

IMPROVING BIO-OIL QUALITY VIA CO-PYROLYSIS EMPTY FRUIT BUNCHES AND POLYPROPYLENE PLASTIC WASTE

Sunarno^{1)*}, Alfi Randi¹⁾, Panca Setia Utama¹⁾, Silvia Reni Yenti¹⁾, Wisrayetti¹⁾,
Doni Rahmat Wicakso²⁾

¹⁾Department of Chemical Engineering, Riau University

Jl. HR. Soebrantas Km 12,5 Pekanbaru, 28293, Indonesia

²⁾Chemical Engineering Study Program, Lambung Mangkurat University

Jl. A. Yani Km. 36 Banjarbaru, 70714, Indonesia

* E-mail corresponding author: sunarno@lecturer.unri.ac.id

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article history: Received: 18-08-2021 Received in revised form: 10-09-2021 Accepted: 22-09-2021 Published: 01-10-2021	The current consumption of fuel oil, especially gasoline and diesel oil, is increasing. Along with the decline in production, national oil production activities encourage efforts to find alternative fuels as a substitute for oil-based energy supplies. Bio-oil is an environmentally friendly alternative fuel for diesel that can be used as fuel. In this study, the raw materials were palm oil empty fruit bunches and polypropylene plastic waste. The purpose of this study was to determine the effect of the ratio of raw material for palm oil empty fruit bunches and polypropylene on the bio-oil yield, the effect of co-pyrolysis temperature on the yield of bio-oil and determine the characteristics of the resulting bio-oil. This study used the variable ratio of oil palm empty fruit bunches and polypropylene (100:0, 80:20, 70:30 and 60:40) and co-pyrolysis temperature (400, 450, 500 and 550 °C). The results showed that the highest yield of bio-oil was obtained, namely 41.6% with a ratio of EFB: PP (80:20) at temperature of 450 °C. The characterization of the product obtained was density of 0.891 g/ml, viscosity of 4.18 cSt, pH of 3.38 and calorific value of 43.2 MJ/kg.
Keywords: Bio-oil Co-pyrolysis Plastic waste Calorific value	

PENINGKATAN KUALITAS BIO-OIL MELALUI CO-PYROLYSIS TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DAN LIMBAH PLASTIK POLIPROPILEN

Abstrak-Konsumsi bahan bakar minyak saat ini terutama *gasoline* dan *diesel oil* semakin meningkat. Seiring dengan penurunan produksi kegiatan produksi minyak bumi nasional mendorong upaya pencarian bahan bakar alternatif sebagai bahan pengganti suplai energi berbasis minyak bumi. *Bio-oil* merupakan salah satu bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar untuk *diesel* yang ramah lingkungan yang dapat digunakan sebagai bahan bakar. Pada penelitian ini menggunakan bahan baku tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan limbah plastik polipropilen (PP). Tujuan penelitian ini adalah menentukan pengaruh rasio bahan baku tandan kosong kelapa sawit dan polipropilen terhadap *yield bio-oil*, pengaruh suhu *co-pyrolysis* terhadap *yield bio-oil* dan menentukan karakteristik *bio-oil* yang dihasilkan. Penelitian ini menggunakan variabel rasio TKKS dan PP (100:0, 80:20, 70:30 dan 60:40) dan suhu *co-pyrolysis* (400, 450, 500 dan 550 °C). Hasil penelitian menunjukkan bahwa *yield bio-oil* tertinggi diperoleh yaitu 41,6 % dengan rasio TKKS: PP (80:20) pada suhu 450 °C. Karakterisasi dari produk yang diperoleh berupa densitas 0,891 g/ml, viskositas 4,18 cSt, pH 3,38 dan nilai kalor 43,2 MJ/kg.

Kata Kunci : *bio-oil*, *co-pyrolysis*, limbah plastik, nilai kalori

PENDAHULUAN

Peningkatan konsumsi bahan bakar minyak (BBM) saat ini baik bensin (*gasoline*), minyak tanah (*kerosene*), maupun minyak solar (*diesel oil*) semakin meningkat. Seiring dengan penurunan produksi kegiatan eksplorasi minyak bumi nasional mendorong upaya pencarian bahan bakar alternatif sebagai bahan pengganti suplai energi berbasis minyak bumi. Sebagian besar sumber energi yang digunakan di dunia saat ini berasal dari sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui yaitu berupa bahan bakar fosil berupa minyak dan gas bumi. Minyak bumi umumnya digunakan sebagai bahan bakar pada sektor pembangkit listrik dan sektor transportasi. Produksi *bio-oil* merupakan suatu proses yang menjanjikan untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil (Carrasco *et al*, 2017).

Dengan mempertimbangkan teknologi existing dan berbagai macam karakteristik bahan bakar, bahan bakar minyak merupakan bahan bakar utama untuk kendaraan. Menurut *Association for the study of Peak Oil and Gas* (ASPO) diperkirakan akan terjadi di abad ke dua puluh satu ini. Sebagai gambaran, produksi minyak bumi Indonesia saat ini sekitar satu juta barel per hari, tetapi kebutuhannya mencapai 1,3 juta barel, sehingga kekurangan 300.000 barel harus dipenuhi dari impor.

Pirolisis biomassa telah muncul sebagai alternatif baru karena kapasitasnya mengubah biomassa menjadi *bio-oil* yang bernilai. Bagaimanapun, pengaplikasian *bio-oil* sebagai bahan bakar langsung dibatasi karena memiliki kandungan air dan oksigenat yang tinggi seperti asam, gula, aldehyd, fenol dan keton. Komponen yang dapat merusak karakteristik bahan bakar karena dapat menurunkan nilai kalor *bio-oil*, tidak stabil dan bersifat korosif (Ahmed *et al*, 2018).

Provinsi Riau menghasilkan limbah padat sawit dari perkebunan kelapa sawit dengan total luas perkebunan sebesar 2.493.176 Ha dengan produksi kelapa sawit sebesar 8.721.148 ton pada tahun 2017 (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2017). Limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dapat dikonversi untuk menghasilkan produk berfasa cair dalam bentuk *bio-oil* sebagai energi biomassa pengganti bahan bakar diesel dengan bahan tambahannya yaitu limbah plastik jenis polipropilen (PP).

Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan Kota Pekanbaru (2017) mengatakan sampah plastik di ibu kota provinsi Riau rata-rata memproduksi sampah plastik sebanyak 1.260 ton dalam sebulan yang sangat sulit untuk diuraikan. Sampah plastik merupakan masalah tersendiri yang dihadapi dalam penanganan persampahan. Hal ini dikarenakan sampah plastik tersusun atas polimer hidrokarbon

dengan ikatan rantai yang tidak mudah diurai oleh alam. Penguraian sampah plastik di alam memerlukan waktu yang sangat lama tergantung pada keadaan lingkungan maupun struktur kimia polimer limbah plastik, sehingga perlu adanya alternatif proses daur ulang yang lebih menjanjikan dan berprospek ke depan.

Teknologi proses yang digunakan pada penelitian ini untuk meningkatkan kualitas *bio-oil* yaitu metode *co-pyrolysis*. Salah satu parameter yang mempengaruhi jumlah konversi dengan pirolisis tersebut adalah karakteristik dari umpan seperti kandungan selulosanya. Dengan pertimbangan demikian, tandan kosong kelapa sawit (TKKS) mempunyai potensi yang besar pula untuk menghasilkan produk dalam jumlah yang tinggi. Dalam aplikasinya, konversi TKKS ini masih belum mencapai yield maksimum yang diharapkan.

Kualitas *bio-oil* yang dihasilkan dari proses pirolisis lebih rendah dari pada bahan bakar fosil, terutama yang berkaitan dengan efisiensi pembakaran. Rendahnya kualitas *bio-oil* yang disebabkan oleh tingginya kandungan senyawa oksigenat dalam *bio-oil*. *Bio-oil* hasil pirolisis biomassa pada umumnya mengandung kandungan oksigen sekitar 35 – 60%wt. Senyawa oksigen di dalam *bio-oil* terdapat lebih dari 200 senyawa yang berbeda dan sebagian besar dalam bentuk senyawa air (Abnisa dan Wan, 2014). Tingginya tingkat oksigen dalam *bio-oil* menyebabkan nilai kalor yang rendah, masalah korosi dan ketidakstabilan pembakaran (Li *et al*, 2013). Maka pada penelitian ini akan dilakukan proses *co-pyrolysis* dari limbah tandan kosong kelapa sawit dan limbah plastik polipropilen.

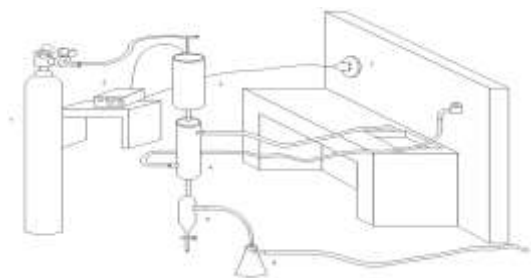
METODOLOGI

Bahan

Bahan yang digunakan yaitu limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang di *treatment*, limbah plastik polipropilen (PP), NaOH 0,1 M dan akuades.

Alat

Alat yang digunakan yaitu oven, timbangan analitik, kondensor, reaktor pirolisis, kontrol suhu, statif dan klem, tabung dan regulator gas N₂, *thermocouple*, gelas kimia 1000 ml, gelas ukur 10 ml, erlenmeyer 250 ml, gelas ukur, labu didih dasar bulat, gunting, pipet tetes, pH meter dan botol sampel *bio-oil*. Berikut merupakan rangkaian alat *co-pyrolysis*.



1. Gas nitrogen
2. PID controller
3. Raktor *co-pyrolysis*
4. Kondensor
5. Separator I
6. Separator II
7. Sumber listrik

Gambar 1. Rangkaian Alat *Co-pyrolysis*

Preparasi bahan baku

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang diambil dari PTPN V PKS Sei. Galuh Kab. Kampar. Sebelum diproses TKKS dipotong dengan ukuran tertentu dan direndam dengan larutan NaOH 0,1 M selama 48 jam. Selanjutnya TKKS dicuci dengan akuades dan dikeringkan dalam oven pada suhu 110 °C sampai beratnya konstan. Kemudian limbah plastik polipropilen (PP) dikumpulkan dan dibersihkan kemudian dipotong dengan ukuran tertentu setelah itu dikeringkan di bawah sinar matahari.

Proses *co-pyrolysis*

TKKS yang telah dikeringkan dicampur dengan limbah plastik PP yang dipotong-potong dengan rasio berat TKKS dan limbah PP (100:0, 80:20, 70:30 dan 60:40). Bahan baku yang telah dicampur dimasukkan dalam reaktor *co-pyrolysis* dan dipanaskan pada suhu 400 °C dengan dialiri gas nitrogen sampai waktu 45 menit. Ini juga dilakukan untuk variasi suhu 450 °C, 500 °C dan 550 °C. Cairan *bio-oil* ditampung dan ditimbang untuk diukur *yield* serta dianalisa karakteristiknya dengan GC-MS dan nilai kalor menggunakan *bomb calorimetry*.

Hasil analisa

Hasil produk yang diperoleh akan dilakukan analisa kimia dan analisa fisika. Analisa kimia menggunakan GC-MS (*Gas Chromatography Mass Spectrometry*) dan analisa fisika meliputi uji densitas, uji viskositas, uji pH dan uji nilai kalor.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pretreatment Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

TKKS pada penelitian ini dilakukan proses *pretreatment* sebelum digunakan sebagai umpan

proses *co-pyrolysis*. Proses *pretreatment* TKKS pada penelitian ini meliputi dua proses yaitu proses pengecilan ukuran dan proses delignifikasi. Pengecilan ukuran TKKS ini akan meningkatkan kontak antara campuran bahan baku dengan dinding reaktor yang akan meningkatkan laju perpindahan panas selama proses *co-pyrolysis* (Zhang *et al*, 2018).

TKKS dilakukan *pretreatment* dengan menggunakan larutan NaOH sebagai media delignifikasi. Analisis kandungan senyawa makromolekul dari TKKS sebelum dan sesudah proses delignifikasi dapat dilihat pada Tabel 1.

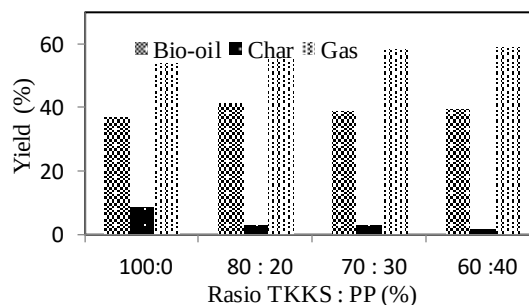
Tabel 1. Komposisi kandungan lignoselulosa TKKS sebelum dan sesudah delignifikasi

Komposisi	Kadar (%)	
	Sebelum	Sesudah
<i>Hot Water Soluble</i>	25	13
Selulosa	38	48
Hemiselulosa	24	31
Lignin	13	8
Abu	n/a	n/a

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa setelah dilakukan proses delignifikasi terjadi perubahan kadar kandungan senyawa lignoselulosa dari TKKS. Setelah dilakukan proses delignifikasi terjadi penurunan kandungan *hot water soluble* dan lignin masing-masing sebesar 12% dan 5%, sedangkan kandungan selulosa dan hemiselulosa terjadi peningkatan masing-masing sebesar 10% dan 7%.

Pengaruh TKKS/PP terhadap *Yield* Produk

Pada *co-pyrolysis* TKKS dan PP dihasil produk cair (*bio-oil*), padat (*char*) dan gas. Untuk menentukan pengaruh rasio TKKS/PP yang digunakan terhadap *yield* produk, maka digunakan variabel berubah yaitu rasio bahan baku (TKKS:PP) yaitu 100:0, 80:20, 70:30 dan 60:40 dengan variabel tetapnya yaitu suhu 450 °C, laju alir gas nitrogen 500 mL/menit dan waktu 45 menit.

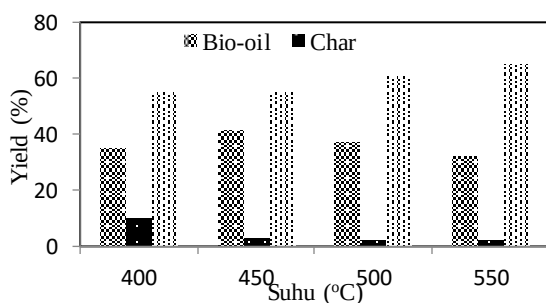


Gambar 2. Pengaruh rasio terhadap *yield* produk pada suhu 450 °C

Berdasarkan Gambar 2 menunjukkan bahwa yield produk *bio-oil* mengalami kenaikan dari rasio bahan (TKKS : PP) 100:0 ke rasio bahan 80:20 dan mengalami penurunan pada saat rasio bahan 70:30 dan 60:40, dimana yield *bio-oil* tertinggi yaitu 41,6% yang terjadi pada rasio bahan baku TKKS : PP (80:20) pada suhu 450 °C. Dengan penambahan plastik PP terjadi kenaikan yield *bio-oil* dibandingkan tanpa penambahan plastik PP. Hal ini disebabkan karena plastik PP memiliki kandungan bahan volatil lebih tinggi dibandingkan TKKS (Abnisa dan Daud, 2014). Disamping itu plastik PP mengandung unsur hidrogen lebih tinggi dibandingkan TKKS, sehingga terjadi donasi hidrogen dari PP selama *co-pyrolysis*, namun pada saat penambahan plastik PP untuk rasio bahan 70:30 dan 60:40 mengalami penurunan, hal ini disebabkan karena pada rasio bahan 70:30 dan 60:40 terjadi perengkahan hidrokarbon rantai panjang yang terdekomposisi menjadi gas sehingga menyebabkan yield *bio-oil* menurun. Gambar 2 juga menunjukkan bahwa dengan penambahan PP maka yield char menurun, sementara yield gas naik. Penurunan yield char karena semakin berkurangnya kandungan lignin dalam bahan baku.

Pengaruh Suhu *Co-pyrolysis* terhadap Yield Produk

Dalam menentukan pengaruh suhu *co-pyrolysis* terhadap yield produk yang diperoleh digunakan variabel berubah yaitu suhu *co-pyrolysis* sebesar 400 °C, 450 °C, 500 °C, dan 550 °C, dan variabel tetapnya yaitu rasio bahan baku 80:20, laju alir gas nitrogen 500 ml/menit serta waktu *co-pyrolysis* yaitu 45 menit. Hasil penelitian yang didapatkan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh suhu *co-pyrolysis* terhadap yield produk

Gambar 3 menunjukkan dengan kenaikan suhu *co-pyrolysis* 400 °C sampai suhu 450 °C terjadi peningkatan yield produk *bio-oil* dari 35,2%

menjadi 41,6%, sedangkan pada suhu 500 dan 550 °C mengalami penurunan yield *bio-oil* dengan yield *bio-oil* berturut-turut sebesar 37% dan 32,5%. Dengan kenaikan suhu *co-pyrolysis* maka terjadi dekomposisi bahan baku menjadi produk *bio-oil* dan gas semakin besar. Namun pada suhu 500 °C dan 550 °C, terjadi penurunan yield *bio-oil*, hal ini menunjukkan pada suhu tersebut terjadi proses perengkahan lanjut gas *condensable* menjadi gas *non-condensable*.

Hasil Analisa Fisika

Sifat-sifat fisis *bio-oil* yang diuji meliputi densitas, viskositas, pH dan nilai kalor. Hasil pengujian analisa fisika *bio-oil* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Uji Fisika *Bio-oil* dengan *Diesel oil*

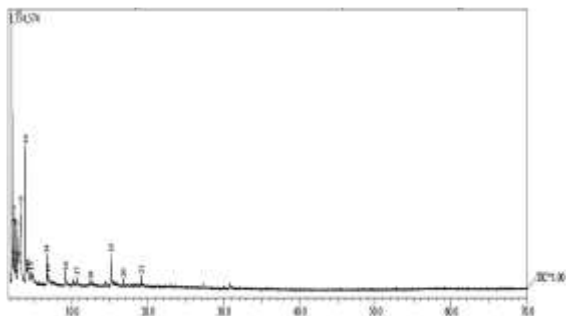
Karakteristik	<i>Bio-oil</i> (TKKS:PP)	<i>Diesel oil</i>
Densitas (g/ml)	0,891	0,815-0,870
Viskositas (cSt)	4,18	2,0-4,5
pH	3,38	5
Nilai kalor (MJ/kg)	43,2	42-46

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa *bio-oil* yang dihasilkan memiliki nilai densitas sebesar 0,891 g/ml yang berarti mendekati nilai standar dari *diesel oil*, dimana nilai densitas yang lebih kecil akan menguntungkan terhadap penggunaan *bio-oil* sebagai bahan bakar karena lebih ringan. Pada Tabel 3 dapat dilihat juga nilai viskositas dari *bio-oil* yang dihasilkan yaitu sebesar 4,18 cSt. Viskositas merupakan tahanan yang dimiliki oleh fluida yang dialirkan dalam pipa kapiler terhadap gaya gravitasi, jika viskositas semakin tinggi maka tahanan untuk mengalir akan semakin tinggi. Hal ini berarti nilai viskositas yang lebih rendah akan lebih baik untuk digunakan sebagai bahan bakar.

Bio-oil yang dihasilkan dari *co-pyrolysis* ini mempunyai pH 3,38. Hal ini menunjukkan bahwa *bio-oil* yang dihasilkan bersifat asam yang dapat mengakibatkan korosi pada bahan-bahan yang biasa dipakai sebagai tempat penyimpanannya. Namun nilai kalor *bio-oil* yang dihasilkan pada penelitian ini cukup tinggi yaitu 43,2 MJ/kg. Nilai kalor ini lebih tinggi dari *bio-oil* yang dihasilkan dari *co-pyrolysis* TKKS dan ban bekas sebesar 33,1 MJ/kg (Sunarno *et al.*, 2020). Begitu juga jika dibandingkan dengan *bio-oil* yang dihasilkan dari pirolisis ampas ubi kayu dengan katalis 3% Ni/NZA yang mempunyai nilai kalor 42,55 MJ/kg (Jefriadi dkk., 2019). Berdasarkan Tabel 3 nilai kalor *bio-oil* yang dihasilkan dari *co-pyrolysis* TKKS dan PP dengan rasio 80 :20 pada suhu 450 °C sudah masuk kisaran nilai kalor *diesel oil*.

Hasil Analisa Kimia

Analisa komponen *bio-oil* dilakukan dengan menggunakan GC-MS (Gas Chromatography-Mass Spectrometry). Hasil kromatogram *bio-oil* dengan rasio TKKS:PP (80:20) pada suhu 450 °C dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil kromatogram GC *bio-oil* rasio TKKS: PP (80:20)

Pada Gambar 4 kromatogram GC-MS *bio-oil* menunjukkan senyawa-senyawa yang terkandung dalam *bio-oil* dan masing-masing senyawa yang mempunyai persentase area.

Tabel 4. Senyawa yang terkandung dalam *bio-oil*

No	Komponen	RT	%Area
1	2-deutero metil propana	2,087	20,58
2	Benzen etanamin	2,259	3,12
3	2-propanon	2,337	4,84
4	Etena	2,421	4,08
5	Metil ester	2,501	1,53
6	2-propenil ester	2,600	0,60
7	1-kloro propan	2,760	6,10
8	2,3-butanadion	2,892	2,15
9	Asam asetat	3,246	26,86
10	2-siklo pentana	3,850	11,93
11	2-propanon, aseton	4,042	1,56
12	2-propanon	4,183	1,75
13	1,2- etanadiol	4,578	1,04
14	2-butanon	6,653	3,09
15	Metil ester	6,819	1,42
16	2-furan karboksilaldehid	9,136	1,94
17	Etenil ester	10,654	0,67
18	Siklopentanon	12,427	0,72
19	Fenol	15,139	3,94
20	2-oktana	16,756	0,82
21	Pentanal	19,075	1,25

Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa senyawa yang memiliki luas area paling tinggi yaitu senyawa hidrokarbon (alkana dan alkena) yaitu sebesar 44,27%. Kandungan hidrokarbon dalam *bio-oil* yang dihasilkan dari *co-pyrolysis* TKKS dan PP ini lebih tinggi dibandingkan *co-pyrolysis* serbuk kayu pinus dan ban bekas yaitu 20,3% (Alvarez *et al*, 2019). Senyawa lain yang mendominasi dalam *bio-*

oil hasil penelitian ini adalah yaitu asam asetat 26,86% dan 2-propanon 4,84%. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan dalam *bio-oil* masih memiliki senyawa asam yang cukup banyak sehingga dapat menyebabkan korosif dan perlu diproses lebih lanjut. Namun juga terdapat senyawa seperti metil ester, 2-propenil ester dan etenil ester yang berpotensi sebagai bahan bakar. Pada Tabel 4 juga terdapat senyawa fenol sebesar 3,94%, yang merupakan hasil dekomposisi dari lignin yang masih yang terkandung dalam TKKS.

KESIMPULAN

Dengan penambahan plastik polipropilen pada *co-pyrolysis* maka yield *bio-oil* yang dihasilkan cenderung meningkat, namun dengan kenaikan suhu *co-pyrolysis* maka menurunkan yield produk *bio-oil*.

Pada *co-pyrolysis* TKKS dan PP dengan rasio 80:20 pada suhu 450 °C diperoleh yield *bio-oil* 41,6% yang memiliki kandungan senyawa tertinggi yaitu senyawa hidrokarbon (alkana dan alkena) yaitu sebesar 44,27% dan memiliki densitas 0,891 g/ml, viskositas 4,18 cSt, pH 3,38 dan nilai kalor 43,2 MJ/kg.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Riau yang telah membantu dalam pendanaan penelitian ini melalui dana DIPA Universitas Riau. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Olo Chris Simada Pandia yang telah membantu menyiapkan naskah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abnisa, F. dan Daud, W., 2014, "A Review on Co-Pyrolysis of Biomass: An Optional Technique to Obtain A High-Grade Pyrolysis Oil", *Energy Converse Manage*, 87(74), 2371–2380.
- Ahmed, N., Zeeshan, M., Iqbal, N., Farooq, M.Z., dan Shah, S.A., 2018, "Investigation on bio-oil yield and quality with scrap tire addition in sugarcane bagasse pyrolysis", *Proceeding of International Seminar and Advance Engineering*. Malaysia : 23-24 Mei 2018 Hal. 927–934.
- Alvarez, J., Amutio, M., Lopez, G., Santamaria, L., Bilbao, J., dan Olazar, M., 2019, "Improving bio-oil properties through the fast co-pyrolysis of lignocellulosic biomass and waste tyres", *Waste Management*, 85, 385–395.
- Carrasco, J.L., Gunukula, S., Boateng, A.A., Mullen, C.A., Desisto, W.J., dan Wheeler, M.C., 2017, "Pyrolysis of forest residues: an

- approach to techno-economics for bio-fuel production”, *Economic Production*, 19(16), 4777-4784.
- Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan Kota, 2017, Prinsip Dasar Pengukuran Efektivitas Sistem Pengelolaan Sampah, Pekanbaru.
- Direktorat Jenderal Perkebunan, 2017, *Statistik Perkebunan Indonesia Komoditas Kelapa*.
- Jefriadi, Bahri, S., Sunarno, dan Rinny Jelita, R., 2019, “Pirolisis Ampas Ubi Kayu Menjadi Bio-oil Menggunakan Katalis Ni/NZA”, *Konversi*, 8(2), 92-98.
- Li, X., Haifeng, Z., Jian L., Lu, S., Jiane, Z., Sridhar, K., dan Yujue, W., 2013, “Improving the Aromatic Production in Catalytic fast Pyrolysis of Cellulose by Co-Feeding Low-density Polyethylene”, *Technology*, 54(47), 2114-2121.
- Sunarno, Saputra, E., Fermi, M.I., dan Utama, P.S., 2020, “Non-Catalytic Co-pyrolysis of Empty Fruit Bunch of Palm and Solid Tire Waste Into Upgrade Bio-oil”, *International Journal of Renewable Energy Research*, 10(2), 687-692.
- Zhang, S., Zhang, H., Liu, X., Zhu, S., Hu, L., dan Zhang, Q., 2018, “Upgrading of bio-oil from catalytic pyrolysis of pretreated rice husk over Fe-modified ZSM-5 zeolite catalyst”, *Fuel Process Technol.*, 175, 17–25.