

PENGARUH UKURAN SERBUK DAN KEKERASAN KAYU TERHADAP KUALITAS SYNGAS DARI PIROLISIS BIOMASSA

Darmansyah, Anhar Khalid, Muhammad Kasim, dan Teguh Suprianto

Politeknik Negeri Banjarmasin, Kalimantan Selatan, Indonesia

Email: darmansyah@poliban.ac.id, anhar.khalid@poliban.ac.id,
kasimpoliban@gmail.com, dan teguh.suprianto@poliban.ac.id

INFO ARTIKEL

Diterima
5 April 2021
Direvisi
10 April 2021
Disetujui
15 April 2021

Keywords:

biomassa; *hydroge*;
woodgrain; syngas

ABSTRACT

Biomass pyrolysis-gasification using fixed bed reactors for syngas produced with hydrogen was present in this study. There is a chasp to know the factors of powder size and wood hardness against syngas force towards the central gas that results. Wood grain which in this study is the center of teak wood, coconut wood and jackfruit wood with the hardness of teak level > coconut > jackfruit. As a result of the study alone, wood grain with a smaller size resulted in better syngas with higher central gas 2057 ppm divided by coarse powder of 1972 ppm. The hardness of the wood beskrik dekomkon and the center of shikon as a result. The harder the wood the lower the syngas produced. Teak wood with the highest hardness of syngas yield with a center of 1931 ppm while jackfruit wood with hardness volume syngas with a center up to 2898 ppm.

ABSTRAK

Pirolisis-gasifikasi biomassa untuk menghasilkan syngas dengan kandungan *hydrogen* telah dilakukan dalam penelitian ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh ukuran serbuk dan kekerasan kayu terhadap kualitas syngas yang dihasilkan ditinjau dari konsentrasi gas hidrogen yang dihasilkan. Serbuk kayu yang digunakan dalam penelitian ini adalah kayu jati, kayu kelapa dan kayu nangka dengan tingkat kekerasan jati > kelapa > nangka. Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen yaitu pirolisis dengan menggunakan reaktor jenis *fixed bed*. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa serbuk kayu dengan ukuran lebih kecil menghasilkan kualitas syngas yang lebih baik dengan konsentrasi gas hidrogen yang lebih tinggi 2057 ppm dibandingkan dengan ketika menggunakan serbuk kasar sebesar 1972 ppm. Kekerasan kayu mempengaruhi proses dekomposisi dan konsentrasi hidrogen yang dihasilkan.

How to cite:

Darmansyah (2021) Pengaruh Ukuran Serbuk Dan Kekerasan Kayu Terhadap Kualitas Syngas Dari Pirolisis Biomassa. *Jurnal Syntax Admiration* 2(4). <https://doi.org/10.46799/jsa.v2i4.213>

E-ISSN:

2722-5356

Published by:

Ridwan Institute

Kata Kunci:

biomassa; hydrogen;
serbuk kayu; *syngas*

Semakin keras kayu semakin rendah kualitas *syngas* yang dihasilkan. Kayu jati dengan kekerasan tertinggi menghasilkan *syngas* dengan konsentrasi hidrogen sebesar 1931 ppm sedangkan kayu nangka dengan kekerasan terendah menghasilkan *syngas* dengan konsentrasi hidrogen hingga 2898 ppm.

Pendahuluan

Pentingnyaantisipasi kelangkaan bahan bakar fosil yang tidak dapat di perbaharui telah membangkitkan minat dalam penggunaan bahan bakar alternatif. Di antara teknologi konversi bahan bakar, gasifikasi biomassa adalah alternatif yang menarik untuk produksi gas sintesis (*syngas*) (Hamad, Radwan, Heggo, & Moustafa, 2016). *Syngas* adalah singkatan untuk gas sintesis yang bertujuan untuk produk gasifikasi. Ini adalah nama yang diberikan untuk campuran terutama terdiri dari CO dan H₂ dengan proporsi bervariasi. *Syngas* juga terdiri dari gas lain seperti CO₂, CH₄, H₂O, and N₂, *organic* (tar) dan *inorganic* (H₂S, HCl, NH₃, alkali metals) (Wissink & Reitz, 2015). *Syngas* juga dapat diproduksi dari bahan baku yang berbeda seperti batu bara, hidrokarbon cair, biomassa, dan produk limbah lainnya dan kualitasnya bervariasi tergantung pada bahan baku dan proses gasifikasi. Gasifikasi adalah proses konversi termokimia yang dapat meningkatkan rasio hidrogen terhadap karbon dari bahan baku biomassa dengan memutus ikatan karbon dan menambahkan hidrogen ke produk gas (Wissink & Reitz, 2015). Ketika biomassa dengan kandungan karbon tinggi bereaksi dengan pada suhu tinggi lebih dari 600 °C, karbon monoksida (CO) dan hidrogen (H₂) terbentuk. Proses ini terdiri dari banyak reaksi dan menghasilkan banyak jenis gas/produk turunan. Proses konversi ini diyakini menjadi sumber energi utama di masa depan untuk menggantikan bahan bakar fosil dan merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan (Sikarwar et al., 2016).

Indonesia memiliki potensi tinggi untuk mengganti bahan bakar fosil dengan sumber daya energi terbarukan terutama biomassa. Meskipun biomassa mencakup berbagai bahan baku, kayu adalah sumber daya dominan yang persediaannya melimpah. Di Kalimantan kayu merupakan komoditas yang sangat penting sebagai bahan bangunan dan bahan industri. Data Badan Pusat Statistik tahun 2011, ada 112.116 m³ kayu dihasilkan di Kalimantan Selatan. Banyaknya industri pengolahan kayu di Kalimantan Selatan menghasilkan limbah kayu yang cukup besar. Di Provinsi Kalimantan Selatan ada 83 industri pengolahan kayu gergajian dan mayoritas industri penggergajian kayu dibawah 6.000 m³ berada didaerah Kelurahan Alalak Tengah dan Selatan. Industri penggergajian kayu menghasilkan limbah berkisar 20-30% dari volume log kayu (Aditya, Rahmadi, & Mahdie, 2020).

Volume yang besar dari limbah kayu tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif melalui proses gasifikasi untuk menghasilkan *syngas*. Keuntungan penting biomassa dibandingkan dengan jenis bahan bakar fosil adalah harganya yang murah dan mengurangi pencemaran lingkungan. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk menghasilkan *syngas* dari limbah kayu.

Mayoritas penelitian di bidang pemanfaatan *syngas* telah difokuskan pada penggunaannya sebagai bahan bakar langsung dan produksi kimia. Konversi biomassa menjadi *syngas* yang kaya hidrogen dapat meningkatkan nilai kalor bahan bakar. Produksi *syngas* dari biomassa dalam skala besar tidak hanya memenuhi kebutuhan energi tetapi juga mengurangi pencemaran lingkungan yang berkembang pesat (Pandey, Prajapati, & Sheth, 2019). *Syngas* juga dapat diproses lebih lanjut untuk digunakan dalam turbin gas untuk menghasilkan listrik (Dincer & Acar, 2014). Penggunaan *syngas* untuk bahan bakar mesin pembakaran dalam masih sangat terbatas. Padahal, selain mengurangi emisi polutan, penggunaan bahan bakar padat melalui proses gasifikasi memiliki kelebihan lain seperti penanganan yang mudah dan fleksibilitas bahan baku mulai dari residu pertanian hingga limbah perkotaan (Chuahy & Kokjohn, 2017). *Syngas* dari biomassa dan limbah padat merupakan bahan bakar netral karbon yang diyakini akan menjadi bahan bakar yang menjanjikan untuk mesin masa depan (Hagos, Aziz, & Sulaiman, 2014). Beberapa instalasi mesin menggunakan limbah biomassa dan limbah padat sebagai bahan baku. General Electric (GE) telah memimpin dalam pengembangan teknologi *syngas* dan teknologi turbin (Chuahy & Kokjohn, 2017).

Konversi termokimia dapat digunakan untuk mengubah biomassa menjadi *syngas*. Diantara banyak jenis proses termokimia, pirolisis memiliki beberapa keunggulan, yaitu tekanan atmosfer dan suhu rendah sehingga lebih murah dan mudah dioperasikan. Namun, produk yang diperoleh dari pirolisis biomassa masih memiliki kualitas rendah yaitu tingkat keasaman, kelembaban dan viskositas tinggi, serta kepadatan energi yang rendah (Zhao et al., 2020). Salah satu parameter yang digunakan untuk mengukur kualitas *syngas* adalah kandungan hidrogennya. Semakin tinggi kandungan gas *hydrogen* dalam *syngas* maka semakin tinggi juga kualitas dari *syngas* (Zhang, Zhu, Zhang, Liu, & Xiong, 2019). Di sisi lain, kandungan hidrogen yang lebih tinggi akan meningkatkan nilai kalor spesifik dari *syngas* (Suprianto, Wijayanti, & Wardana, 2020).

Banyak faktor yang mempengaruhi hasil dan komposisi *syngas*. Diantaranya adalah temperatur reaksi, laju reaksi, jenis reaktor, komposisi bahan dari biomassa itu sendiri dan penggunaan katalis (Pandey et al., 2019), (Nasir Uddin, Daud, & Abbas, 2013). Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk mengukur pengaruh tersebut, namun sejauh penulis ketahui, belum ada penelitian yang membahas tentang pengaruh faktor kekerasan bahan terhadap produksi gas hidrogen dalam *syngas* hasil pirolisis biomassa. Oleh karena itu penelitian ini akan membahas tentang pengaruh kekerasan bahan (dalam hal ini biomassa kayu) terhadap kualitas *syngas* yang dihasilkan dari gasifikasi serbuk gergaji berdasarkan hasil gas hidrogen yang dihasilkan selama proses pirolisis-gasifikasi. Variabel bebas yang diukur dalam penelitian ini adalah nilai konsentrasi gas *hydrogen* yang dihasilkan sedangkan variabel yang diubah adalah tingkat kekerasan kayu dan ukuran serbuk yang dijadikan sebagai bahan baku. Kualitas *syngas* diukur berdasarkan konsentrasi gas hidrogen yang terkandung dalam *syngas*. Perbandingan konsentrasi gas hidrogen berdasarkan ukuran serbuk kayu dan tingkat kekerasan kayu dibahas dalam tulisan ini. Hasil dari penelitian ini dapat menjadi

referensi untuk menentukan jenis biomassa yang paling cocok untuk diproses menjadi *syngas* berdasarkan tingkat kekerasan bahan baku. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh ukuran serbuk dan kekerasan kayu terhadap kualitas *syngas* yang dihasilkan ditinjau dari konsentrasi gas hidrogen yang dihasilkan.

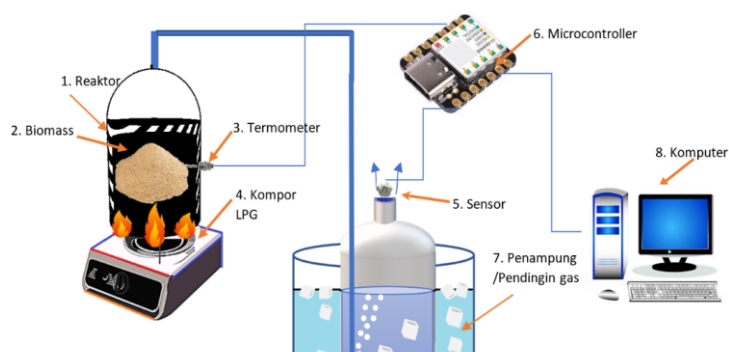
Metode Penelitian

Percobaan dilakukan dengan memanaskan biomassa kedalam reaktor gasifikasi hingga mencapai temperatur 500 °C. Reaktor tipe *fixed bed* dipilih untuk penelitian ini karena *relative* sederhana dan dapat menghasilkan kandungan hidrogen yang relatif tinggi dalam produk gasnya (Hamad et al., 2016). Reaktor gasifikasi menerima panas dari kompor LPG dengan nyala konstan. Biomassa akan mengalami perubahan fase (penguraian) dari padat menjadi gas dalam bentuk *syngas* dan gas-gas yang tidak stabil. *Thermometer type K* digunakan untuk mengukur temperatur dalam reaktor. Gas dari hasil gasifikasi dialirkan ke pendingin untuk diembunkan sehingga tersisa gas yang lebih stabil dan bersih dari uap. Gas tersebut kemudian dialirkan keluar penampung yang dilengkapi dengan sensor gas hidrogen (H₂). Sensor tersebut mengirimkan data konsentrasi gas ke *microcontroller*. Komputer digunakan untuk menampilkan nilai konsentrasi gas yang dihasilkan.

Beberapa variabel yang diukur dari penelitian ini adalah:

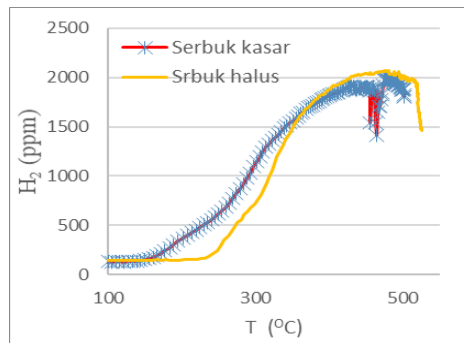
- a. Variabel tetap adalah massa dan jenis dari biomassa yang digunakan sebagai bahan baku yaitu 10 gr per percobaan.
- b. Variabel yang diukur adalah kualitas dari *syngas* yang dihasilkan (konsentrasi gas hydrogen dalam ppm (*part per million*)).

Kualitas dari *syngas* dapat ditentukan dari pengukuran konsentrasi hidrogen. Semakin tinggi konsentrasi *hydrogen* maka semakin baik kualitas dari *syngas* yang dihasilkan.



Gambar 1
Set Up Percobaan

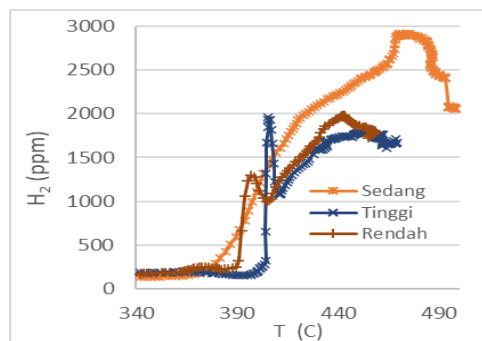
Hasil dan Pembahasan



Gambar 2

Pengaruh Ukuran Serbuk dan Ukuran Kasar Terhadap Pembentukan Unsur H₂ dalam Syngas

Dari gambar 2 menunjukkan bahwa dengan menggunakan serbuk ukuran halus lebih banyak menghasilkan konsentrasi gas hidrogen. Sementara itu, dengan menggunakan serbuk ukuran kasar menunjukkan bahwa konsentrasi hidrogen lebih rendah, meskipun proses pembentukannya lebih cepat daripada serbuk yang halus.



Gambar 3

Pengaruh Kekerasan Kayu terhadap Pembentukan *Hydrogen* dalam Syngas

Gambar diatas menunjukkan bahwa dengan menggunakan kayu dengan kekerasan rendah (angka) maka diperoleh konsentrasi hidrogen yang paling tinggi diantara yang lainnya. Selain itu, dengan menggunakan kayu kekerasan sedang, proses pembentukan awal gas hidrogen berlangsung lebih cepat. Pembentukan gas hidrogen pada kayu yang keras (jati) berlangsung pada temperatur yang paling tinggi diantara jenis yang lain.

Berdasarkan hasil tersebut, kekerasan kayu tidak menunjukkan hubungan yang linear terhadap pembentukan gas hidrogen ataupun produksi *syngas* yang dihasilkan selama proses pirolisis. Kayu angka dengan kekerasan yang sedang justru menunjukkan efek yang paling tinggi dan lebih cepat dibandingkan dengan yang lain. Hal ini bisa terjadi karena pengaruh struktur dari kayu lebih besar daripada tingkat kekerasan dari kayu itu sendiri.

Kandungan kayu terdiri atas Lignin, Selulosa, dan Hemiselulosa. Kandungan lignin dalam batang kelapa berkisar 26.58-36.35% dengan nilai rata-rata 30.99%. Kisaran

kandungan selulosa pada batang kelapa adalah 28.10-36.55% dan nilai rataannya sebesar 31.95%. Kandungan holoselulosa batang kelapa berkisar antara 69.51-80.07% dengan nilai rataannya 73.49%. Hemiselulosa pada pohon kelapa sebesar 35.09%. Proses pirolisis gas biomassa akan memecah molekul biomassa menjadi gas dan *volatile* (Debiagi et al., 2016). Dekomposisi *hemicellulose* terjadi pada 220-315 °C. Dekomposisi selulosa berlangsung pada kisaran suhu yang lebih tinggi 315-400 °C, sedangkan lignin adalah yang paling sulit untuk diurai. Dekomposisi terjadi secara perlahan dari 300-900 OC (Chen, Wang, Ong, Show, & Hsieh, 2019). Kisaran kandungan selulosa pada batang kelapa adalah 28.10-36.55% dan nilai rataannya sebesar 31.95%. Sementara itu, kandungan kayu jati terdiri dari holoselulosa 75,76-79,74%, á-selulosa 46,72-50,90%, hemiselulosa 27,41-30,14%, dan lignin 29,22-32,80% (Munir, 2017). Kandungan kayu nangka terdiri dari selulosa 56,47%, lignin 28,76, dan pentosan 18,64. Pentosan adalah salah satu penyusun khusus hemiselulosa.

Proses pirolisis gas biomassa akan memecah molekul biomassa menjadi gas. Dekomposisi *hemicellulose* terjadi pada kisaran 220-315 °C. Dekomposisi selulosa berlangsung pada kisaran suhu yang lebih tinggi 315-400 °C sedangkan lignin adalah yang paling sulit untuk diurai. Dekomposisi terjadi secara perlahan dari 300-900 °C (Lewandowski, Januszewicz, & Kosakowski, 2019). Dari komposisi tersebut, hemiselulosa akan mengalami proses penguraian (dekomposisi) terlebih dahulu dan lignin akan terdekomposisi pada suhu yang paling tinggi.

Dari gambar 3 terlihat bahwa puncak produksi hidrogen dari pirolisis kayu jati terjadi pada temperatur diatas 400 °C. Hal ini menunjukkan bahwa proses dekomposisi kayu jati lebih sulit dibandingkan dengan kedua kayu yang lain pada temperatur 400 °C terjadi dekomposisi lignin. Hal ini juga menunjukkan bahwa dekomposisi lignin kayu jati lebih dominan menghasilkan gas hidrogen. Tingkat kekerasan kayu jati yang lebih tinggi menyebabkan proses dekomposisi lebih sulit dibandingkan dengan kayu yang lebih lunak.

Dari gambar 3 juga terlihat bahwa produksi hidrogen dari kayu kelapa mengalami peningkatan secara drastis ketika temperatur mencapai 390 °C dan mencapai puncaknya pada temperatur 395 °C. Pada temperatur tersebut terjadi proses dekomposisi selulosa. Hal ini mengindikasikan bahwa selulosa pada kayu kelapa menghasilkan gas hidrogen lebih banyak dibandingkan dengan yang lain. Sementara itu, hasil pirolisis dari kayu nangka menunjukkan hal yang relatif berbeda dengan kedua kayu yang lain. Produksi gas hidrogen berlangsung paling cepat tetapi juga berakhir paling lambat. Pada temperatur dibawah 400 °C, produksi hidrogen dari kayu nangka mengalami kenaikan yang relatif stabil. Kenaikan konsentrasi hidrogen mencapai puncaknya ketika temperatur mencapai 480 °C. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan lignin dari kayu nangka menghasilkan gas hidrogen lebih banyak jika dibandingkan dengan yang lain.

Tingkat kekerasan kayu nangka yang paling rendah menjadi salah satu faktor yang menyebabkan konsentrasi gas hidrogen yang dihasilkan lebih tinggi. Hal ini juga terlihat ketika membandingkan antara kayu jati dan kayu kelapa. Pada temperatur yang lebih tinggi (didas 400 °C), konsentrasi gas hidrogen yang dihasilkan dari kayu kelapa lebih

tinggi dibandingkan dengan kayu jati. Kayu yang mengeras adalah akibat proses lignifikasi atau pengayuan secara alami. Kayu terbentuk dari akumulasi dan susunan selulosa dan lignin pada dinding sel berbagai jaringan yang ada dalam kayu. Setiap jenis kayu memiliki sifat-sifat dan karakteristik tersendiri. Densitas atau kerapatan kayu merupakan salah satu faktor yang akan menentukan tingkat kekuatan dan kekerasan dari suatu kayu.

Kekerasan kayu jati lebih tinggi dari kekerasan kayu lain yang digunakan dalam percobaan ini dan konsentrasi hidrogen yang dihasilkan paling rendah dibandingkan dengan yang lain. Demikian juga dengan kayu nangka, kayu nangka dengan kekerasan yang paling rendah menghasilkan konsentrasi hidrogen yang paling tinggi. Kerapatan kayu yang tinggi menyebabkan proses dekomposisi akan semakin sulit. Temperatur yang tinggi diperlukan untuk menguraikan kayu. Sedangkan kayu dengan kekerasan yang rendah lebih mudah terdekomposisi. Kayu yang tidak keras memiliki struktur yang lebih renggang. Kerenggangan ini menyebabkan panas lebih mudah masuk kedalam sisi kayu dan mempermudah dekomposisi menjadi gas.

Hasil penelitian ini telah menunjukkan bahwa kayu dengan kekerasan yang rendah akan menghasilkan konsentrasi hidrogen yang lebih tinggi. Penelitian ini dilakukan dengan alat pirolisis konvensional. Perbaikan dan pengembangan penelitian perlu dilakukan terutama untuk mencari komposisi dari gas-gas lain yang dihasilkan selama proses pirolisis. Penelitian ini baru terbatas pada pengukuran gas hidrogen yang dihasilkan. Selain itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang bagaimana komposisi kayu mempengaruhi kandungan gas yang dihasilkan dari proses pirolisis.

Kesimpulan

Berdasarkan analisa dan pembahasan pada bab sebelumnya dapat diambil kesimpulan yakni: serbuk kayu yang lebih halus menghasilkan konsentrasi gas hidrogen yang lebih tinggi daripada serbuk kasar. Kayu dengan kekerasan yang rendah menghasilkan konsentrasi gas hidrogen yang lebih tinggi. Serbuk kayu yang lebih halus akan menyebabkan proses perpindahan panas lebih cepat demikian juga dengan kekerasan yang rendah akan menyebabkan panas lebih mudah masuk ke sel-sel kayu dan mempercepat dekomposisi kayu menjadi *syngas*.

BIBLIOGRAFI

- Aditya, F. U., Rahmadi, A., & Mahdie, M. F. (2020). Studi Potensi Limbah Pengolahan Kayu Gergajian Di Kecamatan Banjarmasin Utara Dan Banjarmasin Barat Kota Banjarmasin Provinsi Kalimantan Selatan. *Jurnal Sylva Scientiae*, 2(5), 854–864. [Google Scholar](#)
- Chen, W.-H., Wang, C.-W., Ong, H. C., Show, P. L., & Hsieh, T.-H. (2019). Torrefaction, Pyrolysis And Two-Stage Thermodegradation Of Hemicellulose, Cellulose And Lignin. *Fuel*, 258, 116168. [Google Scholar](#)
- Chuahy, F. D. F., & Kokjohn, S. L. (2017). High Efficiency Dual-Fuel Combustion Through Thermochemical Recovery And Diesel Reforming. *Applied Energy*, 195, 503–522. [Google Scholar](#)
- Debiagi, P. E. A., Gentile, G., Pelucchi, M., Frassoldati, A., Cuoci, A., Faravelli, T., & Ranzi, E. (2016). Detailed Kinetic Mechanism Of Gas-Phase Reactions Of Volatiles Released From Biomass Pyrolysis. *Biomass And Bioenergy*, 93, 60–71. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.06.015> [Google Scholar](#)
- Dincer, I., & Acar, C. (2014). Review And Evaluation Of Hydrogen Production Methods For Better Sustainability. *International Journal Of Hydrogen Energy*, 40(34), 11094–11111. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.12.035> [Google Scholar](#)
- Hagos, F. Y., Aziz, A. R. A., & Sulaiman, S. A. (2014). Trends Of Syngas As A Fuel In Internal Combustion Engines. *Advances In Mechanical Engineering*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/401587> [Google Scholar](#)
- Hamad, M. A., Radwan, A. M., Heggo, D. A., & Moustafa, T. (2016). Hydrogen Rich Gas Production From Catalytic Gasification Of Biomass. *Renewable Energy*, 85, 1290–1300. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.082> [Google Scholar](#)
- Lewandowski, W. M., Januszewicz, K., & Kosakowski, W. (2019). Efficiency And Proportions Of Waste Tyre Pyrolysis Products Depending On The Reactor Type— A Review. *Journal Of Analytical And Applied Pyrolysis*, 140(January), 25–53. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2019.03.018> [Google Scholar](#)
- Munir, M. (2017). Estimasi Biomassa, Stok Karbon, Dan Sekuestrasi Karbon Dari Berbagai Tipe Habitat Terrestrial Di Gresik, Jawa Timur Secara Non-Destructive Dengan Persamaan Allometrik. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. [Google Scholar](#)
- Nasir Uddin, M., Daud, W. M. A. W., & Abbas, H. F. (2013). Potential Hydrogen And Non-Condensable Gases Production From Biomass Pyrolysis: Insights Into The Process Variables. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 27, 204–224. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.031> [Google Scholar](#)

- Pandey, B., Prajapati, Y. K., & Sheth, P. N. (2019). Recent Progress In Thermochemical Techniques To Produce Hydrogen Gas From Biomass: A State Of The Art Review. *International Journal Of Hydrogen Energy*, 44(47), 25384–25415. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.08.031> [Google Scholar](#)
- Sikarwar, V. S., Zhao, M., Clough, P., Yao, J., Zhong, X., Memon, M. Z., ... Fennell, P. S. (2016). An Overview Of Advances In Biomass Gasification. *Energy And Environmental Science*. <https://doi.org/10.1039/C6ee00935b> [Google Scholar](#)
- Suprianto, T., Wijayanti, W., & Wardana, I. N. G. (2020). Sciencedirect Synergistic Effect Of Curcumin And Activated Carbon Catalyst Enhancing Hydrogen Production From Biomass Pyrolysis. *International Journal Of Hydrogen Energy*, 46(10), 7147–7164. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.11.211> [Google Scholar](#)
- Wissink, M., & Reitz, R. D. (2015). Direct Dual Fuel Stratification, A Path To Combine The Benefits Of Rcci And Ppc. *Sae International Journal Of Engines*, 8(2), 878–889. [Google Scholar](#)
- Zhang, S., Zhu, S., Zhang, H., Liu, X., & Xiong, Y. (2019). High Quality H₂-Rich Syngas Production From Pyrolysis-Gasification Of Biomass And Plastic Wastes By Ni-Fe@Nanofibers/Porous Carbon Catalyst. *International Journal Of Hydrogen Energy*, 44(48), 26193–26203. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.08.105> [Google Scholar](#)
- Zhao, M., Memon, M. Z., Ji, G., Yang, X., Vuppaladadiyam, A. K., Song, Y., ... Zhou, H. (2020). Alkali Metal Bifunctional Catalyst-Sorbents Enabled Biomass Pyrolysis For Enhanced Hydrogen Production. *Renewable Energy*, 148, 168–175. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.006> [Google Scholar](#)

Copyright holder :

Darmansyah, Anhar Khalid, Muhammad Kasim, dan Teguh Suprianto (2021)

First publication right :

Journal Syntax Admiration

This article is licensed under:

