

Pengaruh Penggunaan Air Daur Ulang pada Hydrothermal Treatment Biomassa Benih Kacang Panjang (*Vigna Sinensis L*) terhadap Komposisi Kimia dan Sifat Fisik Produk Cair

Devi Kurnia Sari^{1*}, Rosalia Dwi Werena¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Lampung
*corresponding email: devi.kurnia@eng.unila.ac.id

Abstrak

Dalam dunia industri pertanian, biomassa menjadi produk samping yang sangat berlimpah dan dapat menjadi sumber energi dalam proses konversi. Salah satu biomassa berasal dari benih kacang panjang tidak layak atau *rejected* sehingga berakhir menjadi limbah padat. *Hydrothermal Treatment* merupakan salah satu teknik konversi biomassa menghasilkan sumber energi namun kendala dari proses *hydrothermal treatment* adalah produk samping berupa air dari proses pemanasan yang berlebihan serta mengandung beberapa senyawa kimia. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kandungan senyawa pada air dari hasil produk samping *hydrothermal treatment* biomassa benih kacang panjang dengan daur ulang air (*recycle*) sebagai tambahan untuk proses selanjutnya sebanyak 250 mL dan dilakukan 5 kali *recycle* dengan variasi temperatur yang digunakan 200°C dan 220°C, rasio biomassa dan air sebesar 1:5 dengan *residence time* selama 60 menit. Hasil produk cair yang dianalisis dengan *Gas Chromatography Mass Spectrometry* menunjukkan bahwa kandungan senyawa 11-Octadecanoic Acid terdeteksi pada suhu 200°C dan 220°C pada daur ulang pertama dan kelima.

Kata Kunci: Benih Kacang Panjang, Biomassa, *Hydrothermal Treatment*, Daur Ulang

PENDAHULUAN

Dalam beberapa dekade perkembangan energi terbarukan sebagai alternatif menjadi sangat signifikan, hal ini dipicu akibat peningkatan kebutuhan energi fosil dengan 85% energi yang digunakan yang bersumber dari batubara, minyak dan gas alam serta diikuti dengan meningkatnya pertumbuhan populasi global hingga menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan dengan lepasnya gas CO₂ di alam yang dilaporkan sebanyak 33,7 miliar ton CO₂ setiap tahunnya (Kober et al., 2020). Biomassa lignoselulosa merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang terdiri dari bahan organik dan mengandung energi kimia dalam bentuk karbon sehingga dapat dijadikan alternatif bahan bakar fosil di berbagai cabang industri serta lebih ramah lingkungan. Biomassa sebagai sumber energi terbarukan yang meningkat secara signifikan, sebanyak 685 TWh listrik yang diproduksi dari biomassa pada tahun 2020, di Indonesia pada tahun 2023 Energi bersih yang dihasilkan dari biomassa mencapai 1 Terawatt Hour (TWh). Produksi energi bersih ini tumbuh lebih dari 77% dibandingkan dengan pencapaian tahun 2022 yang sebesar 575 Gigawatt Hour (GWh) (Suprihati, 2024). Peningkatan penggunaan biomassa sebagai pengganti bahan bakar fosil dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dan pemanasan global, China salah satu contoh negara yang memanfaatkan energi dari bahan biomassa dapat menurunkan kandungan gas rumah kaca sebesar 20,8% dari total target pengurangan karbon dalam upaya mencapai netralitas karbon pada tahun 2050 (Kang et al., 2020). Kandungan biomassa berbahan lignoselulosa secara umum terdiri dari 35-50% selulosa, 20-35% hemiselulosa serta 10-25% lignin. Sisanya terdiri dari senyawa anorganik, minyak, resin dan protein (Rodriguez Correa et al., 2019).

Limbah biomassa yang banyak ditemukan pada Industri Pertanian salah satunya dari Industri Benih di Indonesia disebabkan sebelum dilakukan proses penjualan, benih yang dihasilkan melalui proses sortir hingga didapatkan benih yang layak namun masih banyak ditemukan benih yang *rejected* akibat diserang hama menyebabkan gagal untuk dijual sehingga berakhir menjadi limbah padat

(Pamujiati & Hadiyanti, 2021). *Hydrothermal treatment* merupakan salah satu teknik konversi biomassa menjadi energi dalam bentuk bahan bakar padat yang tidak berdampak negatif terhadap lingkungan dibandingkan dengan teknologi konversi biomassa lainnya, *hydrothermal* memiliki keuntungan antara lain pada tahap awal bahan baku atau biomassa sebelum digunakan tanpa proses pengeringan sehingga menghemat konsumsi energi (Petrović et al., 2024).

Hydrothermal treatment merupakan teknik konversi biomassa secara termokimia dimana pada prosesnya menggunakan air subcritical sebagai media dan reactor tertutup pada suhu dan tekanan 180°C hingga 250°C. Tekanan yang dibutuhkan dihasilkan secara sistematis, bahan baku atau biomassa berada dalam reactor selama 0,5-8 jam. Dalam proses ini, melibatkan penguraian dan penyusunan ulang komponen biomassa untuk menghasilkan bahan berkarbon yang disebut hidrokarbon (Tan et al., 2015). Teknik konversi *hydrothermal* memberikan manfaat lebih dari segi ekonomi yakni mengurangi biaya *pre-treatment* karena biomassa tanpa perlakuan tambahan, selain itu pada prosesnya *hydrothermal* tidak memerlukan penambahan bahan kimia serta operasional yang cukup mudah dan ekonomis (McKendry, 2002). Mekanisme reaksi yang terlibat dalam proses *hydrothermal*, seperti hidrolisis, dekarboksilasi, polimerisasi, kondensasi, dan aromatisasi, sebanding dengan mekanisme yang ditemukan oleh (Libra et al., 2011).

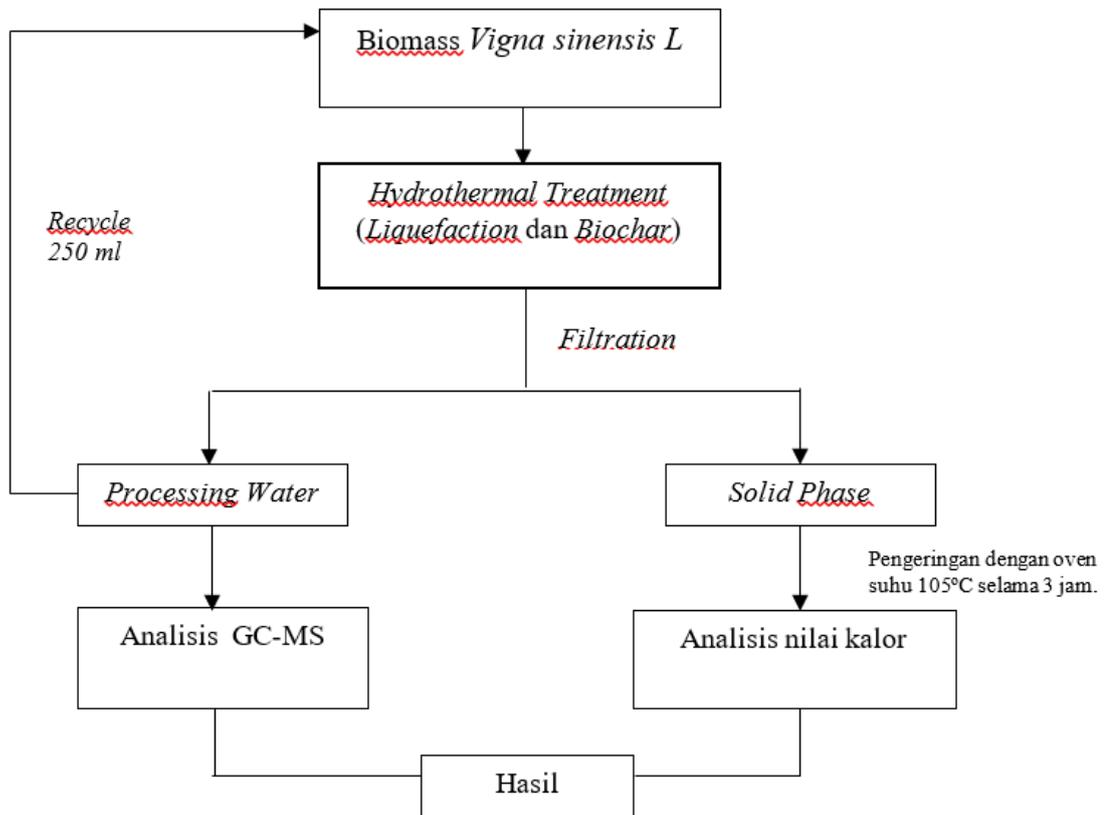
Reaksi hidrolisis, komponen biomassa seperti selulosa, hemiselulosa dan lignin diuraikan menjadi molekul-molekul yang lebih kecil dengan bantuan air, serta menghasilkan gula, asam organik dan senyawa larut lainnya. Proses selanjutnya adalah dehidrasi dimana molekul-molekul air dihilangkan dari struktur biomassa, dimana pada proses ini menghasilkan senyawa antara lain furfural, aldehida dan keton. Proses ketiga ialah Dekarboksilasi dan Polimerisasi dimana terjadi pelepasan gas CO₂ dan pembentukan senyawa aromatic. Pemanasan dan tekanan yang terus menerus menyebabkan senyawa antara yang mengandung karbon mengalami karbonisasi dan menghasilkan senyawa pembentukan hidrokarbon (Ojewumi & Chen, 2024).

Penelitian terdahulu telah banyak dilakukan pada proses *hydrothermal* yang menghasilkan *biochar* dari berbagai biomassa lignoselulosa, Penelitian tentang daur ulang air dari proses *hydrothermal* dapat memenuhi kebutuhan air dalam proses karbonisasi hidrotermal (HTC) menggunakan serpihan kayu sebagai bahan baku, meskipun pengaruh suhu pada hidrokarbon dan komposisi air proses tidak diperhatikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karbon dan nilai HHV meningkat dengan penggunaan sirkulasi air proses (Stemann & Ziegler, 2011). Penelitian serupa terkait daur ulang air proses *hydrothermal* dari biomassa pohon pinus dengan jumlah daur ulang sebanyak 9 kali, didapatkan hasil bahwa penggunaan kembali air dari proses hidrotermal tidak berdampak signifikan pada HHV hidrokarbon pada daur ulang pertama, kecuali beberapa deposit asam karboksilat atau furan yang mempengaruhi HHV dalam rentang sekitar 4% namun kandungan senyawa produk cair tidak dianalisis lebih lanjut (Uddin, 2016). Menurut penelitian Li et al., 2015, air proses yang dihasilkan dari cairan hidrotermal biomassa mengandung sejumlah besar fenol, glukosa oligomer, alkohol, dan asam organik. Dengan mendaur ulang air proses dari perlakuan hidrotermal untuk tahap proses selanjutnya, biaya pengolahan limbah air dapat ditekan dan proses pengolahan menjadi lebih sederhana. Selain itu, potensi biomassa biji kacang panjang sebagai limbah dari industri benih yang belum dimanfaatkan secara optimal dapat diubah menjadi pengganti bahan bakar fosil.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Pusat Inovasi Agro Teknologi Universitas Gadjah Mada yang terdiri dari beberapa langkah. Tahap Pertama dilakukan proses penimbangan biomassa benih kacang panjang sebanyak 100 gram dalam satu kali proses dan penambahan *aquadest* sebanyak 500 mL. Langkah kedua dipelajari proses *hydrothermal* biomassa benih kacang panjang dengan variasi temperatur yang digunakan 200°C dan 220°C, rasio biomassa dan air sebesar 1:5 dengan *residence time* selama 60 menit

(Kurniasari et al., 2020). Langkah ketiga dilakukan daur ulang atau *recycle* produk cair *hydrothermal treatment* sebanyak 250 mL untuk bahan campuran aquadest pada proses selanjutnya produk padat dilakukan pengeringan dengan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 3 jam selanjutnya produk padatan diambil untuk dianalisa nilai *yield*, nilai kalor. Produk cairan dianalisis menggunakan *Gas Chromatograph Mass Spectrometry* (GC-MS). Alur penelitian dijelaskan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian *hydrothermal treatment*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan metode konversi thermal yakni *hydrothermal treatment* dengan memanfaatkan kembali atau mendaur ulang produk cair sebagai bahan campuran tambahan untuk proses *hydrothermal* selanjutnya yang dilakukan sebanyak 5 kali pengulangan dengan tujuan untuk mendapatkan kandungan senyawa kimia dan karakteristik produk yang dihasilkan. Biomassa benih kacang panjang memiliki tiga kandungan lignoselulosa yakni selulosa sebesar 18,13%, hemiselulosa 35,06% dan lignin sebesar 7,35% (Kurniasari et al., 2020). Kandungan selulosa terdegradasi secara termal pada suhu diantara 250°C dan 350°C sebaliknya terjadi pada kandungan hemiselulosa dan lignin yang dapat terdegradasi secara termal pada suhu mulai 180°C-350°C dan 200°C-800°C. Selain ketiga komponen senyawa utama diatas, biomassa juga mengandung senyawa ekstratif yakni senyawa yang bukan bagian dari struktur biomassa dan dapat diekstraksi dengan pelarut diantaranya senyawa protein, karbohidrat, minyak, pati, hidrokarbon, aromatic, lipid, fenol dan bahan organic (Teoh et al., 2024).

Analisis nilai yield produk padat

Nilai *yield* pada produk padat dianalisis dengan menggunakan rumus:

$$\text{Nilai } yield (\%) = \frac{\text{Massa produk padat}}{\text{massa bahan baku padatan}} \times 100\% \quad (1)$$

Tabel 1. Nilai *yield* (%) produk padatan

Daur Ulang	Suhu 200°C	Suhu 220°C
Raw	53	50
1	59	52
2	56	54
3	62	51
4	61	55
5	57	57

Massa dari produk padatan yang dihasilkan dari kedua suhu didapatkan secara fluktuatif, hal ini disebabkan karena penambahan bahan cair pada tiap daur ulang karena akumulasi kandungan bahan organik dan anorganik yang tersisa dalam cairan yang dihasilkan seperti senyawa hasil dekomposisi hemiselulosa dan selulosa serta kandungan gula larut yang muncul pada proses pertama *hydrothermal* (Kurniasari et al., 2020).

Suhu yang digunakan pada proses *hydrothermal* akan memberikan pengaruh positif pada nilai *yield* dan sifat fisik produk padatan. Hal ini senada dengan hasil yang diuraikan pada penelitian (Singh et al., 2017) bahwa suhu 190°C-250°C yang digunakan memberikan pengaruh karena struktur biomassa hancur menjadi karbon akibat dari proses hidrolisis. Menurut (Kumar, 2014) hidrolisis terjadi dari pembentukan ion asam hidronium dan ion basa hidroksida yang berasal dari ionisasi air sebagai reaktan, sehingga meningkatnya suhu pada proses *hydrothermal*, akan meningkatkan ion yang tercampur dalam air. Penurunan nilai *yield* pada produk padat disebabkan karena proses dari dekomposisi dan depolimerisasi senyawa selulosa dan hemiselulosa menjadi cairan dan gas (Singh et al., 2017).

Residence time kurang dari satu jam menunjukkan peningkatan yang signifikan pada nilai kalor produk padatan. *Residence time* yang lebih lama, akan secara signifikan meningkatkan nilai *yield* produk padat, hal ini disebabkan oleh proses polimerisasi fragmen terlarut dalam fase cair yang kemudian mengendap. *Residence time* yang digunakan pada proses *hydrothermal* dari biomassa pohon pinus memberikan pengaruh terhadap massa padatan yang dihasilkan, (Libra et al., 2011) bahwa *residence time* 30-180 menit, massa padatan akan berkurang dari 50% menjadi 46% pada suhu 200°C serta pada suhu 240°C berkurang dari 38% menjadi 31%, pengaruh *residence time* pada variasi suhu tersebut menunjukkan pola penurunan yang hampir sama dan bertahap. Hal tersebut disebabkan oleh reaksi pada proses *hydrothermal* biomassa lignoselulosa yang terjadi relatif lambat serta laju reaksi dominan dikendalikan oleh suhu yang digunakan.

Peningkatan kadar abu pada produk padat selama proses daur ulang disebabkan oleh penumpukan elemen anorganik kembali dalam struktur berpori hidrokarbon. Namun, pada siklus terakhir daur ulang, kadar abu mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena kadar abu terdiri dari kation-kation anorganik seperti Na, K, Ca, Mg, dan P yang secara alami terdapat dan tercampur dalam cairan selama proses *hydrothermal*, sehingga terakumulasi saat dilakukan daur ulang selanjutnya (Singh et al., 2017).

Analisis Nilai Kalor

Analisis nilai kalor pada produk padat dilakukan untuk mengetahui besarnya panas atau energi yang dikeluarkan. Pada penelitian ini, analisis nilai kalor dilakukan pada dua sampel daur ulang pertama dan kelima.

Tabel 2. Nilai kalor produk padatan

Daur Ulang	Suhu 200°C	Suhu 220°C
1	4800 kal/gram	5330 kal/gram
5	5300 kal/gram	5466 kal/gram

Nilai kalor pada suhu 200°C dan suhu 220°C pada daur ulang pertama dan kelima mengalami peningkatan yang cukup signifikan hal tersebut disebabkan kandungan karbon terikat yang terkandung pada produk padat memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan nilai kalor. Selain itu, banyaknya nilai kalor yang dihasilkan dipengaruhi oleh kadar air, kadar abu, kadar volatil serta karbon terikat. Peningkatan nilai kalor dipengaruhi oleh keberadaan asam organik produk cair dari daur ulang sebelumnya, semakin banyak daur ulang yang dilakukan akan memberikan peningkatan nilai kalor namun bersifat konstan. Selain itu kandungan asam organik seperti asam asetat yang berasal dari proses dekomposisi gula tercampur dari daur ulang sebelumnya, endapan asam dan gula pada permukaan partikel pada *pre-treatment* akan mengurangi nilai kalor yang dihasilkan (Uddin, 2016).

Analisis GC-MS

Analisis *Gas Chromatography Mass Spectrometry* dilakukan pada produk cair *hydrothermal* dengan tujuan untuk mengidentifikasi senyawa kimia yang terkandung pada daur ulang pertama dan daur ulang kelima. Hasil analisis diambil senyawa dengan nilai peak area >1% tercantum pada Tabel dibawah ini:

Tabel 3. Komponen Senyawa produk cair *hydrothermal*

Nama Senyawa	Retention time (min)	Suhu (°C)			
		Daur Ulang / Area (%)			
		200°C		220°C	
		1	5	1	5
2(3H)-Furanone	6.292	2,51	0,7	-	4,10
11-Octadecanoic Acid	37.203	8,14	1,18	2,84	0,90
Cyclopentaneundecanoic acid	34.483	9,39	-	5,27	-
1,2-Benzenedicarboxylic Acid	44.850	8,06	1,52	-	-

Berdasarkan hasil tersebut, terdapat beberapa senyawa ditemukan pada siklus daur ulang pertama dan daur ulang kelima. Pada daur ulang pertama didapatkan senyawa yang dominan yakni Cyclopentaneundecanoic acid dengan luas area sebesar 9,39% terjadi pada suhu 200°C dan suhu 220°C, namun pada daur ulang kelima, senyawa Cyclopentaneundecanoic acid tidak ditemukan. Hal tersebut terjadi karena komponen-komponen dengan berat molekul yang rendah selama proses penguapan pelarut saat pembentukan kembali *bio oil* atau produk cairan yang hilang. Sedangkan pada suhu 220°C senyawa yang dihasilkan pada daur ulang pertama adalah 11-Octadecanoic Acid dengan luas area 2,84% Selain itu, senyawa dengan berat molekul yang tidak dapat terdeteksi pada kolom GC-MS, sehingga

hanya beberapa bagian komponen dalam produk cair yang dapat dikenali karakteristiknya melalui analisis GC-MS (Hu et al., 2017).

KESIMPULAN

Penggunaan air daur ulang dari proses hydrothermal memberikan pengaruh terhadap nilai yield dari produk padatan hal tersebut dipengaruhi suhu yang digunakan. Sedangkan pada produk padatan hasil analisis nilai kalor dari produk padatan hydrothermal benih kacang panjang mengalami peningkatan sebesar 3% dengan mencapai nilai tertinggi 5.465,603 kal/gram. Kenaikan suhu juga berdampak pada penurunan pH dan kandungan senyawa dalam produk cairan dari daur ulang *hydrothermal treatment*. Hasil analisis GC-MS pada produk cairan juga menghasilnya senyawa yang bervariasi pada setiap suhu dan titik daur ulang.

DAFTAR PUSTAKA

- Hu, Y., Feng, S., Yuan, Z., Xu, C. C., & Bassi, A. (2017). Bioresource Technology Investigation of aqueous phase recycling for improving bio-crude oil yield in hydrothermal liquefaction of algae. *Bioresource Technology*, 239, 151–159. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.05.033>
- Kang, Y., Yang, Q., Bartocci, P., Wei, H., Liu, S. S., Wu, Z., Zhou, H., Yang, H., Fantozzi, F., & Chen, H. (2020). Bioenergy in China: Evaluation of domestic biomass resources and the associated greenhouse gas mitigation potentials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 127. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109842>
- Kober, T., Schiffer, H. W., Densing, M., & Panos, E. (2020). Global energy perspectives to 2060 – WEC’s World Energy Scenarios 2019. *Energy Strategy Reviews*, 31, 100523. <https://doi.org/10.1016/J.ESR.2020.100523>
- Kumar, S. (2014). Hydrothermal Processing of Biomass for Biofuels. In *Biofuel Research Journal* (Vol. 2).
- Kurniasari, D., Yuliansyah, A. T., & Purnomo, C. W. (2020). The effect of process water recycle on hydrothermal treatment of yard long bean (*Vigna unguiculata* ssp. *sesquipedalis*) and water spinach (*Ipomoea reptans*) seeds. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 857(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/857/1/012004>
- Li, C., Zhang, G., Zhang, Z., Ma, D., Wang, L., & Xu, G. (2015). Hydrothermal pretreatment for biogas production from anaerobic digestion of antibiotic mycelial residue. *Chemical Engineering Journal*, 279, 530–537. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.05.073>
- Libra, J. A., Ro, K. S., Kammann, C., Funke, A., Berge, N. D., Neubauer, Y., Titirici, M. M., Fühner, C., Bens, O., Kern, J., & Emmerich, K. H. (2011). Hydrothermal carbonization of biomass residuals: A comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis. *Biofuels*, 2(1), 71–106. <https://doi.org/10.4155/bfs.10.81>
- McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology*, 83(1), 37–46. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00118-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00118-3)
- Ojewumi, M. E., & Chen, G. (2024). Hydrochar Production by Hydrothermal Carbonization: Microwave versus Supercritical Water Treatment. *Biomass*, 4(2), 574–598. <https://doi.org/10.3390/biomass4020031>
- Pamujiati, A. D., & Hadiyanti, N. (2021). Penyuluhan teknologi penyimpanan benih kacang panjang sebagai upaya menanggulangi hama pasca panen di Desa Klepek Kecamatan Kunjang Kabupaten Kediri. In *Jatimas: Jurnal Pertanian dan Pengabdian Masyarakat* (Vol. 1, Issue 1). <http://ojs.unik->

- Petrović, J., Ercegović, M., Simić, M., Koprivica, M., Dimitrijević, J., Jovanović, A., & Janković Pantić, J. (2024). Hydrothermal Carbonization of Waste Biomass: A Review of Hydrochar Preparation and Environmental Application. In *Processes* (Vol. 12, Issue 1). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/pr12010207>
- Rodriguez Correa, C., Hehr, T., Voglhuber-Slavinsky, A., Rauscher, Y., & Kruse, A. (2019). Pyrolysis vs. hydrothermal carbonization: Understanding the effect of biomass structural components and inorganic compounds on the char properties. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 140, 137–147. <https://doi.org/10.1016/J.JAAP.2019.03.007>
- Singh, H., Jamie, K., & Animesh, M. (2017). Process Water from the Hydrothermal Carbonization of Biomass: A Waste or a Valuable Product? *Waste and Biomass Valorization*, 0(0), 0. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-9914-0>
- Stemann, J., & Ziegler, F. (2011). *19th European Biomass Conference and Exhibition, 6-10 June 2011, Berlin, Germany. June*, 6–10.
- Suprihati. (2024, January 26). *Sepanjang Tahun 2023 PLN EPI Serap 1 Juta Ton Biomassa Untuk Co Firing PLN*. <https://www.plnepi.co.id/media-informasi/ruang-media/siaran-pers/sepanjang-tahun-2023-pln-epi-serap-1-juta-ton-biomassa-untuk-co-firing-pln#:~:Text=Energi%20bersih%20yang%20dihasilkan%20dari,Tahun%202022%20sebesar%20575%20GWh>.
- Tan, X., Liu, Y., Zeng, G., Wang, X., Hu, X., Gu, Y., & Yang, Z. (2015). Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions. In *Chemosphere* (Vol. 125, pp. 70–85). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.12.058>
- Teoh, R. H., Mahajan, A. S., Moharir, S. R., Abdul Manaf, N., Shi, S., & Thangalazhy-Gopakumar, S. (2024). A review on hydrothermal treatments for solid, liquid and gaseous fuel production from biomass. *Energy Nexus*, 14, 100301. <https://doi.org/10.1016/J.NEXUS.2024.100301>
- Uddin, M. H. (2016). Environmental Progress & Sustainable Energy. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 00(00), 1–10. <https://doi.org/10.1002/ep>