

PEMANFAATAN LIMBAH TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT MENJADI *BIO-CHAR, BIO-OIL* DAN GAS DENGAN METODE PIROLISIS

UTILIZATION OF EMPTY FRUIT BUNCHES WASTE INTO BIO-CHAR, BIO-OIL AND GASES WITH PYROLYSIS METHOD

Fitri Febriyanti^{1*}, Naela Fadila¹, Ari Susandy Sanjaya¹, Yazid Bindar², Anton Irawan³

¹Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman
Jl. Kuaro, Samarinda 75119, Kalimantan Timur, Indonesia

²Program studi Teknik Kimia, Program studi Teknik Pangan dan Prodi Teknik Bioenergi dan Kemurgi
Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung, Bandung

³Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang

*Email: ftr.fbryanti@gmail.com

Abstrak

Perkembangan luas areal kelapa sawit di Indonesia setiap tahunnya cenderung meningkat. Sehingga terdapat banyak limbah biomassa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang dihasilkan dari pabrik kelapa sawit. Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah tersebut yaitu teknologi pirolisis. Pirolisis adalah proses pembakaran tanpa oksigen untuk memproduksi *Bio-oil, bio-char* dan gas. Tujuan dalam penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap *Bio-oil, bio-char* dan gas serta untuk mengetahui densitas, viskositas dan komposisi *Bio-oil* hasil dari pirolisis tandan kosong kelapa sawit. Pada penelitian ini digunakan variabel suhu pirolisis yaitu 500°C, 550°C dan 600°C. Hasil dari penelitian ini didapatkan yield *Bio-oil* terbesar 45% pada suhu 600°C, yield gas terbesar 29,86% pada suhu 500°C dan yield *bio-char* terbesar 32,71% pada suhu 550°C. Nilai densitas dan viskositas *Bio-oil* secara berurutan yaitu 0,9938-1,0083 g/cm³ dan 3,8407-5,7456 Cst. Nilai kalor *bio-char* sebesar (5,5069x10⁻⁶- 5,7859x10⁻⁶) Kcal/Kg. Selain itu, berdasarkan uji GCMS komposisi *Bio-oil* didominasi oleh senyawa fenol dan dekanoit.

Kata kunci: Tandan kosong kelapa sawit (TKKS), pirolisis, *Bio-oil, bio-char*, gas

Abstract

The development of oil palm area in Indonesia tends to increase each year. So that there are a lot of waste empty fruit bunches (EFB) produced from palm oil mills. One of the technology that can be used to overcome this issue is pyrolysis technology. Pyrolysis is combustion process without oxygen to produce Bio-oil, bio-char and gases. The purpose of this study is to determine the effect of temperature on Bio-oil, bio-char and gas and to determine the density, viscosity and composition of Bio-oil resulting from pyrolysis of EFB. In this study the variable pyrolysis temperature was used, 500°C, 550°C and 600°C. The results of this study showed that maximum Bio-oil yield was 45% obtained at 600°C, maximum gases yield was 29.86% obtained at 500°C and maximum bio-char yield was 32.71% obtained at 550°C. The density and viscosity value of Bio-oil in sequence are 0.9938-1.0083 g/cm³ and 3.8407-5.7456 Cst. The calorific value of bio-char ranged from 23.0567-24.2248 MJ/Kg. In addition, based on GCMS test the composition of Bio-oil is dominated by oxygenate compounds.

Keywords: Empty fruit bunches (EFB), pyrolysis, *Bio-oil, bio-char*, gases

1. PENDAHULUAN

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan salah satu jenis limbah padat yang paling banyak dihasilkan oleh pabrik kelapa sawit. Namun, selama ini hanya digunakan sebagai pakan ternak dan jumlahnya masih sangat kecil. Pemanfaatan kedua jenis limbah sawit ini terkendala oleh teknologi pengolahan yang relatif murah dalam penyiapan bahan dan perlu proses untuk menurunkan kandungan air yang masih cukup tinggi.

Perkembangan luas areal kelapa sawit di Indonesia pada kurun waktu 1980–2016 cenderung meningkat. Jika pada tahun 1980 luas areal kelapa sawit Indonesia sebesar 294.560 hektar, maka pada tahun 2015 telah mencapai 11,30 juta hektar dan diprediksi menjadi 11,67 juta hektar pada tahun 2016. Pertumbuhan rata-rata selama periode tersebut sebesar 10,99% per tahun (Respati, 2016). Disisi lain, setiap 1 hektar kebun kelapa sawit akan menghasilkan sekitar 1,5 ton TKKS (Ristianingsih, Ulfa and K.S, 2015).

Berdasarkan data tersebut, terdapat banyak TKKS yang dihasilkan dari pabrik kelapa sawit menjadi limbah biomassa. Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah tersebut yaitu teknologi pirolisis. Teknologi ini memiliki banyak kelebihan seperti produk *Bio-oil*, Bio-Char dan gas yang dihasilkan dapat menjadi alternatif solusi bagi pengendalian dampak pencemaran lingkungan.

Metode pirolisis merupakan cara yang digunakan untuk memperoleh asap cair. Pirolisis adalah sebuah proses dekomposisi material oleh suhu. Proses pirolisis dimulai pada suhu tinggi dan tanpa kehadiran O₂. Umpan pada proses pirolisis dapat berupa material bahan alam tumbuhan atau dikenal sebagai biomassa, atau berupa polimer. Dengan proses pirolisis, biomassa dan polimer akan mengalami pemutusan ikatan membentuk molekul-molekul dengan ukuran dan struktur yang lebih ringkas. Pirolisis biomassa secara umum merupakan dekomposisi bahan organik menghasilkan bahan padat berupa arang aktif, gas dan uap serta aerosol. Gas yang dapat dikondensasikan sebagai bahan cair dan stabil pada temperatur kamar merupakan senyawa hidrokarbon yang dikenal sebagai biofuel atau *Bio-oil* (Ristianingsih, Ulfa and K.S, 2015).

Pirolisis adalah teknik yang tepat untuk meningkatkan nilai limbah minyak sawit dengan memproduksi *Bio-oil* dan Bio-Char. Minyak dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam beberapa aplikasi untuk menghasilkan energi panas, dan TKKS adalah bahan terbaik untuk tujuan ini karena memiliki nilai kalori yang tinggi (Abnisa *et al.*, 2013). (Khalidun and Haji, 2010) menyatakan bahwa Pirolisis biomassa di pengaruhi oleh beberapa hal antara lain komposisi masing-masing komponen lignoselulosa, ukuran, laju pemanasan dan sebagainya. Komposisi ultimat dan proximat akan berpengaruh terhadap produk padatan, cairan dan gas yang dihasilkan (Ginting, Tambunan and Setiawan, 2015).

Tabel 1. Karakteristik Tandan Kosong Kelapa Sawit

No	Komponen	Nilai (mf wt%)
1	Selulosa	57,8
2	Hemiselulosa	21,2
3	Lignin	22,8

Sumber: (Nurhayati and Sulaiman, 2013)

Bio-oil adalah sejenis minyak bakar yang memiliki berat jenis tinggi, dibuat dari bahan nabati khususnya dari bahan berlignoselulosa, seperti biomassa limbah kehutanan, industri hasil hutan, dan pertanian. *Bio-oil* terbuat dari berbagai senyawa oksigenat organik yang berbeda-beda dan tidak bercampur dengan bahan bakar minyak pada umumnya. Hal ini karena tingginya kadar air, yakni sekitar 15–20% yang berfungsi juga sebagai pengikat ratusan molekul yang berbeda sehingga disebut sebagai emulsi mikro (Wibowo and Hendra, 2015). Selama Penyimpanan minyak mentah pirolisis biomassa atau *bio-oil* akan mengalami perubahan viskositas menjadi lebih kental karena adanya perubahan kimia dan fisik yang diiringi oleh volatil yang hilang akibat penyimpanan (Bindar *et al.*, 2016).

Bio-oil dapat digunakan untuk pemanas rumah tangga, bahan bakar untuk boiler, atau bahan bakar langsung untuk tujuan pengeringan seperti halnya minyak residu dan bila dimurnikan atau di upgrading akan menjadi bahan bakar yang lebih murni dan tinggi kalorinya, serta bisa digunakan untuk berbagai kebutuhan dalam industri kimia, seperti halnya petroleum fuel. *Bio-oil* dapat

dimurnikan (refined oil) untuk bahan bakar dan bila diolah lanjut dapat digunakan sebagai bahan kimia (oleo-kimia) (Wibowo and Hendra, 2015).

Produk padat dari konversi termokimia biomassa adalah bio-char. Dibandingkan dengan arang yang dihasilkan dari batubara yang tidak terbarukan, bio-char mengandung belerang yang lebih rendah dan lebih ramah lingkungan yang membuatnya menguntungkan untuk digunakan sebagai sumber bahan bakar alternatif (Rozhan, et al. 2015).

Produk gas dari pirolisis biasanya memiliki tingkat hidrokarbon yang tinggi, terutama metana dan hidrokarbon jenuh dan tak jenuh dari proses degradasi termal yang kompleks. Gas yang dihasilkan tersebut dapat digunakan untuk pengeringan pakan, pemanasan proses, pembangkit listrik atau diekspor untuk dijual. Pirolisis tandan kosong kelapa sawit mempunyai kandungan gas mampu bakar berupa gas H₂, CO dan CH₄. Tingkat produksi gas meningkat dengan peningkatan suhu pirolisis. Peningkatan produk gas diperkirakan terjadi terutama karena perekahan dari pirolisis uap pada suhu yang lebih tinggi. Namun, dekomposisi sekunder arang pada suhu yang lebih tinggi juga dapat memberikan produk gas tak terkondensasi lainnya. Pelepasan CO₂ tergantung pada dekomposisi selulosa dan hemiselulosa. Disisi lain, perubahan CO₂ pada suhu tinggi dapat disebabkan oleh degradasi lignin. Kandungan CO₂ menurun karena suhu yang meningkat (Sukiran *et al.*, 2014).

2. METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 1. Alat Pirolisis

2.1 Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu TKKS yang diperoleh dari PT. Anugerah Energitama. Hasil analisis proksimat sampel TKKS terdapat pada Tabel 2. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah rangkaian alat pirolisis, blower,

piknometer, viskometer, *Thermocouple*, pompa, selang, neraca analitik dan penampung *Bio-oil*.

Tabel 2. Analisis Proksimat TKKS

No	Parameter	Kadar (% m/m)
1	Kadar air	9,55
2	Kadar abu	17,31
3	Volatilitas	58,96
4	<i>Fixed carbon</i>	14,18

2.2 Metode

Tandan kosong kelapa sawit yang berupa tandan besar dihancurkan hingga bentuknya menjadi serabut supaya hasil yang didapatkan maksimal. Kemudian Rangkaian alat yang telah ada disiapkan dengan memastikan semuanya telah terpasang dengan baik. Tempat pembakaran diisi arang dan ditambah minyak tanah sebagai bahan bakar. Rangkaian alat ini tergambar pada Gambar 1.

Serabut tandan kosong kelapa sawit dimasukkan kedalam silinder/ reaktor pirolisis. Dinyalakan blower saat bahan bakar mulai terbakar. Setelah terjadi pembakaran, blower dimatikan dan ditutup tempat pembakaran hingga suhu meningkat. Suhu proses disetting pada temperature tertentu. Gas yang dihasilkan dikondensasi dan ditampung dalam wadah dan operasi dihentikan ketika tidak ada lagi cairan minyak yang dihasilkan. Kemudian dibiarkan hingga dingin. Proses tersebut dilakukan dengan suhu yang berbeda (500°C, 550°C, 600°C) secara duplo.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Total Produk Pirolisis

Pengaruh suhu terhadap produk hasil pirolisis terdapat pada tabel 2. Yield *bio-oil* semakin meningkat seiring naiknya suhu, sehingga yield *bio-oil* terbesar terdapat pada suhu 600°C. Hal ini tidak sesuai dengan (Sukiran, Chin and Bakar, 2009), semakin tinggi suhu maka *bio-oil* yang dihasilkan akan semakin sedikit. Sedangkan untuk bio-char yield terbesar terdapat pada suhu 550°C . Hal ini tidak sesuai dengan (Sukiran *et al.*, 2011), yang menyatakan bahwa secara umum konversi biomassa menjadi bio-char semakin berkurang seiring naiknya perlakuan suhu. Hal ini terjadi karena penimbangan yang kurang tepat, dilihat dari perbedaan besaran

yieldnya kurang lebih 1-2%.. Sedangkan untuk gas, yield terbesar dihasilkan pada suhu 500°C, seharusnya berdasarkan (Sukiran, Chin and Bakar, 2009) nilai yield gas akan semakin tinggi seiring naiknya suhu.

Tabel 3. Yield *Bio-oil*, *Bio-Char* dan Gas

Perlakuan Suhu (°C)	<i>Bio-oil</i> (%)	<i>Bio-Char</i> (%)	Gas (%)
500	40,73	29,39	29,86
550	43,01	32,71	24,26
600	45,00	30,58	24,41

3.2 Produk *Bio-oil*

Berdasarkan Gambar 2 dapat terlihat bahwa *bio crude oil* berada pada lapisan atas. Menurut (Bindar *et al.*, 2016) *bio-oil* dari proses pirolisis tandan kosong kelapa sawit dengan temperatur 600°C yaitu berwarna hitam, memiliki kandungan air 6,2%, nilai kalor sebesar 31,44 MJ/kg dan nilai pHnya adalah 3,6. Berdasarkan penelitian juga didapatkan hasil *bio-oil* yang berwarna hitam. Berdasarkan penelitian, diambil 3 sampel terbaik yang mewakili pada setiap perlakuan suhu. Pada suhu 500°C, 550°C, dan 600°C dihasilkan *bio-oil* dengan volume berturut-turut sebesar 22 mL, 28 mL, dan 32 mL. Untuk rata-rata total volume yang ditampung diatas suhu 100°C hingga suhu yang diinginkan yaitu sebesar 140 mL.



Gambar 2. *Bio-oil* dari TKKS

Berdasarkan Tabel 3. besar densitas *bio-oil* yaitu 1,0083-0,9918 g/cm³. Menurut (Sukiran, Chin and Bakar, 2009), menjelaskan bahwa densitas *bio-oil* dari TKKS berkisar 0,9-1 g/cm³. Semakin bertambahnya suhu, densitas semakin kecil hal ini dikarenakan pemanasan akan menyebabkan molekul-molekul zat bergerak. Sehingga gaya interaksi antar molekul melemah. Maka densitas akan turun dengan kenaikan suhu. Pengaruh densitas terhadap bahan bakar yaitu densitas yang semakin rendah akan meningkatkan penyalaan bahan bakar sehingga bahan bakar

akan mudah terbakar karena nilai kalornya akan semakin tinggi (Wiratmaja, 2010).

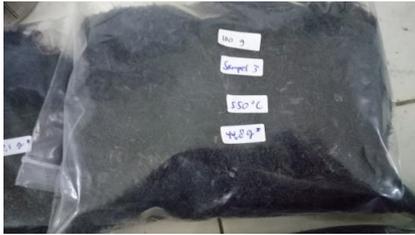
Berdasarkan Tabel 3. besar viskositas *bio-oil* yaitu sekitar 3,8407-5,7456 cSt. Menurut, (Wibowo, Efiyanti and Pari, 2017) viskositas *bio-oil* dari pirolisis TKKS tanpa katalis sebesar 18,6 cSt. Menurut (Purwanto *et al.*, 2012) viskositas *bio-oil* dari TKKS tanpa katalis yaitu 3 cSt. Untuk viskositas *bio-oil* dari cangkang sawit yaitu sebesar 15 cSt (Bindar *et al.*, 2016). Viskositas merupakan parameter penting yang berpengaruh dalam bahan bakar yakni pada tahap penginjeksian. Injeksi bahan bakar dapat mempengaruhi tahap pencampuran bahan bakar dengan udara dan mempengaruhi terjadinya pembakaran sempurna. Viskositas bahan bakar sangat penting karena berpengaruh pada atomisasi bahan bakar ketika diinjeksikan kedalam ruang bakar. Untuk memperoleh pembakaran sempurna dibutuhkan butiran bahan bakar yang kecil. Bahan bakar dengan viskositas tinggi, seperti minyak nabati, akan menghasilkan butiran yang lebih besar di dalam ruang bakar sehingga pembakaran menjadi tidak sempurna (Komariah, Juliani and Dimiyati, 2013). Sehingga semakin rendah viskositas akan meningkatkan pembakaran yang sempurna.

Tabel 4. Karakteristik *Bio-oil*

Perlakuan Suhu (°C)	Densitas (g/cm ³)	Viskositas (Cst)
500	1,0083	5,7456
550	0,9938	4,3748
600	0,9918	3,8407

3.3 Produk *Bio-Char*

Nilai kalor *bio-char* dengan berbagai suhu terdapat pada Tabel 5. Nilai kalor tertinggi terdapat pada suhu 600°C. Nilai kalor adalah standar kualitas utama dari bahan bakar. Perhitungan kalori dari kandungan bahan bakar adalah salah satu langkah dasar dalam permodelan dan perhitungan sistem termal. Tidak ada pengaruh yang signifikan terhadap perbedaan perlakuan suhu.



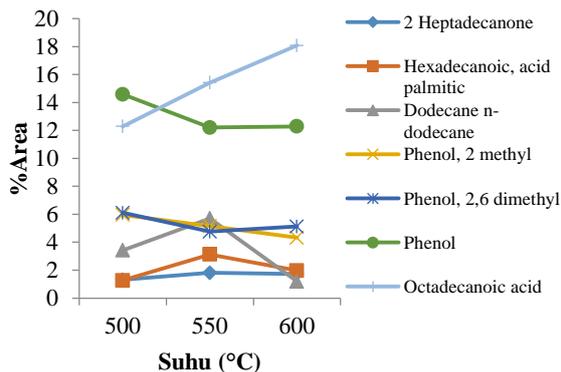
Gambar 3. *Bio-Char* dari TKKS

Tabel 5. Analisis Nilai Kalor *Bio-Char*

Perlakuan Suhu (°C)	Nilai Kalori (kal/g)	Nilai Kalori (MJ/kg)
500	5507	23,0567
550	5688	23,8145
600	5786	24,2248

3.4 Hasil Uji GCMS

Berdasarkan Gambar 3. menunjukkan bahwa terdapat dua senyawa yang memiliki kadar paling besar yaitu phenol dan oktadekanoat acid. Banyaknya kandungan senyawa phenol yang terdapat pada sampel sesuai dengan (Sukiran, Chin and Bakar, 2009) seperti pada Tabel 2.6. Senyawa Fenol dapat digunakan dalam sintesis organik, pembuatan resin dan nilon, produksi antiseptik, disinfektan, parfum, sabun dan tinta (Gatthey, 2009). Senyawa dekanooat digunakan sebagai bahan pembuatan parfum, plastisizer, resin minyak pelumas, perisa buah-buahan dan insektisida (National Center for Biotechnology Information, 2018).



Gambar 4. Grafik hasil uji GCMS

Selain itu, dapat dilihat bahwa komposisi *bio-oil* didominasi oleh senyawa oksigenat. Tingginya kandungan oksigenat dapat dilihat dari adanya senyawa karboksil dan karbonil yang dihasilkan dari selulosa dan senyawa fenol yang dihasilkan dari lignin. Hasil GCMS membuktikan bahwa komposisi

kimia dari *bio-oil* mirip dengan sejumlah aromatic dan oksigenat seperti asam karboksil, fenol, keton dan aldehid.

4. KESIMPULAN

Pengaruh suhu terhadap produk hasil pirolisis yaitu yield *bio-oil* semakin meningkat seiring naiknya suhu, yield *bio-char* fluktuatif terhadap suhu dan yield gas semakin tinggi seiring turunnya suhu. Pengaruh suhu terhadap densitas dan viskositas yaitu semakin tinggi suhu, densitas dan viskositas semakin rendah. Komposisi dari *bio-oil* didominasi oleh senyawa oksigenat yaitu fenol dan karboksil serta karbonil.

DAFTAR PUSTAKA

- Abnisa, F., Niya A. A., Daud, W. M. A. W., Sahu, J. N. 2013. Characterization of *Bio-oil* and *Bio-char* from Pyrolysis of Palm Oil Wastes, *Bioenergy Research*, 6(2), pp. 830–840.
- Bindar, Y., Hernowo, P., Rasrendra, C.B., Irawan, A., Adiarso, Patisenda, S., Prasetyo, J. 2016. Produksi Minyak Mentah Pirolisa Biomassa (MMPB), (February).
- Gatthey, D., 2009. Chemical-induced ocular side effects, in *Clinical Ocular Toxicology*. Elsevier, pp. 289–306.
- Ginting, A. S., Tambunan, A. H. and Setiawan, R. P. A., 2015. Karakterisasi Gas-Gas Hasil Pirolisis Tandan Kosong Kelapa Sawit, *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 25(2), pp. 158–163.
- Khaldun, I. and Haji, G., 2010. Potensi asap cair hasil pirolisis cangkang kelapa sawit sebagai biopestisida antifeedant, pp. 18–19.
- Komaridah, L. N., Juliani, W. dwi and Dimiyati, M. F., 2013. Efek Pemanasan Campuran Biodiesel Dan Minyak Solar Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Pada Boiler, 19(4), pp. 53–58.
- National Center for Biotechnology Information (2018) *Decanoic Acid*, www.pubchem.ncbi (Accessed: 13 April 2019).
- Nurhayati, A. and Sulaiman, F., 2013. The properties of the washed empty fruit bunches of oil palm, *Journal of Physical Science*, 24(2), pp. 117–137.
- Purwanto, W. W., Supramono, D., Muthia, R., Annisa, G. 2012. Konversi Limbah

- Kelapa Sawit Menjadi *Bio-oil* melalui Proses Catalytic Fast Pyrolysis dan Konversi Limbah Kelapa Sawit Menjadi *Bio-oil* melalui Proses, *Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia dan Musyawarah Nasional APTEKINDO 2012*, (September), pp. 1–10.
- Respati, E., 2016. *Outlook Kelapa Sawit*. Edited by L. Nuryati and A. Yasin. Jakarta: Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Sekretariat Jenderal - Kementerian Pertanian 2016.
- Ristianingsih, Y., Ulfa, A. and K.S, R. S., 2015. Pengaruh suhu dan konsentrasi perekat terhadap karakteristik briket bioarang berbahan baku tandan kosong kelapa sawit dengan proses pirolisis (in Bahasa), *Konversi*, 4(2), pp. 16–22.
- Sukiran, M. A., Loh, S.K., Bakar, N. K. A., and May, C.Y. 2011. Production and Characterization of Bio-Char from the Pyrolysis of Empty Fruit Bunches Mohamad Azri Sukiran , Loh Soh Kheang , Nasrin Abu Bakar and Choo Yuen May Engineering and Processing Division , Malaysian Palm Oil Board , No . 6 , *American Journal of Applied Sciences*, 8(10), pp. 984–988.
- Sukiran, M. A., Loh, S.K., Bakar, N. K. A., and May, C.Y. 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.
- Sukiran, M. A., Chin, C. M. and Bakar, N. K. A., 2009. *Bio-oils* from pyrolysis of oil palm empty fruit bunches, *American Journal of Applied Sciences*, 6(5), pp. 869–875.
- Wibowo, S., Efiyanti, L. and Pari, G., 2017. Karakterisasi *Bio-oil* Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Penambahan Katalis Ni / Nza Menggunakan Metode Free Fall Pyrolysis (Characterization of Palm Fruit Empty Bunches *Bio-oil* with the Addition of Ni / NZA Catalyst Using Free Fall Pyrolysis Method), 35(2), pp. 83–100.
- Wibowo, S. and Hendra, D., 2015. Seri Paket Iptek Teknik Pengolahan *Bio-oil* dari Biomassa. Bogor.
- Wiratmaja, I. G., 2010. Pengujian Karakteristik Fisika Biogasoline Sebagai Bahan Bakar Alternatif Pengganti Bensin Murni, *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 4(2), pp. 145–154.