

Pengaruh Komposisi Biji Jarak, Cangkang Biji Karet Dan Jumlah Katalis Zeolit Terhadap Hasil Syngas Pirolisis

Nyimas Chyntya Chantika¹⁾, Natasya Hafiza¹⁾, Irawan Rusnadi¹⁾, Adi Syakdani¹⁾, Hilwatullisan¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Energi, Fakultas Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya
Jl. Srijaya Negara, Palembang 30139, Indonesia

*)Correspondence Email: nyimaschantika01@gmail.com

Abstrak

Kebutuhan energi di Indonesia terus meningkat seiring dengan perkembangan populasi dan industrialisasi. Sebagai negara yang kaya akan sumber daya biomassa, Indonesia memiliki potensi besar untuk mengembangkan energi alternatif yang terbarukan. Biomassa, seperti biji jarak dan cangkang biji karet, memiliki kandungan karbon dan hidrogen yang tinggi, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku energi. Kandungan utama cangkang biji karet meliputi 38,11% selulosa, 18,74% lignin, dan 26,09% hemiselulosa, sementara biji jarak memiliki kadar minyak sekitar 30-40%. Salah satu metode pengolahan biomassa yang efektif adalah pirolisis, yang menghasilkan produk berupa bio-char, bio-oil, dan syngas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi jumlah katalis zeolit alam dan perbandingan komposisi bahan baku terhadap produk pirolisis, khususnya dalam meningkatkan yield dan kualitas syngas. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan jumlah katalis zeolit alam (3% dan 5%) dan komposisi bahan baku (100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100) pada suhu 350°C. Analisis produk syngas dilakukan untuk mengidentifikasi komponen senyawa seperti CH₄, H₂S, CO, dan CO₂. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi jumlah katalis berpengaruh signifikan terhadap produk syngas. Penggunaan katalis zeolit alam sebanyak 5% memberikan hasil yang paling optimal dalam meningkatkan yield gas dan kualitas produk pirolisis. Komposisi bahan baku juga memengaruhi distribusi senyawa dalam syngas yang dihasilkan. Penelitian ini mengungkap bahwa kombinasi katalis zeolit alam sebanyak 5% dengan variasi komposisi bahan baku tertentu menghasilkan syngas dengan yield dan kualitas terbaik. Hal ini menunjukkan potensi biomassa seperti cangkang biji karet dan biji jarak sebagai sumber energi alternatif yang efisien dan berkelanjutan.

Kata Kunci: Biji Jarak, Cangkang Biji Karet, Zeolit, Pirolisis, Syngas.

PENDAHULUAN

Indonesia terus mengalami peningkatan jumlah penduduk yang akan selaras dengan peningkatan jumlah kebutuhan energi di Indonesia. Ketidakseimbangan antara jumlah pasokan energi dengan jumlah konsumsi energi akan mengakibatkan krisis energi berkelanjutan untuk itu diperlukan Langkah strategis untuk mengantisipasinya. Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki keistimewaan dalam ketersediaan sumber daya biomassa. Biomassa dapat dijadikan energi alternatif pengganti bahan bakar minyak bumi karena sifatnya dapat diperbarui dapat diperoleh salah satunya dari tanaman pertanian seperti biji jarak dan cangkang biji karet.

Tanaman jarak menurut berita unit *Kementerian ESDM RI oleh Direktorat Jenderal EBTKE* sering dianggap sebagai limbah karena kalah bersaing dengan tanaman pangan, apalagi pertumbuhan tanaman ini sangat cepat walau dalam keadaan kemarau dan tanaman ini juga tidak dapat dimakan hewan

karena beracun, Pada tanaman ini terdapat biji yang mengandung rendemen minyak sebesar 35 sampai 45 persen dan biji tersebut dapat diolah sebagai bahan bakar alternatif. Namun, selain ini lahan untuk pengembangan jarak di Indonesia baru mencapai 5 hektar (Zakariyya & Yuliasmara, 2015) dengan demikian jumlah biji jarak di Indonesia masih mengalami kekurangan.

Tabel 1. Analisis Proksimat Biji Jarak

Material	Biji Jarak
% Volatile matter	82.03
% Moisture	5.9
% Ash Content	7.9
% Fixed Carbon	4.16

Sumber : (Sethi & Singh, n.d.)

Tanaman karet dalam DataIndonesia.id, n.d. merupakan salah satu tanaman yang paling banyak dibudidayakan di Indonesia dimana provinsi Sumatera Selatan menjadi penghasil karet terbesar dengan produksi sebesar 804.8 ribu ton atau penyumbang 28.7 % dari produksi karet nasional. Akibatnya banyak dihasilkan limbah Perkebunan karet dalam bentuk biji karet. Menurut Ketut Suka Astawan dkk (2018) biji karet terdiri dari 40-50% cangkang keras berwarna coklat sisanya biji berwarna kuning-putih. cangkang biji karet menurut Prabawa & Miyono (2017) cangkangnya mempunyai komposisi yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar dengan kandungan utama berupa karbon dan hidrogen sangat tinggi yang terkandung dalam senyawa Cangkang biji karet.

Tabel 2. Komposisi Kimia yang Terkandung dalam Cangkang Biji Karet

Parameter	Satuan	Komposisi Cangkang Biji Karet
Lignin	%	18.74
Selulosa	%	38.11
Hemiselulosa	%	26.09
Kadar Air	%	7.39
Kadar Abu	%	0.58
Kadar zat terbang	%	79.64
Karbon terikat	%	12.39

Sumber: (Prabawa & Miyono, 2017)

Analisis proksimat bahan baku dibutuhkan untuk dapat melihat kemungkinan yang akan terjadi terhadap produk yang dihasilkan. Pada kadar air bahan baku biji jarak memiliki kadar air 10% lebih tinggi dibanding cangkang biji karet 7 %. Menurut Kaur dkk (2015) kadar air yang tinggi dalam biomassa akan menyebabkan sebagian energi pada proses pirolisis akan digunakan untuk menguapkan air. Kadar abu yang dimiliki cangkang lebih kecil di bandingkan jarak, menurut Asmunandar dkk, (2023) kadar abu yang tinggi dapat menghambat pirolisis dengan menghasilkan residu yang tidak dapat terbakar dan mengurangi nilai kalor hasil pirolisis, karena bagian dari biomassa tidak memberikan kontribusi energi. Zat terbang terdiri dari senyawa-senyawa yang dapat berubah menjadi gas atau uap ketika biomassa dipanaskan (Ridhuan dkk., 2019). Pada cangkang kadar zat terbang 79% lebih tinggi dibandingkan jarak 38%, menurut Gao dkk., (2023) kandungan zat terbang yang tinggi biasanya dapat meningkatkan produksi gas pirolisis, tetapi jika terlalu tinggi akan membuat pembentukan tar yang

berlebihan.. Namun terdapat faktor lain yang mempengaruhi pembentukan bahan baku yaitu seperti katalis dan komposisi bahan baku yang digunakan dalam proses pirolisis.

Pirolisis merupakan suatu proses penguraian senyawa atau pemutusan struktur kimia bahan organik melalui proses pemanasan dalam reaktor tanpa adanya oksigen atau oksige dalam jumlah kecil. Dalam pirolisis, biomassa didekomposisi secara termal menjadi gas yang dapat terkondensasi (bio-oil), biochar, dan gas yang tidak dapat terkondensasi (Rathod et al., 2023). Dengan reaksi :



Adapun menurut Rusydi, (2019) yang terjadi pada proses pirolisis yaitu proses penguraian senyawa-senyawa penyusunnya, seperti; Pirolisis selulosa, menurut Chen et al (2022) melaporkan bahwa pirolisis selulosa menghasilkan bio-oil yang kaya akan anhidrosugars dan furans, yang merupakan komponen utama dari bio-oil, pirolisis selulosa menghasilkan gas seperti CO dan CO₂, dengan jumlah yang lebih sedikit dibandingkan dengan bio-oil. Menurut Usino et al (2021) menunjukkan bahwa selulosa menghasilkan lebih sedikit biochar dibandingkan dengan lignin, karena lebih mudah terdekomposisi dan volatilisasinya lebih tinggi. Menurut Rusydi (2019) Selulosa ditemperatur 280°C terdekomposisi dan berakhir pada 300-350°C.

Kedua pirolisis hemiselulosa menurut Rusydi (2019) pada temperatur 200-350°C akan terdekomposisi. Menurut Dai et al (2021) menemukan bahwa hemiselulosa menghasilkan furfural dan senyawa volatil lainnya yang terkandung dalam bio-oil tetapi dalam jumlah yang lebih sedikit dibandingkan syngas. Menurut Usino et al (2021) menunjukkan bahwa hemiselulosa menghasilkan lebih sedikit biochar karena dekomposisi yang cepat dan menghasilkan lebih banyak produk volatil.

Terakhir terdekomposisi adalah lignin menurut Rusydi (2019) pada temperatur 300-350°C dan berakhir pada 400-450°C. Menurut Chen et al (2022) dan Xue et al (2023), Lignin menghasilkan lebih banyak biochar karena struktur aromatik yang stabil dan sulit terurai sepenuhnya pada suhu pirolisis dibandingkan dengan selulosa dan hemiselulosa. Usino et al (2021) menemukan bahwa pirolisis lignin menghasilkan senyawa aromatik yang terkandung dalam bio-oil, tetapi jumlahnya tidak sebanyak biochar.

Gas sintesa atau biasa disebut *synthetic gas (syngas)* menurut Darmansyah dkk (2021) campuran gasnya Sebagian besar mengandung CO dan H₂ dengan perbandingan yang berbeda-beda dan juga terdiri dari gas-gas lain seperti CO₂, CH₄, H₂O, N₂, gas organik dan gas anorganik (H₂S, NH₃, logam alkali). Dekomposisi primer biomassa menghasilkan gas yang dapat terkondensasi (uap) dan gas yang tidak dapat terkondensasi. karena uap terdiri dari molekul yang lebih berat, ia mengembun menjadi produk cair saat mendingin (Febriyanti dkk, 2019). Menurut Febriyanti dkk, (2019) campuran gas yang tidak dapat terkondensasi meliputi gas dengan berat molekul rendah seperti CO₂, CH₄, CO dan H₂ dimana dari kandungan ini sebgaiannya mudah terbakar sehingga disebut *syngas*.

Menurut Vebrianti dkk, (2021) terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi proses pirolisis seperti perlakuan awal terhadap biomassa, kadar air dan ukuran partikel bahan, komposisi senyawa biomassa, pengaruh suhu, waktu tinggal, jenis pirolisis, dan katalis. Katalis menurut Novita dkk (2022) yaitu suatu zat yang dapat mempercepat laju reaksi dan akan terbentuk kembali pada akhir reaksi. Menurut Chauke (2019) ada atau tidaknya katalis menentukan apakah produk akan memiliki berat molekul lebih tinggi atau lebih rendah yaitu lebih mirip solar atau bensin. Menurut Zhang et al., (2018), Zeolit dengan struktur kristal aluminosilikat yang dibuat dengan silika tetrahedron dan alumina tetrahedron, Selain itu, zeolit juga dapat meningkatkan konversi biomassa menjadi produk-produk pirolisis yang diinginkan, seperti *bio-oil* dan *syngas*. Dari website *Javamas Agrophos* katalis zeolit aktif yang digunakan memiliki Cation Exchange Capacity (CEC) sebesar 101,25 cmol/kg sedangkan menurut Wiyantoko & Rahmah (2017) zeolite yang belum diaktivasi secara fisik memiliki CEC 41,31 cmol/kg,

sehingga molekul – molekul pada gas produk pirolisis akan mudah pecah dan lebih aktif. Aktivasi pada zeolit yang ditandai dengan kenaikan nilai CEC terbukti meningkatkan kinerjanya, menghasilkan produk pirolisis dengan kualitas yang lebih baik, terkhusus pada syngas dengan kandungan gas mudah terbakar yang tinggi.

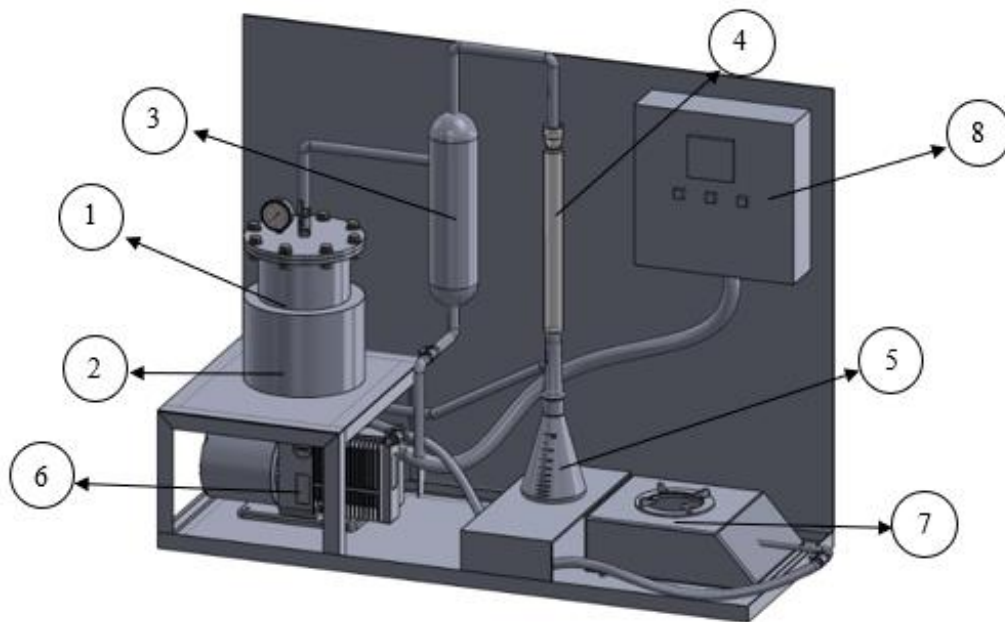
Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi jumlah katalis zeolit alam dan perbandingan komposisi biji jarak dan cangkang biji karet terhadap produk pirolisis, terutama pada yield dan kualitas syngas yang dihasilkan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi pemanfaatan biomassa sebagai energi alternatif yang efisien dan berkelanjutan.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Energi Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya. Pengambilan data penelitian ini diambil langsung pada unit alat pirolisis dengan suhu 350°C dan variasi perbandingan komposisi yaitu 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, dan 0:100 %w/w serta variasi jumlah katalis zeolit aktif yaitu 3% dan 5%. Data penelitian yang didapatkan akan dilampirkan dalam bentuk tabel dan grafik.

Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini ialah seperangkat alat pirolisis, neraca analitik dan *urine bag*, 7.5 kg biji jarak, 7.5 kg cangkang biji karet, dan 0.450 kg zeolit aktif.



Gambar 1. Seperangkat Alat Pirolisis

Keterangan ;

1. Reaktor Pirolisis
2. Band Heater

5. Tempat Penampungan Kondensat
6. Pompa Vakum

- 3. Separator
- 4. kondensor
- 7. Kompor
- 8. Kontrol Panel

Prosedur Penelitian

a. Persiapan Bahan Baku

Dimulai dengan melakukan persiapan bahan baku biji jarak dan cangkang biji karet dengan membersihkan kotoran dan dilakukan proses pengeringan dengan cara dijemur selama 1 jam.

b. Proses Pirolisis

Bahan baku bersama katalis zeolit dimasukkan kedalam tabung reaktor sebanyak 1.5 kg dan menghidupkan pemanas reaktor dengan mengatur suhu sebesar 350°C, sehingga terjadi pemanasan pada reaktor untuk mengkonversikan bahan baku menjadi syngas. Sampel didapatkan saat dihasilkannya nyala api pada kompor, diambil menggunakan *urine bag* sebagai penampung dengan cara menghubungkan ujung urine bag ke bagian *valve* keluaran *syngas*. Produk Gas yang berupa *syngas* dianalisa kandungan senyawanya dengan alat *Multi Gas Detector Analyzer* di laboratorium Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini hasil penelitian dari produk syngas yang dihasilkan dengan proses pirolisis ditampilkan dalam tabel 3-4 dibawah ini ;

Tabel 3. % Yield Produk Syngas Pirolisis

Bahan Baku Cangkang : Jarak (% w/w)	Suhu (°C)	Katalis (%)	Syngas (%)
0:100	350	3	20.9
25:75			17.2
50:50			41.9
75:25			29.6
100:0			41.7
0:100	350	5	16.5
25:75			9.4
50:50			28.6
75:25			25.2
100:0			52.6

Berdasarkan Tabel 3. komposisi yang menghasilkan yield syngas lebih banyak terlihat pada komposisi yang lebih dominan pada bahan baku cangkang hal ini di akibatkan oleh kadar zat terbang pada cangkang lebih besar dibanding pada biji jarak. Namun untuk komposisi 50% masing masing bahan baku terjadi kenaikan jumlah yield tapi tidak lebih besar dibandingkan yang dominan pada cangkang. Menurut Gao et al (2023) kandungan zat terbang yang tinggi biasanya dapat meningkatkan produksi cairan dan gas. Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Harlivia et al (2022) penambahan katalis zeolit dalam proses pirolisis dapat meningkatkan yield syngas. Pengaruh katalis pada persen yield dimana jumlah katalis yang lebih banyak menghasilkan *yield syngas* adalah pada 3% katalis dibandingkan 5 %.

Tabel 4. Hasil Kadungan Senyawa Syngas

Bahan Baku Cangkang : Jarak (% w/w)	Suhu (°C)	Katalis (%)	Kandungan Gas			
			CH ₄	H ₂ S	CO ₂	CO
			(%)	ppm	ppm	ppm
0:100	350	3	24	793	5000	917
25:75			28.3	1268	4218	1531
50:50			16	704	2011	870
75:25			32	1326	4324	1054
100:0			31	871	1983	810
0:100	350	5	34	1074	5331	931
25:75			25	1112	3924	1430
50:50			21	927	3671	1238
75:25			28	1247	4073	1626
100:0			12	631	1695	9034

Pada Tabel 4. terlihat bahwa pada katalis 3 % terjadi kenaikan kadar CH₄ pada komposisi yang dominan pada cangkang. Sedangkan pada katalis 5% kenaikan kadar CH₄ terjadi pada komposisi yang mengandung dominan jarak. Menurut Gao et al (2023) Kandungan volatil dari bahan bakar padat menunjukkan konsentrasi kandungan hidrokarbon organik dalam bahan baku biomassa, parameter ini tidak hanya membantu menentukan jumlah bahan bakar yang dihasilkan tetapi juga kemampuan bahan baku biomassa untuk dinyalakan dan melakukan konversi termal, kandungan volatil dapat dipirolisis menjadi molekul-molekul kecil seperti CO, H₂, CH₄, dan sebagainya, yang akan meningkatkan hasil syngas. Dimana pada bahan baku cangkang memiliki kadar zat terbang yang lebih tinggi dibanding biji jarak.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh jumlah katalis dan komposisi bahan baku biji jarak dan cangkang biji karet terhadap produk *syngas* pirolisis yang telah dilakukan, maka didapatkan bahwa pada % yield produk gas tertinggi, sebesar 52.6%, dihasilkan dari komposisi 100% cangkang biji karet dengan 5% katalis, sedangkan pada kualitas produk gas berupa syngas, berdasarkan kadar CH₄ tertinggi sebesar 34% diperoleh dari komposisi 100% biji jarak, dimana menggunakan katalis 5%.

DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- Chauke, N. P. (2019). *Chemical modifications of castor oil: A review*. <https://doi.org/10.1177/0036850419859118>
- Chen, D., Cen, K., Zhuang, X., Gan, Z., Zhou, J., Zhang, Y., & Zhang, H. (2022). Insight into biomass pyrolysis mechanism based on cellulose, hemicellulose, and lignin: Evolution of volatiles and kinetics, elucidation of reaction pathways, and characterization of gas, biochar and bio-oil. *Combustion and Flame*, 242(January). <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2022.112142>
- Dai, G., Wang, G., Wang, K., Zhou, Z., & Wang, S. (2021). Mechanism study of hemicellulose pyrolysis by combining in-situ DRIFT, TGA-PIMS and theoretical calculation. *Proceedings of the Combustion Institute*, 38(3), 4241–4249. <https://doi.org/10.1016/j.proci.2020.06.196>

- Darmansyah, D., Khalid, A., Kasim, M., & Suprianto, T. (2021). Pengaruh Ukuran Serbuk dan Kekerasan Kayu terhadap Kualitas Syngas Dari Pirolisis Biomassa. *Jurnal Syntax Admiration*, 2(4), 592–600. <https://doi.org/10.46799/jsa.v2i4.213>
- Dataindonesia.id. (n.d.). *Produksi Karet Indonesia Mencapai 3,14 Juta Ton pada 2022*. Retrieved December 21, 2023, from <https://dataindonesia.id/agribisnis-kehutanan/detail/produksi-karet-indonesia-mencapai-314-juta-ton-pada-2022>
- Febriyanti, F., Fadila, N., Sanjaya, A. S., Bindar, Y., & Irawan, A. (2019). Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Menjadi Bio-Char, Bio-Oil Dan Gas Dengan Metode Pirolisis. *Jurnal Chemurgy*, 3(2), 12. <https://doi.org/10.30872/cmg.v3i2.3578>
- Gao, Y., Wang, M., Raheem, A., Wang, F., Wei, J., Xu, D., Song, X., Bao, W., Huang, A., Zhang, S., & Zhang, H. (2023). *Syngas Production from Biomass Gasification: Influences of Feedstock Properties, Reactor Type, and Reaction Parameters*. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c03050>
- Harlivia, R., Tahdid, T., & A., S. E. (2022). 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>
- Javamas. (n.d.). Retrieved August 7, 2024, from <https://www.javamas.com/product/java-zea>
- Kaur, R., Gera, P., & Jha, M. K. (2015). Study on Effects of Different Operating Parameters on the Pyrolysis of Biomass: A Review. *Journal of Biofuels and Bioenergy*, 1(2), 135. <https://doi.org/10.5958/2454-8618.2015.00015.2>
- Kementerian ESDM RI - Berita Unit - Direktorat Jenderal EBTKE - Inovasi Produksi Biodiesel Berbasis Tanaman Jarak Pagar. (n.d.). Retrieved February 28, 2024, from <https://www.esdm.go.id/id/berita-unit/direktorat-jenderal-ebtke/inovasi-produksi-biodiesel-berbasis-tanaman-jarak-pagar>
- Ketut Suka Astawan, I., Agustina, L., & Teknologi Industri Pertanian Fakultas Pertanian, J. (2018). PEMANFAATAN CANGKANG BIJI KARET DAN (Havea brasiliensis) DAN CANGKANG KEMIRI (Aleurites moluccana) SEBAGAI BAHAN BAKU BIOBRIKET Utilization Of Rubber Seed Shell And (Havea brasiliensis) And Kemiri Shell (Aleurites moluccana) As Biobriket Raw Material. *Ziraa'ah Majalah Ilmiah Pertanian*, 43, 111–122.
- Novita, S., Ulfa, S., Sciences, N., Surabaya, U. N., & Alam, Z. (2022). ARTIKEL REVIEW : PEMANFAATAN KATALIS ZEOLIT ALAM TERAKTIVASI DALAM SINTESIS BIODIESEL DENGAN METODE ESTERIFIKASI DAN TRANSESTERIFIKASI. 11(3), 165–181.
- Prabawa, I. D. G. P., & Miyono, M. (2017). Mutu Biopellet dari Campuran Cangkang Buah Karet dan Bambu Ater (*Gigantochloa atter*) (The Quality of Biopellet from Rubber Seed Shell and Ater Bamboo (*Gigantochloa atter*)). *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, 9(2), 99–110. <https://doi.org/10.24111/jrihh.v9i2.3524>
- Rathod, N., Jain, S., & Patel, M. R. (2023). Thermodynamic analysis of biochar produced from groundnut shell through slow pyrolysis. *Energy Nexus*, 9(December 2022), 100177. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100177>
- 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>
- Rusydi, S. M. (2019). *Sulhatun Mah m ud Rusydi Editor: Prof. DR. IR. Rosdanelli Hasibuan, M:I.*

- Sethi, S. S., & Singh, R. K. (n.d.). *Production of bio fuel from pyrolysis of JATROPHA SEED Bachelor of Technology In DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING.*
- Usino, D. O., Ylintero, P., Moreno, A., Sipponen, M. H., & Richards, T. (2021). Primary interactions of biomass components during fast pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 159(January). <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105297>
- Vebrianti, J., Idris, N. C. I., & Diana, T. R. (2021). Membangun Sinergi antar Perguruan Tinggi dan Industri Pertanian dalam Rangka Implementasi Merdeka Belajar Kampus Merdeka. *Seminar Nasional Dalam Rangka Dies Natalis Ke-45 UNS Tahun 2021*, 5(1), 1004–1011.
- Wiyantoko, B., & Rahmah, N. (2017). Measurement of cation exchange capacity (CEC) on natural zeolite by percolation method. *AIP Conference Proceedings*, 1911. <https://doi.org/10.1063/1.5016014>
- Xue, P., Liu, M., Yang, H., Zhang, H., Chen, Y., Hu, Q., Zhang, S., & Chen, H. (2023). Mechanism study on pyrolysis interaction between cellulose, hemicellulose, and lignin based on photoionization time-of-flight mass spectrometer (PI-TOF-MS) analysis. *Fuel*, 338, 127276–127276. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2022.127276>
- Zakariyya, F., & Yuliasmara, F. (2015). Potensi Jarak Kepyar (*Ricinus communis L.*) sebagai Penaung Sementara Kakao. *Warta Pusat Penelitian Kopi Dan Kakao Indonesia*, 27(1), 21–26. <http://www.coffeehabitat.com/2008/01/what-shade-coff/>
- Zhang, L., Bao, Z., Xia, S., Lu, Q., & Walters, K. B. (2018). *catalysts Catalytic Pyrolysis of Biomass and Polymer Wastes*. <https://doi.org/10.3390/catal8120659>