

## PENGARUH SUHU PIROLISIS JERAMI PADI TERHADAP VARIABEL KOMPOSISI PRODUK PIROLISIS MENGGUNAKAN REAKTOR BATCH

Yeni Ria Wulandari\*, Fadian Farisan Silmi, Dewi Ermaya, Nita Pita Sari, Dedi Teguh

Teknologi Rekayasa Kimia Industri, Politeknik Negeri Lampung, Lampung

Jl. Soekarno Hatta No.10, Bandar Lampung-Lampung 35141.

\*Email: yeniriawulandari@polinela.ac.id

### Abstrak

*Jerami padi adalah limbah dari pasca panen tanaman padi dimana jerami padi dapat ditingkatkan nilai gunanya menjadi energi terbarukan dengan pirolisis. Pirolisis adalah proses dekomposisi ikatan karbon pada biomassa yang panjang menjadi lebih pendek dengan menggunakan energi panas suhu 300°C-600°C tanpa adanya oksigen. Penentuan suhu pirolisis penting dilakukan karena suhu pirolisis mempengaruhi produk dari pirolisis tersebut. Setiap suhu pirolisis mempunyai spesifikasi produk pirolisis yang berbeda. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh suhu pirolisis jerami padi terhadap produk pirolisis (bio-oil, biochar, dan gas), dan untuk mengetahui kondisi optimum untuk menghasilkan bio-oil, serta kandungan senyawa kimia yang terdapat pada bio-oil. Pirolisis jerami padi pada penelitian ini dilakukan didalam reaktor batch pada suhu 250, 300, 350, dan 400°C. Sebelum dilakukan pirolisis, jerami padi dianalisa FTIR untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat didalamnya. Gugus asam karboksilat menunjukkan intensitas gelombang paling tinggi dibandingkan dengan gelombang yang lainnya. Pirolisis jerami padi pada suhu 300°C menghasilkan bio-oil terbanyak, sedangkan produk bio-oil dari pirolisis jerami padi pada suhu 250°C didapatkan nilai pH terendah serta memiliki densitas tertinggi. Bio-oil dari pirolisis jerami padi pada suhu 250°C dilakukan analisa GC-MS untuk mengetahui komponen kimia yang terkandung didalam bio-oil tersebut. Berdasarkan analisa GC-MS produk asam asetat memiliki % (persen) area tertinggi yaitu sekitar 49,45%. Pirolisis jerami padi pada suhu 400°C menghasilkan produk gas yang terbanyak dan produk biochar yang sedikit. Semakin tinggi suhu pirolisis maka produk gasnya semakin tinggi dan produk biochar semakin menurun dan untuk sebaliknya semakin rendah suhu pirolisis produk char semakin banyak dan produk gas sedikit. Suhu optimum pada penelitian ini untuk memproduksi bio-oil pada pirolisis jerami padi pada suhu 300°C dan untuk memproduksi char suhu optimum pada 250°C.*

**Kata kunci:** Bio-oil, Jerami Padi, Pirolisis, Suhu.

### 1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara agraris yang merupakan salah satu negara penghasil padi. Data BPS (Badan Pusat Statistika) pada tahun 2022 produksi padi Indonesia mencapai 55 670 219 ton, dan jerami padi dihasilkan 55,6% dari total hasil padi. Sedangkan gabah hanya 44,4%. Dari gabah tersebut hanya 65% yang menjadi beras, sedangkan sisanya berupa sekam dan dedak (Nappu, 2013). Dilihat dari jumlah produksi padi di Indonesia maka ketersediaan jerami padi sangatlah banyak. Jerami padi sejauh ini dimanfaatkan sebagai kompos, makanan ternak, dibuang dan dibakar. Selama ini limbah pertanian hanya menumpuk dan dapat menimbulkan permasalahan polutan bagi lingkungan (Sudia, 2020). Hingga saat ini belum ada pemanfaatan yang lebih baik dari jerami padi seperti mengolahnya menjadi bahan yang bermanfaat lagi salah satu nya sebagai energi terbarukan. Jerami padi adalah salah satu biomassa yang dapat dimanfaatkan sebagai

sumber energi terbarukan pengganti energi dari fosil yang jumlahnya melimpah terutama di Indonesia.

Biomassa adalah sumber energi terbarukan yang bersumber dari makhluk hidup seperti tumbuh-tumbuhan dan hewan salah satunya adalah jerami padi. Biomassa memiliki rantai karbon yang panjang dan kompleks yang terdiri dari unsur C, H, dan O (Damayanti, 2018). Jerami padi adalah salah satu biomassa dapat ditingkatkan nilai gunanya menjadi energi terbarukan dengan berbagai cara yaitu likuifaksi, gasifikasi, torefaksi, dan pirolisis. Pirolisis adalah dekomposisi termokimia bahan organik pada suhu (300-600°C) tanpa adanya oksigen. Proses ini memiliki potensi yang besar sebagai salah satu jalan alternatif dalam penanganan sampah organik atau yang biasa disebut biomassa.

Pirolisis biomassa adalah proses yang bisa menyediakan tiga produk berbeda yaitu padat, cair, dan gas tergantung pada karakteristik

bahan baku dan kondisi reaksi pirolisis sebagai berikut:

Fraksi padat atau arang pirolisis (*biochar*) adalah residu yang kaya akan karbon diproduksi dalam reaksi pirolisis primer dan sekunder dapat digunakan sebagai bahan bakar padat untuk produksi panas dan listrik, bahan baku untuk proses gasifikasi, dan bahan baku untuk produksi karbon aktif, *soil conditioner*, dan peningkatan kualitas tanah, dan lain-lain

Fraksi cair atau *bio-oil* adalah produk lain dari pirolisis biomassa yang dapat menjadi sumber energi alternatif yang menjanjikan untuk bahan bakar minyak/diesel dan turunan bahan kimia lain. *Bio-oil* yang diproduksi dari pirolisis biomassa perlu ditingkatkan dengan menurunkan kandungan oksigen dan residu.

Gas yang dihasilkan selama proses pirolisis adalah produk sampingan lain yang berharga. Pada dasarnya, peningkatan suhu reaksi dalam pirolisis menciptakan peningkatan signifikan dalam produk gas. Gas-gas mudah terbakar ini dapat digunakan sebagai penembakan langsung dalam boiler untuk produksi panas atau dalam turbin gas atau mesin untuk produksi listrik

Ada banyak faktor yang mempengaruhi produk pirolisis, seperti komposisi biomassa dan kondisi eksperimental. Pirolisis melibatkan degradasi termal lignoselulosa melalui serangkaian reaksi kompleks dalam lingkungan bebas oksigen, sebagian besar dibuat dengan memasukan gas nitrogen (Kabir dan Hameed, 2017).

Proses pirolisis lignoselulosa biomassa terdiri dari empat tahapan yaitu pelepasan uap air, dekomposisi hemiselulosa, dekomposisi selulosa dan dekomposisi lignin (Brown, 2019). Dekomposisi lignin pada suhu 450°C, sedangkan pada suhu 250-350°C yang merupakan degradasi hemiselulose dan selulose (Wulandari dkk., 2020). Pada pirolisis bahan organik terurai secara termal melepaskan fase uap dan fase padat sisa (*char/biocha*). Pada pendinginan uap pirolisis, senyawa polar dan berat molekul tinggi mengembun sebagai cairan (*bio-oil*) sementara senyawa volatil dengan berat molekul rendah tetap ada fase gas (gas). Hasil produk dari pirolisis sekitar 35% *biochar*, 30% *bio-oil*, dan 35% gas (Laird dkk., 2010). *Bio-oil* adalah produk dari pirolisis biomassa yang dapat digunakan untuk bahan bakar turbin, mesin disel, dan boiler, menggantikan bahan bakar minyak bumi setelah dilakukan proses lanjutan peningkatan dan pemurnian yang sesuai (Chan dkk., 2020). Parameter penting

yang mempengaruhi proses pirolisis adalah suhu, laju pemanasan, dan ukuran bahan baku. Parameter tersebut akan mempengaruhi dekomposisi yang terjadi pada struktur biomassa. Komposisi kandungan kimia penyusun biomassa (lignin, selulosa, hemiselulosa) juga akan menghasilkan produk bervariasi. Misalnya jika biomassa banyak mengandung lignin maka hasil akan mengandung fenol. Apabila biomassa banyak mengandung selulosa dihasilkan levoglukosan (senyawa organik hasil pirolisis biomassa yang mengandung asam karbohidrat) (Chen dkk., 2014). Kandungan lignoselulosa pada Jerami padi adalah 32,0-38,6% selulosa, 19,7-35,7% hemiselulosa, dan 13,5-24,4% lignin. Sedangkan kadar abu jerami padi sebesar 10-17% (Mirmohamadsadeghi dan Karimi, 2020).

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efek suhu pirolisis terhadap produk pirolisis (*bio-oil*, *biochar*, dan gas), untuk mengetahui kondisi optimum menghasilkan *bio-oil* terbanyak, dan kandungan senyawa kimia yang terdapat pada *bio-oil*.

## 2. METODELOGI

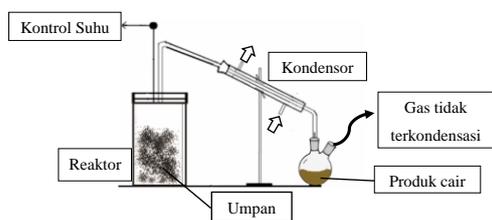
### 2.1. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian adalah: reaktor *batch* pirolisis volume 4 Liter, kondensor pyrex 60 cm, selang plastic, grinder Dietz-motoren GmbH&Co.KG, aging oven universal, ayakan Retsch GmbH 80 mesh, timbangan analitik, Ostwald pyrex, piknometer pyrex 5mL. Bahan yang digunakan adalah jerami padi dari Provinsi Lampung.

### 2.2. Prosedur Penelitian

Jerami padi digiling menggunakan mesin grinder dietz-motoren GmbH&Co.KG. Jerami padi yang telah halus kemudian diayak dengan ayakan retsch GmbH 80 mesh. Jerami padi sebanyak 300 gr dimasukkan kedalam reaktor untuk proses pirolisis. Suhu pirolisis diatur 250, 300, 350, dan 450°C. Masing-masing proses pirolisis berlangsung selama 1,5 jam. Produk *bio-oil* didapatkan saat gas yang terbentuk dari proses pemanasan didalam reaktor lalu mengalami kondensasi saat melewati kondensor spiral dengan suhu air pendingin yang telah diberi es batu  $\pm 13^{\circ}\text{C}$ , hasil kondensatnya tertampung pada labu bulat yang dipasang diujung kondensor, dan produk gas adalah gas yang tidak terkondensasi saat melewati kondensor lalu melewati labu bulat penampungan *bio-oil* dan keluar sistem. *Char*

sisanya proses pirolisis akan tertinggal didalam reaktor. Skema proses dapat dilihat pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Skema proses pirolisis

Reaktor *batch* memiliki pengaturan kontrol suhu melalui *box* panel reaktor, sehingga suhu proses pirolisis dapat diatur.

Perhitungan densitas *bio-oil* menggunakan piknometer pirex 5mL. Massa masing-masing produk didapatkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Massa } bio\text{-oil} = \text{Volume } bio\text{-oil} \times \rho \text{ (densitas } bio\text{-oil)} \tag{1}$$

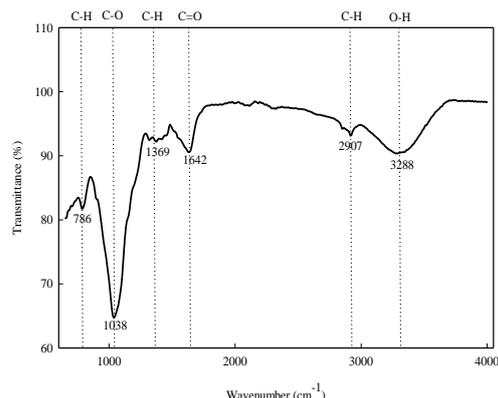
$$\text{Massa Gas} = \text{massa umpan} - \text{massa } bio\text{-oil} - \text{Massa char} \tag{2}$$

*Bio-oil* masing-masing variasi suhu dianalisa nilai pH menggunakan pH Metter Hanna dan *bio-oil* dari suhu 250°C di analisis kandungan senyawa kimia menggunakan GC-MS Shimadzu QP 2010 SE.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Analisa FTIR pada Jerami Padi

Analisa FTIR telah dilakukan pada jerami padi untuk mengetahui gugus fungsi yang ada didalam jerami padi. Berdasarkan gambar 2. Pada gelombang 786 menunjukkan gugus C-H dengan intensitas rendah yang merupakan gugus aromatik. Gelombang 1038 dengan intensitas tinggi menunjukkan gugus C-O yang merupakan gugus asam karboksilat. Gugus C-H pada gelombang 1369 dengan intensitas rendah menunjukkan gugus alipatik. Gugus C=O dan O-H dengan intensitas sedang pada gelombang 1642 dan 3288 menunjukkan gugus karbonil dan gugus alkohol, sedangkan pada gelombang 2907 dengan intensitas rendah menunjukkan gugus metil dan metilena (Ong dkk., 2020). Berdasarkan analisa FTIR pada gambar 2. Gugus asam karboksilat menunjukkan intensitas gelombang paling tinggi dibandingkan dengan gelombang yang lainnya.



Gambar 2. Analisa FTIR pada Jerami Padi

#### 3.2. Pengaruh Suhu Pirolisis Jerami Padi Terhadap Produk Pirolisis

Pirolisis jerami padi menghasilkan tiga produk yaitu produk padatan atau di sebut *bio-char*, produk cair yang disebut *bio-oil* dan gas. Berikut pada Tabel 1 menunjukkan neraca massa pada pirolisis jerami padi umpan yang masuk kedalam reaktor sebesar 300 gr untuk masing-masing variasi suhu (250, 300, 350, dan 400°C) dan penjumlahan massa masing-masing produk (*biochar*, *bio-oil* dan gas) ada pada total *output* sebesar 300 gr untuk masing-masing suhu. Tabel 1. Menunjukkan produk pirolisis berdasarkan massa pada pirolisis jerami padi.

Tabel 1. Produk pirolisis berdasarkan massa pada pirolisis jerami padi

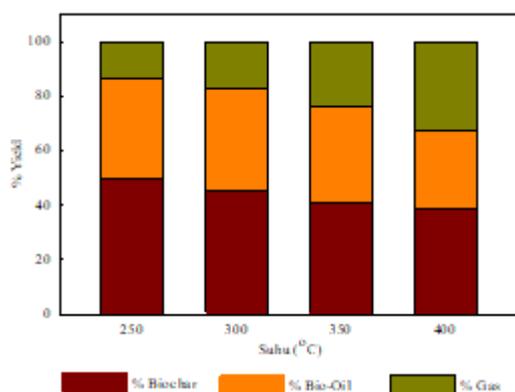
Suhu (°C)	Massa keluar			
	Biochar (gr)	Bio-oil (gr)	Gas (gr)	Total (gr)
250	150	110,50	39,50	300
300	135	112,80	52,20	300
350	123	105,99	70,76	300
400	116	87,04	96,96	300

Tabel 2. Nilai pH dan densitas produk bio-oil

Suhu (°C)	Volume (mL)	Densitas (gr/mL)	pH
250	85	1,30	3,48
300	94	1,20	4,25
350	83	1,28	4,04
400	85	1,02	4,20

Pada tabel 2 menunjukkan nilai densitas dan pH pada produk *bio-oil* pirolisis jerami padi. Densitas tertinggi pada suhu 1,3 gr/mL pada suhu 250°C dan terendah pada suhu 400°C sebesar 1,024 gr/mL. Pirolisis pada suhu 400°C

memiliki densitas yang mendekati densitas air hal ini dapat menunjukkan jika produk tersebut banyak mengandung air berlebih jika dibandingkan dengan senyawa kimia yang terkandung. Densitas pada *bio-oil* dipengaruhi oleh senyawa kimia yang terkandung oleh *bio-oil* tersebut. Semakin tinggi suhu pirolisis mengakibatkan pemotongan ikatan C, H dan O semakin banyak, maka komponen kimia yang terbentuk dari pemotongan ikatan C-H-O memiliki rantai yang pendek yang fasanya adalah gas. Unsur O adalah mendorong terbentuknya produk H<sub>2</sub>O (Wulandari et al., 2020). Untuk pH semua produk pH<7, sehingga produk merupakan senyawa yang bersifat asam, produk pirolisis pada suhu 250°C memiliki pH paling rendah. Berdasarkan data pH *bio-oil* memiliki hubungan dengan hasil FTIR pada jerami padi pada gambar 2. Dimana pada hasil FTIR gelombang yang memiliki intensitas tertinggi yaitu gugus C-O yang merupakan gugus asam karboksilat. Diketahui bahwa senyawa asam memiliki pH<7.



**Gambar 3. Presentase yield produk pirolisis jerami padi**

Berdasarkan gambar 3 diatas, hasil produk pirolisis jerami padi dalam persen menunjukkan pada pirolisis jerami padi yang dilakukan pada suhu 250°C menghasilkan *biochar* sebesar 50%, *bio-oil* 36,83% dan gas 13,17%. Pirolisis yang dilakukan pada suhu 300°C menghasilkan *biochar* 45%, *bio-oil* 37,60% dan gas 17,40%. Pirolisis jerami pada suhu 350°C menghasilkan *biochar* 41,08%, *bio-oil* 35,33%, dan gas 23,59%. Pada suhu 400°C menghasilkan 38,67% untuk produk *biochar*, 29,01% *bio-oil*, dan produk gas 32,32%. dilihat dari Gambar 3. Menunjukkan semakin tinggi suhu pirolisis maka produk *biochar* semakin menurun dan sebaliknya untuk produk gas semakin tinggi

suhu pirolisis maka produk gas akan semakin banyak. Pirolisis pada suhu 300-700°C yield *biochar* mengalami penurunan seiring kenaikan suhu pirolisis dan menaikkan yield dari produk gas. Pada pirolisis lambat produk utamanya adalah *biochar* dimana didalam *biochar* tersebut masih terkandung abu (Park dkk., 2014). Pada penelitian ini proses pirolisis berlangsung 1,5 jam sehingga pada penelitian ini adalah pirolisis lambat karena proses pirolisis berlangsung dalam hitungan jam. Pirolisis pada suhu 250°C produk *biochar* terbentuk paling banyak dan produk gas yang sedikit dikarenakan pada suhu tersebut belum terjadi dekomposisi secara menyeluruh pada Jerami padi selain itu pirolisis pada suhu 250°C dapat dikatakan sebagai torefaksi karena torefaksi adalah salah satu pemrosesan biomassa dengan pemanasan tanpa oksigen/menggunakan gas inert di suhu rendah 200-300°C. Tujuan dari torefaksi adalah menaikkan nilai kalor biomassa dengan pemanasan kurang dari 300°C dengan produk utamanya *biochar* yang dapat digunakan menjadi bahan bakar padat (Chong dkk., 2020). Produk *bio-oil* terbanyak didapatkan pada suhu 300°C dengan jumlah 37,60%. Hal ini dikarenakan pada suhu tersebut sudah terjadi dekomposisi secara menyeluruh pada jerami padi, unsur utama penyusun jerami padi adalah 28,5-41% selulosa, 15,3-25,9% hemiselulosa dan lignin antara 6,2 - 12,6% (Singh dkk., 2021). Dekomposisi hemiselulosa terjadi pada suhu 200-250°C, untuk dekomposisi selulosa dan lignin memerlukan suhu lebih dari 250°C (Chen dkk., 2021). Hal ini yang menyebabkan produk *bio-oil* di suhu 250°C lebih sedikit dan produk optimum untuk *bio-oil* pada suhu 300°C. Disuhu 300°C selulosa dan hemiselulosa sudah mengalami dekomposisi sedangkan untuk lignin hanya sebagian dikarenakan untuk dekomposisi lignin memerlukan suhu yang lebih tinggi lagi yaitu pada suhu lebih dari 400°C. Selulosa adalah sumber utama menghasilkan uap yang dapat terkondensasi. Hemiselulosa memiliki suhu degradasi paling rendah yaitu pada suhu 200-250°C. Hemiselulosa menghasilkan banyak gas yang tak terkondensasi dan selulosa menghasilkan banyak produk *bio-oil* (Wulandari dkk., 2020).

### 3.3. Analisa GC-MS pada produk Bio-oil

Produk *bio-oil* pada suhu 250°C memiliki massa jenis yang tinggi sehingga pada suhu tersebut dianalisis menggunakan GC-MS Shimadzu QP 2010 SE untuk mengetahui unsur

kimia yang terkandung didalam *bio-oil*. Menghasilkan data pada Tabel 3. berikut:

**Tabel 3. Analisa GC-MS pada Bio-Oil**

Ret. Time	% Area	Senyawa Kimia
2,27	49,45	Acetic acid
2,41	14,15	2-Propanone, 1-hydroxy-
2,17	7,30	Acetone cyanohydrin
4,09	6,43	Phenol
5,13	2,77	Phenol, 4-methyl-
5,33	2,68	Phenol, 2-methoxy-
3,56	2,63	Furanone, dihydro
2,70	2,44	3-Butene-1,2-diol
8,80	2,23	Phenol, 3,4-dimethoxy-

Produk utama dari *bio-oil* di suhu 250°C adalah asam asetat dan fenol, asam asetat memiliki persen area tertinggi yaitu 49,45%. Pada jerami padi memiliki 32,0 - 38,6% selulosa dan 19,7-35,7% hemiselulosa (Mirmohamadsadeghi dan Karimi, 2020). Degradasi hemiselulosa dan selulosa menghasilkan asam organik seperti asam asetat dan asam formiat. Tapi degradasi hemiselulosa mempunyai dampak terhadap besarnya nilai *volatile matter* serta sedikit produksi tar dan arang (Abnisa dkk., 2013). Sedangkan 13,5-24,4% merupakan kandungan lignin dan kadar abu jerami padi sebesar 10-17% (Mirmohamadsadeghi dan Karimi, 2020). Abu dalam biomassa biasanya terbentuk dari unsur alkali seperti potassium, kalsium, magnesium, dan silika memiliki pengaruh dalam konversi serta selektivitas reaksi pirolisis. Kadar abu yang tinggi juga mengurangi nilai kalor didalam biomassa (Chiaramonti dkk., 2007). Hal ini juga mempunyai hubungan dengan analisa FTIR yang menunjukkan gugus asam karboksilat dan jika dilihat dengan pH *bio-oil* pada suhu 250°C memiliki pH terendah yang mengidentifikasi senyawa tersebut bersifat asam. memiliki intensitas tertinggi.

Pada penelitian sebelumnya dilakukan pada suhu reaktor 400°C, kapasitas 5 kg dan kadar air 20% memiliki produk utama asam asetat 11,03% dan produk lainnya merupakan senyawa fenol (Arifin dkk., 2009). Kadungan selulosa Sedangkan kandungan degradasi lignin membentuk turunan fenol (Chen dkk., 2014).

#### 4. KESIMPULAN

Suhu pirolisis Jerami padi pada reaktor batch mempengaruhi produk pirolisis (*char*, *bio-oil*, dan gas) yang dihasilkan. Pirolisis Jerami padi pada suhu 250°C menghasilkan produk *char* yang terbanyak dan produk gas yang sedikit. Pirolisis pada suhu 400°C menghasilkan produk gas yang terbanyak dan produk *char* yang sedikit. Semakin tinggi suhu pirolisis maka produk gasnya semakin tinggi dan produk *char* semakin menurun. Begitu pula sebaliknya rendahnya suhu pirolisis maka produk *char* semakin banyak dan produk gas sedikit. Suhu optimum untuk memproduksi *bio-oil* dari pirolisis Jerami padi pada suhu 300°C, untuk memproduksi *char* suhu optimum pada 250°C, dan untuk produksi gas pada suhu 400°C. Produk *bio-oil* pada suhu 250°C memiliki pH terendah dan densitas tertinggi sehingga memiliki komponen kimia terbanyak dianalisa menggunakan GC-MS untuk mengetahui komponen kimia yang terkandung, Berdasarkan Analisa GC-MS produk asam asetat memiliki persen area tertinggi yaitu sekitar 49,45%. Sehingga dapat disimpulkan Untuk mendapatkan *bio-oil* lebih banyak dapat dilakukan dengan menggunakan metode pirolisis cepat atau penambahan katalis.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abnisa, F., Arami-Niya, A., Daud, W. M. A. W., and Sahu, J. N., (2013), Characterization of *bio-oil* and *bio-char* from pyrolysis of palm oil wastes, *BioEnergy Research*, 6, 830-840.
- Arifin, Z., Hadi, S., and Hidayat, Y. (2009). *Bio Oil Dari Pirolisis Lambat Sekam Padi Basah: Sifat Fisik Dan Unsur Kimia. Mekanika*, 7.
- BPS (Badan Pusat Statistik). Luas Panen, Produksi, dan Produktivitas Padi Menurut Provinsi 2020-2022. Badan Pusat Statistik, Jakarta. <https://www.bps.go.id/indicator/53/1498/1/luas-panen-produksi-dan-produktivitas-padi-menurut-provinsi.html> diakses 2 Maret 2023, pukul 14.00
- Brown, R. C., 2019, Thermochemical processing of biomass: conversion into fuels, chemicals and power, John Wiley & Sons.
- Chan, Y. H., Loh, S. K., Chin, B. L. F., Yiin, C. L., How, B. S., Cheah, K. W., Wong, M. K., Loy, A. C. M., Gwee, Y. L., and Lo, S. L. Y., (2020), Fractionation and extraction of

- bio-oil for production of greener fuel and value-added chemicals: Recent advances and future prospects, *Chemical Engineering Journal*, 397, 125406.
- Chen, C., Qu, B., Wang, W., Wang, W., Ji, G., and Li, A., (2021), Rice husk and rice straw torrefaction: Properties and pyrolysis kinetics of raw and torrefied biomass, *Environmental Technology & Innovation*, 24, 101872.
- Chen, G., Liu, C., Ma, W., Zhang, X., Li, Y., Yan, B., and Zhou, W., (2014), Co-pyrolysis of corn cob and waste cooking oil in a fixed bed, *Bioresource technology* 166, 500-507.
- Chiaramonti, D., Oasmaa, A., and Solantausta, Y., (2007), Power generation using fast pyrolysis liquids from biomass. *Renewable and sustainable energy reviews*, 11, 1056-1086.
- Chong, C. C., Cheng, Y. W., Setiabudi, H. D., Ainirazali, N., Vo, D.-V. N., and Abdullah, B., (2020), Dry reforming of methane over Ni/dendritic fibrous SBA-15 (Ni/DFSBA-15): optimization, mechanism, and regeneration studies. *International Journal of Hydrogen Energy* 45, 8507-8525.
- Damayanti, D., Y.R. Wulandari., and H.-S. Wu., (2020), Product Distribution of Chemical Product Using Catalytic Depolymerization of Lignin. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 15(2): p. 432-453.
- Kabir, G., and Hameed, B. H., (2017), Recent progress on catalytic pyrolysis of lignocellulosic biomass to high-grade bio-oil and bio-chemicals, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 945-967.
- Laird, D., Fleming, P., Wang, B., Horton, R., and Karlen, D., (2010), Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil, *Geoderma* 158, 436-442.
- Mirmohamadsadeghi, S., Karimi, K., (2020), Recovery Of Silica From Rice Straw And Husk, *Current Developments In Biotechnology And Bioengineering. Elsevier, Amsterdam*, Pp. 411-433
- Nappu, M. Basir. (2013). Sebaran Potensi Limbah Tanaman Padi Dan Jagung Serta Pemanfaatannya Di Sulawesi Selatan, *Seminar Nasional Inovasi Teknologi Pertanian*, Litbang Sulawesi Selatan.
- Ong, H. C., Chen, W.-H., Singh, Y., Gan, Y. Y., Chen, C.-Y., and Show, P. L., (2020), A state-of-the-art review on thermochemical conversion of biomass for biofuel production: A TG-FTIR approach, *Energy Conversion and Management*, 209, 112634.
- Park, J., Lee, Y., Ryu, C., and Park, Y.-K., (2014), Slow pyrolysis of rice straw: analysis of products properties, carbon and energy yields, *Bioresource technology* 155, 63-70.
- Singh, R. K., Patil, T., Verma, A., Tekade, S. P., and Sawarkar, A. N., (2021), Insights into kinetics, reaction mechanism, and thermodynamic analysis of pyrolysis of rice straw from rice bowl of India, *Bioresource Technology Reports*, 13, 100639.
- Sudia, Budiman., (2020), Potensi Limbah Padi Sebagai Sumber Energi Alternatif Di Provinsi Sulawesi Tenggara, *Dinamika: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 12.1: 44-50.
- Wulandari, Y. R., Chen, S. S., Hermosa, G. C., Hossain, M. S. A., Yamauchi, Y., Ahamad, T., Alshehri, S. M., Wu, K. C. W., and Wu, H.-S., (2020), Effect of N<sub>2</sub> flow rate on kinetic investigation of lignin pyrolysis, *Environmental Research*, 190, 109976.