



**PENGARUH KATALIS TANAH MERAH DAN ABU VULKANIK PADA
PROSES PIROLISIS BIOMASSA AMPAS TEBU**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T)
pada program studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Malang*



disusun oleh :

ILHAM A'IM ARDIANSYAH

★ 21901052080 ★★☆☆

UNISMA

PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM MALANG

2023

ABSTRAK

Ilham A'im Adiansyah 2023. Pengaruh Katalis Tanah Merah dan Abu Vulkanik Pada Proses Pirolisis Biomassa Ampas Tebu. Skripsi, Program Studi Teknik Mesin, Universitas Islam Malang. Dosen Pembimbing: Dr. Ena Marlina, S.T., M.T. dan Ir. H. Margianto, M.T.

Pengolahan biomassa pada umumnya hanya dijadikan menjadi pupuk atau komposit, selebihnya hanya menjadi sampah organik. Pirolisis biomassa merupakan salah satu upaya untuk menghasilkan asap cair dengan dekomposisi didalam reaktor tanpa adanya oksigen. Penggunaan katalis alam yang berasal dari tanah merah dan abu vulkanik dapat berpengaruh pada tingkat produksi *heavy oil*, gas, dan *char*. Studi ini memiliki tujuan untuk mengidentifikasi pengaruh dari penggunaan tanah merah dan abu vulkanik sebagai katalis pada proses pirolisis biomassa ampas tebu. Metode yang dilakukan dengan cara memasukan biomassa ampas tebu seberat 350gram dan setiap katalis tanah merah dan abu vulkanik sebesar 10% dari bahan baku kedalam reaktor dengan suhu 350°C selama 90 menit dengan bantuan N₂ untuk mengurangi kadar oksigen didalam reaktor dan memperlancar laju aliran. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini adalah tingkat produksi heavy oil yang relatif tinggi pada katalis tanah merah menghasilkan rendemen sebesar 41,42% sedangkan dengan tanpa katalis menghasilkan rendemen sebesar 39,14%. Hal ini terjadi karena kandungan logam Aluminium (Al) dan Silika (Si) yang mendominasi pada katalis tanah merah dan abu vulkanik, sehingga dapat meningkatkan laju reaksi pembakaran pirolisis biomassa ampas tebu.

Kata kunci: *pirolisis, katalis alam, tanah merah, abu vulkanik, biomassa, ampas tebu.*

ABSTRACT

Ilham A'im Adiansyah 2023. "Effect of Red Soil and Volcanic Ash Catalyst on the Pyrolysis Process of Bagasse Biomass". Thesis, Mechanical Engineering Study Program, University of Islam Malang. Supervisor: Dr. Ena Marlina, S.T., M.T. and Ir. H. Margianto, M.T.

Biomass processing is generally only used as fertilizer or composites, the rest only becomes organic waste. Biomass pyrolysis is an attempt to produce liquid smoke by decomposition in a reactor in the absence of oxygen. The use of natural catalysts derived from red soil and volcanic ash can affect the level of liquid, char, and gas production. This study aims to identify the effect of using red soil and volcanic ash as catalysts in the pyrolysis process of bagasse biomass. The method carried out is to put 350grams of bagasse biomass and each catalyst of red soil and volcanic ash as much as 10% of the raw material into the reactor at 350°C for 90 minutes with the help of N₂ to reduce oxygen levels in the reactor and facilitate the flow rate. The results of this study are a relatively high level of heavy oil production on red soil catalysts producing a yield of 41.42% while without catalysts producing a yield of 39.14%. This is due to the content of Aluminum (Al) and Silica (Si) metals that dominate in red soil and volcanic ash catalysts, so that they can increase the rate of pyrolysis combustion reaction of bagasse biomass.

Keywords: *pyrolysis, natural catalyst, red soil, volcanic ash, biomass, bagasse.*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bahan bakar fosil serta kenaikan emisi gas rumah kaca mendesak riset untuk menciptakan bahan bakar alternatif dan bersih (Ordonez-loza *et al.*, 2021). Pelepasan gas rumah kaca yang diakibatkan pemakaian bahan bakar fosil semacam batu bara, minyak bumi serta gas alam memunculkan bermacam permasalahan ekonomi serta lingkungan sekitar. Energi terbarukan dari biomassa yang dianggap sebagai sumber daya yang menarik serta menjadi solusi dari permasalahan lingkungan sebab menyediakan sumber energi terbarukan yang memiliki sifat netral CO₂, serta melampaui banyak sumber energi terbarukan yang lain perihal kesediaan bahan baku, nilai energi dan tidak menghasilkan gas yang berbahaya terhadap atmosfer (Dhyani & Bhaskar, 2018).

Katalis memiliki peran penting terhadap peningkatan rendemen suatu produk pirolisis yang dihasilkan (Hassan *et al.*, 2020). Beberapa penelitian pirolisis yang menggunakan katalis untuk meningkatkan laju reaksi serta distribusi hidrokarbon dalam produk cair dan menurunkan suhu pada proses pirolisis secara optimal. Penggunaan katalis dalam proses pencampuran bahan baku merupakan salah satu upaya mengurangi zat-zat kimia yang berbahaya bagi tubuh (Rismayadi, 2017). Katalis dalam proses pirolisis biomassa biasa digunakan antara lain ion garam anorganik, oksida logam, serta zeolit (Li *et al.*, 2021).

Pembakaran pirolisis yang menggunakan berbagai macam biomassa yang berasal dari beberapa jenis tumbuhan. Biomassa merupakan material biologis yang berasal dari organisme yang masih hidup yang memiliki struktur karbon serta campuran kimiawi bahan organik yang memiliki kandungan oksigen, hidrogen, nitrogen, dan sejumlah atom-atom kecil serta elemen lainnya. Bahan biomassa memiliki karakteristik serta komposisi yang berbeda tergantung dari bentuk dan jenisnya. Maka produk dari pirolisis biomassa menghasilkan produk yang berbeda (Ridhuan, Irawan, & Inthifawzi, 2019). Pirolisis katalis *in-situ* memiliki pengaruh yang mengacu

pada proses pirolisis campuran katalis serta bahan baku (Chen *et al.*, 2017). Sedangkan pada pirolisis katalis *ex-situ* yang dapat memisahkan bahan baku serta katalis (López *et al.*, 2011).

Tebu adalah energi hibrida yang memiliki kandungan serat tinggi (Henkel *et al.*, 2016). Ampas tebu dapat digunakan sebagai bahan bakar cair dengan proses pirolisis, karena dapat menguntungkan untuk menghasilkan hasil *bio-oil* yang relatif tinggi pada proses pirolisis biomassa (Fennell & Boldor, 2014).

Hasil residu dari pengolahan ampas tebu (*bagasse*) terdiri dari 40-50% selulosa, 20-30% hemiselulosa, 20-25% lignin dan 1,5-3% abu. *Levoglucosa* dan *glukopiranos* dikenal sebagai produk penting dalam proses pirolisis biomassa, yang memiliki hasil tinggi hingga 60%. Senyawa tersebut dapat diubah menjadi etanol, juga memiliki fungsi sebagai bahan precursor bahan kimia, makanan dan bahan tambahan dalam bidang farmasi (Ordonez-loza *et al.*, 2021).

Biomassa menyumbang sekitar 10% dari keseluruhan kebutuhan energi (Ferriello, 2012). Mengubah biomassa menjadi bahan bakar gas melalui pembakaran gasifikasi dan pirolisis yang memiliki keuntungan seperti fleksibilitas dalam aplikasi produk, efisiensi energi yang tinggi, dan dampak negatif yang rendah terhadap lingkungan. Namun, komersialnya gas biomassa dan pirolisis menghadapi tantangan karena tingginya biaya permerosesan bahan baku biomassa dengan kepadatan energi yang rendah. Limbah padat dapat mencakup limbah padat hayati (seperti lumpur, limbah kering, sisa makanan serta kayu), dan limbah padat anorganik seperti limbah plastik. Kinerja kedua limbah padat ini sangat berbeda dalam memproses menjadi bahan bakar gas (Pang, 2016).

Tanah merah merupakan tanah yang bisa dikatakan kurang subur dengan adanya kandungan asam yang tinggi dengan $\text{pH} < 5$ yang disebabkan oleh eksploitasi berlebihan serta erosi, berdampak kurangnya kandungan kimia tanah yang dibutuhkan oleh tanaman. Tanah merah memiliki kandungan C-organik yang cenderung rendah, fiksasi pospor (P) tinggi, kandungan aluminium (kejenuhan Al) tinggi, kandungan Fe dan Mn yang

mendekati batas kriteria meracuni tanaman dan sangat sensitif terhadap erosi (Siregar & Nugroho, 2021). Kandungan Alumina yang terdapat pada tanah merah dapat digunakan sebagai reaksi katalis yang didalamnya terdapat aluminium dan oksigen. Senyawa ini memiliki daya tahan terhadap suhu tinggi sehingga dapat digunakan sebagai katalis padatan penunjang. Tanah merah memiliki kekerasan alam yang relatif stabil pada suhu tinggi serta memiliki struktur pori-pori yang berukuran besar dan tahan terhadap suhu tinggi, bersifat lunak dan mudah dibentuk (Aswan *et al.*, 2021).

Abu vulkanik memiliki kandungan silika yang tinggi sehingga dapat memperbaiki struktur kandungan dalam tanam tanah sangat baik (Triputro & Rahayu, 2016). Kandungan yang terdapat pada abu vulkanik dapat menjadi katalis dalam pirolisis karena mengandung SiO_2 dan Al_2O_3 yang cukup tinggi yang dapat bereaksi dengan kapur (*lime*) pada suhu rendah dan kandungan air untuk menghasilkan suatu hidrat yang memiliki sifat mengikat. SiO_2 dan Al_2O_3 merupakan bahan utama dalam pembuatan katalis pirolisis (E. Kusumastuti *et al.*, 2012).

Berdasarkan latar belakang diatas, peneliti akan menganalisa pengaruh katalis tanah merah dan abu vulkanik. Tanah merah dan abu vulkanik memiliki kandungan oksida logam yang stabil pada saat suhu tinggi sehingga dapat mempercepat laju reaksi serta kandungan lignin selulosa yang terdapat pada ampas tebu dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pirolisis biomassa, dengan membandingkan pengaruh penggunaan katalis yang telah dikalsinasi untuk menghasilkan *liquid*, *char* dan gas. Maka peneliti tertarik untuk mengambil judul skripsi “Pengaruh Katalis Tanah Merah dan Abu Vulkanik Pada Proses Pirolisis Biomassa Ampas Tebu”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka rumusan pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh katalis tanah merah dan abu vulkanik pada proses pirolisis biomassa ampas tebu terhadap hasil *heavy oil*, *flowrate* dan visualisasi produk.

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian perlu adanya batasan masalah agar pembahasan lebih terarah. Adapun Batasan masalah sebagai berikut:

- a. Tidak menguji *heavy oil* pada minyak hasil pirolisis.
- b. Hanya melakukan uji EDX pada katalis.
- c. Tidak membahas hasil *char* dan gas.
- d. Tidak membahas pembuatan alat pirolisis.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh pengaruh katalis tanah merah dan abu vulkanik pada proses pirolisis biomassa ampas tebu pada hasil *heavy oil*, *flowrate*, dan visualisasi produk.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian yang dilakukan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Mengurangi limbah ampas tebu untuk kemudian dimanfaatkan sebagai bahan dari biomassa.
2. Menambah pengetahuan dalam pembuatan bahan bakar alternatif dari limbah ampas tebu dengan katalis tanah merah dan abu vulkanik.
3. Mengenalkan kepada masyarakat tentang pengolahan biomassa ampas tebu dengan metode pirolisis.

BAB V

PENUTUP

1.1 Kesimpulan

Bedasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan sebagai berikut:

2. Penambahan katalis alam pada proses pirolisis biomassa ampas tebu dapat mempercepat laju reaksi, dengan menggunakan uji EDX (*Energy Dispersive X-Ray*) untuk mengetahui komposisi katalis. Sifat katalis memberikan mekanisme baru dengan energi pengaktifan yang lebih rendah dibanding reaksi tanpa menggunakan katalis.
3. Tingkat produksi *Heavy oil* dipengaruhi dengan penambahan katalis tanah merah dan abu vulkanik. Hasil *heavy oil* dari biomassa ampas hasil tertinggi diperoleh katalis tanah merah menghasilkan *liquid* dengan selisih 2,28% jika tanpa katalis, dimana pengaruh kandungan tanah merah berperan sebagai perengkahan (*cracking*) akan berlangsung semakin intensif dan berakibat pada terpotongnya rantai panjang hidrokarbon menjadi cairan dan gas.
4. Secara visualisasi produk dari ketiga sampel *liquid* tidak memiliki perbedaan yang signifikan namun bisa dilihat dari jumlah *liquid* yang diproduksi karena perubahan *feedstock* biomassa mengalami perubahan bentuk dan warna akibat efek panas dan perubahan masa biomassa menjadi gas saat mengalami proses serta dipengaruhi oleh porositas arang hasil pirolisis biomassa.

1.2 Saran

Bedasarkan hasil penelitian, adapun saran sebagai berikut:

1. Untuk mendapatkan hasil *liquid* yang maksimal perlu memperhatikan tingkat kekeringan bahan baku biomassa dengan cara dioven sebelum melakukan proses pengambilan data.
2. Perlu adanya penambahan berat bahan baku biomassa agar dapat mendapatkan hasil produk yang tinggi, hal ini perlu menggunakan reaktor yang lebih besar.



DAFTAR PUSTAKA

- Aswan, A., Syakdani, A., Manggala, A., Monika, I., & Cendani, M. D. (2021). Konversi Limbah Plastik LDPE Menjadi Bahan Bakar Cair (BBC) Menggunakan Katalis Aluminium Oksida dan Zeolit Pada Multistage Separator. *Jurnal Kinetika*, 12(02), 51–57.
- Chen, X., Chen, Y., Chen, Z., Zhu, D., Yang, H., Liu, P., Li, T., & Chen, H. (2017). *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis Catalytic Fast Pyrolysis of cellulose to produce furan compounds with SAPO type catalysts. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, December, 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2017.12.004>
- Damayanti, D., Wulandari, Y. R., & Wu, H. S. (2020). *Product distribution of chemical product using catalytic depolymerization of lignin. Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 15 (2), 432–453. <https://doi.org/10.9767/bcrec.15.2.7249.432-453>
- Dhyani, V., & Bhaskar, T. (2018). *A comprehensive review on the pyrolysis of lignocellulosic biomass. Renewable Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.04.035>
- E. Kusumastuti, Gunung, V., Sebagai, M., Polimer, S., & Aluminosilikat, A. (2012). *Jurnal MIPA*. 35(1).
- Fennell, L. P., & Boldor, D. (2014). *Continuous microwave drying of sweet sorghum bagasse biomass. Biomass and Bioenergy*, 70, 542–552. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.08.012>
- Ferriello, I. (2012). *Annual Report 2012 Health Department Annual Report 2012*. 1–103.
- Fiantis, D., Nelson, M., Shamshuddin, J., Goh, T. B., & Van Ranst, E. (2010). *Determination of the Geochemical Weathering Indices and Trace Elements Content of New Volcanic Ash Deposits from Mt. Talang (West Sumatra) Indonesia. Eurasian Soil Science*, 43(13), 1477–1485. <https://doi.org/10.1134/S1064229310130077>
- Gao, L., & Goldfarb, J. L. (2019). *Solid waste to biofuels and heterogeneous sorbents via pyrolysis of wheat straw in the presence of fly ash as an in situ*

- catalyst. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 137, 96–105.
<https://doi.org/10.1016/j.jaap.2018.11.014>
- 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>
- Henkel, C., Muley, P. D., Abdollahi, K. K., Marculescu, C., & Boldor, D. (2016). *Pyrolysis of energy cane bagasse and invasive Chinese tallow tree (Triadica sebifera L.) biomass in an inductively heated reactor. ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT*, 109, 175–183.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.12.013>
- Htay, D. Z., Kyaw, M. M., & Kywe, T. T. (2018). *Design of Distillation Column for Liquid Fuel from Waste Tire. International Journal of Science and Engineering Applications*, 7(9), 280–283.
<https://doi.org/10.7753/ijsea0709.1005>
- Khaldun, I., & Haji, G. (2010). Potensi asap cair hasil pirolisis cangkang kelapa sawit sebagai biopestisida antifeedant. *Prosiding: Seminar Nasional Sains Dan Teknologi-III*, 18–19.
- Li, C. Y., Zhang, J., Yuan, H. R., Wang, S. R., & Chen, Y. (2021). *Advance on the pyrolytic transformation of cellulose. Ranliao Huaxue Xuebao/Journal of Fuel Chemistry and Technology*, 49(12), 1733–1751.
[https://doi.org/10.1016/S1872-5813\(21\)60134-2](https://doi.org/10.1016/S1872-5813(21)60134-2)
- López, A., de Marco, I., Caballero, B. M., Laresgoiti, M. F., Adrados, A., & Aranzabal, A. (2011). *Catalytic pyrolysis of plastic wastes with two different types of catalysts: ZSM-5 zeolite and Red Mud. Applied Catalysis B: Environmental*, 104(3–4), 211–219.
<https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2011.03.030>
- Maridjo, Ika Yuliyani, Angga R. (2019). Pengaruh pemakaian bahan bakar premium, pertalite dan pertamax terhadap kinerja motor 4 tak. *Jurnal Teknik Energi*, 9(1), 73–78. <https://doi.org/10.35313/energi.v9i1.1648>
- Naimah, S., & Aidha, N. N. (2017). Karakteristik Gas Hasil Proses Pirolisis Limbah Plastik Polietilena (PE) dengan Menggunakan Katalis *Residue Catalytic*

Cracking (RCC). *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 39(1), 31.
<https://doi.org/10.24817/jkk.v39i1.2750>

Novi Lestu L Binoto, Saul Rolan, D. I. (2010). Hidrolisis Ampas Tebu Secara Enzimatis Menggunakan *Trichoderma reesei* Novi. *Hidrolisis Ampas Tebu Secara Enzimatis Menggunakan Trichoderma Reesei*, 87(5), 530–540.

Nugroho, A., Wijayanti, W., & Sasongko, M. N. (2019). Pengaruh Temperatur terhadap Laju Reaksi Tar Hasil Pirolisis Serbuk Kayu Mahoni pada Rotary Kiln. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 10(2), 113–120.
<https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2019.010.02.2>

Ordenez-loza, J., Chejne, F., Gani, A., Jameel, A., Telalovic, S., & Sarathy, S. M. (2021). *Journal of Environmental Chemical Engineering An investigation into the pyrolysis and oxidation of bio-oil from sugarcane bagasse : Kinetics and evolved gases using TGA-FTIR*. 9 (March).
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106144>

Pang, S. (2016). Fuel flexible gas production: *Biomass, coal and bio-solid wastes*. In *Fuel Flexible Energy Generation: Solid, Liquid and Gaseous Fuels*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-378-2.00009-2>

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>

Ridhuan, K., Irawan, D., Zanaria, Y., & Firmansyah, F. (2019). Pengaruh Jenis Biomassa Pada Pembakaran Pirolisis Terhadap Karakteristik Dan Efisiensi bioarang - Asap Cair Yang Dihasilkan. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 20(1), 18–27. <https://doi.org/10.23917/mesin.v20i1.7976>

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>

Ristianingsih, Y., Ulfa, A., & Syafitri K.S, R. (2015). Pengaruh Suhu Dan Konsentrasi Perikat Terhadap Karakteristik Briket Bioarang Berbahan Baku Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Proses Pirolisis. *Konversi*, 4(2), 16.

<https://doi.org/10.20527/k.v4i2.266>

- Rufiat, E., Hbr, B., & Katalis, H. (2011). *Katalis Katalis*. 1–2.
- Satria Pratama, B., Aldriana, P., Ismuyanto, B., & Dwi Saptati NH, dan A. (2018). Konversi Ampas Tebu Menjadi Biochar dan Karbon Aktif untuk Penyisihan Cr (VI). *Jurnal Rekayasa Bahan Alam Dan Energi Berkelanjutan*, 2(1), 7–12.
- Shijie Zhang a, Weihua Gu a c, Zhixin Geng a, J. B. a. (2023). *Immobilization of heavy metals in biochar by co-pyrolysis of sludge and CaSiO₃*. *Journal of Environmental Management*. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116635>
- Siregar, M. J., & Nugroho, A. (2021). Aplikasi Pupuk Kandang Pada Tanah Merah (Ultisol Soil) Di Lahan Pertanian Batam, Kepulauan Riau. *Jurnal Serambi Engineering*, 6(2), 1870–1878. <https://doi.org/10.32672/jse.v6i2.2888>
- Sunardi, Irawati, U., & Wianto, T. (2011). Karakterisasi Kaolin Lokal Kalimantan Selatan Hasil Kalsinasi. *Jurnal Fisika FLUX*, 8(1), 59–65.
- Triputro, F. A., & Rahayu, T. (2016). Analisa Pengaruh Penambahan Abu Vulkanik Gunung Kelud Pada Stabilisasi. *Jurnal Konstruksia*, 7(2), 75–82.
- Trisunaryanti, W., Triwahyuni, E., & Sudiono, S. (2005). Preparasi, Modifikasi Dan Karakterisasi Katalis Ni-Mo/Zeolit Alam Dan Mo-Ni/Zeolit Alam. *Teknoin*, 10(4), 269–282. <https://doi.org/10.20885/teknoin.vol10.iss4.art7>
- Wahyuni, E. T., & Triyono, S. (2012). (*Determination of Chemical Composition of Volcanic Ash from Merapi Mountain Eruption*). 19(2), 150–159.
- Wemmert, S., Ketter, R., Rahnenführer, J., Beerenwinkel, N., Strowitzki, M., Feiden, W., Hartmann, C., Lengauer, T., Stockhammer, F., Zang, K. D., Meese, E., Steudel, W. I., Von Deimling, A., & Urbschat, S. (2020). A continuous-flow catalytic process with natural hematite-alginate beads for effective water decontamination and disinfection Peroxymonosulfate activation leading to dominant sulfate radical and minor non-radical pathways. *Neoplasia*, 7(10), 883–893. <https://doi.org/10.1593/neo.05307>
- Widyawati, N. L., & Argo, B. D. (2014).] 1-6 Pemanfaatan Microwave. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 15(1), 1–6.
- Wijayanti, W. (2022). *Engineering Scientific Analysis : Circulating Bed Piroliser Untuk Penguatan Sumber Energi Non Fosil*. Universitas Brawijaya.
- Yang, X., Zhang, J., Zheng, J., Liu, Z., Liu, J., Wang, D., & Zheng, Z. (2023).

Journal of Analytical and Applied Pyrolysis In-situ and ex-situ catalytic pyrolysis of cellulose to produce furans over red mud-supported transition metal catalysts. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 169 (December 2022), 105830. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2022.105830>

Yuan, X., Liang, C., Ruan, C., Chang, Y., Xu, L., Huang, H., Chen, M., & Yong, Z. (2021). *Low-cost synthesis of multi-walled carbon nanotubes using red soil as catalyst. Diamond and Related Materials*, 112 (September 2020), 108241. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2021.108241>

Yuwono, T., Rolanda, E., Kimia, T., & Industri, F. T. (2012). *Fermentasi hidrolisat enzimatik bagasse tebu menjadi hidrogen. I*(1), 1–5.

Zhang, Y., Zhong, X., Lin, J., Zhao, D., Jiang, F., Wang, M. K., Ge, H., & Huang, Y. (2020). *Corrigendum to “Effects of fractal dimension and water content on the shear strength of red soil in the hilly granitic region of southern China” [Geomorphology 351 (15 February 2020) 106956] (Geomorphology (2020) 351, (S0169555X19304477), (10.1016/j.geomorphology, 360, 107207. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107207>*

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>

