



## PROTEKSI ISI LAPORAN KEMAJUAN PENELITIAN

Dilarang menyalin, menyimpan, memperbanyak sebagian atau seluruh isi laporan ini dalam bentuk apapun kecuali oleh peneliti dan pengelola administrasi penelitian

## LAPORAN KEMAJUAN PENELITIAN MULTI TAHUN

ID Proposal: bb243c30-0b4e-4aa0-ba3a-01c03154b01e

Laporan Kemajuan Penelitian: tahun ke-2 dari 3 tahun

### 1. IDENTITAS PENELITIAN

#### A. JUDUL PENELITIAN

SCALE UP HYDROTREATMENT REACTOR UNTUK PENINGKATAN KUALITAS BIO-OIL BERBASIS BIOMASSA  
DALAM UPAYA KONSERVASI ENERGI DARI BAHAN ALAM TERBARUKAN

#### B. BIDANG, TEMA, TOPIK, DAN RUMPUN BIDANG ILMU

Bidang Fokus Perguruan Tinggi	RIRN / Bidang Unggulan	Tema	Topik (jika ada)	Rumpun Bidang Ilmu
Energi		-	Konservasi Energi dan Energi Terbarukan	Kimia

#### C. KATEGORI, SKEMA, SBK, TARGET TKT DAN LAMA PENELITIAN

Kategori Nasional/ Desentralisasi/ Penugasan)	(Kompetitif Penelitian	Skema	Strata (Dasar/ Terapan/ Pengembangan)	SBK (Dasar, Terapan, Pengembangan)	Target Akhir TKT	Lama Penelitian (Tahun)
Penelitian Desentralisasi				SBK Riset Dasar	3	3

### 2. IDENTITAS PENGUSUL

Nama (Peran)	Perguruan Tinggi/ Institusi	Program Studi/ Bagian	Bidang Tugas	ID Sinta	H-Index
SRI KADARWATI - Ketua Pengusul	Universitas Negeri Semarang	Kimia		6091574	11
HENY DEWAJANI - Anggota Pengusul	Politeknik Negeri Malang	Teknologi Kimia Industri	perancangan prototype dengan Aspen	6017134	5
DEWI SELVIA FARDHYANTI - Anggota Pengusul	Universitas Negeri Semarang	Teknik Kimia	melakukan analisis data dan pemodelan	6086143	8

### 3. MITRA KERJASAMA PENELITIAN (JIKA ADA)

Pelaksanaan penelitian dapat melibatkan mitra kerjasama, yaitu mitra kerjasama dalam melaksanakan penelitian, mitra sebagai calon pengguna hasil penelitian, atau mitra investor

Mitra	Nama Mitra

### 4. LUARAN DAN TARGET CAPAIAN

**Luaran Wajib**

Tahun Luaran	Jenis Luaran	Status target capaian ( <i>accepted, published, terdaftar atau granted, atau status lainnya</i> )	Keterangan ( <i>url dan nama jurnal, penerbit, url paten, keterangan sejenis lainnya</i> )
3	Monograf (Cetak)	Terbit	UNNES Press
2	Artikel di Jurnal Internasional Terindeks di Pengindeks Bereputasi	Accepted	Chinese Journal of Chemical Engineering
1	Artikel pada Conference/ Seminar Internasional di Pengindeks Bereputasi	Published	Engineering International Conference
1	Artikel pada Conference/ Seminar Internasional di Pengindeks Bereputasi	Published	International Conference on Research, Engineering and Technology
1	Artikel pada Conference/ Seminar Internasional di Pengindeks Bereputasi	Published	International Conference on Mathematical, Science, and Education

**Luaran Tambahan**

Tahun Luaran	Jenis Luaran	Status target capaian ( <i>accepted, published, terdaftar atau granted, atau status lainnya</i> )	Keterangan ( <i>url dan nama jurnal, penerbit, url paten, keterangan sejenis lainnya</i> )
2	Artikel pada Conference/ Seminar Internasional di Pengindeks Bereputasi	Published	Engineering International Conference
1	Artikel di Jurnal Internasional Terindeks di Pengindeks Bereputasi	Sedang direview	Chinese Journal of Chemical Engineering
3	Artikel di Jurnal Nasional terakreditasi peringkat 1-3	Published	Jurnal Bahan Alam Terbarukan

**5. ANGGARAN**

Rencana anggaran biaya penelitian mengacu pada PMK yang berlaku dengan besaran minimum dan maksimum sebagaimana diatur pada buku Panduan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat

**Total RAB 3 Tahun Rp. 0**

**Tahun 1 Total Rp. 0**

Jenis Pembelanjaan	Komponen	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
--------------------	----------	------	--------	------	--------------	-------

**Tahun 2 Total Rp. 0**

Jenis Pembelanjaan	Komponen	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
--------------------	----------	------	--------	------	--------------	-------

**Tahun 3 Total Rp. 0**

Jenis Pembelanjaan	Komponen	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
--------------------	----------	------	--------	------	--------------	-------

**6. KEMAJUAN PENELITIAN**

## **A. RINGKASAN**

Pada pengamatan penelitian mengenai produksi bio-oil dari TKKS terbatas oleh pengaruh suhu yang di pakai pada saat pirolisis. Sehingga pada penelitian ini guna mendapatkan kepastian mutu dengan mengamati pengaruh gas alir nitrogen (N<sub>2</sub>) pada waktu operasi proses pirolisis yaitu 60 menit dalam proses produksi bio-oil Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) pada suhu optimum pirolisis yaitu 500°C. Kemudian dilakukan identifikasi karakteristik bio-oil berdasarkan acuan standar mutu BBN agar produk bio-oil ini dapat memenuhi standar untuk dipasarkan. Bio oil pada penelitian ini dilakukan analisis dengan parameter uji berupa massa jenis, kadar air, serta bilangan asam, dan pengamatan karakteristik komponen bio oil. Pengamatan komponen bio-oil dilakukan dengan menggunakan GC-MS untuk mengetahui senyawa yang terkandung pada bio-oil hasil pirolisis TKKS untuk memperbaiki kualitas bio-oil kedepannya. Sehingga produksi bio-oil ini diharapkan dapat diaplikasikan sebagai bahan bakar alternatif di Indonesia.

## **B. KATA KUNCI**

bio oil, pirolisis, TKKS

**C. HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN:** Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian meliputi data, hasil analisis, dan capaian luaran (wajib dan atau tambahan). Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan pelaksanaan penelitian sebagaimana direncanakan pada proposal. Penyajian data dapat berupa gambar, tabel, grafik, dan sejenisnya, serta analisis didukung dengan sumber pustaka primer yang relevan dan terkini.

Seiring dengan menipisnya cadangan minyak dunia dan isu lingkungan hidup, diperlukan teknologi untuk dapat mengatasinya, salah satu teknologi yang dapat digunakan adalah teknologi pirolisis berbasis limbah organik (biomassa).

Biomassa memiliki potensi besar sebagai sumber energi terbarukan karena bersifat carbon neutral (environmentally friendly), diproyeksikan mampu mensuplai kebutuhan energi seluruh dunia sebesar 1.500 EJ/tahun (sepertiga dari kebutuhan energi dunia) pada tahun 2050 [1]. Konversi biomassa menjadi bahan bakar cair selain dapat mengatasi masalah pengelolaan limbah, juga membantu mengatasi masalah krisis energi yang akan segera dihadapi oleh sebagian besar negara-negara di dunia, termasuk Indonesia.

Bio-oil merupakan bakar cair berwarna gelap hasil kondensasi uap hasil pirolisis dari bahan-bahan yang banyak mengandung lignin, selulosa, hemiselulosa serta senyawa karbon lainnya. Komponen organik terbesar dalam bio-oil adalah lignin, alkohol, asam organik, dan karbonil. Karakteristik tersebut menjadikan bio-oil sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan, serta memiliki nilai bakar yang lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar oksigen lainnya (seperti metanol) dan nilainya hanya lebih rendah sedikit dibandingkan dengan diesel dan light fuel oil lainnya [2]. Komponen organik terbesar dalam bio-oil adalah lignin, alkohol, asam organik, dan karbonil. Dilihat dari unsur-unsur senyawa penyusun bio-oil, senyawa asam dan senyawa fenol merupakan komponen tertinggi dalam bio-oil. Senyawa fenol merupakan bahan baku intermediate dalam pembuatan pembersih lantai dan desinfektan (Lysol). Desinfektan saat merupakan salah satu produk yang paling banyak digunakan selama musim Pandemi Covid-19 saat ini. Lysol menjadi kebutuhan penting dalam upaya penanggulangan penyebaran Covid-19. Meskipun bio-oil yang dihasilkan dari proses pirolisis biomassa dapat langsung digunakan sebagai bahan bakar mesin boiler, mesin disel stasioner, turbin gas, dan mesin sterling [3][4][5], namun bio-oil memiliki beberapa karakteristik yang berdampak buruk pada mesin-mesin berteknologi tinggi. Bio-oil bersifat korosif karena memiliki tingkat keasaman yang tinggi, tidak stabil pada penyimpanan pada suhu ruang akibat tingginya kandungan senyawa heterooksigen, dan memiliki nilai higher heating value (HHV) yang rendah akibat kandungan airnya yang tinggi. Oleh karena itu, proses upgrading diperlukan agar bio-oil dapat digunakan dan/atau ditingkatkan kualitasnya untuk selanjutnya dapat diproses lebih lanjut menjadi liquid fuel dan chemicals.

Biomassa yang banyak digunakan sebagai bahan baku bio-oil yaitu kulit durian [6], tongkol jagung [6], serbuk gergaji kayu kulit [6], jarak [6], ampas buah-buahan [6], tandan kosong [7], tempurung kelapa [8], ampas tebu [9], dan cangkang kopi [10]. Biomassa yang digunakan sebagai bahan baku dalam penelitian ini adalah tempurung kelapa, serbuk gergaji kayu, cangkang kopi, dan bagas tebu. Selama ini limbah tersebut banyak menimbulkan masalah dalam penanganannya dan dibiarkan membusuk, ditumpuk dan dibakar sehingga berdampak negatif terhadap lingkungan, penanggulangannya perlu dipikirkan.

Beberapa peneliti telah mempelajari pirolisis biomassa, yaitu: Mullen dan Boateng [11], Muthia [12], Patel dkk [13], Ismadji [6], Hidayat dan Qomaruddin [8], Mantila dkk [14], Gonçalves dkk [9], Firman dkk [15], dan Fardhyanti dkk [10]. Para peneliti tersebut baru memproduksi bio-oil tetapi belum melakukan upgrading untuk mendapatkan kualitas bio-oil yang baik dan layak digunakan sebagai bio-fuel.

Penelitian ini perlu dilakukan untuk upgrading bio-oil menggunakan proses hydrotreatment menggunakan katalis berbasis material bahan alam.

## HASIL PENELITIAN

### Rendemen Produk Pirolisis TKKS

Produk utama dari pirolisis adalah *bio-oil*, gas yang tidak terkondensasi, cairan yang terkondensasi dan arang (*bio-char*) (Streitwieser *et al.*, 2021; Tran *et al.*, 2021). Presentase antara berat hasil produk dibandingkan dengan total bahan baku disebut sebagai rendemen (Hafiluddin, 2012; Wibowo, 2013a). Rendemen dari setiap jenis produk hasil pirolisis TKKS dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rendemen Produk Hasil Pirolisis TKKS

Produk Hasil Pirolisis	Laju Alir Nitrogen (L/min)		
	1 L/min	2 L/min	3 L/min
Bio-oil	4,1%	4,8%	6,4%
Hasil Bening	28%	25%	12,5%
Arang	30,8%	30,1%	29,8%
Gas	37,1%	40,1%	51,3%

Berdasarkan perhitungan, dapat diketahui bahwa rendemen pada suhu 500°C dengan waktu operasi selama 60 menit dengan variasi aliran gas Nitrogen (N<sub>2</sub>) tertinggi pada *bio-oil* dengan laju alir 3 L/min sebesar 6,4% sedangkan *bio-char* tertinggi pada laju alir 1 L/min menghasilkan *yield* sebesar 29,8%. Berdasarkan penelitian Ferdianto, Munfaridi dan Hidayat (2020) dan Wibowo (2013b) hasil *bio-oil* pada pirolisis TKKS dan serbuk gergaji kayu sengon dengan suhu operasi 500°C mencapai 7,33% - 7,99% namun tidak adanya variabel kontrol aliran gas Nitrogen. Sedangkan pada hasil pirolisis TKKS dengan kontrol laju alir gas Nitrogen 100-500 cm<sup>3</sup>/min, *yield bio-oil* dan hasil bening tertinggi yang dihasilkan sebesar 46,2% pada laju alir 300 cm<sup>3</sup>/min kemudian laju alir menurun pada laju alir gas nitrogen 400-500cm<sup>3</sup>/min (Mohamed *et al.*, 2020). Penurunan *yield bio-oil* yang dihasilkan karena sudah mencapainya laju alir maksimum gas nitrogen yang digunakan dalam proses pirolisis (Mohammed *et al.*, 2015). Berdasarkan hasil penelitian Ali *et al.*, (2016), Yorgun dan Yildiz (2015) dan Mohammed *et al.*, (2015) *yield bio-char* dengan kontrol laju alir nitrogen akan menurun seiring dengan meningkatnya laju alir yang digunakan dalam proses pirolisis. Hasil samping lainnya dari pirolisis TKKS yaitu berupa gas dan juga hasil bening, dengan *yield* gas tertinggi pada laju alir 3 L/min sebesar 51,3% sedangkan *yield* hasil bening tertinggi pada laju alir 1 L/min sebesar 28%. Maka dapat disimpulkan berdasarkan hasil penelitian peningkatan *bio-oil* sebanding dengan jumlah gas, sedangkan penurunan hasil bening yang dihasilkan sebanding dengan gas hasil pirolisis TKKS.

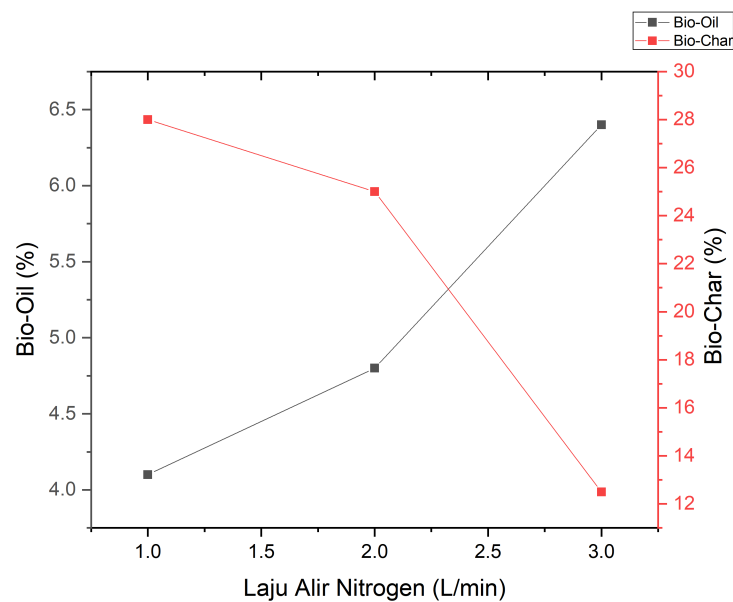
### Pengaruh Aliran Nitrogen Terhadap *Yield Bio-Oil* dan *Bio-Char*

Produk cairan yang dihasilkan dari proses pirolisis TKKS terdapat 2 fase yaitu air dan minyak. Produk cair pada hasil pirolisis ini dikenal dengan *liquid smoke* yang terdiri dari asam piroglinat atau cuka kayu, sedangkan fase minyak berupa cairan kental berupa tar berwarna hitam dikenal sebagai *pyrolytic oil* (Wibowo, 2013b; Ferdianto, Munfaridi dan Hidayat, 2020). Hasil produk *bio-oil* TKKS dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Produk Bio-Oil Hasil Pirolisis TKKS; (a) Laju Alir Nitrogen 1 L/min; (b) Laju Alir Nitrogen 2 L/min; (c) Laju Alir Nitrogen 3 L/min

Presentase *yield* yang dihasilkan dari proses pirolisis dengan variasi laju alir nitrogen 1 L/min, 2 L/min dan 3 L/min kemudian diilustrasikan menjadi sebuah grafik untuk melihat kenaikan *yield*. Grafik *yield bio-oil* dan *bio-char* hasil pirolisis TKKS dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Yield Bio-oil dan Bio-Char terhadap laju Alir Nitrogen  
Sumber: Data Penelitian Penulis diolah (2021)

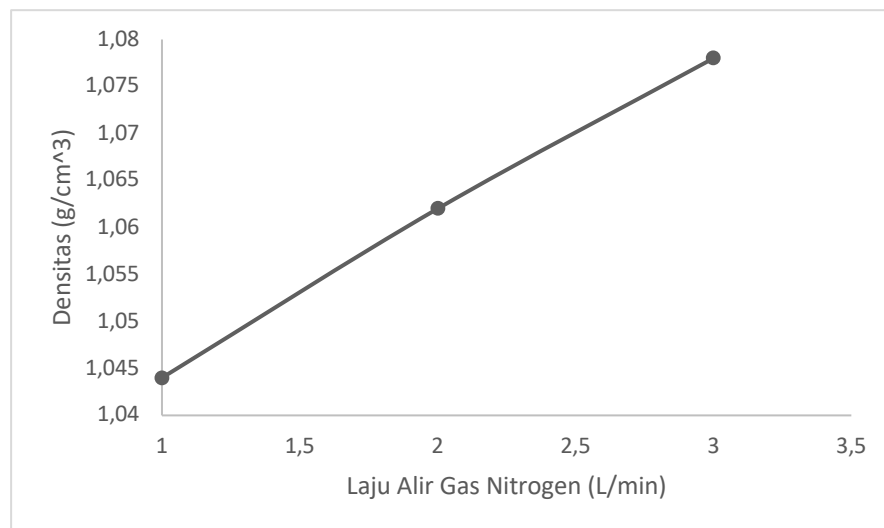
Berdasarkan grafik berikut hasil *bio-oil* meningkat seiring dengan ditingkatkannya laju alir nitrogen yang digunakan selama proses pirolisis. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Varma *et al.*, (2019) mengenai pirolisis serbuk gergaji kayu dimana hasil *yield bio-oil* meningkat hingga mencapai kondisi maksimum nya, kemudian *yield bio-oil* menurun setelah melewati batas maksimum. Kondisi maksimum pada proses pirolisis tersebut terjadi pada laju alir Nitrogen 100 L/min. Sedangkan pada penelitian Mohammed *et al.*, (2015) mengenai pirolisis rumput napier kondisi maksimum terjadi pada laju alir nitrogen 30 mL/min, kemudian setelah itu hasil *yield bio-oil* terjadi penurunan. Menurut Mohamed *et al.*, (2013) peningkatan *yield bio-oil* terjadi pada kondisi

laju alir Nitrogen sebesar 200 cc/min. Hal ini disebabkan oleh waktu tinggal (*residence time*), waktu tinggal yang terlalu kecil akan sebanding dengan kecilnya reaksi repolimerisasi. Adanya kenaikan laju alir Nitrogen *bio-oil* yang meningkat diakibatkan karena terjadinya pembentukan lebih banyak uap dan kondensasi serta terjadinya polimerisasi, namun pada laju alir Nitrogen tertentu *bio-oil* akan menurun karena kontribusi reaksi repolimerisasi berkurang (Varma *et al.*, 2019).

Selanjutnya yaitu pengaruh laju alir nitrogen terhadap *bio-char*. Penurunan *bio-char* yaitu diakibatkan penghilangan uap pirolisis pada zona reaksi (Mohammed *et al.*, 2015). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan seiring dengan peningkatan laju alir gas Nitrogen, terjadinya penurunan jumlah *bio-char* hasil pembakaran. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Ali *et al.*, (2016) dimana *bio-char* yang dihasilkan menurun. Penelitian yang dilakukan Mohammed *et al.*, (2015) *bio-char* yang diperoleh menurun dengan laju alir gas Nitrogen tertinggi yang digunakan 60 mL/min.

Maka dapat disimpulkan bahwa peningkatan *bio-oil* dan penurunan *bio-char* ini dikarenakan fluidisasi tidak sepenuhnya tercapai dan karena waktu tinggal uap yang lama (Ali *et al.*, 2016).

### Analisis Densitas

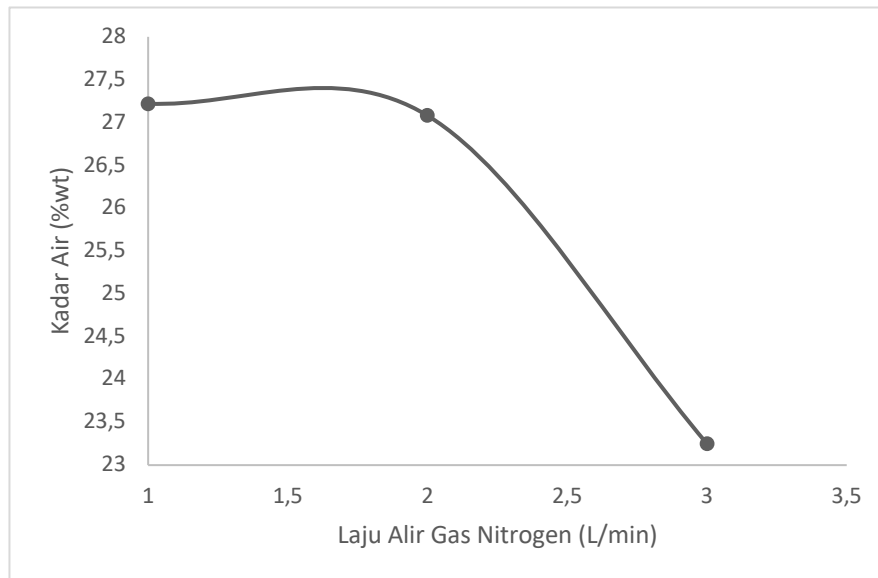


Gambar 3 Grafik Densitas Bio-oil terhadap Laju Alir Gas Nitrogen

Densitas atau massa jenis merupakan pengukuran massa tiap satuan volume suatu benda (Balai Teknologi Bahan Bakar dan Rekayasa Desain, 2021). Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, *bio-oil* yang dihasilkan dari proses pirolisis memiliki densitas berkisar 1,044 – 1,078 g/cm<sup>3</sup> sesuai pada Gambar 4.3. Densitas yang dihasilkan ini lebih tinggi dari penelitian Febriyanti *et al.*, (2019), densitas *bio-oil* TKKS yang didapatkan 0,9918 – 1,0083 g/cm<sup>3</sup>. Namun densitas yang dihasilkan dari penelitian ini sesuai dengan penelitian Wibowo, Efiyanti dan Pari (2017) yaitu sebesar 1,067 – 1,095 g/cm<sup>3</sup>. Hasil analisis densitas juga sesuai dengan penelitian Weerachanchai (2016) dimana massa jenis *bio-oil* yang dihasilkan 1,0 – 1,2 g/cm<sup>3</sup>. Densitas *bio-oil* tergantung pada bahan baku dan kondisi proses pirolisis, densitas *bio-oil* lebih besar daripada bensin dan solar karena adanya sejumlah besar air serta makromolekul seperti selulosa, hemiselulosa, senyawa fenolik oligomer (Xu *et al.*, 2016). Berdasarkan SNI7182:2015 mengenai standar mutu *bio-diesel* sebagai bahan bakar nabati densitas yang disyaratkan yaitu 0,85 – 0,89 g/cm<sup>3</sup>. Maka berdasarkan hasil penelitian densitas *bio-oil* hasil pirolisis masih belum memenuhi syarat mutu yang telah ditetapkan.

### Analisis Kadar Air

Menurut Mohammed *et al.*, (2015) semakin tinggi densitas suatu senyawa maka semakin rendah kadar airnya. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian, dimana seiring dengan kenaikan laju alir gas nitrogen densitas semakin tinggi dan kadar air yang dihasilkan semakin rendah. Kadar air tertinggi yang dihasilkan yaitu pada laju alir 1 L/min sebesar 27,22% sedangkan kadar air terendah 23,25% pada laju alir 3 L/min.



Gambar 4. Grafik Kadar Air Bio-oil terhadap Laju Alir Gas Nitrogen  
Sumber: Data Penelitian Penulis diolah (2021)

Berdasarkan Xu *et al.*, (2016) pada umumnya kadar air *bio-oil* berkisar 30-35%. Hasil analisis kadar air yang dihasilkan pada penelitian ini sesuai dengan penelitian Sukiran, Loh dan Bakar (2018) dimana kadar air yang dihasilkan dari pirolisis TKKS sebesar 22-27%. Tingginya kadar air ini karena *bio-oil* merupakan senyawa oksigenat yang mengandung zat organik berbeda-beda sehingga kandungan air akan berfungsi sebagai emulsi mikro atau pengikat molekul (Amin *et al.*, 2020). Standar mutu maksimal yang diijinkan untuk kadar air pada biodiesel menurut SNI7182:2015 adalah 0,05%, maka berdasarkan hasil analisis kadar air yang telah dilakukan *bio-oil* hasil pirolisis TKKS masih belum memenuhi syarat yang ditetapkan.

### Analisis Bilangan Asam

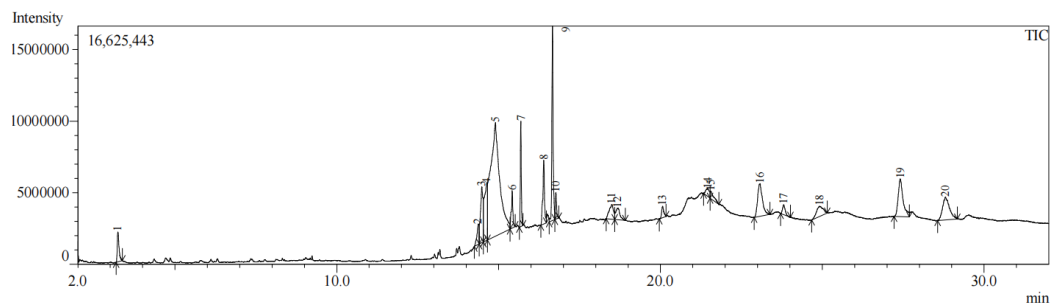
Bilangan asam atau dapat dikenal dengan angka asam berfungsi untuk berfungsi untuk mengukur asam lemak bebas yang terdapat dalam suatu lemak atau minyak (Khoirunnisa, Wardana dan Rauf, 2019; Fitri dan Fitriana, 2020). Angka asam ini dapat didefinisikan sebagai kebutuhan basa KOH untuk menetralkan asam lemak bebas di dalam 1 gr minyak. Penentuan bilangan asam pada penelitian ini menggunakan titrasi asam-basa, dimana berdasarkan analisis yang telah dilakukan didapatkan bilangan asam *bio-oil* yaitu 124,9 – 139,6 mg KOH/g. Hasil yang didapatkan lebih tinggi dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Hasil penelitian Azri Sukiran, Kheang Loh dan Abu Bakar (2016) bilangan asam pada *bio-oil* TKKS dari Malaysia menghasilkan nilai 69 – 84 mg KOH/g. Sedangkan pada penelitian Dolah, Karnik dan Hamdan (2021) bilangan asam hasil pirolisis cepat TKKS yaitu berkisar 67,75 – 110 mg KOH/g. Tingginya bilangan asam ini karena degradasi hemiselulosa pada biomassa yang menghasilkan asam karboksilat seperti asam laurat, asam palmitat dan asam asetat (Azri Sukiran, Kheang Loh dan Abu Bakar, 2016). Berdasarkan SNI7182:2015



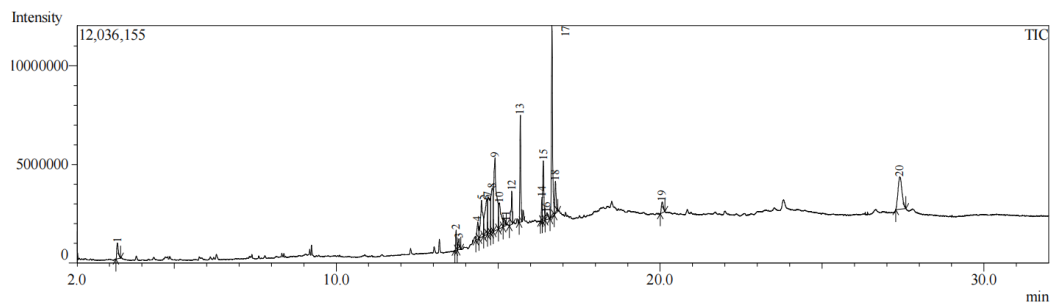
untuk mutu *bio-diesel* sebagai bahan bakar nabati angka asam yang diijinkan maksimum 0,5 mg KOH/g. Bilangan asam atau angka asam yang dihasilkan *bio-oil* masih jauh dari standar baku mutu *bio-diesel*, sehingga fokus penggunaan *bio-oil* yaitu sebagai bahan bakar hidrokarbon pada industri seperti untuk boiler, mesin pembakaran, gas turbin dan mesin diesel statis (Fardhyanti, 2020).

### Analisis Komponen Kimia Bio-Oil dengan GCMS

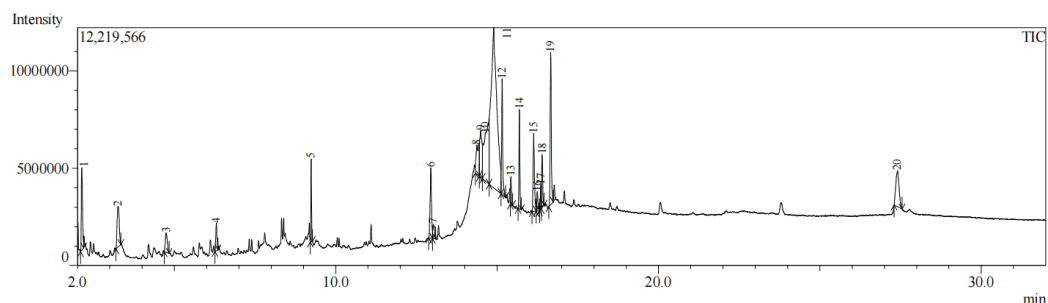
Identifikasi distribusi komponen kimia yang ada pada bio-oil TKKS dilakukan dengan analisis instrument berupa GCMS. Analisis GCMS dilakukan untuk 3 sampel bio-oil yang dihasilkan sesuai dengan variasi laju alir gas nitrogen. Spektra hasil GCMS terhadap produk bio-oil dapat dilihat pada Gambar 5.



(a)



(b)



(c)

Gambar 5. Kromatogram Hasil Analisis GCMS Produk Bio-oil TKKS  
(a) Laju alir 1 L/min, (b) Laju alir 2 L/min, (c) Laju alir 3 L/min

Puncak-puncak spektra pada kromatogram diatas menunjukkan jenis-jenis senyawa dan komponen kimia yang dikandung oleh bio-oil hasil pirolisis TKKS. Berdasarkan Gambar 5 (a) pada laju alir 1 L/min terdapat 20 komponen yang teridentifikasi terlihat dari jumlah peak yang terbentuk yaitu 20

*peak*. Begitupula pada Gambar 5(b) dan (c) terdapat 20 jenis komponen yang teridentifikasi. Hasil komponen kemudian ditabulasikan sesuai *retention time* dan komposisinya masing-masing, dapat dilihat pada Tabel 2 sampai dengan Tabel 5.

Tabel 2. Karakterisasi GCMS Produk Bio-Oil dengan Laju Alir Nitrogen 1 L/min

<i>Peak#</i>	<i>R.Time</i>	<i>Area%</i>	Komponen
1	3.237	1.94	Phenol (CAS)
2	14.370	1.58	Oxirane, tetradecyl-
3	14.481	5.22	9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester (CAS)
4	14.630	6.32	Octadecanoic acid, methyl ester (CAS)
5	14.902	37.25	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-
6	15.421	2.03	Palmitoyl chloride
7	15.685	3.58	Hexadecanoic acid, 2-hydroxy-1,3-propanediyl ester (CAS)
8	16.393	3.81	(R)-(-)-14-Methyl-8-hexadecyn-1-ol
9	16.664	8.74	Tricyclo[20.8.0.0(7,16)]triacontane, 1(22),7(16)-diepoxy-
10	16.769	1.20	Octadecanoic acid, 2-hydroxy-1,3-propanediyl ester (CAS)
11	18.496	2.25	14-.BETA.-H-PREGNA
12	18.671	1.75	16-Hentriacontanone (CAS)
13	20.066	0.87	9-Octadecyne
14	21.462	1.02	Ethyl linoleate
15	21.555	0.91	methyl (+,-)-1b,5-dihydroxy-7ab-methyl-2,3,3aa,4,7,7a-hexahydro-1H-indene-6-carboxylate
16	23.078	5.70	9-Octadecenoic acid (Z)-, 9-octadecenyl ester, (Z)-
17	23.806	0.95	16-Hentriacontanone (CAS)
18	24.915	2.46	Tricyclo[20.8.0.0(7,16)]triacontane, 1(22),7(16)-diepoxy-
19	27.407	6.76	9-Octadecenoic acid (Z)-, 9-octadecenyl ester, (Z)-
20	28.807	5.64	Tricyclo[20.8.0.0(7,16)]triacontane, 1(22),7(16)-diepoxy-

Berdasarkan Tabel 1, diketahui bahwa kandungan tertinggi yaitu 9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)- sebesar 37,25%. Senyawa ini dikenal dengan nama lain asam linoleat dan tergolong ke dalam asam lemak tak jenuh (Pubchem, 2021).

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Santoso dan Junaidi (2019) kandungan asam linoleat sebesar 43,12% pada minyak sawit. Minyak dengan kandungan asam linoleat yang tinggi dapat dijadikan bahan baku pembuatan biodiesel (Sudradjat and Setiawan, 2007). Hal ini sesuai dengan penelitian Sari dan Kembaren (2019) bahwa senyawa utama penyusun biodiesel salah satunya adalah asam linoleate.

Tabel 2. Karakterisasi GCMS Produk Bio-Oil dengan Laju Alir Nitrogen 2 L/min

Peak#	R.Time	Area%	Komponen
1	3.243	1.85	Phenol (CAS)
2	13.700	1.20	Hexadecanoic acid, ethyl ester (CAS)
3	13.790	1.20	9-Octadecenal, (Z)- (CAS)
4	14.370	1.85	(R)-(-)-14-Methyl-8-hexadecyn-1-ol
5	14.485	6.34	9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester (CAS)
6	14.645	6.57	Octadecanoic acid, methyl ester (CAS)
7	14.680	7.10	Tricyclo[20.8.0.0(7,16)]triacontane, 1(22),7(16)-diepoxy-
8	14.810	6.68	Tricyclo[20.8.0.0(7,16)]triacontane, 1(22),7(16)-diepoxy-
9	14.901	13.96	9-Octadecenoic acid (Z)-, ethyl ester (CAS)
10	15.045	4.83	Octadecanoic acid, ethyl ester
11	15.230	1.04	(R)-(-)-14-Methyl-8-hexadecyn-1-ol
12	15.421	2.96	Palmitoyl chloride
13	15.684	7.13	Hexadecanoic acid, 2-hydroxy-1,3-propanediyl ester (CAS)
14	16.350	1.38	Tricyclo[20.8.0.0(7,16)]triacontane, 1(22),7(16)-diepoxy-
15	16.393	5.22	(R)-(-)-14-Methyl-8-hexadecyn-1-ol
16	16.500	1.06	N,N'-bis(trifluoroacetyl)-N,N'-ethylene-bis(stearamide)
17	16.661	15.79	(R)-(-)-14-Methyl-8-hexadecyn-1-ol
18	16.768	3.04	Octadecanoic acid, 2-hydroxy-1,3-propanediyl ester (CAS)
19	20.066	1.50	Oleyl Alcohol
20	27.401	9.30	9-Octadecenoic acid (Z)-, 9-octadecenyl ester, (Z)-

Komponen senyawa pada laju alir gas nitrogen 2L/min berdasarkan Tabel 2 didominasi oleh heksadekana sebanyak 15,79%. Heksadekana merupakan golongan senyawa hidrokarbon alkana atau paraffin dimana senyawa paraffin, olefin dan naftena merupakan komponen utama penyusun bahan bakar minyak bumi (Yunanda, Bahri and Saputra, 2016). Sedangkan pada laju alir 3 L/min komponen utama penyusun produk ialah 2(1H)-Benzocyclooctenone, decahydro-10a-methyl-, trans- (CAS) sebanyak 36,11% dimana merupakan senyawa keton tak jenuh.

Tabel 4. Karakterisasi GCMS Produk Bio-Oil dengan Laju Alir Nitrogen 3 L/min

Peak#	R.Time	Area%	Komponen
1	2.131	3.85	2-Furanmethanol (CAS)
2	3.260	3.44	Phenol (CAS)
3	4.744	1.57	Phenol, 4-methyl- (CAS)
4	6.301	1.19	Naphthalene (CAS)
5	9.238	2.26	Hexadecane (CAS)
6	12.944	3.92	Caffeine (CAS)
7	13.023	0.84	2-Pentadecanone (CAS)
8	14.370	3.23	Oxirane, tridecyl-
9	14.488	4.10	9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester (CAS)
10	14.630	11.31	Octadecanoic acid, methyl ester (CAS)
11	14.894	36.11	2(1H)-Benzocyclooctenone, decahydro-10a-methyl-, trans- (CAS)
12	15.155	4.79	Hexadecanamide (CAS)
13	15.427	0.92	Palmitoyl chloride
14	15.690	3.33	Hexadecanoic acid, 2-hydroxy-1,3-propanediyl ester (CAS)
15	16.133	4.01	9-Octadecenamide, (Z)-
16	16.242	0.87	Hexadecanamide (CAS)
17	16.350	0.94	Tricyclo[20.8.0.0(7,16)]triacontane, 1(22),7(16)-diepoxy-
18	16.395	2.08	(R)-(-)-14-Methyl-8-hexadecyn-1-ol
19	16.661	6.67	Tricyclo[20.8.0.0(7,16)]triacontane, 1(22),7(16)-diepoxy-
20	27.405	4.58	9-Octadecenoic acid (Z)-, 9-octadecenyl ester, (Z)-

Laju alir gas Nitrogen memberikan pengaruh terhadap komponen senyawa kimia yang ada pada *bio-oil* TKKS, dimana kandungan fenol meningkat pada laju alir 3 L/min dan senyawa dengan presentase tertinggi pada setiap variasi laju alir Nitrogen juga berbeda-beda. Penelitian ini belum sesuai menurut hasil penelitian Wibowo, Efiyanti dan Pari (2017) dan *comparative review* oleh Dolah, Karnik dan Hamdan (2021) dimana komponen tertinggi penyusun *bio-oil* pada TKKS adalah senyawa fenol. Sedangkan tingginya kadar fenol pada *bio-oil* akan mempengaruhi tingginya viskositas dan angka asam yang akan menyebabkan korosi, menurunnya derajat keasaman (pH) dan menurunkan nilai kalor pada *bio-oil* (Fardhyanti dan Prasetiawan, 2018; Fardhyanti *et al.*, 2018). Maka dapat ditarik kesimpulan bahwa rendahnya kandungan fenol dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa hasil penelitian lebih baik dari pada penelitian sebelumnya.

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ekstraksi senyawa fenol dari *bio-oil* hasil pirolisis biomassa cangkang kopi dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Diantara variabel-variabel dalam penelitian didapatkan kondisi terbaik senyawa fenol terekstrak yaitu pada dengan penelitian suhu 40°C, diameter tangki 10 cm, diameter pengaduk 3,5 cm dan kecepatan putar pengaduk 250 rpm dengan hasil 8,9678% v/v pada menit ke- 25.
2. Rendemen dan koefisien distribusi terbesar yaitu sebanyak 49,32% dan 5,67.

3. Harga koefisien perpindahan massa ( $k$ ) semakin besar untuk kecepatan putar yang semakin besar karena mengakibatkan kenaikan turbulensi sehingga tahanan difusi makin kecil. Didapatkan harga koefisien perpindahan massa terbesar yaitu  $4,757 \cdot 10^{-6} \text{kg/m}^2\text{s}$ .
4. Didapatkan persamaan hubungan  $Sh$  dengan  $Re$  dan  $Sc$  untuk sistem ekstraksi senyawa fenol dengan pelarut aseton untuk proses ekstraksi dalam tangki berpengaduk yaitu:
  - a.  $S_h = 3,683 \cdot 10^{-10} \cdot Re^{1,65} \cdot S_c^{0,33}$
  - b. Untuk kisaran harga bilangan Reynold 2602-4046.

**D. STATUS LUARAN:** Tuliskan jenis, identitas dan status ketercapaian setiap luaran wajib dan luaran tambahan (jika ada) yang dijanjikan. Jenis luaran dapat berupa publikasi, perolehan kekayaan intelektual, hasil pengujian atau luaran lainnya yang telah dijanjikan pada proposal. Uraian status luaran harus didukung dengan bukti kemajuan ketercapaian luaran sesuai dengan luaran yang dijanjikan. Lengkapi isian jenis luaran yang dijanjikan serta mengunggah bukti dokumen ketercapaian luaran wajib dan luaran tambahan melalui Simlitabmas.

1. The 16<sup>th</sup> Joint Conference on Chemistry di Universitas Jenderal Sudirman Purwokerto tanggal 9 September 2021.



2. The 8<sup>th</sup> International Conference on Mathematics, Science, and Education 2021, tanggal 6 Oktober 2021 di FMIPA UNNES.



3. Material Science and Manufacturing Technology 2021 (ICMSMT 2021), tanggal 15-16 April 2021 di Cambatore, India.



#### **Luaran Tambahan:**

1. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1918 032015, Hal. 1-6 dengan judul “Polymerisation behaviour of water hyacinth-based bio-oil during heating up in the presence of oxygen-containing compounds”.
2. Material Science Forum, 2022, Vol. 1048, Hal. 445-450 dengan judul “Modelling of Liquid-Liquid Equilibria Using NRTL and UNIFAC Equations in the Extraction of Bio-Oil-Based Phenolics Produced from the Pyrolysis of Sugarcane Bagasse”.
3. Buku Ajar dengan judul “Korosi dan Bahan Konstruksi”.

**E. PERAN MITRA:** Tuliskan realisasi kerjasama dan kontribusi Mitra baik *in-kind* maupun *in-cash* (untuk Penelitian Terapan, Penelitian Pengembangan, PTUPT, PPUPT serta KRUP). Bukti pendukung realisasi kerjasama dan realisasi kontribusi mitra dilaporkan sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Bukti dokumen realisasi kerjasama dengan Mitra diunggah melalui Simlitabmas.

Penelitian ini tidak melibatkan mitra baik di tingkat industri maupun mitra lainnya.

**F. KENDALA PELAKSANAAN PENELITIAN:** Tuliskan kesulitan atau hambatan yang dihadapi selama melakukan penelitian dan mencapai luaran yang dijanjikan, termasuk penjelasan jika pelaksanaan penelitian dan luaran penelitian tidak sesuai dengan yang direncanakan atau dijanjikan.

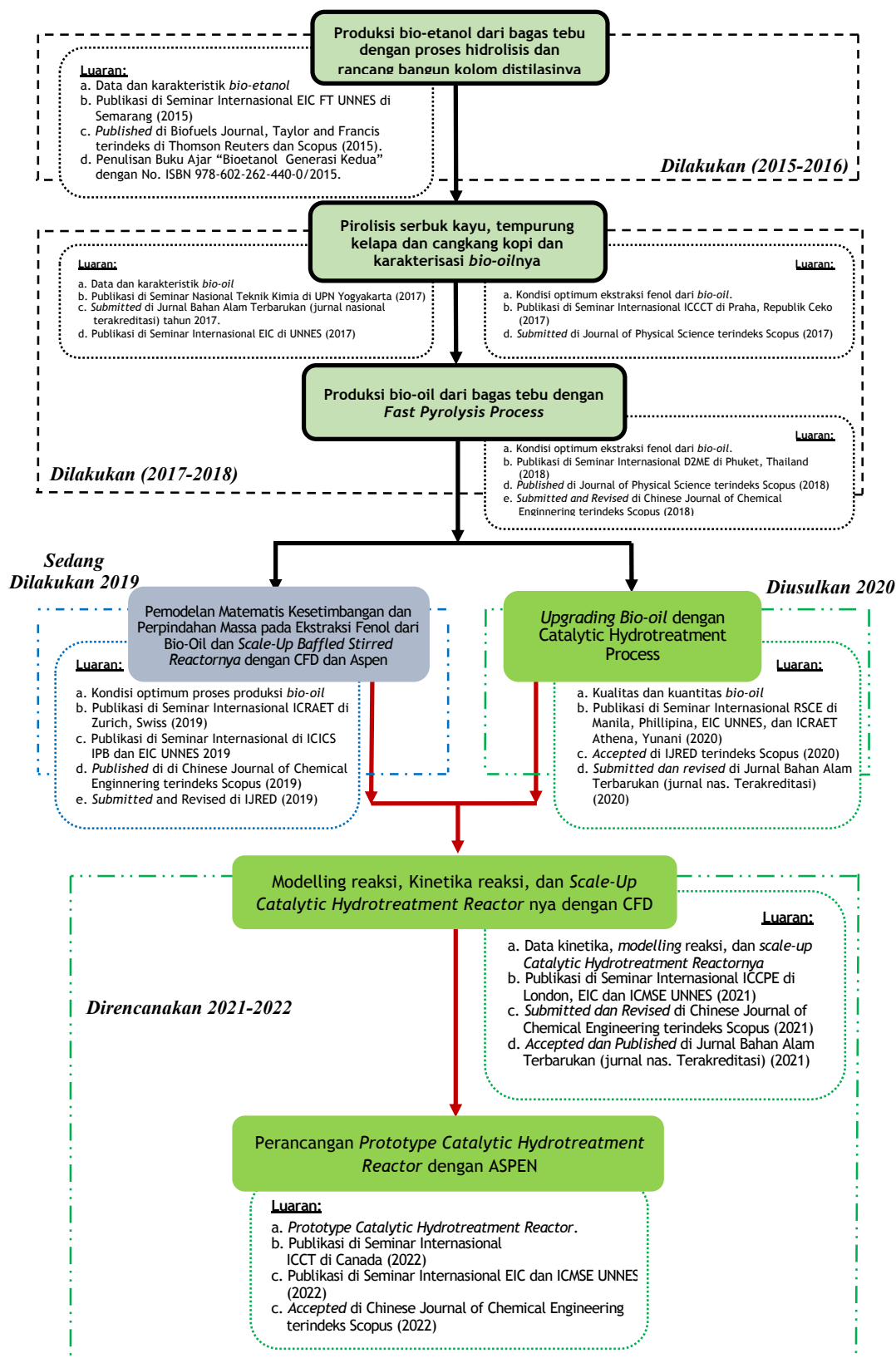
Kendala dalam penelitian pada dasarnya tidak banyak, hanya dalam pemakaian alat pirolisis yang terkadang mengalami sedikit kerusakan karena gangguan listrik dan human error. Untuk luaran penelitian wajib tidak ada kendala dan sudah bisa terpenuhi dengan baik. Luaran wajib berupa publikasi pada jurnal internasional bereputasi belum bisa published di tahun ini karena masih ada beberapa revisi dari reviewer. Buku Monograf sedang proses cetak.

**G. RENCANA TAHAPAN SELANJUTNYA:** Tuliskan dan uraikan rencana penelitian di tahun berikutnya berdasarkan indikator luaran yang telah dicapai, rencana realisasi luaran wajib yang dijanjikan dan tambahan (jika ada) di tahun berikutnya serta *roadmap* penelitian keseluruhan. Pada bagian ini diperbolehkan untuk melengkapi penjelasan dari setiap tahapan dalam metoda yang akan direncanakan termasuk jadwal berkaitan dengan strategi untuk mencapai luaran seperti yang telah dijanjikan dalam proposal. Jika diperlukan, penjelasan dapat juga dilengkapi dengan gambar, tabel, diagram, serta pustaka yang relevan. Jika laporan kemajuan merupakan laporan pelaksanaan tahun terakhir, pada bagian ini dapat dituliskan rencana penyelesaian target yang belum tercapai.

Sangat dimungkinkan untuk dilakukan proses ekstraksi terhadap senyawa fenol dari *bio-oil* hasil pirolisis biomassa sehingga didapatkan komponen utamanya yaitu senyawa fenol. Penelitian ini mempelajari proses ekstraksi senyawa tersebut dengan menggunakan berbagai macam pelarut.

Dari para peneliti sebelumnya menunjukkan bahwa dimungkinkan untuk dilakukan proses *upgrading bio-oil* hasil pirolisis biomassa sehingga didapatkan *bio-oil* yang dapat digunakan sebagai *bio-fuel* dan *chemicals*. Penelitian ini mempelajari *catalytic hydrotreatment process* terhadap *bio-oil*, pemodelan reaksi katalitiknya dan *scale-up* serta perancangan *prototype reactor* sebagai alat *upgrading* skala komersial yang akan dilakukan dalam bentuk eksperimen dan pemodelan matematis menggunakan CFD dan Aspen.

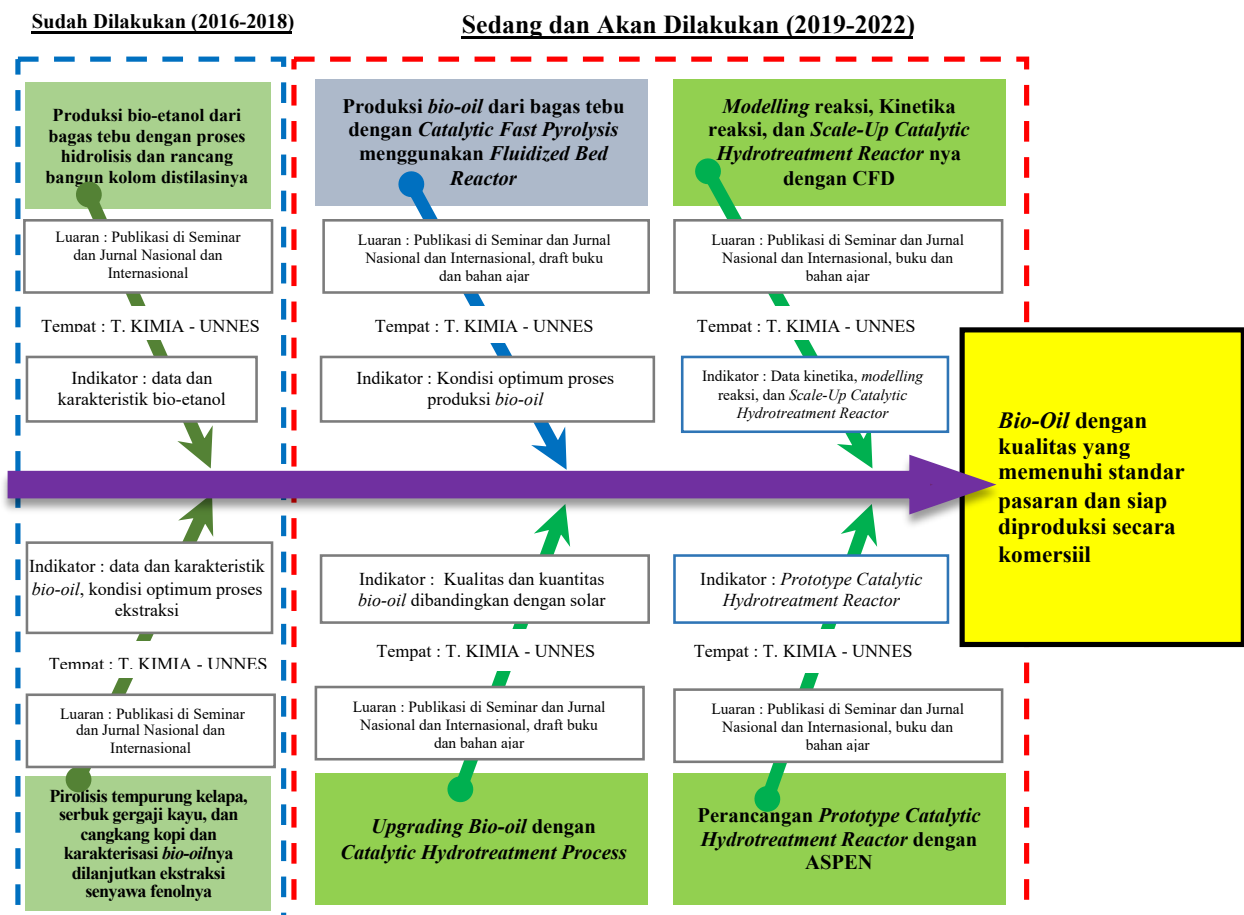
Penelitian ini dilakukan mengingat terbatasnya data tentang proses *upgrading bio-oil* menggunakan *hydrotreatment process* dengan katalis berbasis bahan alam.



Gambar 6. Peta Jalan (Road Map) Penelitian



Penelitian ini akan mempelajari *catalytic hydrotreatment process* terhadap *bio-oil*, pemodelan reaksi katalitiknya dan *scale-up* serta perancangan *prototype reactor* sebagai alat *upgrading* skala komersial yang akan dilakukan dalam bentuk eksperimen dan pemodelan matematis menggunakan CFD dan Aspen. Berdasarkan data eksperimen, kemudian dicari koefisien dan persamaan yang ada pada model yang dikembangkan, sehingga diperoleh variabel optimum proses yang diperlukan dalam *scale up* dan perancangan *prototype catalytic hydrotreatment reactor* untuk skala lebih besar yang mengarah komersial. Lingkup dan target luaran dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 7 di bawah ini.



Gambar 7. Diagram Alir Penelitian yang Sudah Dilakukan dan Usulan Penelitian Ini.

Penelitian ini dilakukan dalam bentuk eksperimen, pemodelan, *scale-up* dan perancangan serta *prototype catalytic hydrotreatment reactor*. Percobaan di laboratorium akan dilaksanakan untuk mendapatkan data dan konstanta-konstanta penelitian serta modelling.

**H. DAFTAR PUSTAKA:** Penyusunan Daftar Pustaka berdasarkan sistem nomor sesuai dengan urutan pengutipan. Hanya pustaka yang disitasi pada laporan kemajuan yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

- Abdullah, N., Sulaiman, F. and Gerhauser, H. (2011) 'Characterisation of oil palm empty fruit bunches for fuel application', *Journal of Physical Science*, 22(1), pp. 1–24.
- Adilla Meliagustin, Saiful Bahri, A. A. J. (2015) 'Konversi Termal Kayu Akasia (*Acacia Mangium*) menjadi Bio-oil dengan Teknologi Pirolisis Menggunakan Katalis Mo/NZA', 3(7), pp. 59–78.
- Alamsyah, R., Siregar, N. C. and Hasanah, F. (2016) 'Improvement of Caloric Value of Cocopeat Biomass Pellet as Renewable Energy Fuel by Torrefaction Application', 33(1), pp. 17–23.
- Ali, N. *et al.* (2016) 'Effect of operating parameters on production of bio-oil from fast pyrolysis of maize stalk in bubbling fluidized bed reactor', *Polish Journal of Chemical Technology*, 18(3), pp. 88–96. doi: 10.1515/pjct-2016-0053.
- Amin, R. R. *et al.* (2020) 'Studi Potensi Limbah Tembakau Menjadi Bio-Oil Menggunakan Metode Fast-Pyrolysis Sebagai Energi Terbarukan', *Jurnal Kimia Riset*, 5(2), p. 151. doi: 10.20473/jkr.v5i2.22513.
- Azri Sukiran, M., Kheang Loh, S. and Abu Bakar, N. (2016) 'Production of Bio-oil from Fast Pyrolysis of Oil Palm Biomass using Fluidised Bed Reactor Torrefaction of Oil Palm Biomass for solid fuel production View project Biochar and Labile Carbon Degradation View project Malaysian Palm Oil Board Production of Bio', (October), pp. 52–62. Available at: [www.iiste.org](http://www.iiste.org).
- Chaiwong, K. *et al.* (2013) 'Study of bio-oil and bio-char production from algae by slow pyrolysis', *Biomass and Bioenergy*, 56, pp. 600–606. doi: 10.1016/j.biombioe.2013.05.035.
- Chan, Y. H. *et al.* (2016) 'Comparative life cycle assessment (LCA) of bio-oil production from fast pyrolysis and hydrothermal liquefaction of oil palm empty fruit bunch (EFB)', *Clean Technologies and Environmental Policy*, 18(6), pp. 1759–1768. doi: 10.1007/s10098-016-1172-5.
- Dewanti, D. P. (2018) 'Potensi Selulosa dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Bahan Baku Bioplastik Ramah Lingkungan', *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(1), p. 81. doi: 10.29122/jtl.v19i1.2644.
- Dolah, R., Karnik, R. and Hamdan, H. (2021) 'A comprehensive review on biofuels from oil palm empty bunch (Efb): Current status, potential, barriers and way forward', *Sustainability (Switzerland)*, 13(18). doi: 10.3390/su131810210.
- Fardhyanti, D. S. *et al.* (2018) 'Pemungutan Senyawa Fenol dari Bio-oil Hasil Pirolisis Tempurung Kelapa dengan Metode Ekstraksi Cair-Cair', (September), pp. 1–8.
- Fardhyanti, D. S. (2020) *Monograf Bio-oil Berbasis Biomassa*.
- Fardhyanti, D. S., Damayanti, A. and Larasati, A. (2017) 'Karakterisasi Bio-Oil dari Hasil Pirolisis terhadap Biomasa', *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia 'Kejuangan'*, (April), pp. 1–7.
- Fardhyanti, D. S. and Prasetiawan, H. (2018) 'Peningkatan Yield Fenol dari Bio-oil Hasil Pirolisis Bagasse Tebu Melalui Proses Ekstraksi pada Suhu dan Kecepatan Pengadukan', (September), pp. 9–17.
- Febrianti, N., Filiana, F. and Hasanah, P. (2020) 'Potential of Renewable Energy Resources from Biomass Derived by Natural Resources in Balikpapan', *Jurnal Presipitasi*, 17(1), pp. 316–323.
- Febriyanti, F. *et al.* (2019) 'Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Menjadi Bio-Char, Bio-Oil Dan Gas Dengan Metode Pirolisis', *Jurnal Chemurgy*, 3(2), p. 12. doi: 10.30872/cmng.v3i2.3578.
- Ferdianto, A., Munfaridi, F. and Hidayat, A. (2020) 'Pengaruh Temperatur Proses Pirolisis Tandan Kosong Kelapa Sawit (Tkks) Terhadap Karakteristik Bio - Oil', *Khazanah: Jurnal Mahasiswa*, 8(1), p. 12. Available at: <https://journal.uin.ac.id/khazanah/article/view/16641>.
- Fitri, A. S. and Fitriana, Y. A. N. (2020) 'Analisis Angka Asam pada Minyak Goreng dan Minyak Zaitun', *Sainteks*, 16(2), pp. 115–119. doi: 10.30595/st.v16i2.7128.
- Hafiluddin (2012) 'ANALISA KANDUNGAN GIZI DAN SENYAWA BIOAKTIF KEONG

- BAKAU (*Telescopium telescopium*) DI SEKITAR PERAIRAN BANGKALAN', *Jurnal Rekayasa*, 5(2), pp. 37–39.
- Hassan, M. A. *et al.* (2019) 'Oil Palm Biomass Biorefinery for Sustainable Production of Renewable Materials', *Biotechnology Journal*, 14(6), pp. 1–8. doi: 10.1002/biot.201800394.
- Hermiati, E. *et al.* (2017) 'Pemanfaatan biomassa lignoselulosa ampas tebu untuk produksi bioetanol', *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, 29(4), pp. 121–130. doi: 10.21082/jp3.v29n4.2010.p121-130.
- Hidayat, W. *et al.* (2020) 'Peningkatan Kualitas Pelet Tandan Kosong Kelapa Sawit melalui Torefaksi Menggunakan Reaktor Counter-Flow Multi Baffle (COMB)', *Jurnal Rekayasa Proses*, 14(2), p. 182. doi: 10.22146/jrekpros.59172.
- Himawanto, D. A. *et al.* (2011) 'Karakteristik Dan Pendekatan Kinetika Global Pada Pirolisis Lambat Sampah Kota Terseleksi', *Reaktor*, 13(3), p. 140. doi: 10.14710/reaktor.13.3.140-147.
- Kabir, G., Mohd Din, A. T. and Hameed, B. H. (2017) 'Pyrolysis of oil palm mesocarp fiber and palm frond in a slow-heating fixed-bed reactor: A comparative study', *Bioresource Technology*, 241, pp. 563–572. doi: 10.1016/j.biortech.2017.05.180.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, R. (2019) 'Standar dan Mutu BBN Jenis Biodiesel sebagai Bahan Bakar Lain yang Dipasarkan di Dalam Negeri'.
- Khoirunnisa, Z., Wardana, A. S. and Rauf, R. (2019) 'Angka Asam dan Peroksida Minyak Jelantah dari Penggorengan Lele Secara Ber[1]. Panagan dkk. (2011). Analisis Kualitatif dan Kuantitatif Asam Lemak Tak Jenuh Omega-3 dari Minyak Ikan Patin (*Pangasius pangasius*) dengan Metoda Kromatografi Gas. Jurnal Peneli', *Jurnal Kesehatan*, 12(2), pp. 81–90.
- Kulyk, N. (2012) 'Cost-Benefit Analysis of the Biochar Application in the U . S . Cereal Crop Cultivation Cost-Benefit Analysis of the Biochar Application in the U . S . Cereal Crop Cultivation Capstone Project Nataliya Kulyk', *ScholarWorks@UMass Amherst*, p. 12.
- Kumar, P. *et al.* (2018) 'Electro-fermentation in aid of bioenergy and biopolymers', *Energies*, 11(2). doi: 10.3390/en11020343.
- Lya Agustina, Udiantoro, A. H. (2016) 'Karakteristik serat tandan kosong kelapa sawit (tkks) dengan perlakuan perebusan dan pengukusan', *Karakteristik Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Perlakuan Perebusan Dan Pengukusan*, 41, pp. 97–102.
- Mahidin, M. *et al.* (2014) 'Karakteristik Pembakaran Beberapa Jenis Biomassa dalam Fluidized Bed Boiler', *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 10(1). doi: 10.23955/rkl.v10i1.2167.
- Maulida, R. (2015) *PEMBUATAN BIODIESEL MINYAK BIJI PEPAYA ( Carica papaya L .) MELALUI PROSES TRANSESTERIFIKASI MENGGUNAKAN KATALIS KULIT TELUR*.
- Mohamed, A. R. *et al.* (2013) 'The effects of holding time and the sweeping nitrogen gas flowrates on the pyrolysis of EFB using a fixed bed reactor', *Procedia Engineering*, 53, pp. 185–191. doi: 10.1016/j.proeng.2013.02.024.
- Mohamed, A. R. *et al.* (2020) 'Thermal pyrolysis of empty fruit bunch (EFB) in a vertical fixed-bed reactor', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 932(1). doi: 10.1088/1757-899X/932/1/012007.
- Mohammed, I. Y. *et al.* (2015) 'Pyrolysis of Napier Grass in a Fixed Bed Reactor: Effect of Operating Conditions on Product Yields and Characteristics', *BioResources*, 10(4), pp. 6457–6478. doi: 10.15376/biores.10.4.6457-6478.
- Mohtar, S. S. *et al.* (2017) 'An ionic liquid treatment and fractionation of cellulose, hemicellulose and lignin from oil palm empty fruit bunch', *Carbohydrate Polymers*, 166, pp. 291–299. doi: 10.1016/j.carbpol.2017.02.102.
- Montoya, J. I., Chejne-Janna, F. and Garcia-Pérez, M. (2015) 'Pirólisis rápida de biomásas: Una revisión de los aspectos relevantes. Parte I: Estudio paramétrico', *DYNA (Colombia)*, 82(192), pp.

239–248. doi: 10.15446/dyna.v82n192.44701.

Noronha, V. *et al.* (2018) ‘Once-a-week versus once-every-3-weeks cisplatin chemoradiation for locally advanced head and neck cancer: a phase III randomized noninferiority trial’, *Journal of Clinical Oncology*, 36(11), pp. 1064–1072. doi: 10.1200/JCO.2017.74.9457.

Nur, S. M. (2014) ‘Kelapa Sawit sebagai Bahan Baku Bioenergi’.

Perea-Moreno, M. A., Samerón-Manzano, E. and Perea-Moreno, A. J. (2019) ‘Biomass as renewable energy: Worldwide research trends’, *Sustainability (Switzerland)*, 11(3). doi: 10.3390/su11030863.

Powar, R. V. and Gangil, S. (2013) ‘Study of effect of temperature on yield of bio-oil, bio-char and NCG from soybean stalk in continuous feed bio-oil reactor’, *International Journal of Renewable Energy Research*, 3(3), pp. 519–522. doi: 10.20508/ijrer.00449.

Prasetia, H., Annisa, N. and Santosa, L. F. (2018) ‘Biomass Conversion For Renewable Alternative Energy’, *Environmental Science and Engineering INTERNATIONAL JOURNAL*, 1(1), pp. 6–9.

Ridhuan, K., Irawan, D. and Inthifawzi, R. (2019) ‘Proses Pembakaran Pirolysis dengan Jenis Biomassa dan Karakteristik Asap Cair yang Dihasilkan’, *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 8(1), pp. 69–78. doi: 10.24127/trb.v8i1.924.

Ruengvilairat, P., Tanatavikorn, H. and Vitidsant, T. (2012) ‘Bio-Oil Production by Pyrolysis of Oil Palm Empty Fruit Bunch in Nitrogen and Steam Atmospheres’, *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*, 02(04), pp. 75–85. doi: 10.4236/jsbs.2012.24011.

Salmina, S. (2017) ‘Studi Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Oleh Masyarakat Di Jorong Koto Sawah Nagari Ujung Gading Kecamatan Lembah Melintang’, *Jurnal Spasial*, 3(2). doi: 10.22202/js.v3i2.1604.

Santoso, U. T. and Junaidi, A. B. (2019) ‘PIROLISIS MINYAK SAWIT DALAM RANGKA PEMBUATAN CETANE IMPROVER Pyrolysis of Palm Oil in Order to Produce Cetane Improver’, *Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah*, 4(April), pp. 311–316.

Saparudin, S., Syahrul, S. and Nurchayati, N. (2015) ‘Pengaruh Variasi Temperatur Pirolysis Terhadap Kadar Hasil Dan Nilai Kalor Briket Campuran Sekam Padi-Kotoran Ayam’, *Dinamika Teknik Mesin*, 5(1), pp. 16–24. doi: 10.29303/d.v5i1.46.

Sari, R. M. and Kembaren, A. (2019) ‘Pemanfaatan Karbon Aktif Ampas dalam Mereduksi Asam Lemak Bebas (Free Fatty Acid) pada Minyak Goreng Bekas sebagai Biodiesel’, *Talenta Conference Series: Science and Technology (ST)*, 2(1), pp. 124–128. doi: 10.32734/st.v2i1.329.

Streitwieser, D. A. *et al.* (2021) ‘Fast Pyrolysis as a Valorization Mechanism for Banana Rachis and Low-Density Polyethylene Waste’, *Chemical Engineering & Technology*, pp. 1–13. doi: 10.1002/ceat.202100232.

Sudradjat, R. and Setiawan, D. (2007) ‘Pembuatan Biodiesel dari Biji Nyamplung (The Manufacture of Biodiesel from Nyamplung Seed)’, *Jurnal penelitian hasil hutan*, pp. 41–56.

Sukiran, M. A. *et al.* (2014) ‘Pyrolysis of empty fruit bunches: Influence of temperature on the yields and composition of gaseous product’, *American Journal of Applied Sciences*, 11(4), pp. 606–610. doi: 10.3844/ajassp.2014.606.610.

Sukiran, M. A., Loh, S. K. and Bakar, N. A. (2018) ‘Conversion of pre-treated oil palm empty fruit bunches into bio-oil and bio-char via fast pyrolysis’, *Journal of Oil Palm Research*, 30(1), pp. 121–129. doi: 10.21894/jopr.2017.0006.

Tran, Q. K. *et al.* (2021) ‘Fast pyrolysis of pitch pine biomass in a bubbling fluidized-bed reactor for bio-oil production’, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 98, pp. 168–179. doi: 10.1016/j.jiec.2021.04.005.

Utami, L., Lazulva, L. and Yenti, E. (2018) ‘Produksi Energi Listrik dari Limbah Kulit Pepaya (Carica papaya) Menggunakan Teknologi Microbial Fuel Cells’, *Al-Kimia*, 6(1), pp. 56–62. doi:

10.24252/AL-KIMIA.V6I1.4681.

Varma, A. K. *et al.* (2019) 'Pyrolysis of wood sawdust: Effects of process parameters on products yield and characterization of products', *Waste Management*, 89(April), pp. 224–235. doi: 10.1016/j.wasman.2019.04.016.

Weerachanchai, P. (2016) 'Fuel Properties and Chemical Compositions of Bio-oils from Biomass Pyrolysis', (August). doi: 10.4271/2007-01-2024.

Wibowo, S. (2013a) 'Characteristics of Bio-oil from Sengon ( *Paraserianthes falcataria* L. Nielsen) Sawdust by Slow Pyrolysis Process', *Penelitian Hasil Hutan*, 31(4), pp. 258–270.

Wibowo, S. (2013b) 'Karakteristik Bio-Oil Serbuk Gergaji Sengon ( *Paraserianthes Falcataria* L . Nielsen ) Menggunakan Proses Pirolisis Lambat ( Characteristics Of Bio-Oil From Sengon ( *Paraserianthes Falcataria* L . Nielsen ) Sawdust By Slow Pyrolysis Process )', *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 31(4), pp. 258–270.

Wibowo, S., Efiyanti, L. and Pari, G. (2017) 'Characterization of Palm Fruit Empty Bunches Bio-Oil with the Addition of Ni / NZA Catalyst Using Free Fall Pyrolysis Method', *Journal of Forest Products Research*, 35(2), pp. 83–100.

Wibowo, S. and Hendra, D. (2015) 'KARAKTERISTIK BIO-OIL DARI RUMPUT GELAGAH (*Saccharum spontaneum* Linn.) MENGGUNAKAN PROSES PIROLISIS CEPAT', *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 33(4), pp. 347–363. doi: 10.20886/jphh.v33i4.935.347-363.

Xu, Y. *et al.* (2016) 'Preparation and Characterization of Bio-Oil from Biomass', *Intech*, i(tourism), p. 13.

Yorgun, S. and Yildiz, D. (2015) 'Slow pyrolysis of paulownia wood: Effects of pyrolysis parameters on product yields and bio-oil characterization', *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 114(May), pp. 68–78. doi: 10.1016/j.jaap.2015.05.003.

Yunanda, I. Y., Bahri, S. and Saputra, E. (2016) 'BIO-OIL MENGGUNAKAN KATALIS Mo / LEMPUNG CENGAR', pp. 1–8.

Zulkania, A. (2016) 'Pengaruh temperatur dan ukuran partikel biomassa terhadap', *Teknoin*, 22(5), pp. 328–336.



