mengurangi laju reaksi [18].

3. Pengaruh Daya Terhadap Temperatur



Gambar 3. Pengaruh Hasil Terhadap Temperatur

Pengaruh daya terhadap temperatur pada microwave dengan waktu selama 30 menit. Pada gambar 3 terlihat daya 400Watt temperatur relatif lebih rendah yaitu pada suhu 114,06°C. Pada daya 600Watt menunjukkan suhu 130,69°C. Peningkatan daya menunjukkan lebih banyak energi yang disalurkan. Pada daya lebih tinggi di 800Watt menghasilkan suhu sebesar 141,07°C, hal ini disebabkan oleh penambahan energi yang besar akan meningkatnya proses pemanasan [19]. Beberapa peneliti menyatakan bahwa, suhu maksimum untuk melakukan dekomposisi terjadi pada kisaran suhu 450°C – 650°C tetapi pada suhu 750°C proses dekomposisi akan melambat [20].

4. Analisis Kestimbangan Energi

Kestimbangan energi adalah parameter yang sangat penting untuk mengetahui kinerja sistem pembakaran, kegunaan kestimbangan energi untuk mengetahui sumber energi dalam bentuk panas yang digunakan secara efektif dalam suatu sistem.

Tabel 2. *Spesific Heat Capacity* Serbuk Kayu

Nama sampel	Cp Specific Heat Capacity (kJ/kg K)	Sumber
Serbuk Kayu	54,9	[21]
Liquid	3,0	[22]
Char	1,3	
Gas	0,846	

Hasil yang didapatkan pada data *specific heat capacity* dari biomassa serbuk kayu dengan produksi pirolisis maka mendapatkan hasil kestimbangan energi pada tabel berikut :

Tabel 3. Perhitungan Kestimbangan Energi

Daya (watt)	E_{in} (J)	E_{out}			E_{out} Total (J)	Energy Lost (J)
		Liquid (J)	Char (J)	Gas (J)		
400	720.000	5.489,6	12.613,3	1.332,9	19.435,8	700.564,2
600	1.080.000	10.464,2	17.284,4	2.435,2	30.184	1.049.816
800	1.440.000	16.595	18.417,6	5.513,7	40.526,4	1.399.473,6

Kestimbangan energi pada tabel diatas didapatkan dari perhitungan pada produk pirolisis. Pada prosesnya terdapat energi yang hilang, energi yang tidak dapat dimanfaatkan secara langsung dalam prosesnya karena akan diubah menjadi energi yang tidak terpakai. Pada proses ini banyaknya energi yang hilang disebabkan oleh bebarapa faktor seperti desain alat instalasi, kondisi material dan kondisi lingkungan.

5. Visualisasi *Heavy Oil*



Gambar 4. Visualisasi *heavy oil*

Hasil visualisasi *heavy oil* menunjukkan bahwa pada daya 400Watt, 600Watt dan 800Watt, terlihat visualisasi dari hasil produk yang berbeda daya, mempunyai warna yang hampir sama. Perbedaan yang jelas ada pada segi kuantitas bisa dilihat dari daya 800 watt mendapatkan hasil *liquid* cukup banyak.

KESIMPULAN

1. Peningkatan daya dalam pirolisis dapat mempengaruhi hasil asap cair, semakin tinggi daya microwave yang digunakan semakin banyak *liquid smoke* yang di hasilkan pada daya 800Watt produksi *liquid smoke* mencapai hasil tertinggi.
2. Penurunan *char* pada daya tinggi mengakibatkan hasil *char* berkurang seiring dengan peningkatan daya hal ini disebabkan oleh peningkatan laju pemanasan pada daya yang lebih tinggi, yang mempercepat konversi biomassa menjadi produk cair dan gas.
3. Penelitian ini menunjukkan bahwa daya 800Watt paling efektif untuk menghasilkan asap cair pada daya 800Watt dengan nilai persentase 21,1 ml temperatur akhir pirolisis menghasilkan 141,07°C.
4. Peningkatan daya meningkatkan *yield oil* dan gas tetapi mengurangi residu padat. Proses pembakaran menjadi lebih efektif pada daya lebih tinggi karena lebih banyak bahan yang

terurai menjadi komponen cair dan gas, dibandingkan yang tertinggal sebagai residu.

5. Semakin besar daya microwave (400 Watt, 600 Watt, dan 800 Watt), semakin tinggi energi yang diberikan dalam proses pirolisis maka (Qin) dan semakin besar energi yang keluar (Qout Total).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Dari, S. Kayu, A. Rohman, and N. A. Mufarida, "Pengaruh Variasi Temperatur Pirolisis Terhadap Komposisi Uji," vol. 3, no. 1, pp. 413–422, 2024.
- [2] N. S. Hassan, A. A. Jalil, C. N. C. Hitam, D. V. N. Vo, and W. Nabgan, "Biofuels and renewable chemicals production by catalytic pyrolysis of cellulose: a review," *Environ. Chem. Lett.*, vol. 18, no. 5, pp. 1625–1648, 2020, doi: 10.1007/s10311-020-01040-7.
- [3] A. Nurwidayati, P. A. Sulastri, D. Ardiyati, and A. Aktawan, "Gasifikasi Biomassa Serbuk Gergaji Kayu Mahoni (Swietenia Mahagoni) untuk Menghasilkan Bahan Bakar Gas sebagai Sumber Energi Terbarukan," *Chem. J. Tek. Kim.*, vol. 5, no. 2, p. 67, 2019, doi: 10.26555/chemica.v5i2.13046.
- [4] A. Priambudi and A. Susanti, "PROSES PEMBUATAN KARBON AKTIF DARI SERBUK GERGAJI KAYU DARI DAERAH MALANG, MENGGUNAKAN AKTIVATOR NaOH," *DISTILAT J. Teknol. Separasi*, vol. 10, no. 1, pp. 256–265, 2024, doi: 10.33795/distilat.v10i1.4885.
- [5] A. K. Varma, L. S. Thakur, R. Shankar, and P. Mondal, "Pyrolysis of wood sawdust: Effects of process parameters on products yield and characterization of products," *Waste Manag.*, vol. 89, pp. 224–235, 2019, doi: 10.1016/j.wasman.2019.04.016.
- [6] D. Y. Oh, D. Kim, and K. Y. Park, "A comprehensive comparative study on microwave-assisted pyrolysis products derived from raw and digested organic waste, with emphasis on sewage sludge, food waste, and livestock manure," *Heliyon*, vol. 10, no. 8, p. e29618, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e29618.
- [7] D. Radiah, A. Biak, and S. L. Zubaidi, "A Mini Review," pp. 1–17, 2020.
- [8] V. Aswie, "02211750010016-Master_Thesis," 2020.
- [9] D. C. Makepa, C. H. Chihobo, and D. Musademba, "Techno-economic analysis and environmental impact assessment of biodiesel production from bio-oil derived from microwave-assisted pyrolysis of pine sawdust," *Heliyon*, vol. 9, no. 11, p. e22261, 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e22261.
- [10] E. Zeolit, U. Produksi, T. A. R. Dan, C. Pada, and R. Kiln, "V12 n1," no. June 2020, pp. 51–58, 2021.
- [11] Y. P. Anggono, N. Ilminnafik, A. Adib Rosyadi, and G. Jatisukamto, "Pengaruh katalis zeolit alam pada pirolisis plastik polyethylene terephthalate dan polypropylene," *J. Energi Dan Manufaktur*, vol. 13, no. 1, p. 22, 2020, doi: 10.24843/jem.2020.v13.i01.p04.
- [12] S. Kadarwati, R. N. Annisa, and E. Apriliani, "Zeolit Alam Indonesia Sebagai Kandidat Katalis Asam Padat Yang Unggul Untuk Proses Upgrading Bio-Oil Melalui Teknik Esterifikasi," *Inov. Kim.*, no. 1, pp. 88–118, 2022, doi: 10.15294/ik.v1i1.63.
- [13] D. Katalis *et al.*, "Microwave - Assisted Pyrolysis Process of Sengon Sawdust by Using Ni / Al ₂ O ₃ Catalyst Proses Pirolisis Berbantuan Gelombang Mikro Serbuk Gergaji Sengon Laut," vol. 4, no. June, pp. 2–7, 2023.
- [14] P. Alami, "3 1,2,3," vol. 22, no. 2, pp. 104–112, 2022.
- [15] H. Sun *et al.*, "Innovations and applications of the thermal recovery

- techniques for heavy oil,” *Energy Geosci.*, vol. 5, no. 4, 2024, doi: 10.1016/j.engeos.2024.100332.
- [16] S. Abbas *et al.*, “Experimental investigation on a solar-powered oxy-hydrogen gas system for enhanced plastic pyrolysis,” *Results Opt.*, vol. 16, no. March, p. 100736, 2024, doi: 10.1016/j.rio.2024.100736.
- [17] N. Rambhatla, T. F. Panicker, R. K. Mishra, S. K. Manjeshwar, and A. Sharma, “Biomass pyrolysis for biochar production: Study of kinetics parameters and effect of temperature on biochar yield and its physicochemical properties,” *Results Eng.*, vol. 25, no. December 2024, p. 103679, 2025, doi: 10.1016/j.rineng.2024.103679.
- [18] E. Marlina, W. Wijayanti, L. Yuliati, and I. N. G. Wardana, “The role of pole and molecular geometry of fatty acids in vegetable oils droplet on ignition and boiling characteristics,” *Renew. Energy*, vol. 145, pp. 596–603, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.06.064.
- [19] B. Handiso, T. Pääkkönen, and B. P. Wilson, “Effect of pyrolysis temperature on the physical and chemical characteristics of pine wood biochar,” *Waste Manag. Bull.*, vol. 2, no. 4, pp. 281–287, 2024, doi: 10.1016/j.wmb.2024.11.008.
- [20] A. Asmunandar, F. Goembira, S. Raharjo, and R. Yuliarningsih, “Evaluasi pengaruh suhu dan waktu pirolisis biochar bambu betung (*Dendrocalamus asper*),” *J. Serambi Eng.*, vol. 8, no. 1, pp. 4760–4771, 2023.
- [21] J. J. Robert and A. Ekpote, “Considering sawdust as a potential raw material for climate change mitigation in indoor environment,” *Technol. Audit Prod. Reserv.*, vol. 6, no. 3(68), pp. 24–28, 2022, doi: 10.15587/2706-5448.2022.270479.
- [22] L. Björnsson, M. Pettersson, P. Börjesson, P. Ottosson, and C. Gustavsson, “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,” *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 48, no. January, 2021, doi: 10.1016/j.seta.2021.101648.
- [23] “Table A-2_Ideal-gas specific heats of various common gases.”