

PIROLISIS TANDAN KELAPA SAWIT UNTUK MENGHASILKAN BAHAN BAKAR CAIR, GAS, WATER FASE DAN CHARCOAL

Siti Jamilatun¹, Joko Pitoyo², Anggun Puspitasari³, Dwita Sarah⁴

^{1,2,3,4}Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan, Jl. Ringroad Selatan,
Kragilan, Tamanan, Kec. Banguntapan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta, 55191

sitijamilatun@che.uad.ac.id¹, anggun1900020093@webmail.uad.ac.id³,
dwita1900020090@webmail.uad.ac.id⁴

ABSTRAK

Pirolisis biomassa mendapatkan perhatian lebih pada dekade terakhir ini. Pirolisis adalah konversi biomassa pada suhu tinggi tanpa kehadiran oksigen untuk mendapatkan produk yang bernilai. Pirolisis biomassa dilakukan untuk mendapatkan 3 hal, yaitu bio-oil, biochar dan gas. Bio-oil adalah produk cair dari proses pirolisis dan mempunyai beberapa aplikasi. Biooil digunakan langsung untuk bahan bakar boiler dan furnace, atau diproses untuk menghasilkan bahan bakar minyak dan produk-produk kimia. Bio-oil tersusun atas campuran kompleks dari substansi- substansi organik seperti hidrokarban aromatik, fenol, keton, ester, ster, gula, amina, alkohol, furan, dan air yang berasal dari reaksi kimia dan dari biomassa. Kandungan air pada bio-oil relatif tinggi, biasanya pada kisaran 20-25%. (tahap). Buah sawit mempunyai warna bervariasi dari hitam, ungu, hingga merah tergantung bibit yang digunakan. Buah bergerombol dalam tandan yang muncul dari tiap pelapah. Minyak dihasilkan oleh buah. Kandungan minyak bertambah sesuai kematangan buah. Setelah melewati fase matang, kandungan asam lemak bebas (FFA, free fatty acid) akan meningkat dan buah akan rontok dengan sendirinya.

Kata kunci : Pirolisis, *Bio Oil*, Kelapa Sawit

ABSTRACT

Pyrolysis of biomass has received more attention in the last decade. Pyrolysis is the conversion of biomass at high temperatures in the absence of oxygen to obtain valuable products. Pyrolysis of biomass is carried out to obtain 3 things, namely bio-oil, biochar and gas. Bio-oil is a liquid product of the pyrolysis process and has several applications. Biooil is used directly to fuel boilers and furnaces, or processed to produce fuel oil and chemical products. Bio-oil is composed of a complex mixture of organic substances such as aromatic hydrocarbons, phenols, ketones, esters, sters, sugars, amines, alcohols, furans, and water derived from chemical reactions and from biomass. The water content in bio-oil is relatively high, usually in the range of 20-25%. (stages). Palm fruit has a color that varies from black, purple, to red depending on the seeds used. The fruit is clustered in bunches that emerge from each sheath. The oil is produced by the fruit. The oil content increases as the fruit ripens. After passing through the ripe phase, the content of free fatty acids (FFA) will increase and the fruit will fall off by itself.

Keywords: *Pyrolysis, Bio Oil, Palm Shell*

1. PENDAHULUAN

Tandan kelapa sawit (TKS) merupakan limbah padat yang dihasilkan pabrik/industri pengolahan minyak kelapa sawit. Produksi minyak kelapa sawit kasar Indonesia mencapai 6 juta ton per tahun. Secara bersamaan dihasilkan pula limbah Tandan Kelapa Sawit (TKS) dengan potensi sekitar 2,5 juta ton per tahun. Di pabrik minyak kelapa sawit, TKS hanya dibakar dan sekarang telah dilarang karena adanya kekhawatiran pencemaran lingkungan, atau dibuang sehingga menimbulkan keluhan/masalah karena dapat menurunkan kemampuan tanah menyerap air. Di samping itu, TKS yang membusuk ditempat akan menarik kedatangan jenis kumbang tertentu yang berpotensi merusak pohon kelapa sawit hasil peremajaan di lahan sekitar tempat pembuangan. Salah satu usaha dalam mengatasi hal tersebut adalah memanfaatkan TKS menjadi produk berguna dan bernilai tambah.

Krisis energi ini menuntut pencarian sumber energi alternatif untuk menjamin tercukupinya kebutuhan energi dunia (Ighalo dkk, 2019). Para peneliti telah mengidentifikasi biomassa sebagai sumber energi yang berkelanjutan, dapat diperbaharui, dan ramah lingkungan (Ighalo dkk, 2019, Rajendra dkk, 2019, Wang dkk, 2018). Ketergantungan pada energi fosil di Indonesia khususnya minyak bumi masih tinggi mencapai 96% dari total konsumsi (BPPT-OEI, 2019).

Tandan kelapa sawit ini dapat dikembangkan menjadi bahan bakar biomassa dengan cara pirolisis biomassa. Pirolisis adalah konversi biomassa pada suhu tinggi tanpa kehadiran oksigen untuk mendapatkan produk yang bernilai. Pirolisis biomassa dilakukan untuk mendapatkan 3 hal, yaitu bio-oil, biochar dan gas (Sharkar dkk, 2020).

Pirolisis merupakan suatu proses devolatilisasi dimana pirolisis itu adalah suatu proses dekomposisi biomassa secara termal tanpa oksigen sama sekali. Proses dekomposisi pada pirolisis ini juga sering disebut dengan devolatilisasi. Produk utama yang dihasilkan dari pirolisis adalah arang (char), minyak dan gas. Arang yang terbentuk dapat

digunakan untuk bahan bakar ataupun digunakan sebagai karbon aktif. Bio oil yang dihasilkan dapat digunakan sebagai zat additif atau campuran dalam bahan bakar. Sedangkan gas yang terbentuk dapat dibakar secara langsung (Sampath,S.S., Babu,B.B., 2005). Pirolisis dari biomassa akan menghasilkan zat baru seperti gas dan arang. Gas dari pirolisis dapat dibedakan menjadi gas yang tidak dapat dikondensasi (CO, CO₂, CH₄, dll) dan gas yang dapat dikondensasi (tar). Minyak akan terjadi pada proses kondensasi dari gas yang terbentuk, disebut juga bio oil.

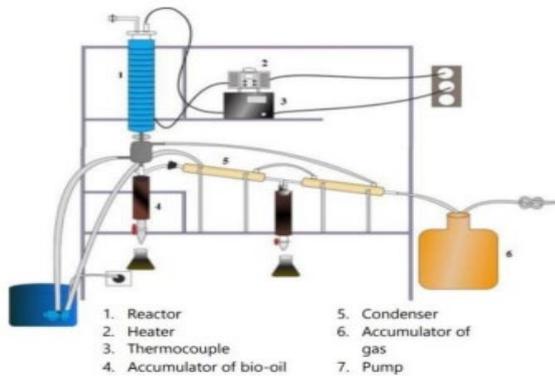
Bio-oil yang dihasilkan dari proses pirolisis dapat dijadikan alternatif bahan bakar setelah melalui proses upgrading (Park dkk, 2008). Noncondensable gas seperti CH₄,H₂,CO₂, dan CO dapat dijadikan sebagai energy recuperation atau dijadikan syngas (Masek dkk, 2013). Sementara itu biochar dapat dijadikan adsorbent atau dijadikan bahan bakar karena mempunyai heating value yang tinggisetara dengan batubara (Fu dkk, 2012).

Bio-oil adalah produk cair dari proses pirolisis dan mempunyai beberapa aplikasi. Bio-oil digunakan langsung untuk bahan bakar boiler dan furnace, atau diproses untuk menghasilkan bahan bakar minyak dan produk-produk kimia (Bridgwater dkk, 2012). Bio-oil tersusun atas campuran kompleks dari substansi - substansi organik seperti hidrokarban aromatik, fenol, keton, ester, ster, gula,amina, alkohol, furan, dan air yang berasal dari reaksi kimia dan dari biomassa (Alvarez dkk, 2015). Kandungan air pada bio-oil relatif tinggi, biasanya pada kisaran 20-25% (Kharmakar dkk, 2013).

2. METODE PENELITIAN

Alat dan bahan : Penelitian dilakukan di dalam fixed bed reaktor yang berbentuk silinder vertikal yang terbuat dari stainless steel dengan dimensi diameter dalam 400 mm, diameter luar 44 mm, dan tinggi 600 mm. elitianReaktor dilengkapi dengan pemanas yang terbuat dari nikel yang dililitkan pada bagian luar reaktor . Reaktor juga dilengkapi

instrument penting untuk mempelajari karakteristik reaktor berupa suhu dan kecepatan pemanasan (Jamilatun dkk, 2019). Rangkaian alat secara lengkap ditunjukkan pada Gambar 1. Dan untuk bahan yang digunakan yaitu tandan kelapa sawit.



Gambar 1. Rangkaian Alat Pirolisis

Cara kerja : Pirolisis dimulai dengan memasukkan 15 gram biomassa cangkang kelapa sawit sebagai umpan. Kemudian umpan dimasukkan ke dalam reaktor. Pemanasan dilakukan dengan arus listrik melalui kawat nikel yang dililitkan pada bagian luar reaktor dengan kecepatan rata-rata antara 5-35 C/menit. Pirolisis dilakukan dengan variasi suhu 300, 400, 500, 550, 600 dan 700 °C dan dimonitor dengan thermocouple. Gas yang mengembun ditampung dalam akumulator bio-oil dan ditimbang beratnya. Gas yang tidak mengembun dialirkan ke dalam tangki air untuk diabsorpsi, sedangkan arang yang terbentuk di dalam reaktor diambil setelah pirolisis selesai dan ditimbang beratnya. Proses pirolisis dihentikan setelah mencapai suhu yang diinginkan dan didiamkan dengan suhu konstan selama 30 menit.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

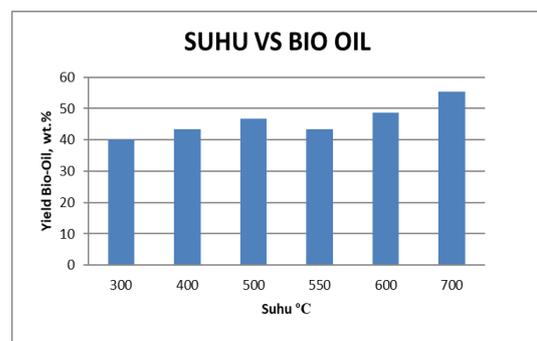
Serat kelapa sawit memiliki sifat yang keras dan kuat. Pori-pori pada permukaan serat kelapa sawit memiliki rata-rata diameter sebesar 0.07 m. Morfologi permukaan pori ini sangat berguna untuk meningkatkan ikatan mekanik dengan resin matriks jika digunakan pada pembuatan komposit. Dalam mikrofibril Tandan Kelapa Sawit

terdapat selulosa, lignin, dan hemiselulosa sebagai komponen utama. Senyawa yang paling banyak terkandung dalam serat kelapa sawit adalah selulosa, lignin, hemiselulosa, dan holoselulosa. Holoselulosa dan hemiselulosa memiliki struktur kimia yang sama dengan selulosa tetapi memiliki sifat yang sama dengan lignin. Selulosa berfungsi untuk membentuk pori pada komposit. Berikut merupakan komposisi dari Tandan Kelapa Sawit:

Tabel 1. Komposisi Tandan Kelapa Sawit

UNSUR	NILAI
Selulosa (%)	42,7 - 65
Lignin (%)	13,2 - 25,31
Hemiselulosa (%)	17,1 - 33,5
Holoselulosa (%)	68,3 - 86,3
Kadar Abu (%)	1,3 - 6,04
Ekstraktif dalam air panas (%)	2,8 - 14,79
Kelarutan dalam air dingin (%)	8 - 11,46
Alkali larut (%)	14,5 - 31,17
Alfa selulosa (%)	41,9 - 60,6
Kelarutan alcohol-benzene (%)	2,7 - 12
Pentosan (%)	17,8 - 20,3
Glukosa (%)	66,4
Silika (%)	1,8
Cu (g/g)	0,8
Kalsium (g/g)	2,8
Mn (g/g)	7,4
Fe (g/g)	10,0
Sodium (g/g)	11,0

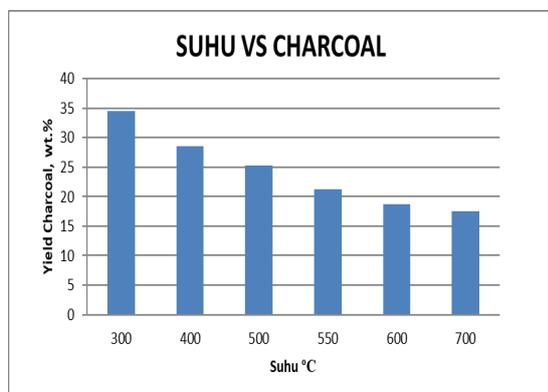
(Egi, Muthia Rahmasita dkk, 2017)



Grafik 1. Perbandingan Suhu vs Bio-Oil

Dari Grafik 1, terlihat bahwa rendemen bio-oil maksimum pada suhu optimum 700°C adalah 55,53 wt.%. Eksperimen ini menemukan bahwa rendemen bio-oil meningkat dari 40 wt.% menjadi 46,67 wt.% ketika suhu berkisar antara 300°C hingga 500°C. Sedangkan pada suhu 550 °C, rendemen bio oil mengalami penurunan menjadi 43,33 wt.% dan mengalami kenaikan kembali pada suhu 600°C dan 700 °C. Pada grafik menunjukkan bahwa berdasarkan jumlah bio-oil tertinggi, suhu 700°C merupakan suhu optimum untuk pirolisis tanpa katalis.

Penurunan rendemen bio-oil dipengaruhi oleh terjadinya secondary cracking pada tar (fase bio-oil dan air). Pada proses pirolisis terjadi reaksi perengkahan, yaitu pemutusan ikatan CC dari rantai karbon panjang (polimer) dan berat molekul masif menjadi rantai karbon pendek (monomer) dengan berat molekul kecil. Hal ini dapat mempengaruhi peningkatan suhu pirolisis; semakin banyak ikatan (rantai hidrokarbon) yang putus, sehingga rendemen meningkat. Temperatur tinggi juga mempengaruhi pengurangan produk cair dan konsisten dengan produk gas teratasnya. Terjadi proses secondary cracking, yaitu memecah rantai panjang senyawa organik dan hidrokarbon menjadi rantai yang lebih pendek sehingga tidak dapat terkondensasi kembali (Jamilatun et al., 2019).



Grafik 2. Perbandingan Suhu vs Charcoal

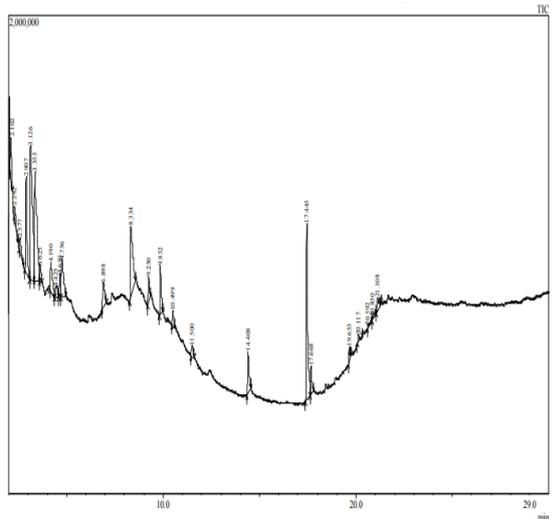
Grafik 2 menunjukkan pengaruh suhu terhadap hasil arang dari pirolisis Tandan Kelapa Sawit. Rendemen arang diperoleh dari temperatur 300, 400, 500, 550, 600 dan 700 °C dengan presentase 34,37 wt.%, 28,47 wt.%, 25,27 wt.%, 21,2 wt.%, 25,33 wt.%, 24,2 wt.%. Hasil ini menunjukkan bahwa rendemen arang mengalami naik turun.

Berdasarkan tinjauan literatur (Dickerson T, 2013) menunjukkan bahwa pirolisis pada suhu rendah kurang dari 400 °C atau pemanasan yang relatif rendah akan menghasilkan produk arang yang relatif tinggi. Laju pemanasan yang lebih rendah dan waktu tinggal yang lebih lama menyebabkan reaksi perengkahan sekunder akan mempengaruhi sifat bio-oil. Semakin tinggi suhu pirolisis yang digunakan maka kandungan arang akan semakin rendah karena kandungan penyusun Tanda Kelapa Sawit akan terdekomposisi, dan kandungan volatile matter akan semakin menurun dengan meningkatnya suhu pirolisis.

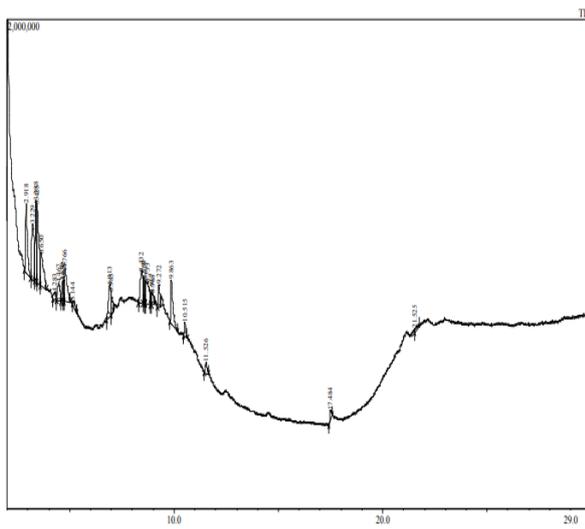
Identifikasi Komponen Produk Cair dengan Metode GC-MS

Pada umumnya, metode optimasi hasil pirolisis dilakukan sesuai dengan tujuan dari proses pirolisis yang dilakukan. Perbedaan temperature reaksi akan menentukan distribusi senyawa produk atau komponen produk cair sehingga juga berpengaruh terhadap reaksi yang terlibat dalam proses. Identifikasi senyawa dilakukan untuk mengetahui kualitas produk cair yang dihasilkan.

Pada penelitian ini, identifikasi produk cair dilakukan dengan metode GC-MS. Identifikasi ini dilakukan untuk mengetahui distribusi komponen senyawa pada produk cair hasil pirolisis. Berikut adalah hasil dari pemecahan spectra pada GC-MS terhadap produk cair pirolisis:



Gambar 2. Identifikasi senyawa produk cair dengan metode GC-MS pada temperature 300°C



Gambar 3. Identifikasi senyawa produk cair dengan metode GC-MS pada temperature 600°C

Puncak-puncak spektra pada gambar diatas menunjukkan jenis-jenis komponen yang dikandung oleh cairan hasil pirolisis. Berdasarkan gambar dapat dilihat bahwa jumlah komponen yang teridentifikasi mencapai 21 jenis komponen yang ditunjukkan dengan terbentuknya 25 *peak*. Hasil identifikasi terhadap komponen tersebut kemudian ditabulasikan pada tabel berikut:

Tabel 2. Karakteristik GC-MS produk cair pirolisis pada temperature 300°C

Peak	Komponen	Area %
1	1,2-Epoxy-3-propyl acetate	2,13
2	2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl- (CAS)	1,27
3	3-Pentanone, 2-methyl- (CAS)	1,36
4	2-FURANMETHANOL, TETRAHYDRO-	6,41
5	Phenol	18,43
6	2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl- (CAS)	14,84
7	3,5-dimethyl cyclopentenolone	1,31
8	Phenol, 2-methoxy-	3,38
9	Butanoic acid, 2-propenyl ester (CAS)	1,57
10	Pentanal (CAS)	1,95
11	3-Ethyl-2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one	4,82
12	1,5-Dioxonane, 2-ethoxy-9-methyl- (CAS)	2,70
13	Phenol, 2,6-dimethoxy- (CAS)	8,79
14	1,2,4-Trimethoxybenzene	1,86
15	Benzene, 1,2,3-trimethoxy-5-methyl- (CAS)	3,41
16	Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)- (CAS)	1,10
17	Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)- (CAS)	1,07
18	Hexadecanoic acid (CAS)	3,61
19	9-Octadecenoic acid, (E)-	13,58
20	Octadecanoic acid (CAS)	2,13
21	9-Octadecenoic acid (Z)-, 2-hydroxyethyl ester (CAS)	0,83
22	Triethylene glycol monododecyl ether	0,48
23	1,4,7,10,13,16-Hexaoxacyclooctadecane (CAS)	0,54
24	1,6-Di-.2-phenylbenzimidazolymethyl-2,5-piperazindione	0,73
25	9-Octadecenoic acid (Z)-, 2,3-dihydroxypropyl ester	1,71

Tabel 3. Karakteristik GC-MS produk cair pirolisis pada temperature 600°C

Peak	Komponen	Area %
1	2-furanmethanol, tetrahydro-	8,22
2	Phenol (CAS)	11,21
3	2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl- (CAS)	7,68
4	Ethanone, 1-(1H-pyrrol-2-yl)- (CAS)	11,71
5	Glycine, N-(trifluoroacetyl)-, 1-methylpentyl ester (CAS)	6,81
6	PHENOL, 2-METHOXY-	1,06
7	Pentane, 3-bromo- (CAS)	3,28
8	Pentanal (CAS)	1,61
9	Disulfide, ethyl(1-methylpropyl) (CAS)	1,35
10	3-Ethyl-2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one	6,53
11	2(5H)-Furanone, 5-ethyl- (CAS)	0,97
12	2-Propenoic acid, 2-methyl-, ethyl ester (CAS)	4,99
13	2-Isononenal (CAS)	2,61
14	Phenol, 2,6-dimethoxy- (CAS)	5,65
15	Crotonaldehyde, 2-methyl-, diethylhydrazone (CAS)	2,94
16	2,4-Dimethoxyphenol	1,46
17	Dl-ribitol, 1,4-anhydro-, cyclic 2,3-(ethylboronate)	4,94
18	Hydrazine, (2-methyl-1-propenyl)- (CAS)	1,23
19	Phenol, 3,4-dimethoxy- (CAS)	1,50
20	1,2,4-Trimethoxybenzene	3,07
21	Ethanone, 1-(2,6-dihydroxy-4-methoxyphenyl)- (CAS)	6,25
22	2,4-Hexadienedioic acid, 3-methyl-4-propyl-, dimethyl ester, (E,E)- (CAS)	1,43
23	Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)- (CAS)	1,39
24	Heptadecene-(8)-carbonic acid-(1)	1,18
25	9,12,15-Octadecatrienoic acid, 2-[[trimethylsilyl]oxy]-1-[[[(trimethylsilyl)oxy]methyl]ethyl ester, (Z,Z,Z)- (CAS)	0,94

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa komponen utama cairan produk pirolisis adalah fenol. Fenol dan turunannya adalah senyawa dengan komposisi paling besar. Senyawa fenol dapat meningkatkan kemampuan terbakar produk cair, tetapi dikarenakan produk ini masih mengandung air maka pembakaran produk cair ini masih tergolong lama.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

- Pada Bio-oil, semakin tinggi suhu maka semakin banyak bio-oil yang dihasilkan dari pirolisis Tandan Kelapa Sawit. Namun pada charcoal, semakin tinggi suhu maka charcoal yang dihasilkan semakin sedikit.
- Pada hasil menunjukkan bahwa berdasarkan jumlah bio-oil tertinggi, suhu 700°C merupakan suhu optimum untuk pirolisis tanpa katalis.
- Hasil produk cair pada pirolisis Tandan Kelapa Sawit presentase kandungan tertingginya adalah senyawa fenol yang dapat meningkatkan kemampuan terbakar produk cair, tetapi dikarenakan produk ini masih mengandung air maka pembakaran produk cair ini masih tergolong lama.

DAFTAR PUSTAKA

- Abinsa, F., Daud, W.M.A.W., Wan, W.M.A, Husin, W.V.W., Sahu, J.N, 2011, Optimization and characterization studies on bio-oil production from palm shell by pyrolysis using response surface methodology, *Biomass Bioenergy* 35 (2011) 3604-3616.
- Abinsa, F., Daud, W.M.A.W., Wan, W.M.A, Husin, W.V.W., Sahu, J.N., 2011, Utilization possibilities of palm shell as a source of biomass energy in Malaysia by producing bio-oil in pyrolysis process, *Biomass and Bioenergy* 35 (2011) 1863-1872.
- Aho, A., Kumar, N., Eränen, K., Salmi, T., Hupa, M., Murzin, D.Y., 2008, Catalytic pyrolysis of woody biomass in a fluidized bed reactor: influence of the zeolite structure, *Fuel* 87 (2008) 2493-2501.

- Cheng, S., Wei, L., Zhao, X., and Julson, J., 2016, Application, deactivation, and regeneration of heterogeneous catalysts in bio-oil upgrading, *Catalysts*, 6, 195
- Czernik, S., Bridgwater, A.V., 2004, Overview of applications of biomass fast pyrolysis oil, *Energy Fuels* 18 (2004) 590-598.
- Dewati, Retno. 2008. Limbah Kulit Pisang Kepok Sebagai Bahan Baku Pembuatan Ethanol. UPN Veteran- Jatim.
- Hadi, Sugeng, P. 2017. *Tanaman Kangkung Hidroponik Dan Kampung Warna*. Jurnal pengabdian LPPM Untag Surabaya Vol.02, No.02, hal 53-61.
- Jamilatun, S., Budiman, A., Anggorowati, H. Yuliestyan, A., Surya Pradana, Y. Budhijanto, and Rochmadi, 2019, Ex-situ catalytic upgrading of *Spirulina platensis* residue oil using silica-alumina catalyst, *Int. J. Renew. Energy Res.*, 9 (4), 1733-1740.
- Jamilatun, S., Mahardhika, R., Nurshinta, I. E., and Sithopyta, L. M., In-Situ Catalytic Pyrolysis of *Spirulina platensis* residue (SPR): Effect of Temperature and 24 Amount of C₁₂₋₄ Catalyst on Product Yield, *JURNAL REKAYASA PROSES Research Article / Vol. 15, No. 1, 2021, pp. 14-27*
- Mayani, Nanda. dkk. 2015. Pertumbuhan Tanaman Kangkung Darat (*Ipomea Reptans Poir*) Akibat Perbedaan Dosis Kompos Jerami Dekomposisi Mol Keong Mas. Dosen Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Unsyiah. Lentera- Vol. 15. No. 13.
- Nur, Thoyib. dkk. 2016. Pembuatan Pupuk Organik Cair Dari Sampah Organik Rumah Tangga Dengan Bioaktivator Em4 (Effective Microorganisms). *Jurnal Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat*.
- Tripathi, M., Sahu, J.N., Ganesan, P., 2016, Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: a review, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 55 (2016) 467-481.
- Venderbosch, R.H., Prins, W., 2010, Fast pyrolysis technology development, *Biofuels, Bioprod. Biorefining.* 4 (2010) 178-208.