



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

**SKRIPSI**

*“Diajukan Sebagai Salah Satu Prasyarat untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana Strata I (S-I) Teknik Mesin”*



Oleh:

Ilham Yogi El Hakim

22001052050

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS ISLAM MALANG**

**2024**

## ABSTRAK

**Ilham Yogi El Hakim, Dosen Pembimbing: Dr. Ena Marlina, S.T., M.T. Cepy Yazirin, S.Pd., M.T.** “Pengaruh Variasi Daya Gelombang Mikro Terhadap Produksi Pirolisis Serbuk Kayu Dengan Katalis Zeolit”. Skripsi Progam Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang.

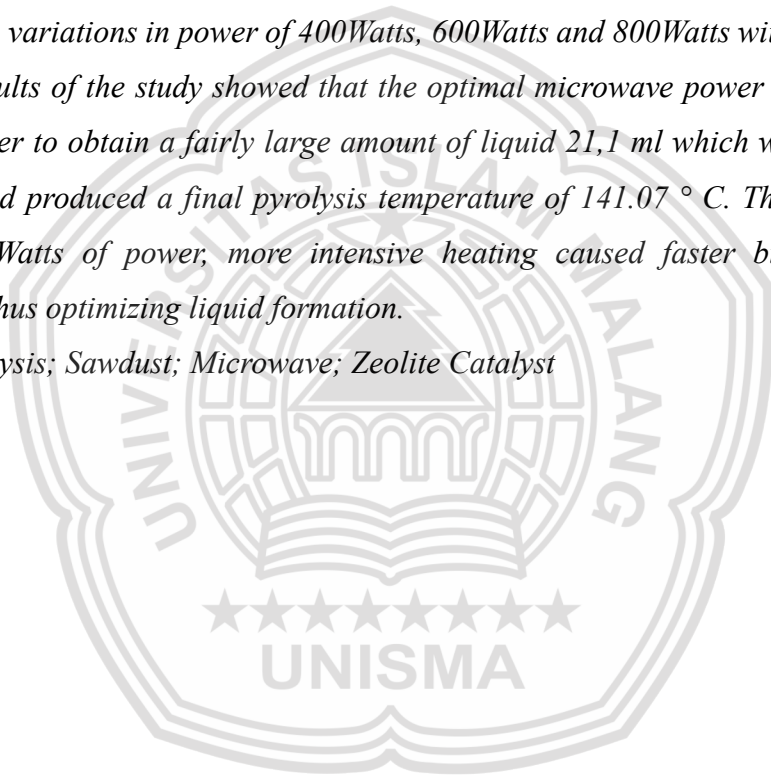
*Indonesia adalah salah satu negara tropis yang mempunyai industri kayu sangat besar, sehingga banyak limbah serbuk kayu yang dihasilkan cukup banyak. Maka dari itu banyak peneliti yang mulai mengembangkan pemanfaatan energi alternatif yaitu dengan cara menggunakan metode pirolisis. Metode pirolisis 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 dimasukan ke dalam tabung reaktor dengan variasi daya 400Watt, 600Watt dan 800Watt dalam waktu 30 menit. Hasil penelitian menunjukan 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*



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Indonesia untuk saat ini sedang mengalami krisis sumber energi, untuk ketersediaan sumber energi masih sangat terbatas. Hal tersebut dikarenakan pemanfaatan limbah kehutanan yang masih sangat minim penyebabnya adalah pemanfaatan sumber energi dari fosil yaitu minyak bumi (Dari *et al.*, 2024).

Energi alternatif yang saat ini banyak dikembangkan adalah biomassa (Nurwidayati *et al.*, 2019). Hal ini dapat diketahui bahwa biomassa di Indonesia juga cukup besar (Hasan *et al.*, 2020). Sumber daya alam seperti kayu yang sering digunakan untuk keperluan bahan baku terbesar di Indonesia yaitu serbuk kayu. Serbuk kayu yang melimpah dianggap cukup baik sebagai penyerap pencemaran limbah karena mengandung banyak karbon. Sebagian besar industri belum bisa memanfaatkan dan mengelola limbah serbuk kayu dengan baik, serbuk gergaji kayu mengandung lignin, selulosa, dan hemiselulosa sehingga berpotensi menjadi karbon aktif (Priambudi & Susanti, 2024). Serbuk gergaji kayu merupakan limbah biomassa industri yang dihasilkan oleh unit pengolahan kayu dan industri berbasis furnitur lainnya. Serbuk gergaji dihasilkan melalui pemotongan, pengukuran, penggergajian ulang, tepian, pemangkasan dan penghalusan kayu (Varma *et al.*, 2019).

*Microwave-assisted pyrolysis* atau disingkat menjadi (MAP), yaitu proses yang ditandai dengan panas yang dihasilkan di dalam material dan dipindahkan ke luar. Hal ini membuat pemanasan lebih sama dan meningkatnya kualitas produk. Selain itu iradiasi gelombang mikro tidak dilakukan dengan menggunakan sumber panas eksternal. Pemanasan melalui iridiasi gelombang mikro memiliki kelebihan dibandingkan metode pemanasan konvensional, seperti pemanasan internal yang sama dan lebih cepat, kemudahan pengoperasian dan pemeliharaan, tidak membutuhkan penggilingan bahan baku, dan biaya energi yang lebih rendah (Oh *et al.*, 2024). Teknologi gelombang mikro dapat memberikan keuntungan seperti pengurangan volume limbah, pemanasan selektif, reaktivitas kimia. Gelombang mikro sendiri juga memiliki kesulitan yaitu mengubah gelombang mikro menjadi pemanas dielektrik adalah prosedur volumetrik dimana panas dihasilkan didalam material melalui penyerapan energi elektromagnetik secara selektif (Radiah *et al.*, 2020).

Pirolisis adalah proses pembakaran yang bertujuan untuk menguraikan senyawa organik secara termal dengan tekanan suhu tinggi dengan kedap udara atau adanya oksigen (O<sub>2</sub>) (Clarissa & Aritonang, 2021). Pirolisis lebih menjanjikan dibandingkan termokimia yang lain karena lebih fleksibel dalam pemilihan bahan baku dan menghasilkan tiga jenis produk (padat, cair dan gas) (Joko Pitoyo, Totok Eka Suharto, 2022).

Teknologi *microwave* adalah salah satu metode yang paling menjanjikan karena dapat meningkatkan dan mempercepat reaksi kimia. Reaksi dapat diselesaikan lebih efisien dan perpindahan panas yang efektif. Teknologi ini muncul sebagai salah satu teknologi terbaik dalam proses pirolisis karena dapat mempercepat laju reaksi kimia, yang mengarah pada penghematan energi (Aswie, 2020). Map dapat mengurangi waktu pemrosesan dan meningkatkan produksi bio oil karena gelombang mikro dapat memanaskan biomassa secara merata (Makepa *et al.*, 2023)

Zeolit dikenal sebagai katalis asam yang digunakan secara luas pada berbagai industri, utamanya pada proses produksi bahan bakar minyak bumi. Zeolit juga di manfaatkan sebagai katalis dalam proses *bio – oil* yang mampu mengakomodasi proses pengekakan fungsi oksigen untuk menghasilkan hidrokarbon (Kadarwati *et al.*, 2022). Zeolit dibedakan menjadi 2 macam yaitu zeolit alam terbentuk karena adanya proses kimia dan fisiks yang kompleks dari batuan batuan yang mengalami berbagai macam perubahan di alam. Zeolit sintetis adalah suatu senyawa kimia yang mempunyai sifat fisika dan kimia yang sama dengan zeolit alam, yang dibuat dari bahan lain dengan proses sintetis (Anggono *et al.*, 2020).

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan maka peneliti akan melakukan penelitian pirolisis dengan bantuan gelombang mikro, gelombang mikro ini sendiri memungkinkan pemanasannya lebih cepat dikarenakan titik panas ada pada tengah yang mengakibatkan pada saat proses pirolisis pemanasannya lebih merata. Biomassa serbuk kayu ini mempunyai kandungan *hemiselulosa*, *selulosa* dan *lignin* yang cukup tinggi. Sebagai bahan baku produksi *heavy oil* yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pirolisis dan katalis zeolit untuk mempercepat laju reaksi thermal serta kualitas produk yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi daya gelombang mikro terhadap *heavy oil* dan penambahan katalis zeolit yang dihasilkan pada

proses pirolisis dengan menggunakan metode *Microwave assisted pyrolysis*. Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat serta ilmu pengetahuan konversi energi dan inovasi bahan bakar *bio oil* dengan cara proses pirolisis.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dijelaskan sebelumnya, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi daya gelombang mikro pada produksi pirolisis biomassa serbuk kayu dengan penambahan katalis zeolite terhadap hasil produksi pirolisis dan visualisasi produk *heavy oil*?

### 1.3 Batasan Masalah

Pembatasan masalah bertujuan agar penelitian lebih terfokus pada permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini saja dan tidak meluas di luar tujuan penelitian, sehingga penulis merasa perlu melakukan pembatasan terhadap rumusan masalah di atas adalah:

1. Penelitian ini hanya meneliti proses pirolisis biomassa sampai menjadi asap cair, tidak membahas pengolahan asap cair dengan menggunakan alat MAP (*Microwave assisted pyrolysis*).
2. Tidak menguji kadungan dari biomassa serbuk kayu dan katalis.
3. Tidak membahas tentang pengolahan produk hasil *heavy oil*.
4. Tidak membahas tentang variable frekuensi gelombang mikro pada alat microwave.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi daya gelombang mikro terhadap hasil *heavy oil*, *char* dan visualisasi produk yang diperoleh pada pirolisis dengan metode *Microwave assisted pyrolysis*.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Suatu penelitian harus memiliki manfaat yang berguna. Adapun manfaat penelitian ini antara lain:

1. Penelitian ini dapat memberikan solusi untuk pemanfaatan limbah serbuk gergaji kayu yang biasanya diabaikan, sehingga mengurangi limbah dan meningkatkan nilai ekonomi dari bahan baku yang ada.

2. Menambah pengetahuan tentang upaya untuk mengatasi limbah serbuk kayu dengan mengolahnya menjadi produk asap cair dengan nilai ekonomi tinggi melalui proses pirolisis.
3. Mengetahui pengetahuan tentang bahan bakar alternatif dari biomassa serta mengetahui proses pirolisis.



## BAB V

### KESIMPULAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan dari mulai proses penelitian, pengambilan data dan pengolahan data didapatkan beberapa kesimpulan diantaranya sebagai berikut:

1. Peningkatan daya dalam pirolisis dapat mempengaruhi hasil asap cair, semakin tinggi daya microwave yang digunakan semakin banyak *liquid smoke* yang dihasilkan 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).

#### 5.2 Saran

1. Penelitian *microwave assisted pyrolysis* ini adalah baru pertama kali yang dikembangkan oleh mahasiswa teknik mesin unisma dan perlu adanya penelitian lanjutan untuk mempelajari riset yang dilakukan saat ini.
2. Menggunakan *boiling flask* yang merek duran sehingga tahan dengan temperatur tinggi ketika menggunakan daya yang sangat tinggi. Hal ini mencegah resiko pecah atau retak selama proses pirolisis
3. Menggunakan *thermocouple* yang berbahan keramik karena *thermocouple* logam dapat menyerap energi gelombang mikro secara berlebih oleh karena itu



menggunakan *thermocouple* yang berbahan keramik untuk mengurangi resiko *overheating* disekitar *boiling flask*.

4. Mengoptimalisasi gas yang terkondensasi secara maksimal dengan sistem pendingin agar membantu meningkatkan asap cair dengan mengurangi uap yang tidak terkondensasi.



## DAFTAR PUSTAKA

- Alami, P. (2022). *3 I,2,3*. 22(2), 104–112.
- Albaki, A. Z. H., Purnama, A. S., Yulianto, F., Rahmat, B., & Meylani, V. (2021). Potensi Produksi Asap Cair, Arang dan Tar dari Limbah Industri Pengolahan Kayu. *AGRITEKNO: Jurnal Teknologi Pertanian*, 10(2), 100–105.  
<https://doi.org/10.30598/jagritekno.2021.10.2.100>
- Anggono, Y. P., Ilminnafik, N., Adib Rosyadi, A., & Jatisukamto, G. (2020). Pengaruh katalis zeolit alam pada pirolisis plastik polyethylene terephthalate dan polypropylene. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 13(1), 22.  
<https://doi.org/10.24843/jem.2020.v13.i01.p04>
- Arman, M. (2018). Pirolisis bahan batubara dan serbuk gergaji. *Journal Of Chemical Process Engineering*, 03(02), 27–32.
- Asmunandar, A., Goembira, F., Raharjo, S., & Yuliarningsih, R. (2023). Evaluasi pengaruh suhu dan waktu pirolisis biochar bambu betung (*Dendrocalamus asper*). *Jurnal Serambi Engineering*, 8(1), 4760–4771.
- Aswie, V. (2020). *02211750010016-Master\_Thesis*.
- Bani, G. A. (2023). Efektivitas Katalis Zeolit Alam Ende pada Pirolisis Polietilena dari Sampah Plastik. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 12(2), 70–77.  
<https://doi.org/10.32734/jtk.v12i2.11822>
- Bani, G. A. (2024). Kajian Pemanfaatan Zeolit Alam Ende sebagai Katalis dalam Pirolisis Polietilena dari Sampah Plastik. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(2), 447–454.  
<https://doi.org/10.14710/jil.22.2.447-454>
- 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>
- Clarissa, E., & Aritonang, A. B. (2021). *Indonesian Journal of Pure and Applied Chemistry Escherichia coli PHOTOCATALYST UNDER VISIBLE LIGHT* ). 4(32), 124–131.
- Dari, P., Kayu, S., Rohman, A., & Mufarida, N. A. (2024). Pengaruh Variasi Temperatur Pirolisis Terhadap Komposisi Uji. 3(1), 413–422.
- Fithry, D. A., Jusnita, J., Legawati, L., Ermal, D. A. S., & Prayogo, H. (2023). Review dalam Pembuatan Arang Aktif Berbasis Limbah Pertanian Dengan Microwave.

- Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, 6(1), 216–224.  
<https://doi.org/10.31004/jutin.v6i1.15632>
- Handayani, I., & Sa'diyah, K. (2023). Pengaruh Waktu Pirolisis Serbuk Gergaji Kayu Terhadap Hasil Asap Cair. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 8(1), 28–35.  
<https://doi.org/10.33795/distilat.v8i1.227>
- Hasan, S., Aladin, A., Syarif, T., & Arman, M. (2020). Pengaruh Penambahan Gas Nitrogen Terhadap Kualitas Charcoal Yang Diproduksi Secara Pirolisis Dari Limbah Biomassa Serbuk Gergaji Kayu Ulin (Euxideroxylon Zwageri). *Journal of Chemical Process Engineering*, 5(1), 61–68.  
<https://doi.org/10.33536/jcpe.v5i1.472>
- Hassan, N. S., Jalil, A. A., Hitam, C. N. C., Vo, D. V. N., & Nabgan, W. (2020). Biofuels and renewable chemicals production by catalytic pyrolysis of cellulose: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 18(5), 1625–1648.  
<https://doi.org/10.1007/s10311-020-01040-7>
- Hidayat, B., & Pramuga, A. (2024). *Jurnal Agroteknologi Technique of Biochar Production Teknik Produksi Biochar*. 12(03), 1–11.
- Joko Pitoyo, Totok Eka Suharto, S. J. (2022). Pengaruh Suhu Terhadap Yield Valuable Chemicals Pada Fase Organik Hasil Pirolisis Cangkang Kelapa Sawit. *Seminar Nasional Penelitian LPPM UMJ*.
- Kadarwati, S., Annisa, R. N., & Apriliani, E. (2022). Zeolit Alam Indonesia Sebagai Kandidat Katalis Asam Padat Yang Unggul Untuk Proses Upgrading Bio-Oil Melalui Teknik Esterifikasi. *Inovasi Kimia*, 1, 88–118.  
<https://doi.org/10.15294/ik.v1i1.63>
- Katalis, D., Al, N., Wulandari, L. A., Azis, M. M., Wintoko, J., Kristanto, J., & Caroko, N. (2023). *Microwave -Assisted Pyrolysis Process of Sengon Sawdust by Using Ni / Al 2 O 3 Catalyst Proses Pirolisis Berbantuan Gelombang Mikro Serbuk Gergaji Sengon Laut*. 4(June), 2–7.
- Lukman, & Meita Rezki Vegetama. (2023a). Konsentrasi Perekat Organik pada Biobriket Berbahan Baku Limbah Serbuk Kayu. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 7(3), 15844–15853.
- Lukman, & Meita Rezki Vegetama. (2023b). Konsentrasi Perekat Organik pada Biobriket Berbahan Baku Limbah Serbuk Kayu. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 7(3), 15844–15853.
- Magfirah, Asfar, A. M. I. T., Fatmawati, Asfar, A. M. I. A., & Rahayu, S. (2020).

- Hiasan Rumah Limbah Serbuk Kayu Melalui Pemberdayaan Kelompok Ibu PKK Desa Labuaja. *Prosiding Seminar Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat*, 111–118. <http://journal.unilak.ac.id/index.php/SNPKM/article/view/5279/2441>
- Makepa, D. C., Chihobo, C. H., & Musademba, D. (2023). *Heliyon biodiesel dari bio-oil yang berasal dari pirolisis Machine Translated by Google*. 9(November).
- Matematika, J., Ilmu, D., Alam, P., Sains, F., & Teknologi, D. (2024). *MODIFIKASI BIOCHAR DENGAN ASAM SULFAT UNTUK MENINGKATKAN SERAPAN LOGAM Pb DINA NURKHALIFAH F1C119067 PROGRAM STUDI KIMIA*.
- Megaprastio, B., Syamsiro, M., Saputro, M. A., & Rina, F. (2023). Teknologi Pirolisis untuk Konversi Sampah Plastik menjadi Bahan Bakar Minyak : Kajian Literatur. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 18(2), 229. <https://doi.org/10.32497/jrm.v18i2.4443>
- Muzdalifah, M., Syarif, T., & Aladin, A. (2020). POTENSI PEMANFATAN LIMBAH BIOMASSA SERBUK GERGAJI KAYU BESI (*Eusideroxylon zwageri*) MENJADI ASAP CAIR MELALUI PROSES PIROLISIS. *ILTEK : Jurnal Teknologi*, 15(02), 78–81. <https://doi.org/10.47398/iltek.v15i02.28>
- Novia, T. (2021). Pengolahan Limbah Sampah Plastik Polythylene Terephthlate (PET) Menjadi Bahan Bakar Minyak dengan Proses Pirolisis. *GRAVITASI: Jurnal Pendidikan Fisika Dan Sains*, 4(01), 33–41. <https://doi.org/10.33059/gravitasi.jpfs.v4i01.3481>
- Nurfaritsya, S. A., Rusnadi, I., & Daniar, R. (2023). Pengaruh Variasi Temperatur dan Waktu Proses Pirolisis Tatal Kayu Karet untuk Pembuatan Bio-Char, Bio-Oildan Syngas sebagai Bahan Bakar. *Jurnal Penndidikan Tambusai*, 7(3), 24569–24576.
- Nurwidayati, A., Sulastri, P. A., Ardiyati, D., & Aktawan, A. (2019). Gasifikasi Biomassa Serbuk Gergaji Kayu Mahoni (*Swietenia Mahagoni*) untuk Menghasilkan Bahan Bakar Gas sebagai Sumber Energi Terbarukan. *CHEMICA: Jurnal Teknik Kimia*, 5(2), 67. <https://doi.org/10.26555/chemica.v5i2.13046>
- Oh, D. Y., Kim, D., & Park, K. Y. (2024). 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*, 10(8), e29618. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29618>
- Priambudi, A., & Susanti, A. (2024). PROSES PEMBUATAN KARBON AKTIF DARI SERBUK GERGAJI KAYU DARI DAERAH MALANG, MENGGUNAKAN AKTIVATOR NaOH. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 10(1), 256–265. <https://doi.org/10.33795/distilat.v10i1.4885>

- Priatni, A., Adiningsih, Y., Riset, B., Standardisasi, D., & Samarinda, I. (2018). The effect of various pyrolysis temperature of liquid smoke from palm shells as latex coagulant. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 12(2), 139–149.
- Putri, D. K., & Sutri, R. (2023). *PRE-TREATMENT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT SEBAGAI*. 8, 43–48.
- Radiyah, D., Biak, A., & Zubaidi, S. L. (2020). *A Mini Review*. 1–17.
- Rahman, M. T. A., Daud, S., & Reza, M. (2017). Pengaruh Suhu Dan Persen Katalis Zeolit Terhadap Yield Pirolisis Limbah Plastik Polypropylene (PP). *Jurnal FTEKNIK*, 4(2), 1–7. <https://garuda.kemdikbud.go.id/documents/detail/1462021>
- Retnawati, E., Apriani, I., & Sulastri, A. (2023). Pemanfaatan Sampah Organik dan Serbuk Kayu Menjadi Biobriket sebagai Energi Alternatif. *Jurnal Dampak*, 20(1), 43. <https://doi.org/10.25077/dampak.20.1.43-48.2023>
- 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>
- Rismayadi, B. (2017). Penyuluhan Kesadaran Masyarakat Seputar Kampus Universitas Buana Perjuangan Karawang Mengenai Dampak Sampah Serta Pelatihan Pemanfaatan Sampah Plastik Untuk Kegiatan Ekonomi Kreatif. *Buana Ilmu*, 1(2), 239–263. <https://doi.org/10.36805/bi.v1i2.418>
- Rizal, W. A., Suryani, R., Wahono, S. K., Anwar, M., Prasetyo, D. J., Amdani, R. Z., Suwanto, A., & Februanata, N. (2020). Pirolisis Limbah Biomassa Serbuk Gergaji Kayu Campuran : Parameter Proses dan Analisis Produk Asap Cair. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 14(2), 353. <https://doi.org/10.26578/jrti.v14i2.6606>
- Robert, J. J., & Ekpete, A. (2022). Considering sawdust as a potential raw material for climate change mitigation in indoor environment. *Technology Audit and Production Reserves*, 6(3(68)), 24–28. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.270479>
- Safitri, D. Z. A., Wijayanto, D. S., & Saputra, T. W. (2023). Pyrolysis of Saw Waste Biomass Mahogany Wood and Polypropylene Plastic. *JST (Jurnal Sains Dan Teknologi)*, 12(1), 73–80. <https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v12i1.51857>
- Sun, H., Wang, H., Cao, X., Shu, Q., Fan, Z., Wu, G., Yang, Y., & Wu, Y. (2024). Innovations and applications of the thermal recovery techniques for heavy oil. *Energy Geoscience*, 5(4), 100332. <https://doi.org/10.1016/j.engeos.2024.100332>
- Table A-2\_Ideal-gas specific heats of various common gases. (n.d.).

- Tajalla, G. U. N. (2020). V11 n2. *Rekayasa Mesin, October 2019*, 151–158.
- Varma, A. K., Thakur, L. S., Shankar, R., & Mondal, P. (2019). Pyrolysis of wood sawdust: Effects of process parameters on products yield and characterization of products. *Waste Management*, 89, 224–235.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.04.016>
- Zebua, N. F., Nadia, S., Farmasi, F., Tjut, U., Dhien, N., Info, A., Smoke, L., Clumbing, L., & Soap, L. (2024). *Literatur Review : Beberapa Formulasi Dari*. 7(2), 71–77.
- Zeolit, E., Produksi, U., Dan, T. A. R., Pada, C., & Kiln, R. (2021). *V12 n1. June 2020*, 51–58.

