



PENGARUH WAKTU PIROLISIS TERHADAP *YIELD BIO-OIL* DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN METODE PIROLISIS

Riris Arifatur^{1*}, Iqbal Prihandana Masduqi¹, Alwathan¹

¹ Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Politeknik Negeri Samarinda

Jl. Ciptomangunkusumo, Kampus Gunung Lipan, Samarinda Seberang, Samarinda 75131.

*Email: ririsarifatur16@gmail.com

Abstrak

Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) merupakan limbah padat yang dihasilkan dalam jumlah besar dari kegiatan industri minyak kelapa sawit. TKKS menjadi salah satu fokus pemanfaatan limbah karena ketersediaannya melimpah serta kandungan hemiselulosa 22,8 %, selulosa 45,9%, dan lignin 16,5 % yang dapat dimanfaatkan menjadi bio-oil. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi waktu pirolisis terhadap karakteristik bio-oil dengan proses pirolisis. Penelitian ini diawali dengan pengecilan ukuran TKKS sampai 10 mesh dan pengeringan pada suhu 110°C selama 3 jam. Proses pirolisis dilakukan pada variasi waktu 30, 60, 90, 120 dan 150 menit dan suhu 550°C. Produk yang dihasilkan dianalisa karakteristik dan GC-MS. Hasil analisa bio-oil yield tertinggi diperoleh pada waktu pirolisis 150 menit sebesar 36,25 %, densitas 1,137 g/ml, viskositas 1,993 cSt, pH 3,2 dan kadar air 92,284 %. Uji Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) menunjukkan bio-oil didominasi dari degradasi lignoselulosa seperti fenol, asam organik dan furan.

Kata kunci: *bio-oil, pirolisi, tandan kosong kelapa sawit (tkks), yield*

Article History

Received: Oktober 2026

Reviewed: Oktober 2026

Published: Oktober 2026

Plagiarism Checker No
237.u873247.fh8374

Copyright : Author

Publish by : Kohesi



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

1. PENDAHULUAN

Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) merupakan limbah padat dari industri pengolahan minyak sawit yang jumlahnya sangat besar, namun pemanfaatannya masih terbatas dan umumnya hanya dibiarkan menumpuk atau terdegradasi secara alami. Kondisi ini berpotensi menimbulkan masalah lingkungan karena proses penguraiannya berlangsung lambat dan dapat menurunkan ketersediaan lahan produktif. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Provinsi Kalimantan Timur, produksi kelapa sawit pada tahun 2024 mencapai 3,944 juta ton. Dengan asumsi sekitar 23% dari setiap ton Tandan Buah Segar (TBS) menjadi TKKS, maka jumlah limbah yang dihasilkan diperkirakan sekitar 907 ribu ton.

TKKS memiliki potensi pemanfaatan yang tinggi karena mengandung lignoselulosa berupa selulosa, hemiselulosa, dan lignin dari berat buah segar, sehingga memiliki potensi yang baik untuk dimanfaatkan dan memiliki potensi besar untuk digunakan sebagai pemanfaatan energi terbarukan.

2. METODOLOGI

2.1 Alat dan Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Alat utama yang digunakan meliputi reaktor pirolisis *fixed bed semi-batch*, kondensor, *thermometer*, *thermocouple*.



2.2 Preparasi Bahan Baku

Preparasi bahan baku dilakukan dengan TKKS terlebih dahulu dibersihkan hingga tidak ada kotoran yang menempel, kemudian bonggol TKKS dicacah dan dimasukkan ke dalam *crusher* pertama. Hasil keluaran berupa serabut TKKS selanjutnya dijemur di bawah sinar matahari untuk mengurangi kadar air. Setelah kering, ukuran TKKS diperkecil kembali menggunakan *crusher* kedua. Selanjutnya, TKKS dimasukkan ke dalam oven pada suhu 105°C-110°C hingga mencapai berat konstan dengan kadar air kurang dari 10%.

2.3 Prosedur Proses Pirolisis

Prosedur pirolisis dilakukan dengan menimbang Sebanyak 500 g sampel TKKS dengan kadar air kurang dari 10% ditimbang sebagai bahan baku, kemudian reaktor mengaktifkan situs aktif dibersihkan dan ditimbang dalam keadaan kosong. Sampel TKKS dimasukkan ke dalam reaktor, ditutup rapat, lalu ditimbang kembali untuk mengetahui massa totalnya. Selanjutnya, sistem pirolisis dirangkai bersama unit kondensor, dan pompa air dijalankan untuk memastikan tidak terjadi kebocoran saat proses berlangsung. Pemanas dioperasikan hingga mencapai suhu 550°C dengan variasi waktu pirolisis 30, 60, 90, 120, dan 150 menit. Pada saat tetesan pertama produk terbentuk, temperatur reaktor, kondensor, dan tungku dicatat. Proses pirolisis kemudian dibiarkan berlangsung sesuai waktu yang ditentukan, dan langkah pengisian hingga pencatatan diulangi untuk setiap variasi waktu dengan massa bahan yang sama, yaitu 500 g. Setelah seluruh proses selesai, pemanas listrik dan pompa sirkulasi dimatikan, reaktor didinginkan hingga mencapai suhu ruang, kemudian dikeluarkan dari tungku dan ditimbang kembali untuk mengetahui perubahan massanya.

2.4 Prosedur Analisa Karakteristik

Prosedur analisis karakteristik TKKS meliputi penentuan kadar air, kadar abu, zat terbang, dan karbon terikat. Kadar air dianalisis dengan metode oven pada suhu 105-110°C hingga berat konstan sesuai ASTM

D2216-98, kemudian dihitung berdasarkan selisih massa sebelum dan sesudah pengeringan. Kadar abu ditentukan dengan metode ASTM D3174 melalui pemanasan sampel dalam furnace pada suhu 750°C selama 3 jam hingga diperoleh residu anorganik. Selanjutnya, kadar zat terbang dianalisis menggunakan metode ASTM D3175 dengan memanaskan sampel pada suhu 950°C selama 7 menit dalam crucible tertutup, kemudian dihitung berdasarkan kehilangan massa setelah dikoreksi terhadap kadar air. Nilai karbon terikat (*fixed carbon*) ditentukan secara tidak langsung menggunakan metode SNI 1683-2021, yaitu dengan mengurangi total kadar abu dan zat terbang dari 100%.

Analisis karakteristik *bio-oil* meliputi pengukuran densitas menggunakan piknometer pada suhu 25°C sesuai ASTM D369, pengujian pH menggunakan pH meter setelah pengenceran sampel, serta penentuan kadar air dengan metode gravimetri oven pada suhu 105°C. Selain itu, viskositas diukur pada suhu 40°C menggunakan viskometer Ostwald dengan membandingkan waktu alir sampel terhadap air. *Yield* produk pirolisis dihitung berdasarkan neraca massa, yang meliputi persentase *bio-oil* dan *biochar* terhadap massa bahan baku, sedangkan *yield* gas diperoleh dari selisih total terhadap 100%. Identifikasi komponen kimia dalam *bio-oil* selanjutnya dilakukan menggunakan metode *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) untuk mengetahui distribusi senyawa hasil pirolisis.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Hasil Analisa *Bio-oil* TKKS

Waktu Pirolisis (Menit)	Yield (%)	Densitas (g/mL)	Viskositas (cSt)	pH	Kadar Air (%)
30	28,43	1,144	1,366	3,12	91,828
60	32,68	1,126	1,955	3,18	94,384
90	29,97	1,14	1,446	3,3	92,08
120	30,65	1,1258	1,546	3,24	94,268
150	36,25	1,137	1,993	3,2	92,284

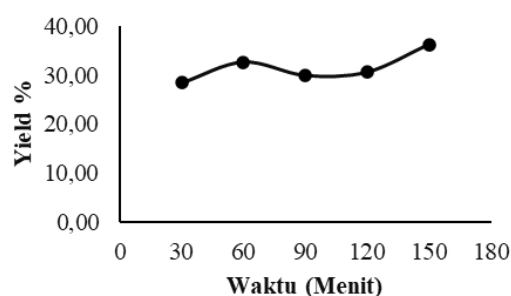
Tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan baku yang digunakan dalam proses produksi *bio-oil* terlebih dahulu dilakukann preparasi yaitu dengan membersihkan dari kotoran yang menempel. Setelah itu ukuran bahan baku diperkecil dengan alat *crusher*. Kemudian bahan baku yang sudah di *crusher* dikeringkan hingga kadar air <10%. Bahan baku yang sudah dikeringkan kemudian dianalisa proximate untuk diketahui kondisi fisik bahan baku, didapatkan kadar air 3,21%. Kemudian melakukan proses pirolisis untuk mendapatkan produk *bio-oil*. Langkah awal proses pirolisis dilakukan dengan cara menimbang TKKS sebanyak 500 gram, kemudian menimbang reaktor kosong, setelah itu isi reaktor kosong dengan TKKS yang sudah ditimbang, timbang reaktor kembali setelah itu pasang alat *thermocoupe*l dan rangkai kondensor. Menyalakan alat pirolisis lalu atur suhu *furnace* 550°C, setelah suhu *furnace* mencapai 550°C masukan reaktor yang berisi TKKS kedalam *furnace*, nyalakan *stopwatch* saat pirolisis dimulai dengan variasi waktu pirolisis 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit dan 150 menit.

Setelah mendapatkan produk *bio-oil*, kemudian melakukan analisa untuk mengetahui karakteristiknya. Beberapa parameter yang diuji meliputi densitas, viskositas, pH, dan kadar air. Berdasarkan Tabel 1, menunjukan bahwa densitas *bio-oil* pada waktu pirolisis 120 menit mencapai 1,1258 g/ml, nilai tersebut bahwa *bio-oil* yang dihasilkan memiliki kecenderungan karakteristik fisik mendekati asap cair, yaitu 1,0 g/ml hingga 1,2 g/mL. Karena *bio-oil* umumnya memiliki densitas lebih besar dibandingkan minyak bakar 0,85 g/ml - 0,95 g/ml. Viskositas *bio-oil* pada waktu 30 menit diperoleh nilai

sebesar 1,366 cst, yang merupakan nilai yang mendekati viskositas asap cair yaitu 0,9159 cst - 1,3083 cst. Selanjutnya pH *bio-oil* pada waktu 150 menit didapatkan nilai 3,20, nilai ini menunjukkan pH yang rendah dan stabil, serta masuk dalam jangka sampel asap cair 1,50-3,70. Pada kadar air *bio-oil* pada waktu 30 menit didapatkan nilai kadar air terendah sebesar 91,828%, nilai ini masuk kadar air asap cair kulit durian mencapai 99,375%. Uji

Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) menunjukkan *bio-oil* didominasi dari degradasi lignoselulosa seperti fenol, asam organik dan furan.

3.1 Pengaruh Waktu Pirolisis Terhadap Yield Bio-oil

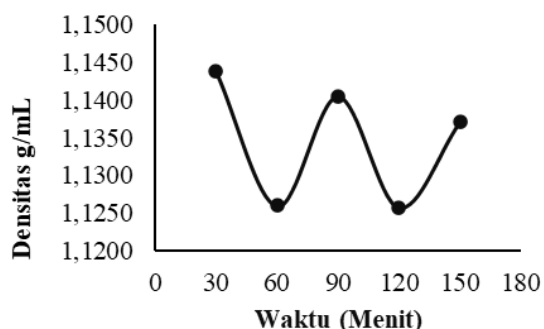


Gambar 3.1 Grafik Pengaruh % Yield Terhadap Waktu Pirolisis

Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu pirolisis berpengaruh signifikan terhadap *yield bio-oil*. *Yield* meningkat dari 28,43% pada 30 menit menjadi 32,68% pada 60 menit karena dekomposisi termal biomassa memerlukan waktu yang cukup untuk memecah struktur lignoselulosa menjadi senyawa volatil yang kemudian terkondensasi menjadi *bio-oil*. Namun, pada 90 menit *yield* mengalami penurunan akibat terjadinya reaksi *cracking* sekunder yang mengonversi produk cair menjadi gas non-kondensabel sehingga mengurangi fraksi *bio-oil*. Selanjutnya, pada 120 menit *yield* sebesar 30,65% dan mencapai nilai tertinggi pada 150 menit sebesar 36,25%, yang menunjukkan bahwa pada rentang waktu tersebut penguraian komponen utama biomassa seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin berlangsung optimal dan stabil. Waktu pirolisis yang lebih lama memungkinkan reaksi berlangsung sempurna sehingga pembentukan *bio-oil* lebih dominan dibandingkan reaksi lanjutan yang tidak diinginkan. Temuan ini menyatakan bahwa durasi pirolisis memengaruhi keseimbangan antara pembentukan dan degradasi *bio-oil*.

3.2 Pengaruh Waktu Pirolisis Terhadap Densitas *Bio-oil*

Densitas merupakan parameter penting dalam karakterisasi *bio-oil* karena mencerminkan sifat fisik dan komposisi kimianya. Secara umum, *bio-oil* memiliki densitas lebih tinggi dibandingkan bahan bakar fosil ringan akibat kandungan air dan senyawa beroksigen seperti asam organik, fenolik, dan karbonil yang terbentuk selama proses pirolisis. Pada penelitian ini, nilai densitas *bio-oil* pada waktu pirolisis 150 menit sebesar 1,1371 g/mL, sedangkan pada 90 menit sebesar 1,1405 g/mL. Kedua nilai tersebut masih berada dalam kisaran densitas *bio-oil* hasil pirolisis biomassa, yaitu 1,0-1,2 g/cm³, sehingga menunjukkan kesesuaian dengan karakteristik umum cairan hasil pirolisis. Peningkatan densitas pada waktu 90 dan 150 menit diduga berkaitan dengan bertambahnya senyawa beroksigen dan terbentuknya senyawa berat sekunder akibat reaksi lanjutan, sehingga secara keseluruhan waktu pirolisis 150 menit dapat dianggap sebagai kondisi yang paling optimal berdasarkan parameter densitas.

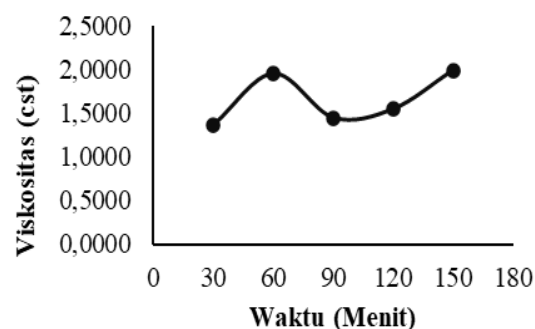


Gambar 3.2 Grafik Pengaruh Waktu Pirolisis Terhadap Densitas *Bio-oil*

3.3 Pengaruh Waktu Pirolisis Terhadap Viskositas *Bio-oil*

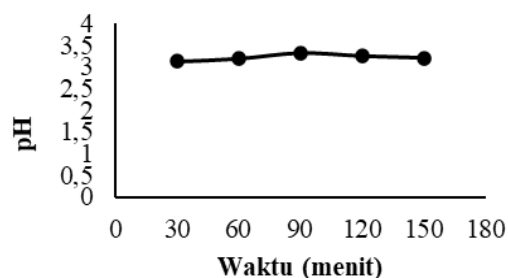
Viskositas merupakan parameter penting yang menggambarkan kemampuan alir *bio-oil* dan sangat dipengaruhi oleh komposisi kimianya. *Bio-oil* sebagai hasil pirolisis biomassa mengandung berbagai senyawa beroksigen, seperti asam organik, fenolik, aldehid, dan keton, yang bersifat polar dan

membentuk interaksi antarmolekul cukup kuat sehingga memengaruhi sifat fisiknya. Pada penelitian ini, viskositas *bio-oil* meningkat dari 1,3660 cSt pada 30 menit menjadi 1,9550 cSt pada 60 menit, menunjukkan terbentuknya senyawa dengan berat molekul lebih tinggi akibat penguraian biomassa yang semakin intensif. Pada 90 menit, viskositas menurun menjadi 1,4460 cSt yang diduga disebabkan oleh terjadinya pemecahan sebagian senyawa kompleks menjadi fraksi yang lebih ringan. Namun demikian, nilai tersebut masih berada di atas kisaran viskositas acuan *bio-oil*, yaitu 0,9159-1,3083 cSt. Selanjutnya, pada 120 hingga 150 menit viskositas kembali meningkat dari 1,5460 cSt menjadi 1,9930 cSt, yang menunjukkan adanya pembentukan senyawa berat akibat reaksi lanjutan, sehingga pada 150 menit viskositas *bio-oil* masih lebih tinggi.



Gambar 3.3 Grafik Pengaruh Waktu Pirolisis Terhadap Viskositas *Bio-oil*

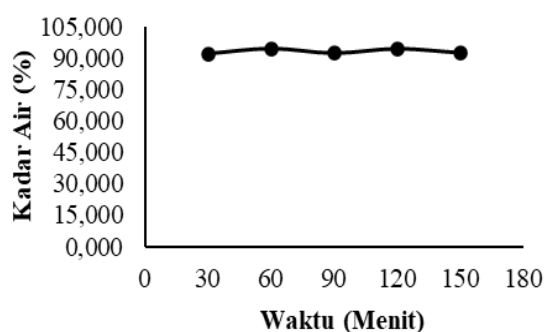
3.4 Pengaruh waktu Pirolisis Terhadap pH *Bio-oil*



Gambar 3.4 Grafik Pengaruh Waktu Pirolisis Terhadap pH *Bio-oil*

pH merupakan parameter penting untuk menunjukkan tingkat keasaman *bio-oil* hasil pirolisis biomassa. Nilai pH memberikan gambaran awal mengenai karakter fraksi cair yang terbentuk serta pengaruh kondisi proses terhadap sifat kimianya. Berdasarkan hasil penelitian, nilai pH *bio-oil* berada pada kisaran 3,12-3,30 untuk waktu pirolisis 30 hingga 150 menit. Pada 30 sampai 90 menit, pH meningkat dari 3,12 menjadi 3,30, yang menunjukkan masih terjadinya perubahan komposisi selama proses berlangsung. Namun, pada 120 hingga 150 menit, nilai pH cenderung menurun dan stabil pada kisaran 3,24-3,20, menandakan bahwa karakter keasaman produk telah terbentuk dan tidak banyak berubah meskipun waktu pirolisis ditambah. Kisaran pH ini masih sesuai dengan karakteristik asap cair yang umumnya berada pada rentang 1,5-3,7. Oleh karena itu, waktu pirolisis 150 menit dapat dianggap sebagai kondisi yang paling mendekati karakteristik asap cair karena menunjukkan nilai pH yang stabil dan berada dalam kisaran standar tersebut.

3.5. Pengaruh Waktu Pirolisis Terhadap Kadar Air *Bio-oil*

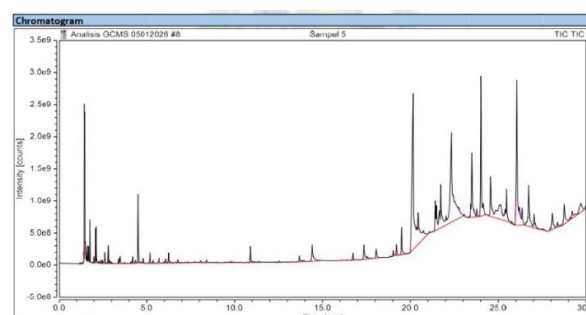


Gambar 3.5 Grafik Pengaruh Waktu Pirolisis Terhadap Kadar Air *Bio-oil*

Kadar air merupakan parameter penting dalam menilai karakteristik *bio-oil* karena memengaruhi sifat fisik, kestabilan, dan kualitasnya untuk pemanfaatan lebih lanjut. Pada penelitian ini, kadar air *bio-oil* berada pada kisaran 91,828%-94,384% untuk waktu pirolisis 30 hingga 150 menit, dan tidak menunjukkan penurunan yang signifikan seiring bertambahnya waktu proses. Nilai terendah diperoleh pada 30 menit (91,828%),

sedangkan tertinggi pada 60 menit (94,384%), kemudian pada 90 hingga 150 menit berkisar antara 92,080%-94,268% yang relatif stabil. Hal ini menunjukkan bahwa variasi waktu pirolisis tidak memberikan pengaruh nyata terhadap perubahan kadar air. Kondisi tersebut sejalan dengan karakteristi asap cair yang umumnya memiliki kadar air tinggi, sebesar 99,375%, kandungan air dalam *bio-oil* berasal dari air reaksi selama proses pirolisis dan merupakan sifat alami yang tidak mudah berubah hanya karena perbedaan waktu pirolisis.

3.6 Analisa Gas Chromatography-Mass Spectrometry



Gambar 3.6 Hasil Analisa GC-MS *Bio-oil* Waktu Pirolisis 150 Menit

Analisis komponen *bio-oil* dilakukan menggunakan metode *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) pada sampel dengan waktu pirolisis 150 menit, yaitu kondisi dengan *yield* tertinggi. Metode GC-MS memisahkan dan mengidentifikasi senyawa volatil serta semi-volatil berdasarkan waktu retensi. Hasil analisis menunjukkan bahwa *bio-oil* didominasi oleh senyawa hasil degradasi lignoselulosa. Senyawa asam lemak seperti n-hexadecanoic acid (16,58%), dodecanoic acid (1,40%), dan tetradecanoic acid (0,94%) berkaitan dengan degradasi selulosa, mengalami puncak degradasi utama sekitar 301°C akibat pemutusan ikatan glikosidik. Turunan furan seperti 2-furanmethanol (0,29%) dan 2-cyclopenten-1-one (0,24%) menunjukkan kontribusi



degradasi hemiselulosa. Selain itu, senyawa fenolik seperti phenol, 2,6-dimethoxy- (0,44%), phenol, 2-methoxy- (0,31%), dan phenol, 3-methyl- (0,29%) mengindikasikan terjadinya depolimerisasi lignin, yang terdegradasi pada rentang suhu 250°C-500°C dan menghasilkan turunan guaiacol serta syringol. Secara keseluruhan, kondisi terbaik diperoleh pada suhu 550°C dan waktu 150 menit dengan *yield* 36,25%, densitas 1,137 g/mL, viskositas 1,993 cSt, pH 3,2, dan kadar air 92,284%, serta komposisi yang didominasi fenol, asam organik, dan senyawa furan hasil degradasi lignoselulosa.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa variasi waktu pirolisis pada suhu 550°C berpengaruh terhadap karakteristik *bio-oil* yang dihasilkan dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS), dengan rentang waktu 30, 60, 90, 120, dan 150 menit. Kondisi terbaik diperoleh pada waktu pirolisis 150 menit dengan *yield* sebesar 36,25%, densitas 1,137 g/mL, viskositas 1,993 cSt, pH 3,2, dan kadar air 92,284%. Hasil analisis GC-MS menunjukkan bahwa komponen *bio-oil* didominasi oleh senyawa hasil degradasi lignoselulosa, seperti fenol, asam organik, dan furan. Namun demikian, berdasarkan karakteristik fisiknya, *bio-oil* yang dihasilkan belum memenuhi standar sebagai bahan bakar, sehingga lebih berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku atau produk antara dalam industri kimia.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Admojo, L., & Setyawan, B. (2018). Potensi Pemanfaatan Lignoselulosa dari Biomassa Kayu Karet (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.). *Warta Perkaratan*, 37(1), 39-50. <https://doi.org/10.22302/ppk.wp.v37i1.529>
- Afrah, B. D., Riady, M. I., Arsadha, J. P., Rimadhina, R., Cundari, L., & Izzah, R. Z. (2024). Effect of Pyrolysis Temperature and Biomass Composition on *Bio-oil* Characteristics, 25(3), 264-274.
- Afrah, B. D., Riady, M. I., Cundari, L., Rizan, M. A., Utami, J., Pratiwi, S. I., & Pratama, M. (2023). Optimization of Liquid Smoke Products Made from Rubberwood with Pyrolysis Method, 8(3).
- Afrah, B. D., Riady, M. I., Cundari, L., Rizki, F., Ramadhanty, R. V., & Oktarinasari, E. (2024). Potensi Pemanfaatan Asap Cair (Liquid Smoke) Menjadi Bio- Disinfectant dari Limbah Kayu Karet dan Kayu Akasia, 13(1), 11-21.
- Agustina, L., Udiantoro, & Halim, A. (2016). Karakteristik serat tandan kosong kelapa sawit (tkks) dengan perlakuan perebusan dan pengukusan, 41, 97-102.
- Alvarez, J., Lopez, G., Amutio, M., Bilbao, J., & Olazar, M. (2014). *Bio-oil* production from rice husk fast pyrolysis in a conical spouted bed reactor. *Fuel*, 128, 162-169. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.02.074>
- Bridgwater, A. V. (2012). Review of Fast Pyrolysis of Biomass and Product Upgrading. *Biomass and Bioenergy*, 38, 68-94. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.01.048>
- Choi, G., Oh, S., Lee, S., & Kim, J. (2015). Bioresource Technology Production of bio-based phenolic resin and activated carbon from *bio-oil* and biochar derived from fast pyrolysis of palm kernel shells. *Bioresource Technology*, 178, 99-107. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.08.053>
- Ferdiyanto, A., Munfaridi, F. H., & Hidayat, A. (2016). Pengaruh Temperatur Proses Pirolisis Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Terhadap Karakteristik Bio- Oil.
- Gao, Y., Yang, Y., Qin, Z., & Sun, Y. (2016). Factors Affecting the Yield of Bio-oil From the Pyrolysis of Coconut Shell. *SpringerPlus*. <https://doi.org/10.1186/s40064-016->



1974-2

- Ginting, A. S., Tambunan, A. H., Radite, D., & Setiawan, P. A. (2015). Karakteristik Gas-Gas Hasil Pirolisis Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 25(2), 158-163.
- Herliati, Prasetyo, S. B., & Verinaldy, Y. (2019). Review: Potensi limbah Plastik dan Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan Dengan Proses Pirolisis. *Jurnal Teknologi*, 6(2), 85-98. <https://doi.org/10.31479/jtek.v6i2.13>
- Jalalifar, S., Abbassi, R., Garaniya, V., Hawboldt, K., & Ghiji, M. (2018). Parametric Analysis of Pyrolysis Process on the Product Yields in a Bubbling Fluidized Bed Reactor.
- Jamilatun, S., Pitoyo, J., Puspitasari, A., & Sarah, D. (2022). Pirolisis Tandan Kelapa Sawit Untuk Menghasilkan Bahan Bakar Cair, Gas, Water Phase dan Charcoal. *National Research Seminar LPPM UMJ*, 1-7.
- Khamidah, S., Swastawati, F., & Romadhon. (2019). Efek Perbedaan Lama Perendaman Asap Cair Kulit Durian Terhadap Kualitas Ikan Manyung (*Arius thalassinus*) ASAP, 1(1).
- Kholidah, N. (2018). Pengaruh Temperatur terhadap Persentase Yield pada Proses Perengkahan Katalitik Sampah Plastik menjadi Bahan Bakar Cair. *ALKIMIA : Jurnal Ilmu Kimia Dan Terapan*, 2(1), 28-33. <https://doi.org/10.19109/alkimia.v2i1.2259>
- Kongto, P., Palamanit, A., Pattiya, A., Promsompao, N., & Sonsupap, S. (2024). Yields and characteristics of bio - oil and biochar from fast pyrolysis and co - pyrolysis of oil palm biomass using innovative twin screw reactor for bio - circular - green economy approach. *Biomass Conversion and Biorefinery*, (0123456789). <https://doi.org/10.1007/s13399-024-06460-x>
- Leny, H. mahleny. (2024). *Kajian Karakteristik Vegetatif dan Generatif hibrida Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacq. X Elaeis oleifera) Asal Ekuador di PPKS Marihat.*
- Lyu, G., Wu, S., & Zhang, H. (2015). Estimation and comparison of *bio-oil* components from different pyrolysis conditions, 3(June), 1-11. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2015.00028>
- Mohan, D., & Steele, P. H. (2006). Pyrolysis of Wood / Biomass for *Bio-oil*: A Critical Review.
- Muis, L., Anggraini, F. J., Viareco, H., & Wijaya, D. E. (2023). Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Sebagai Arang Aktif Untuk Penjernihan Air di Desa Muara Sebapo Kecamatan Mestong Kabupaten Muaro Jambi. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Pinang Masak*, 4(2), 39-51. <https://doi.org/10.22437/jpm.v4i2.29754>
- Mujiarto, S., Ristianingsih, Y., Amrullah, A., & Khalid, A. (2014). Studi Proses Pirolisis Tandan Kosong Kelapa Sawit Menjadi Bi-oil Sebagai Energi Alternatif, 02.
- Nadia, A., Fauziah, A., Mayori, E., & Sunardi. (2017). Potensi Limbah Lignoselulosa Kelapa Sawit Di Kalimantan Selatan Untuk Produksi Bioetanol Dan Xylitol, 8(2), 41-51.
- Novita, S. A., Santosa, Nofialdi, Suryani, A., & Fudholi, A. (2021). Membangun Sinergi antar Perguruan Tinggi dan Industri Pertanian dalam Rangka Implementasi Merdeka Belajar Kampus Merdeka. *Review*, 5(1), 245-252.
- Nurfaritsya, S. A., Rusnadi, I., & Daniar, R. (2023). Pengaruh Variasi Temperatur dan Waktu Proses Pirolisis Tatal Kayu Karet untuk Pembuatan Bio-Char , *Bio-oil* dan Syngas sebagai Bahan Bakar, 7, 24569-24576.
- Praevia, M. F., & Widayat, W. (2022). Analisis Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Cofiring



- pada PLTU Batubara. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 3(1), 28-37. <https://doi.org/10.14710/jebt.2022.13367>
- PT Binasawit Makmur. (2022). Melirik Keunggulan Tanaman Kelapa Sawit DxP Sriwijaya. Retrieved from <https://binasawitmakmur.com/berita/melirik-keunggulan-tanaman-kelapa-sawit-dxp-sriwijaya>
- Rahayu, D. E., Karnaningroem, N., Altway, A., & Slamet, A. (2021). Utilization of oil palm empty fruit bunches biomass through slow pyrolysis process. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 913(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/913/1/012018>
- Rambhatla, N., Panicker, T. F., Mishra, R. K., Manjeshwar, S. K., & Sharma, A. (2025). Biomass pyrolysis for biochar production: Study of kinetics parameters and effect of temperature on biochar yield and its physicochemical properties. *Results in Engineering*, 25(December 2024). <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103679>
- 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. Retrieved from <https://rbaet.ub.ac.id/index.php/rbaet/article/view/2930>
- Rodiansono, Utami, U. B. L. U., Widyastuti, N., Wulandari, P. C., & Risnawati, I. (2013). Hidrolisis Lignoselulosa Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Katalis Asam Karboksilat, 60-72.
- Rosadi, F. N. (2024). Manfaat Tandan Kosong (Tankos) Kelapa Sawit Sebagai Pupuk Kompos. Retrieved from <https://kumparan.com/firstanindar/manfaat-tandan-kosong-tankos-kelapa-sawit-sebagai-pupuk-kompos-23OgWTPQ1bM/full>
- Sondakh, R. C. (2020). Analisis Sistem Optimasi *Bio-oil* Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Tolis Ilmiah: Jurnal Penelitian*, 2(1), 1-7.
- Statistik, B. P. (2025). Produksi Tanaman Perkebunan (Ribu Ton), 2024. Retrieved from <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTMylzl=/produksi-tanaman-perkebunan--ribu-ton-.html>
- Suriyanto, Cakradetha, I. S., Santi, S. S., Utami, I., & Sutiyono. (2025). Sintesis *Bio-oil* dari Bonggol Jagung menggunakan Proses Pirolisis, 10(2), 403-410.
- Weerachanchai, P., Tangsathitkulchai, C., & Tangsathitkulchai, M. (2007). Fuel Properties and Chemical Compositions of *Bio-oils* from Biomass Pyrolysis, 1-9.
- Wibowo, S., & Hendra, D. (2015). Karakteristik *Bio-oil* dari Rumput Gelagah (*Saccharum spontaneum* Linn.) Menggunakan Proses Pirolisis Cepat (Characteristics of *Bio-oil* From Gelagah Grass (*Saccharum spontaneum* Linn.) by Fast Pyrolysis Process). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 4(4), 347-363.
- Wulandari, Y. R., Sukma, V. A., Supriadi, D., Mufti, A. A., & Variyana, Y. (2025). Kinetic Investigation on Thermal Degradation of Empty Oil Palm Bunches Pyrolysis, 69(1), 67-77.
- Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D. H., & Zheng, C. (2006). Characteristics of Hemicellulose, Cellulose and Lignin Pyrolysis, 86, 1781-1788. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.12.013>
- Zulkania, A. (2016). Pengaruh Temperatur Dan Ukuran Partikel Biomassa Terhadap *Bio-oil* Hasil Pirolisis Ampas Tebu / Baggase. *Teknoin*, 22(5), 328-336. <https://doi.org/10.20885/teknoin.vol22.iss5.art2>