



**PENGARUH VARIASI DAYA GELOMBANG MIKRO TERHADAP
PRODUKSI PIROLISIS BIOMASSA TEMPURUNG KELAPA DENGAN
KATALIS ZEOLIT**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu persyaratan memperoleh gelar sarjana strata satu
(S-1) Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Malang*



Disusun Oleh:

Mochammad Firdaus Abadi

22001052010

PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM MALANG

2024

ABSTRAK

Mochammad Firdaus Abadi, Dosen Pembimbing: Dr. Ena Marlina, S.T., M.T., Artono Raharjo, S.T., M.T. “Pengaruh Variasi Daya Gelombang Mikro Terhadap Produksi Pirolisis Biomassa Tempurung Kelapa Dengan Katalis Zeolit” Skripsi Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang. Kehidupan masyarakat Indonesia sangat bergantung pada konsumsi bahan bakar fosil untuk transportasi dan industri, sementara cadangan bahan bakar fosil semakin menipis dan berpotensi habis. Sebagai alternatif, biomassa, seperti tempurung kelapa, dapat dimanfaatkan sebagai sumber bahan bakar yang berkelanjutan. Salah satu cara untuk mengubah biomassa menjadi bahan bakar terbarukan adalah melalui proses pirolisis dengan bantuan gelombang mikro. Pirolisis adalah proses dekomposisi termal biomassa tanpa kehadiran gas O_2 dalam reaktor, menghasilkan produk berupa minyak, arang, dan gas yang tidak terkondensasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi daya gelombang mikro terhadap hasil produksi pirolisis. Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan menggunakan campuran tempurung kelapa dan zeolit seberat 50 gram. Variasi daya gelombang mikro yang digunakan adalah 400, 600, dan 800 watt, dengan waktu pirolisis 30 menit. Proses pirolisis dilaksanakan dengan bantuan pompa vakum untuk menghilangkan kandungan gas O_2 . Hasil penelitian menunjukkan bahwa produksi minyak dan gas meningkat seiring dengan naiknya variasi daya, sementara produksi arang menurun. Daya gelombang mikro yang paling efektif untuk menghasilkan minyak adalah 800 watt, dengan rendemen minyak sebesar 29,54%. Hal ini disebabkan oleh semakin besar daya, yang menghasilkan frekuensi gelombang mikro yang lebih tinggi. Getaran ini memengaruhi kecepatan pergerakan molekul dalam biomassa, menghasilkan panas yang lebih intensif, dan mempercepat ekstraksi minyak.

Kata kunci: Pirolisis gelombang mikro; tempurung kelapa; zeolit; produksi pirolisis; biomassa; energi terbarukan.

ABSTRACT

The life of Indonesian society is highly dependent on the consumption of fossil fuels for transportation and industry, while fossil fuel reserves are increasingly depleting and have the potential to run out. As an alternative, biomass, such as coconut shell, can be utilized as a sustainable fuel source. One method to convert biomass into renewable fuel is through by microwave assisted pyrolysis. Pyrolysis is a thermal decomposition process of biomass in the absence of O₂ gas in the reactor, producing products such as oil, charcoal, and non-condensable gas. This study aims to analyze the effect of varying microwave power on the pyrolysis production yield. The research was conducted experimentally using a mixture of coconut shell and zeolite weighing 50 grams. The microwave power variations used were 400, 600, and 800 watt, with a pyrolysis duration of 30 minutes. The pyrolysis process was carried out with the assistance of a vacuum pump to eliminate O₂ gas. The results of this study show that the production of oil and gas increases as the microwave power increases, while the production of charcoal decreases. The most effective microwave power for producing oil is 800 watts, with an oil yield of 29.54%. This is because the higher the power, the higher the frequency of the microwave waves. This vibration affects the movement speed of molecules in the biomass, generating more intense heat, thus accelerating the oil extraction process.

Keyword: *Microwave assisted pyrolysis; coconut shell; zeolite; pyrolysis production; biomass; renewable energy.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kehidupan masyarakat di Indonesia tidak lepas dari penggunaan bahan bakar fosil, dimana hampir setiap lini kehidupan tidak lepas dari konsumsi bahan bakar fosil. Cadangan bahan bakar fosil di Indonesia semakin menipis hal ini disebabkan oleh banyaknya penggunaan transportasi dan industri manufaktur yang menggunakan bahan bakar fosil sebagai bahan bakar utama (Wahyudi *et al.*, 2020). Penggunaan bahan bakar fosil yang berkelanjutan akan menyebabkan emisi gas rumah kaca yang menyebabkan iklim cuaca tidak stabil serta temperatur bumi akan meningkat (Setyono & Kiono, 2021). Konsumsi bahan bakar dari fosil jika digunakan secara terus menerus akan semakin menipis bahkan berpotensi habis, salah satu inovasi untuk mengurangi konsumsi bahan bakar fosil ini yaitu dengan cara pemanfaatan energi terbarukan dimana bahan baku produk bahan bakar tersebut dapat diperbarui dan dapat dimanfaatkan terus menerus (Wahyu Pratama *et al.*, 2020). Dengan menipisnya cadangan energi fosil dan semakin meningkatnya kesadaran masyarakat untuk melestarikan lingkungan, maka pemenuhan kebutuhan energi salah satunya dilakukan dengan energi alternatif (Marlina *et al.*, 2013).

Pemerintah berkomitmen untuk menurunkan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) sesuai kesepakatan global yang tercantum dalam dokumen *Enhanced Nationally Determined Contribution* (E-NDC) untuk mengurangi emisi GRK sebanyak 32% atau 358 juta ton CO₂ dengan usaha sendiri dan sebesar 41% atau sebanyak 446 juta ton CO₂ dengan bantuan dunia internasional pada tahun 2030. Untuk mengejar target tersebut, berbagai program telah dilaksanakan pemerintah, salah satunya ialah pemanfaatan biomassa sebagai upaya untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil yang memiliki dampak menghasilkan emisi gas buang tinggi (Kementerian ESDM, 2023).

Masyarakat di Indonesia sebelum menggunakan bahan bakar fosil sudah menggunakan biomassa sebagai sumber energi untuk kehidupan sehari-hari (Parinduri *et al.*, 2020). Transisi dari bahan bakar fosil ke bahan bakar hayati merupakan strategi penting untuk mengembangkan energi terbarukan dan telah

menjadi aspek penting dari tujuan pembangunan berkelanjutan (Chapman *et al.*, 2018). Pengembangan dan pemanfaatan biomassa untuk dijadikan bahan bakar merupakan peran penting dalam mengurangi ketergantungan penggunaan bahan bakar fosil (Zou *et al.*, 2024).

Limbah perkebunan adalah senyawa organik atau biomassa yang dihasilkan selama proses perumbuhan tanaman, biomassa ini mungkin berasal dari tanaman budidaya, seperti dedaunan, jerami, tempurung, sekam, atau peternakan. Ciri-ciri dan kualitas biomassa ditentukan berdasarkan jenis tanaman, kondisi pertumbuhan, dan pengolahan pada saat pertanian (Kuok *et al.*, 2024) Indonesia merupakan negara tropis yang memiliki pohon kelapa yang banyak di tanam oleh masyarakat umum atau petani. Pohon kelapa mempunyai banyak manfaat mulai dari buah, pohon, hingga akarnya. Saat ini, pohon kelapa sudah banyak dimanfaatkan oleh masyarakat namun belum optimal, khususnya limbah padat kelapa seperti tempurung yang di peroleh dari buahnya (Marwanza *et al.*, 2021).

Tempurung kelapa merupakan limbah perkebunan yang belum dimanfaatkan secara optimal, hanya sebagian kecil yang diolah menjadi media tanam, aksesoris dan briket (Imansyah, 2024). Komposisi kimia yang terkandung dalam tempurung kelapa yaitu selulosa 26,60%; hemiselulosa 27,70%; dan lignin 29,40% yang menjadikan tempurung kelapa berpotensi sebagai salah satu sumber energi alternatif (Fadila *et al.*, 2023). Alternatif yang layak untuk mengubah biomassa dengan kandungan lignoselulosa yang tinggi untuk menghasilkan *bio-oil* adalah melalui metode proses pirolisis (Borella *et al.*, 2024).

Pirolisis adalah proses dekomposisi termal bahan baku (biomassa) dengan sedikit ataupun tanpa oksigen di dalam reaktor dengan temperatur tinggi sehingga terjadi penguraian dan penguapan komponen-komponen penyusun (Naimah *et al.*, 2012). Pirolisis akan mengubah biomassa yang mengandung komponen kimia seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin menjadi produk padat, cair, dan gas melalui dekomposisi termal yang efisien (Aini *et al.*, 2022).

Teknologi *microwave* atau gelombang mikro adalah salah satu metode pirolisis yang modern karena dapat meningkatkan dan mempercepat laju reaksi

kimia. Reaksi dapat diselesaikan lebih efisien dibandingkan dengan metode konvensional lainnya karena efisiensi perpindahan panas yang efektif dan merata. Teknologi ini salah satu teknologi terbaik dalam proses pirolisis karena mengurangi waktu tinggal dan mempercepat reaksi kimia, yang mengarah pada penghematan energi (Aswie, 2020).

Zeolit merupakan salah satu katalis dalam pirolisis yang akan berpengaruh terhadap produk yang dihasilkan. Semakin besar persen zeolit maka nilai produk yang dihasilkan akan semakin naik (Harlivia *et al.*, 2022a). Zeolit juga mempercepat laju reaksi proses pirolisis, *bio-fuel* yang produksi dari bahan nabati dengan penambahan zeolit mengalami peningkatan disertai dengan meningkatnya waktu pirolisis (Jahiding *et al.*, 2020).

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, penelitian ini akan mengkaji hasil produksi proses pirolisis biomassa tempurung kelapa dan katalis zeolit dengan bantuan pemanasan gelombang mikro. Gelombang mikro memungkinkan pemanasan yang lebih cepat dan efisien karena energi panas langsung dipancarkan ke sampel, yang membantu dalam proses penguraian molekul biomassa. Tempurung kelapa dipilih sebagai bahan baku karena kandungan lignin, selulosa, dan hemiselulosa yang berpotensi tinggi untuk diolah menjadi bahan bakar terbarukan. Untuk mempercepat dan meningkatkan laju reaksi termal serta kuantitas produk yang dihasilkan, digunakan katalis zeolit yang memiliki karakteristik adsorpsi yang baik. Proses pirolisis berbantuan gelombang mikro merupakan salah satu alternatif proses pirolisis biomassa yang sedang berkembang saat ini. Maka peneliti tertarik untuk mengambil judul skripsi “Pengaruh Variasi Daya Gelombang Mikro terhadap Produksi Pirolisis Biomassa Tempurung Kelapa dengan Katalis Zeolit”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dijelaskan sebelumnya, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi daya gelombang mikro pada proses pirolisis biomassa tempurung kelapa dengan penambahan katalis zeolit terhadap hasil produksi pirolisis, temperature akhir

proses pirolisi, kesetimbangan energi hasil proses pirolisis, dan visualisasi produk *heavy oil*?

1.3 Batasan Masalah

1. Penelitian ini hanya meneliti proses pirolisis tempurung kelapa dengan alat MAP (*Microwave Assisted Pyrolysis*) dan menggunakan *boiling flask* berkapasitas 1000 ml sebagai reaktor.
2. Tidak membahas tentang frekuensi gelombang mikro.
3. Tidak menguji lab kandungan kimia dari biomassa dan katalis.
4. Tidak menguji lab hasil produksi pirolisis.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi daya gelombang mikro terhadap hasil produksi pirolisis, temperature akhir, kesetimbangan energi, dan visualisasi produk *heavy oil* yang diperoleh pada proses pirolisis dengan metode *microwave assisted pyrolysis*.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian yang dilakukan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Mengurangi limbah tempurung kelapa untuk kemudian bisa dimanfaatkan menjadi bahan bakar terbarukan.
2. Menambah pengetahuan tentang bahan bakar alternatif dari biomassa serta mengetahui proses *microwave assisted pyrolysis*.
3. Membantu mengatasi permasalahan bahan baku bahan bakar fosil yang semakin menipis.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

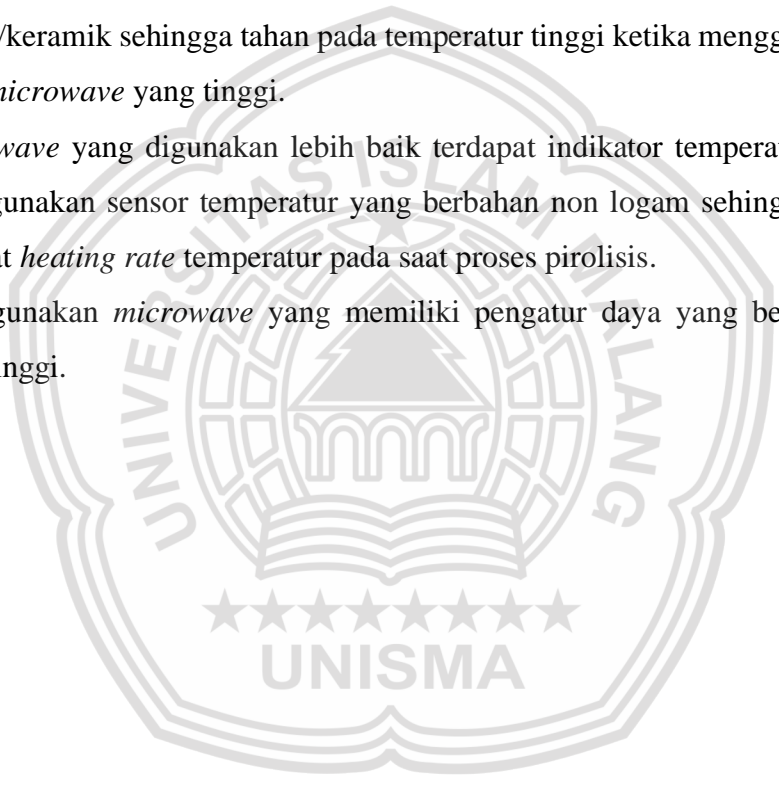
Dari Penelitian *Microwave Assisted Pyrolysis* yang telah dilakukan didapatkan beberapa kesimpulan diantaranya sebagai berikut:

1. Pengaruh daya terhadap produksi hasil pirolisis dengan pemanas gelombang mikro yaitu *yield oil* dan *yield gas* semakin meningkat seiring naiknya variasi daya, dan *yield char* semakin menurun seiring naiknya variasi daya.
2. Daya *microwave* dan temperatur memiliki hubungan yang saling berkaitan; semakin besar daya yang digunakan, maka semakin tinggi pula temperatur yang dihasilkan.
3. Viasualisasi *heavy oil* sekilas memiliki kesamaan, terlihat berwarna hitam pekat. Hal ini dikarenakan masih terdapat banyak residu atau ampas hasil pirolisis yang dihasilkan.
4. Daya *microwave* memiliki pengaruh signifikan terhadap kesetimbangan energi pada proses pirolisis. Nilai energi hilang yang lebih kecil pada daya 800watt menunjukkan bahwa proses pirolisis lebih efisien dibandingkan dengan daya 400 dan 600watt. Oleh karena itu, daya 800watt dapat dianggap sebagai pilihan terbaik untuk meminimalkan kehilangan energi dan meningkatkan efisiensi proses.
5. *Output* daya *microwave* yang paling efektif untuk menghasilkan *liquid* adalah 800watt. Hal ini disebabkan semakin besar daya, maka efek getaran gelombang mikro menghasilkan frekuensi gelombang yang semakin besar pula, yang terjadi pada muatan komponen bahan kecepatan pergerakan (getaran) antar molekul ini yang kemudian menghasilkan efek panas, sehingga berpengaruh pada proses keluarnya minyak dari bahan.

5.2 Saran

Dari Penelitian *Microwave Assisted Pyrolysis* yang telah dilakukan didapatkan beberapa saran diantaranya sebagai berikut:

1. *Microwave Assisted Pyrolysis* tergolong penelitian baru yang dikembangkan di Laboratorium *Renewable Energy* Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Malang, Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian-penelitian lanjutan terkait mempelajari parameter-parameter lainnya yang mempengaruhi proses pirolisis.
2. Menggunakan reaktor *boiling flask* yang berbahan utama kaca *quartz*/keramik sehingga tahan pada temperatur tinggi ketika menggunakan daya *microwave* yang tinggi.
3. *Microwave* yang digunakan lebih baik terdapat indikator temperatur atau menggunakan sensor temperatur yang berbahan non logam sehingga bisa melihat *heating rate* temperatur pada saat proses pirolisis.
4. Menggunakan *microwave* yang memiliki pengatur daya yang bervariasi daya tinggi.



DAFTAR PUSTAKA

- Adawiyah Meor Mohamad Zain, R., Farrah Izzaty Shaari, N., Faiz Mohd Amin, M., Jani, M., Kelantan, M., & Campus, J. (2018). *EFFECTS OF DIFFERENT DOSE OF ZEOLITE (CLINOPTILOLITE) IN IMPROVING WATER QUALITY AND GROWTH PERFORMANCE OF RED HYBRID TILAPIA (Oreochromis sp.)*. 13(24). www.arpnjournals.com
- Aini, N. A., Jamilatun, S., & Pitoyo, J. (2022). PIROLISIS BIOMASSA: REVIEW. *Agroindustrial Technology Journal*, 6(1), 89. <https://doi.org/10.21111/atj.v6i1.7559>
- Allende, S., Brodie, G., & Jacob, M. V. (2023). Breakdown of biomass for energy applications using microwave pyrolysis: A technological review. In *Environmental Research* (Vol. 226). Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115619>
- Allende, S., Brodie, G., & Jacob, M. V. (2024). Microwave pyrolysis of various wastes and analysis of energy recovery. *Bioresource Technology Reports*, 26. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2024.101821>
- Anggraini, S. P. A., Suprpto, S., Juliastuti, S. R., & Mahfud, M. (2024). Optimization of pyrolytic oil production from coconut shells by microwave-assisted pyrolysis using activated carbon as a microwave absorber. *International Journal of Renewable Energy Development*, 13(1), 145–157. <https://doi.org/10.14710/ijred.2024.56287>
- Ardhanie Aviandharie, S., Nugroho Jati, B., & Ermawati Balai Besar Kimia dan Kemasan, R. (2020). PEMANFAATAN GAS HASIL PROSES PIROLISIS PLASTIKPOLYETHYLENE(PE) SEBAGAI BAHAN BAKAR DENGAN METODE KONDENSOR DAN METODE TANGKI AIR GAS UTILIZATION OF POLYETHYLENE (PE) PLASTIC WASTE PYROLYSIS PROCESS AS FUEL WITH CONDENSOR METHOD AND WATER TANK METHOD. *RISET TEKNOLOGI INDUSTRI*, 14(1), 88–96.

- Arfandi, T., Sitorus, B. tulus, Ambarita, H., Napitupulu, H. F., & Nasution, D. (2017). Pengujian Kemampuan Adsorpsi Dari Adsorber Karbon Aktif Dan Alumina Aktif Yang Digunakan Untuk Mesin Pendingin Tenaga Surya. *Jurnal Dinamis*, 5(3), 82–90.
- Aswie, V. (2020). Proses Pembuatan Biofuel Dari Microalgae Menggunakan Teknologi Microwave-Assisted Pyrolysis. *Doctoral Dissertation*.
- Aswie, V., Qadariyah, L., & Mahfud, M. (2022). Kinetics and Characterization of Microalgae Biofuel by Microwave-assisted Pyrolysis Using Activated Carbon. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 54(2). <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2022.54.2.7>
- Azizi, K., Keshavarz Moraveji, M., & Abedini Najafabadi, H. (2018). A review on bio-fuel production from microalgal biomass by using pyrolysis method. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 82, pp. 3046–3059). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.033>
- Biogreen. (2024). *Pyrolysis - definition*. VOW.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101648>
- Borella, M., Casazza, A. A., Busca, G., & Garbarino, G. (2024). Two-stage co-pyrolysis of Kraft lignin and palm oil mixture to biofuels: The role of lignin as a methylation agent for methyl ester formation. *Fuel Processing Technology*, 257. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2024.108092>
- Chapman, A. J., McLellan, B. C., & Tezuka, T. (2018). Prioritizing mitigation efforts considering co-benefits, equity and energy justice: Fossil fuel to renewable energy transition pathways. *Applied Energy*, 219, 187–198. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.054>

- Csutoras, B., & Miskolczi, N. (2024). Thermo-catalytic pyrolysis of sewage sludge and techno-economic analysis: The effect of synthetic zeolites and natural sourced catalysts. *Bioresource Technology*, 400. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2024.130676>
- Dewajani, H., Zamrudu, W., Irfan, Z., Ningtyas, D., & Mujibur Ridlo, N. (2023). Utilization of Indonesian sugarcane bagasse into bio asphalt through pyrolysis process using zeolite-based catalyst. *Materials Today: Proceedings*, 87, 383–389. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.171>
- Dirisu, J., Salawu, E. Y., Oyedopu, S. O., Fayomi, O. S. I., Banjo, S. O., Daniel, M. M., & Fasuba, D. M. (2020). Characterization of Selected Biomass Materials as Potential Additives for Developing an Eco-friendly Ceiling Composite. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 13(8), 2023–2029. <http://www.irphouse.com>
- Dongoran, J., Sulistiawati, P., Simangunsong, Y., Gizta, P., Paksi, R., & Pasaribu, M. H. (2021). The Development of Zeolite as Potential Natural Catalyst. *Jurnal Jejaring Matematika Dan Sains*, 3(2), 28. <https://doi.org/10.36873/jjms.2021.v3.i2.604>
- Evahelda, Astuti, R. P., Aini, S. N., & Nurhadini. (2023). Pemanfaatan limbah tempurung kelapa untuk pembuatan asap cair menggunakan metode pirolisis. *AGROMIX*, 14(2), 171–181. <https://doi.org/https://doi.org/10.35891/agx.v14i2.3123>
- Fadila, N. D., Rahmawati, W., Suharyatun, S., & Haryanto, A. (2023). Kinerja Industri Kecil Arang Tempurung Kelapa. *Jurnal Agricultural Biosystem Engineering*, 2(2), 287. <https://doi.org/10.23960/jabe.v2i2.7484>
- Faisal, M., Kamaruzzaman, S., Desvita, H., Annisa, D., & Zahara, C. (2023). Response surface methodology for optimization of liquid smoke production yield from durian rinds (*Durio zibethinus* Murr.). *Materials Today: Proceedings*, 87, 187–191. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.02.395>

- Gowthaman, S., & Thangavel, K. (2022). Performance, emission and combustion characteristics of a diesel engine fuelled with diesel/coconut shell oil blends. *Fuel*, 322. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124293>
- Harlivia, R., Tahdid, T., & A., S. E. (2022a). Pengaruh Persen Katalis Zeolit Alam Terhadap Yield Bahan Bakar Cair Proses Pirolisis dari Limbah Plastik Polypropylene. *Jurnal Pendidikan Dan Teknologi Indonesia*, 2(11), 453–459. <https://doi.org/10.52436/1.jpti.241>
- Harlivia, R., Tahdid, T., & A., S. E. (2022b). Pengaruh Persen Katalis Zeolit Alam Terhadap Yield Bahan Bakar Cair Proses Pirolisis dari Limbah Plastik Polypropylene. *Jurnal Pendidikan Dan Teknologi Indonesia*, 2(11), 453–459. <https://doi.org/10.52436/1.jpti.241>
- Herlambang, S., Purwono, A., Gomareuzzaman, M., & Wibowo, A. W. A. (2020). *BUKU AJAR BIOCHAR SALAH SATU ALTERNATIF UNTUK PERBAIKAN LAHAN DAN LINGKUNGAN*. Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat UPN Veteran Yogyakarta.
- Hidayat, T., & Qomaruddin. (2015). *ANALISA PENGARUH TEMPERATUR PIROLISIS DAN BAHAN BIOMASSA TERHADAP KAPASITAS HASIL PADA ALAT PEMBUAT ASAP CAIR* (Vol. 1).
- Hu, X., Ma, D., Zhang, G., Ling, M., Hu, Q., Liang, K., Lu, J., & Zheng, Y. (2023). Microwave-assisted pyrolysis of waste plastics for their resource reuse: A technical review. *Carbon Resources Conversion*, 6(3), 215–228. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2023.03.002>
- Imansyah, F. (2024). PEMANFAATAN ASAP CAIR LIMBAH SERABUT DAN TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI PESTISIDA ORGANIK DI DUSUN MAKMUR DESA SUNGAI KUPAH. *Jurnal Abdi Insani*, 11(1), 934–945. <https://doi.org/10.29303/abdiinsani.v11i1.1470>
- Jahiding, M., Usman, I., Ratih Samsusih Rizki, Haryani, & Mashuni. (2020). Pengaruh Kosentrasi Zeolit Terhadap Kualitas Bio-Oil Yang Diproduksi dari Limbah Sabut Kelapa Muda (*Cocos nucifera*) Menggunakan Metode Piro-

katalitik. *Gravitasi*, 19(2), 29–35.
<https://doi.org/10.22487/gravitasi.v19i2.15359>

Kamga, P. L. W., Vitoussia, T., Bissoue, A. N., Nguimbous, E. N., Dieudjio, D. N., Bot, B. V., & Njeugna, E. (2024). Physical and energetic characteristics of pellets produced from Movingui sawdust, corn spathes, and coconut shells. *Energy Reports*, 11, 1291–1301. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.01.006>

Kartika Erliyanti, N., & Rosyidah, E. (2017). PENGARUH DAYA MICROWAVE TERHADAP YIELD PADA EKSTRAKSI MINYAK ATSIRI DARI BUNGA KAMBOJA (PLUMERIA ALBA) MENGGUNAKAN METODE MICROWAVE HYDRODISTILLATION. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 8(3), 175–178.

Kementerian ESDM. (2023, October 11). *Berkat Biodiesel, Emisi Turun 27,8 Juta CO₂e Sepanjang 2022*. KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL.

Khatimah, H. A. (2021). *ANALISIS DAILY OPERATION REPORT KAPAL DALAM MENGAWASI PEMAKAIAN FUEL OIL DI PT. SURF MARINE INDONESIA*.

Kuok, K. K., Chiu, P. C., Rahman, Md. R., Chin, M. Y., & Bin Bakri, M. K. (2024). Sustainable bamboo and coconut shell activated carbon for purifying river water on Borneo Island. *Waste Management Bulletin*, 2(1), 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.wmb.2023.12.008>

Kyle, B. G. (1983). Chemical and Proces Thermodynamics. *Tables of Thermal Properties of Gases*.

Mahfud, M., Qadariyah, 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>

- Marlina, E., Wahyudi, S., & Yuliati, L. (2013). PRODUKSI BROWN'S GAS HASIL ELEKTROLISIS H₂O DENGAN KATALIS NaHCO₃. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 4(1), 53–58.
- Marwanza, I., Azizi, M. A., Nas, C., Patian, S., Dahani, W., & Kurniawati, R. (2021). PEMANFAATAN BRIKET ARANG TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF DI DESA BANJAR WANGI, PANDEGLANG, PROVINSI BANTEN. *Jurnal Abdimas Dan Kearifan Lokal*, 02(01).
- Naimah, S., Nuraeni, C., Rumondang, I., Jati, N., Rahyani, D., Balai, E., Kimia, B., Kemasan, D., Balai, J., No, K., Rebo, P., & Timur, J. (2012). DEKOMPOSISI LIMBAH PLASTIK POLYPROPYLENE DENGAN METODE PIROLISIS. *Jurnal Sains Materi Indonesia Indonesian Journal of Materials Science*, 13(3), 226–229.
- Novita, S. A., Santosa, S., Nofialdi, N., Andasuryani, A., & Fudholi, A. (2021). Artikel Review: Parameter Operasional Pirolisis Biomassa. *Agroteknika*, 4(1), 53–67. <https://doi.org/10.32530/agroteknika.v4i1.105>
- Nurhidayat, A., & Raya Palur Km, J. (2021). ANALISIS VARIASI KETEBALAN CORE KOMPOSIT SANDWICH SERBUK LIMBAH TEMPURUNG KELAPA TERHADAP SIFAT MEKANIK. <https://doi.org/https://doi.org/10.52561/teknika.v7i1.121>
- Parinduri, L., Parinduri, T., Kunci, K., Fosil, E., Biomassa, E., & Energi, K. (2020). Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan. In *Journal of Electrical Technology* (Vol. 5, Issue 2). <https://www.dosenpendidikan>.
- Permata Sari, E., Seru Dwi Saputra, J., Studi Teknik Mesin, P., & Tinggi Teknologi Mekongga Jl, S. (2021). PENGARUH DAYA MICROWAVE TERHADAP PRODUKSI DAN KARAKTERISTIK SENYAWA BIO-OIL AMPAS SAGU MENGGUNAKAN METODE PIROLISIS DAN GAS CHROMATOGRAPHY (GC). 4(1), 10.
- Pratiwi Mentari dan Sahara, E., Fisika Fakultas Sains dan Teknologi, J., & Alauddin Makassar, U. (2017). PEMBUATAN DAN PENGUJIAN ASAP CAIR DARI

TEMPURUNG KELAPA DAN TONGKOL JAGUNG SEBAGAI BAHAN PENGAWET IKAN. In *JFT. No.1* (Vol. 4).

Ramadhanti, Y. (2023). Peran Katalis Dalam Reaksi Kimia: Mekanisme Dan Aplikasi. *Ilmiah Teknik*, 2, 74–78. <https://doi.org/https://doi.org/10.55904/hexatech.v2i2.915>

Ridhuan, K., Eng, M., & Dwi Irawan, M. T. (2020). *ENERGI TERBARUKAN PIROLISIS*. CV. LADUNY ALIFATAMA (Penerbit Laduny).

Ridhuan, K., Irawan, D., & Inthifawzi, R. (2019). Proses Pembakaran Pirolisis dengan Jenis Biomassa dan Karakteristik Asap Cair yang Dihasilkan. *TURBO*, 8(1), 69–78.

Rosyidah, N., & Sa'diyah, K. (2022). PENGARUH BERBAGAI JENIS BIOMASSA TERHADAP HASIL ASAP CAIR PADA PROSES PIROLISIS. *Jurnal Teknologi Separasi*, 4, 900–908. <http://distilat.polinema.ac.id>

Sarwendah, M., Wahyuni, T., Nindya Arisanti, T., Kepulauan Bangka Belitung Jl Mentok Km, B., Jl Raya Tlekung No, B., Batu, K., & Timur, J. (2019). PEMANFAATAN LIMBAH KOMODITAS PERKEBUNAN UNTUK PEMBUATAN ASAP CAIR Utilization of Plantation Commodities Waste for Liquid Smoke. *Jurnal Littri*, 25(1). <https://doi.org/10.21082/littri>

Savitri Puspaningrum, A., Firdaus, F., Ahmad, I., & Anggono, H. (2020). Indonesia 35132 3,4) Program Studi Informatika, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer. In *Universitas Teknokrat Indonesia Jl. ZA. Pagar Alam* (Vol. 01, Issue 1).

Selvina, M., Fahrialam, A., Anthony Wijaya, L., Rahmah Karunianti, A., & Wayan Warmada, I. (2021). Study Characteristics of Zeolite in Yogyakarta and its Utilization as a Builder Agent to Produce Environmentally Friendly Detergent. *Jurnal Geologi Dan Sumberdaya Mineral*, 21(4), 189–196. <https://doi.org/10.33332/jgsm.geologi.22.4.189-196p>

Setyawan, Moch. A., Zakariyya, M., & Mahfud. (2013). Pengambilan Minyak Atsiri dari Bunga Kenanga Menggunakan Metode Hydro-Distillation dengan

Pemanas Microwave. *TEKNIK POMITS*, 2(2), 282–285.
<https://doi.org/10.12962/j23373539.v2i2.3495>

Setyono, A. E., & Kiono, B. F. T. (2021). Dari Energi Fosil Menuju Energi Terbarukan: Potret Kondisi Minyak dan Gas Bumi Indonesia Tahun 2020 – 2050. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 2(3), 154–162.
<https://doi.org/10.14710/jebt.2021.11157>

Simanjuntak, J. P., Silaban, R., & Putra, A. N. (2024). *TEKNOLOGI PIROLISIS BIOMASSA Energi Terbarukan: Vol. Energi Terbarukan* (F. Syah, N. Rayana, & B. Fahrurnisyah, Eds.). ECHA PROGRES: LEMBAGA PENGEMBANGAN PROFESIONALISM SDM.

Uddin Monir, M., Muntasir Shovon, S., Ahamed Akash, F., Habib, M. A., Techato, K., Abd Aziz, A., Chowdhury, S., & Eka Prasetya, T. A. (2024). Comprehensive characterization and kinetic analysis of coconut shell thermal degradation: Energy potential evaluated via the Coats-Redfern method. *Case Studies in Thermal Engineering*, 55.
<https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.104186>

Wahyu Pratama, D., Abidin, A., Jember, M., Kunci, K., Limbah Cair Tahu, B., kuda, kotoran, & dan EM-, R. (2020). Variation Effect of Horse Dung, Yeast And EM-4 on The Quality of Fuel Biogas Tofu Liquid Waste. In *Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin* (Vol. 4, Issue 2).
<http://jurnal.unmuhjember.ac.id/index.php/J-Proteksion>

Wahyudi, R., Amrul, A., & Irsyad, M. (2020). Karakteristik Bahan Bakar Padat Produk Torefaksi Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Reaktor Torefaksi Kontinu Tipe Tubular. *INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasional Dan Teknologi*, 20(2), 1–8.
<https://doi.org/10.24036/invotek.v20i2.706>

Wiiaya, M., Eldian, A. T., Wiharto, M., Fadilah, R., & Jumardi. (2022). *KAKAO DAN LIMBAH BIOMASSA: MENGENAL TEKNOLOGI PIROLISIS BIOMASSA* (A. T. Eldian, Ed.). Grup Penerbitan CV BUDI UTAMA.
<https://www.shutterstock.com/>

Wijayanti, W. (2021). Efek Zeolit untuk Produksi Tar dan Char pada Pirolisis Rotary Kiln. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 12(1), 51.
<https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2021.012.01.6>

Zou, X., Debiagi, P., Amjed, M. A., Zhai, M., & Faravelli, T. (2024). Impact of high-temperature biomass pyrolysis on biochar formation and composition. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 179.
<https://doi.org/10.1016/j.jaap.2024.106463>

