

PENGARUH VARIASI TEMPERATUR REAKTOR TERHADAP HASIL PRODUK PIROLISIS ECENG GONDOK SECARA *EX-SITU* DENGAN KATALIS BENTONIT DAN PENAMBAHAN UAP AIR

Nurkholis Hamidi

Dosen
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya
Jalan Mayjen Haryono 167 Malang
65145 – Telp (0341) 561886
hamidy@ub.ac.id

Anggi Firmansyah

Mahasiswa
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya
Jalan Mayjen Haryono 167 Malang
65145 – Telp (0341) 561886
firmansyah.anggi@gmail.com

Haslinda Kusumaningsih

Dosen
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya
Jalan Mayjen Haryono 167 Malang
65145 – Telp (0341) 561886
haslinda.kusuma@ub.ac.id

The water hyacinth has high growth rates that can lead to various environmental problems and the production of large amounts of waste biomass. However, it can be a source of lignocellulosic biomass for the production of bio-oil. This study aims to determine the effect of temperature variation on the pyrolysis process of water hyacinth ex-situ with bentonite catalyst and the addition of water vapor. Temperature variations used are 450°C, 550°C, and 650°C. The pyrolysis process uses 300 grams of water hyacinth and is carried out for 1 hour. The results showed that increasing pyrolysis temperature reduced the char and bio-oil products, but increased the product of gas. Pyrolysis at 450°C produces a lot of bio-oil, while at the temperature of 650°C tends to produce gas products. Also, increasing the pyrolysis temperature results in a higher density of bio-oil. Gas chromatograph testing was carried out to determine the content of organic compounds found in bio-oil. Hydrocarbons are obtained which increase with increasing temperature. The highest percentage of the content of organic compounds is in oxygen compounds. Components of alcohol, phenols, ketones, aldehydes are functional compounds found in the content of bio-oil. Acid compounds are also contained in bio-oil from the results of pyrolysis of water hyacinth.

Keywords: Pyrolysis, Water Hyacinth, Bentonite, Steam Addition

1. PENDAHULUAN

Gencarnya pemerintah Indonesia meningkatkan ketahanan air nasional dengan cara menyelesaikan permasalahan berupa kuantitas dan kualitas air masih terus mengancam. Secara global 80% air limbah masih dibuang ke lingkungan tanpa melalui proses pengolahan yang berdampak buruk pada perairan. Penggunaan bio absorpsi untuk menanggulangi kadar limbah logam berat pada perairan dapat digunakan, jenis tumbuhan yang berpotensi sebagai bio absorpsi salah satunya adalah eceng gondok, tetapi penggunaan bio absorpsi sering kali lebih di soroti jumlah eceng gondok yang begitu banyak sehingga menyebabkan keresahan.

Eceng gondok merupakan salah satu jenis biomassa yang masuk kedalam kategori tumbuhan air. Cepatnya tumbuh dan berkembang eceng gondok disebabkan oleh perairan yang memiliki kandungan nutrient yang tinggi seperti nitrogen posasium dan fosfat [1]. Eceng gondok biasanya tumbuh di kolam-kolam dangkal, aliran air yang lambat, danau maupun tempat penampungan air dan sungai. Eceng gondok dapat menyebar dengan mudah dari pusat perairan menuju saluran air maupun sebaliknya.

Pembersihan eceng gondok dari sungai menghasilkan begitu banyaknya biomassa eceng gondok yang bisa dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif. Eceng gondok merupakan biomassa kaya serat. Eceng gondok memiliki nilai komposisi lignin sebesar 17%, selulosa 60% dan hemiselulosa 17% [2]. Komposisi eceng gondok sangat berpotensi untuk di proses agar menghasilkan bio fuel.

Bio fuel merupakan bahan bakar yang proses produksinya berasal dari biomassa, terutama dari tumbuhan. Bioetanol dan bio diesel merupakan salah satu contoh bio fuel yang paling populer saat ini. Bio fuel lebih ramah lingkungan dibandingkan bahan bakar fosil yang biasa digunakan pada kehidupan sehari-hari. Pengolahan biomassa agar menjadi bio fuel bisa dengan menggunakan metode pirolisis.

Pirolisis merupakan proses dekomposisi termal dari biomassa menjadi produk yang lebih bernilai dengan menambahkan gas inert pada saat pemberian panas pada biomassa [3]. Pada proses pirolisis bisa menambahkan katalis untuk mempercepat reaksi maupun mengoptimalkan hasil bio fuel yang di dapat. Salah satu contoh katalis yang biasanya kita jumpai yaitu bentonit dan zeolite [4 - 6]. Bentonit termasuk dalam katagori tanah liat yang dapat digunakan sebagai katalisator. Proses pengaktivasian bentonit agar bisa digunakan sebagai katalisator bermacam-macam, bisa menggunakan larutan asam maupun larutan basa. Pada proses pirolisis bentonit digunakan untuk memaksimalkan hasil produk dari proses pirolisis dan gasifikasi [4, 5]. Penggunaan bentonit yang diaktivasikan dengan menggunakan larutan asam kuat berupa HCL, H₂SO₄, dan H₃PO₄ terhadap hasil hydrocarbon yang terbentuk pada proses pirolisis. Hasil yang di dapatkan pada proses pirolisis dengan menggunakan katalis bentonit yang diaktivasikan larutan HCL meningkatkan kandungan BTX (Benzene Toulene Xylene), sedangkan bentonit yang diaktivasikan dengan menggunakan larutan asam H₂SO₄ menghasilkan peningkatan pada hidrokarbon berjenis mono aromatics, Untuk larutan H₃PO₄ yang diaktivasikan dengan bentonit menghasilkan peningkatan pada kandungan phenol [7].

Uap air merupakan kandungan yang dapat digunakan sebagai tambahan pada proses pirolisis. Penambahan uap air bertujuan untuk mengabsorpsi kandungan *volatile* yang terdapat pada produk padat hasil pirolisis sehingga mengoptimalkan hasil produk cair dan gas, selain itu uap air digunakan juga untuk proses *water gas shift reaction* dimana kandungan *carbon monoxide* direaksikan dengan H₂O.

Temperatur pirolisis berpengaruh terhadap hasil produk bio oil yang dihasilkan pada proses pirolisis eceng gondok, minyak pirolisis optimalnya dihasilkan pada temperature 350°C dengan persentase sebesar 44,9 massa total dengan kondisi heating rate sebesar 30°C /min dan partikel biomassa yang digunakan sebesar 0.5mm [8].

Akubo pada tahun 2018 meneliti tentang pengaruh temperatur terhadap hasil syngas pada proses two stage pirolisis lignin dengan menambahkan uap air dan berkatalis sodium aluminate. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini temperatur 300°C merupakan titik optimum pembentukan gas hidrogen [9].

2. METODE DAN BAHAN

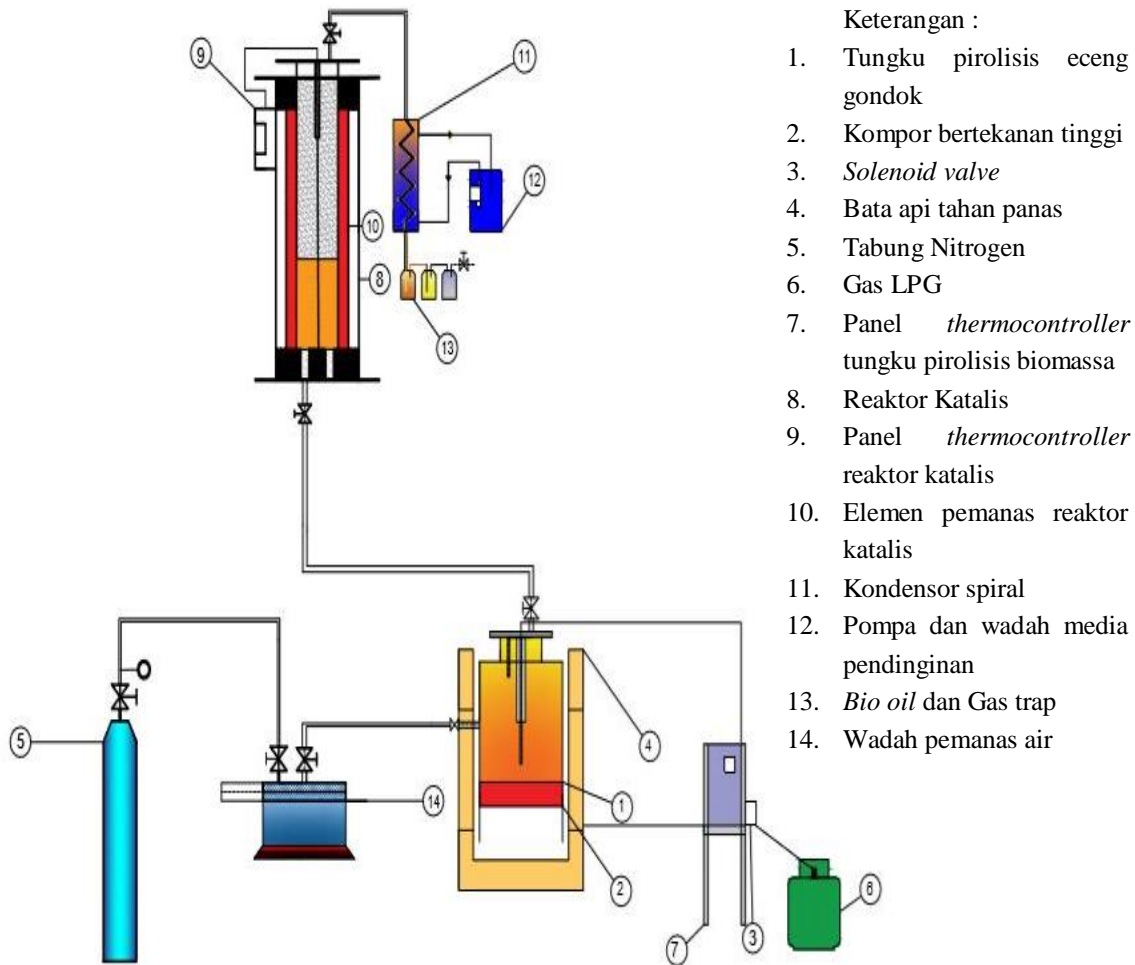
Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah penelitian eksperimental (*experimental research*). Pada penelitian ini penulis menggunakan eceng gondok untuk dijadikan sebagai sumber biomassa yang nantinya akan di pirolisis dengan bantuan katalis bentonit secara ex-situ dan penambahan uap air pada reaktor biomassa.

Penelitian ini melakukan proses pirolisis secara bertingkat dengan variasi temperatur pemanasan pada reaktor biomassa yaitu 450°C, 550°C, dan 650°C. Bahan yang digunakan adalah: Eceng gondok yang sudah dikeringkan sebanyak 300 gram, Bentonit yang sudah diaktivasikan dengan larutan asam HCL seberat 300 gram dan air sebanyak 100ml. Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pyrolyzer fix bed, moisture analyzer, stopwatch, gelas ukur, timbangan elektrik, oven, dapur listrik, kamera, loyang. Hasil yang diidentifikasi dari penelitian ini adalah: persen massa char, bio oil dan syngas, massa jenis bio oil, viskositas bio oil, komposisi kimia bio oil, serta kandungan gas hasil pirolisis.

Prosedur pertama menyiapkan tumbuhan eceng gondok meliputi daun dan batang, kemudian tumbuhan eceng gondok dikeringkan menggunakan panas dari matahari selama satu hari lalu di perkecil ukurannya sebesar 4-5 cm. Selanjutnya eceng gondok tersebut dimasukan ke dalam oven dengan temperatur 110°C selama 1 jam untuk mengurangi kadar air pada tumbuhan eceng gondok. Eceng gondok yang sudah dikeringkan diperkecil ukurannya hingga menjadi serbuk dengan ukuran 1-2mm menggunakan blender sebelum diuji kadar airnya menggunakan alat moisture analyzer yang bertujuan untuk memastikan kadar air 10%. Timbang eceng gondok yang sudah dikeringkan dan diperkecil ukurannya menjadi serbuk sebanyak 300 gram untuk dimasukan kedalam fixbed reactor.

Selanjutnya siapkan 300 gram bentonit lalu campurkan dengan larutan HCL dengan konsentrasi 1M sebanyak 150ml, setelah tercampur bentonit dicetak menggunakan mesh wire dengan ukuran (5x5x1) mm, setelah tercetak masukan bentonit kedalam furnace pada temperatur 400°C selama satu jam. Setelah dilakukan aktivasi timbang bentonit seberat 300 gram untuk dimaskan kedalam *fixbed reactor*.

Sebelum proses pirolisis dilakukan terlebih dahulu siapkan air sebanyak 100 gr lalu masukan kedalam wadah pemanas air, kemudian dialirkan gas N₂ melalui wadah pemanas air yang tersambung menuju *fixbed reactor* dengan debit 3 l/menit selama 15 menit. Penggunaan gas N₂ bertujuan untuk mendorong gas O₂ keluar dari instalasi *fixbed reactor* bertingkat.



Gambar 1: Skema Instalasi Penelitian

Hidupkan reaktor yang berisikan katalis bentonit yang sudah diaktivasi dan atur temperatur 450 °C, setelah mencapai temperatur yang sudah ditentukan hidupkan kompor bertekanan tinggi yang menjadi sumber panas *fixbed reactor* biomassa serta atur variasi temperatur yang sudah ditentukan. Ketika reaktor pirolisis biomassa sudah mencapai temperatur yang divariasikan hidupkan kompor pemanas air untuk mengalirkan uap air menuju reaktor biomassa.

Proses pirolisis dilakukan selama 1 jam, setelah proses pirolisis selesai ukur volume dan massa *bio oil* dan *char*. Ulangi proses pirolisis dengan variasi temperatur lainnya. *Bio oil* dan *char* hasil pirolisis kemudian diuji komposisi menggunakan alat *Gas Chromatography* untuk mengetahui kandungan senyawa yang terbentuk dari proses pirolisis bertingkat.

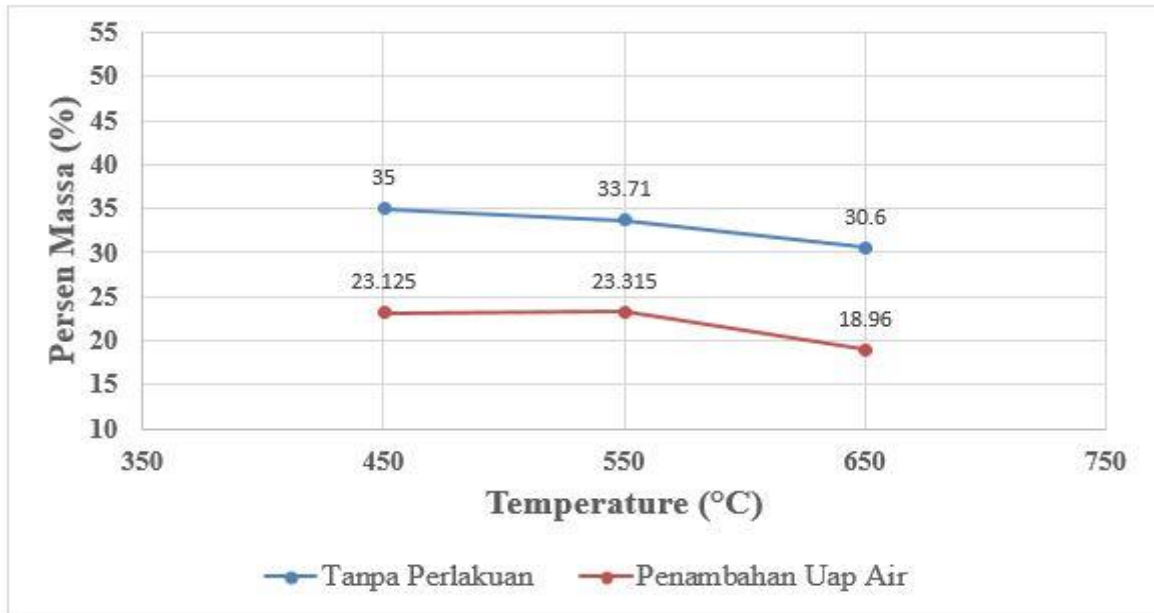
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hubungan Antara Temperatur Pirolisis Terhadap Persen Massa *Char*

Gambar 2 menunjukkan hubungan temperatur pirolisis terhadap persen massa produk *char* yang dihasilkan dari proses pirolisis eceng gondok dengan penambahan uap air dengan kondisi temperatur pirolisis pada reaktor biomassa 450°C, 550°C, dan 650°C, yang dibandingkan dengan pirolisis eceng gondok tanpa penambahan uap air. Dapat dilihat pada Gambar 2 persen massa yang dihasilkan pada produk *char* seiring dengan peningkatan temperatur persen massa yang dihasilkan cenderung menurun, hal tersebut dikarenakan semakin tinggi temperatur proses pirolisis menyebabkan semakin banyak jumlah kandungan rantai karbon yang terdekomposisi [8].

Dapat diketahui pada Gambar 2, bahwa persen massa *char* yang dihasilkan pada proses pirolisis eceng gondok dengan penambahan uap air lebih rendah dibandingkan dengan persen massa *char* tanpa perlakuan. Hal ini disebabkan pada proses pirolisis eceng gondok dengan penambahan uap air berpengaruh pada proses

absorpsi *volatiles* produk dari *char* sehingga persen massa yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan *char* tanpa perlakuan [10].

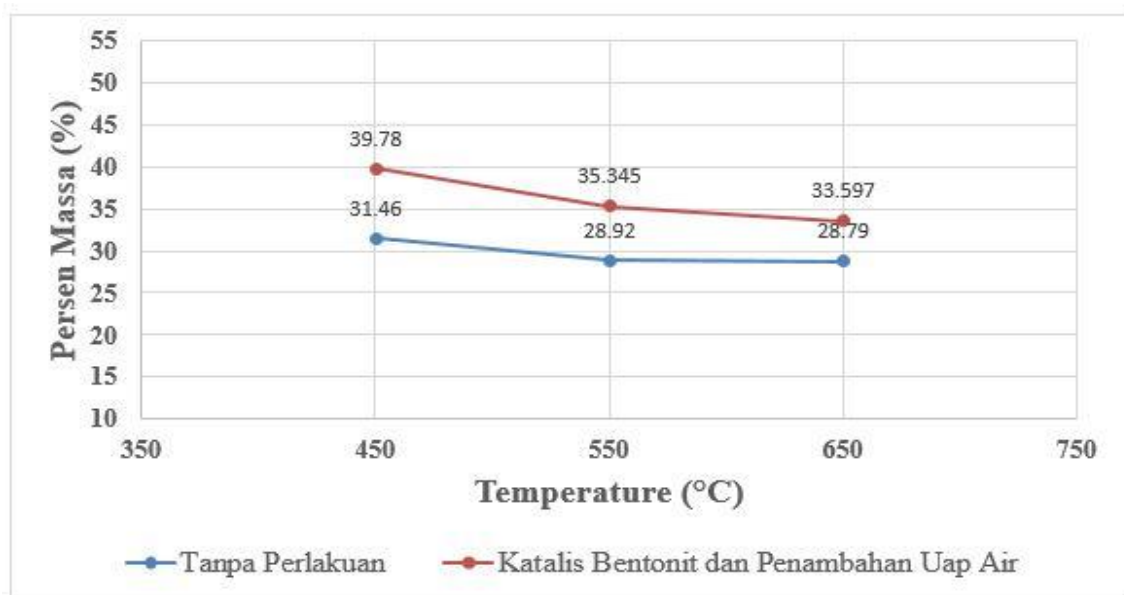


Gambar 2: Grafik Antara Hubungan Temperatur Pirolisis Terhadap Persen Massa Char

3.2 Hubungan Antara Temperatur Pirolisis Terhadap Persen Massa *Bio Oil*

Gambar 3 adalah merupakan hubungan temperatur terhadap persen massa produk *bio oil* hasil pirolisis eceng gondok tanpa perlakuan yang dibandingkan dengan penambahan katalis bentonit dan uap air. Dapat dilihat pada Gambar 3 persen massa yang dihasilkan pada produk *bio oil* memiliki kecenderungan semakin menurun seiring dengan peningkatan temperatur. Hal ini disebabkan oleh *secondary cracking* yang terjadi pada proses pirolisis tanpa perlakuan maupun penambahan katalis bentonit dan uap air dengan metode *ex-situ*, pemecahan rantai karbon yang awalnya panjang semakin diperkecil sehingga menyebabkan penurunan pada persen massa *bio oil*.

Dapat diketahui pada Gambar 3 persen massa *bio oil* dengan penambahan katalis bentonit dan uap air yang terjadi pada proses pirolisis dengan menggunakan metode *ex-situ* menghasilkan persen massa yang



Gambar 3: Hubungan Antara Temperatur Pirolisis Terhadap Persen Massa *Bio Oil*

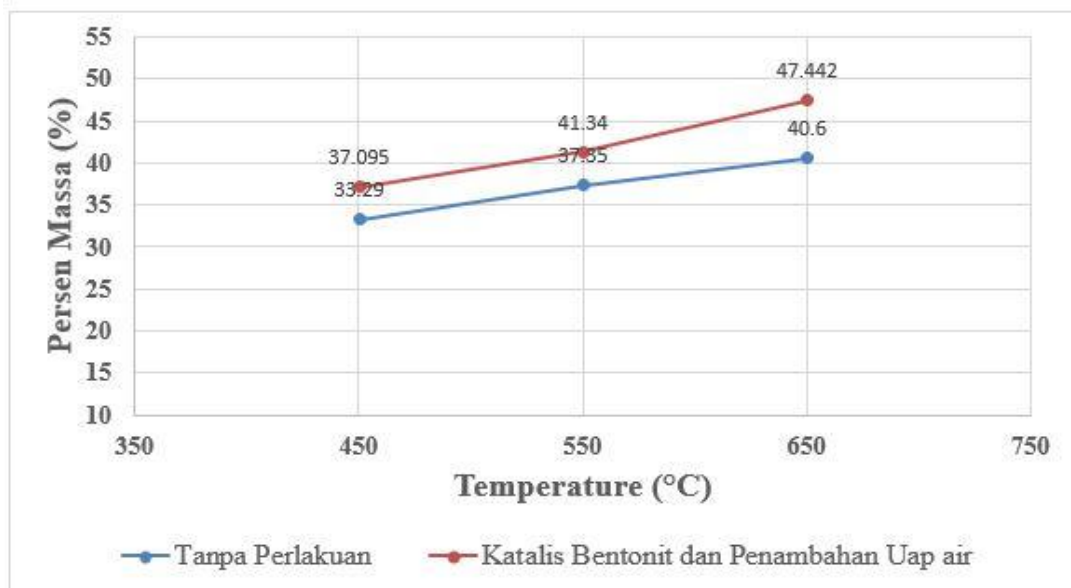
lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa perlakuan. Hal ini disebabkan oleh proses rekombinasi yang terjadi pada uap reformasi biomassa dan uap air yang dialirkan menuju reaktor katalis sehingga meningkatkan kandungan *condensable gases* dan menghasilkan persen massa bio oil yang lebih meningkat.

Penambahan uap air pada reaktor biomassa menyebabkan proses absorpsi pada kandungan lignoselulosa sehingga mengoptimalkan proses dekomposisi dan menghasilkan peningkatan pada persen massa bio oil jika dibandingkan dengan tanpa perlakuan. Selain itu penambahan uap air bertujuan untuk menghasilkan peningkatan pada senyawa alkohol yang terkandung pada *bio oil*.

3.3 Hubungan Antara Temperatur Pirolisis Terhadap Persen Massa Gas

Gambar 4 merupakan hubungan temperatur pirolisis terhadap persen massa syngas hasil produk pirolisis eceng gondok tanpa perlakuan yang dibandingkan dengan penambahan katalis bentonit dan uap air, dimana pada Gambar 4 diketahui seiring dengan peningkatan temperatur persen massa syngas cenderung meningkat. Hal tersebut dikarenakan seiring dengan peningkatan temperatur menyebabkan *secondary cracking* pada rantai karbon yang menyebabkan hasil produk berupa non condensable gases semakin meningkat.

Dapat diketahui pada Gambar 4 persen massa gas dengan penambahan katalis bentonit dan uap air yang terjadi pada proses pirolisis dengan menggunakan metode *ex-situ* menghasilkan persen massa yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa perlakuan. Hal tersebut dikarenakan penambahan Uap air yang bertujuan untuk menciptakan *water-gas-shift-reaction* dimana $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$, carbon monoxide yang dihasilkan dari proses dekomposisi lignoselulosa akan bereaksi dengan uap air menghasilkan peningkatan kandungan gas hidrogen dan carbon dioxide [9]. Selain itu digunakannya metode pirolisis *ex-situ* menyebabkan *secondary cracking* yang terjadi pada reaktor katalis menghasilkan tingkat non condensable gases yang lebih besar.



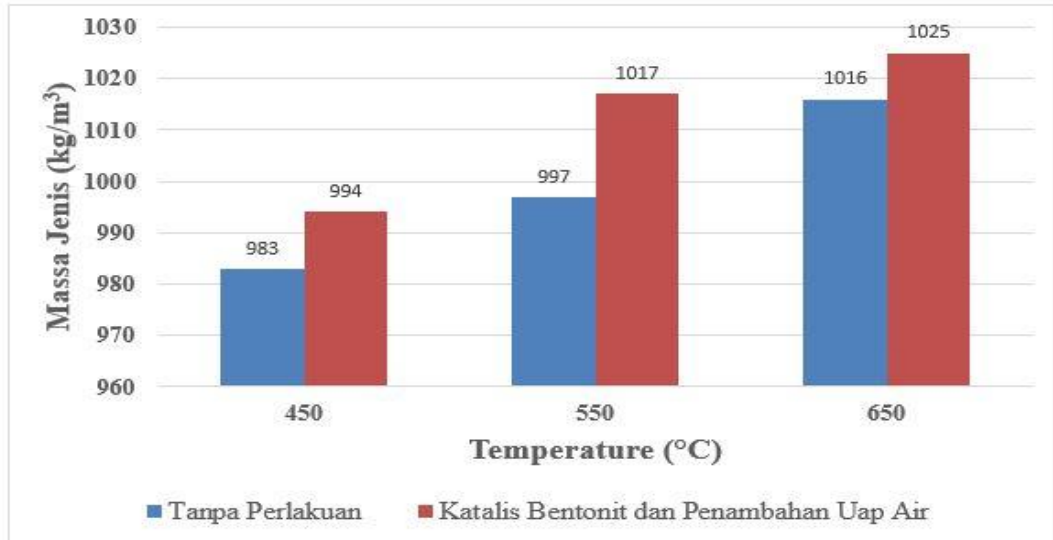
Gambar 4: Hubungan Antara Temperatur Pirolisis Terhadap Persen Massa Gas

3.4 Hubungan Antara Temperatur Pirolisis Terhadap Massa Jenis Bio Oil

Gambar 5 merupakan hubungan temperatur pirolisis terhadap massa jenis *bio oil* yang dihasilkan dari proses pirolisis eceng gondok tanpa perlakuan dibandingkan dengan penambahan katalis bentonit dan uap air. Data tanpa perlakuan didapatkan dari proses pengambilan data dengan metode *ex-situ* tanpa adanya perlakuan tambahan katalis ataupun uap air.

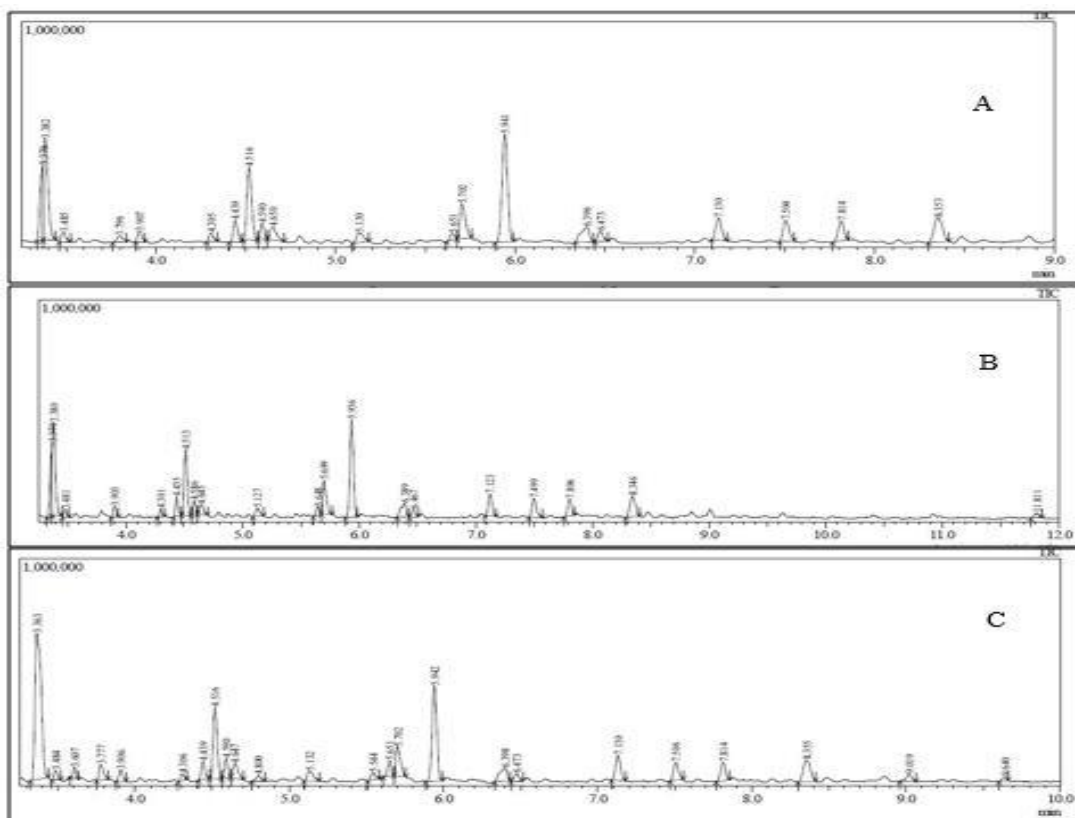
Perbandingan massa bio oil dengan volume yang didapatkan dari produk hasil pirolisis merupakan massa jenis. Didapatkan hasil yang ditunjukkan pada Gambar 5, dimana seiring dengan peningkatan temperatur menghasilkan massa jenis yang semakin meningkat. Hal tersebut disebabkan oleh semakin tinggi temperatur pirolisis semakin banyak komponen lignoselulosa yang terdekomposisi, salah satu komponen penyusun biomassa yaitu lignin yang memiliki temperatur dekomposisi tertinggi dibandingkan dengan selulosa dan hemiselulosa sehingga menyebabkan kandungan molekul yang terbentuk pada *bio oil* semakin banyak [13].

Bio oil yang diberikan perlakuan tambahan katalis bentonit dan uap air menghasilkan massa jenis yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa perlakuan. Hal tersebut dikarenakan pada proses pirolisis dengan metode ex-situ uap reformasi biomassa dan uap air dialirkan dan direaksikan pada reaktor katalis sehingga terjadinya proses rekombinasi pada molekul yang menghasilkan senyawa molekul dari produk yang lebih banyak dibandingkan tanpa perlakuan.



Gambar 5: Hubungan Temperatur Pirolisis terhadap Massa Jenis Bio oil

3.5 Hasil Pengujian *Gas Chromatograph Mass Spectrometer Bio Oil* Pirolisis Eceng Gondok dengan Penambahan Katalis Bentonit dan Uap Air



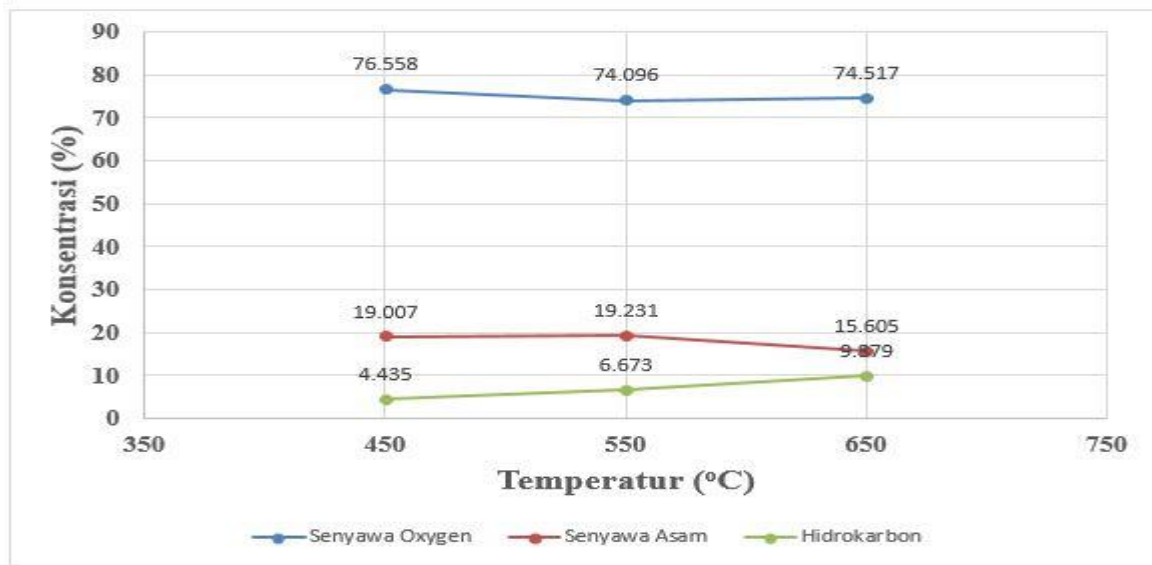
Gambar 6: Hasil *Gas Chromatography Mass Spectrometer Bio Oil* Pirolisis eceng gondok dengan penambahan katalis bentonit dan uap air (A) Temperatur 450 °C, (B) Temperatur 550 °C, (C) Temperatur 650 °C.

Gambar 6 merupakan hasil uji *gas chromatograph mass spectrometer* dari *bio oil* hasil pirolisis eceng gondok dengan penambahan katalis bentonit dan uap air. Sampel yang di ujikan merupakan produk hasil pirolisis pada temperatur 450 °C, 550 °C, dan 650 °C. Sebelum dilakukannya pengujian sampel dilakukan preparasi pada *bio oil* dengan menggunakan larutan etil asetat yang bertujuan untuk memisahkan kadar air yang terdapat pada *bio oil*, selain itu preparasi dilakukan karena sampel *bio oil* hasil pirolisis eceng gondok bersifat diantara polar dan non polar. Sampel yang sudah terpisahkan dari kandungan air diambil sebanyak 100 mikroliter untuk di *inject* kedalam alat GC-MS. Kondisi awal pada saat pengambilan data GC-MS temperatur *column* pada 70 °C dengan laju perpindahan panas sebesar 5 °C setiap menitnya. Temperatur akhir *column* berada pada 300 °C.

Pada Gambar 6 sumbu-x yang terdapat pada hasil uji merupakan *retention time* (RT) yang menandakan waktu sebuah sampel senyawa yang berada pada *column* hingga menuju *mass spectrometer* pada alat GC-MS. Sumbu-y yang terdapat pada hasil pengujian menandakan intensitas dari senyawa yang terdeteksi oleh *mass spectrometer*.

3.6 Hubungan Antara Temperatur Pirolisis Terhadap Konsentrasi Senyawa Organik yang Terbentuk Pada Produk *Bio Oil*

Gambar 7 merupakan hubungan temperatur pirolisis terhadap konsentrasi senyawa organik yang terbentuk pada produk *bio oil* hasil pirolisis eceng gondok dengan penambahan katalis bentonit dan uap air. Diketahui dari Gambar 7, seiring peningkatan temperatur konsentrasi hidrokarbon yang terbentuk pada *bio oil* semakin meningkat hal tersebut dikarenakan pada proses pirolisis eceng gondok semakin tinggi temperatur pada proses dekomposisi rantai karbon pada reaktor biomassa yang nantinya akan dialirkan menuju reaktor katalis dan direaksikan dengan katalis bentonit menyebabkan *catalyst cracking* yang menghasilkan senyawa *hydrocarbon* semakin besar.



Gambar 7: Hubungan Temperatur terhadap Konsentrasi Senyawa Organik yang Terbentuk Pada Produk *Bio Oil*

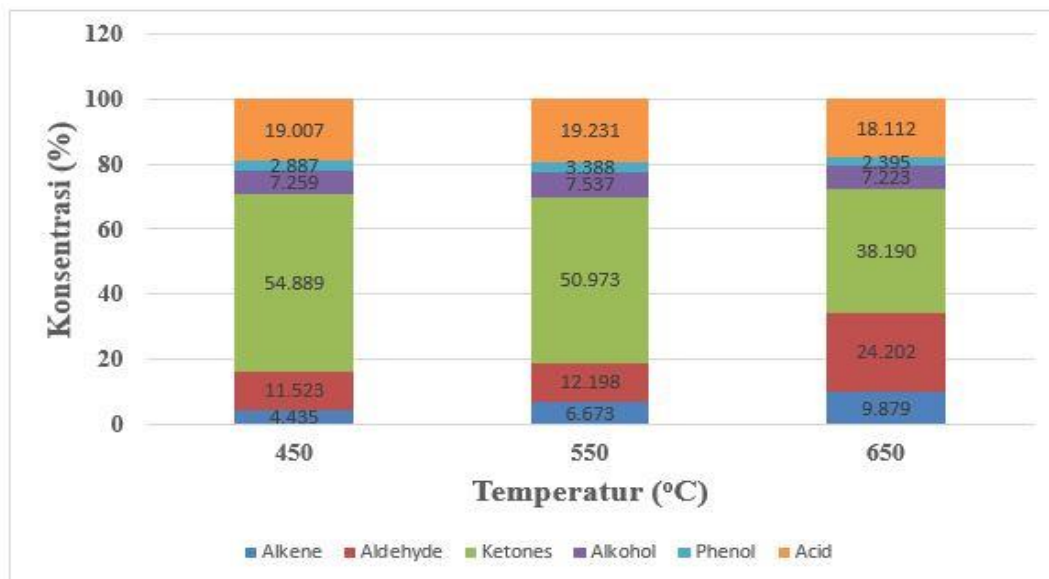
Dapat diketahui pada Gambar 7, temperatur 450 °C menghasilkan senyawa organik yang terdiri dari hidrokarbon, senyawa oksigen, dan senyawa asam. Senyawa hidrokarbon yang dihasilkan terdiri dari gugus *alkene* sebesar 4.435%, Senyawa oksigen terdiri dari gugus *phenol* sebesar 2.887%, gugus *alcohol* sebesar 7.259%, gugus *aldehyde* sebesar 11.523% dan gugus *ketones* sebesar 54.889%. Senyawa asam yang terbentuk terdiri dari gugus *Acid* sebesar 19.007%. Pada temperatur 550 °C didapatkan hasil senyawa organik yang terdiri dari hidrokarbon, senyawa oksigen, dan senyawa asam. Senyawa hidrokarbon yang dihasilkan terdiri dari gugus *alkene* sebesar 6.673%, Senyawa oksigen yang terdiri dari gugus *phenol* sebesar 3.388%, gugus *alcohol* sebesar 7.537%, gugus *aldehyde* sebesar 12.198%, dan gugus *ketones* sebesar 50.973%, Senyawa asam yang terbentuk dari gugus *acid* sebesar 19.231%. Pada temperatur 650 °C didapatkan hasil senyawa organik yang terdiri dari hidrokarbon, senyawa oksigen, dan senyawa asam. Senyawa hidrokarbon yang dihasilkan terdiri dari gugus *alkene* sebesar 9.879%, senyawa oksigen yang terdiri dari gugus *phenol*

sebesar 2.395%, gugus *alcohol* sebesar 7.223%, gugus *aldehyde* sebesar 24.202%, dan gugus *ketones* sebesar 38.190%, Senyawa asam yang terbentuk dari gugus *acid* sebesar 18.112%. Besarnya tingkat senyawa oksigen disebabkan pada proses pirolisis eceng gondok terjadi fenomena dekomposisi, fragmentasi dan depolimerisasi pada lignin, selulosa dan hemiselulosa. Untuk senyawa asam yang terbentuk dihasilkan dari proses dekomposisi bagian utama dari lipid eceng gondok [8]. Penambahan uap air menyebabkan dampak peningkatan pada senyawa hidroksida (OH) pada proses *catalyst cracking* yang terjadi pada reaktor katalis sehingga menyebabkan senyawa oksigen meningkat.

Dapat diketahui pada Gambar 7 dihasilkan peningkatan pada senyawa *hydrocarbon* seiring dengan peningkatan temperatur. Hal tersebut dikarenakan uap biomassa yang dialirkan dan di reaksikan pada reaktor katalis bentonit menghasilkan kandungan senyawa *hydrocarbon* dari proses *catalyst cracking*. *Hydrocarbon* yang dihasilkan optimum pada temperatur 650 °C dengan total persentase gugus *alkene* sebesar 9.879%. Dampak besar temperatur dikaitkan dengan pembelahan rantai C – O dan C – C pada proses depolimerisasi lignoselulosa yang di ikuti dengan transformasi katalitik dan menghasilkan zat dari proses dehidrasi, dekarboksilasi dan dealkalisasi [7].

3.7 Hubungan Antara Temperatur Terhadap Senyawa Fungsional yang Terbentuk pada *Bio Oil* Hasil Pirolisis Eceng Gondok

Gambar 8 menunjukkan hubungan temperatur terhadap senyawa fungsional yang terbentuk pada *bio oil* hasil pirolisis eceng gondok dengan penambahan katalis bentonit dan uap air. Diketahui pada gambar temperatur 450 °C menghasilkan gugus *alkene* sebesar 4.435%, gugus *aldehyde* sebesar 11.523%, gugus *ketones* sebesar 54.889%, gugus *alcohol* sebesar 7.259%, gugus *phenol* sebesar 2.887% dan gugus *acid* sebesar 19.007%. Pada temperatur 550 °C menghasilkan gugus *alkene* sebesar 6.673%, gugus *aldehyde* sebesar 12.198%, gugus *ketones* sebesar 50.973%, gugus *alcohol* sebesar 7.537%, gugus *phenol* sebesar 3.388%, dan gugus *acid* sebesar 19.231%. Pada temperatur 650 °C menghasilkan gugus *alkene* sebesar 9.879%, gugus *aldehyde* sebesar 24.202, gugus *ketones* sebesar 38.190, gugus *alcohol* sebesar 7.223%, gugus *phenol* sebesar 2.395% dan gugus *acid* sebesar 18.112%.



Gambar 8. Hubungan Temperatur terhadap Senyawa Fungsional yang Terbentuk pada *Bio Oil* Hasil Pirolisis Eceng Gondok

Diketahui pada Gambar 8 seiring dengan peningkatan temperatur gugus *alkene* yang terbentuk pada *bio oil* hasil pirolisis semakin meningkat. Hal tersebut dikarenakan pada proses pirolisis dengan metode *ex-situ* dengan penambahan katalis bentonit dan uap air, menghasilkan uap reformasi biomassa dan direaksikan dengan bentonit pada reaktor katalis sehingga menghasilkan peningkatan pada senyawa *alkene* karena proses *catalyst cracking* dan rekombinasi.

Diketahui pada Gambar 8 temperatur 550 °C menghasilkan gugus *alcohol* tertinggi sebanyak 7.537%. Terbentuknya gugus *alcohol* disebabkan oleh uap reformasi biomassa dan uap air yang dialirkan dari reaktor biomassa menuju reaktor katalis sehingga menyebabkan proses *catalyst cracking* yang terjadi dan

menghasilkan terikatnya kandungan hidroksida (OH⁻) pada bio oil hasil pirolisis eceng gondok [11].

Pada Gambar 8 gugus *ketones* merupakan persentase tertinggi yang dihasilkan pada proses pirolisis eceng gondok dengan penambahan katalis bentonit dan penambahan uap air. Gugus *ketones* merupakan senyawa yang mempunyai ikatan rangkap pada karbon dan oksigen. Gugus *ketones* berfungsi sebagai bahan pelarut, prekursor, polimer dan obat-obatan. Peningkatan gugus *ketones* dikarenakan pada temperatur 450 °C terjadi proses dehidrasi dari senyawa organik yang terdapat pada biomassa sehingga menghasilkan kandungan *ketones* yang tinggi [14]. Pada gugus *ketones* seiring dengan peningkatan temperatur mengakibatkan penurunan persentase pada gugus. Hal tersebut dikarenakan gugus *ketones* yang terbentuk berasal dari dekomposisi dan rekombinasi dari komponen lignoselulosa yaitu selulosa dan hemiselulosa (Lyu et al, 2015). Hemiselulosa sendiri diketahui temperatur dekomposisinya berada pada 150 - 350 °C, Untuk senyawa selulosa diketahui temperatur dekomposisinya berada pada 275 - 350 °C [13].

Diketahui pada Gambar 8 terciptanya senyawa *phenol* pada rentan temperatur 450 °C, 550 °C, dan 650 °C pada pirolisis eceng gondok dengan penambahan katalis bentonit dan uap air. Gugus *phenol* terbentuk karena proses dekomposisi, depolimerisasi dan reaksi pemecahan pada senyawa yang terdapat pada biomassa yaitu lignin [15]. Gugus *phenol* berfungsi sebagai pelopor dari banyak bahan yang digunakan pada kehidupan sehari-hari, contoh aplikasi dari gugus *phenol* digunakan untuk proses mensintetis plastik. Turunan gugus *phenol* sangat berguna untuk bahan produksi polikarbonat, epoksi, dan nilon [15].

4. KESIMPULAN

Dari penelitian tentang pengaruh temperatur terhadap hasil produk pirolisis eceng gondok secara *ex-situ* dengan katalis bentonit dan penambahan uap air dapat disimpulkan bahwa:

1. Peningkatan temperatur pada proses pirolisis eceng gondok dengan penambahan katalis bentonit menghasilkan persen massa dari produk char yang semakin menurun. Penambahan uap air menghasilkan persen massa yang lebih rendah dibandingkan dengan tanpa perlakuan.
2. Peningkatan temperatur menghasilkan persen massa dari bio oil semakin menurun. Penambahan katalis bentonit dan uap air menghasilkan peningkatan pada persen massa bio oil jika dibandingkan dengan tanpa perlakuan. Temperatur 450°C menghasilkan bio oil terbanyak sebesar 39.78%
3. Peningkatan temperatur menghasilkan persen massa dari produk gas hasil pirolisis semakin meningkat. Pada temperature 650°C menghasilkan produk gas terbanyak sebesar 47.442%. Produk gas yang dihasilkan pada proses pirolisis eceng gondok akan semakin banyak seiring dengan peningkatan temperatur.
4. Senyawa organik yang terdapat pada bio oil hasil pirolisis eceng gondok didapatkan hasil senyawa hidrokarbon, senyawa oksigen dan senyawa asam. Pada temperatur 650°C menghasilkan senyawa hidrokarbon tertinggi sebesar 9.879%. Senyawa oksigen yang dihasilkan terbanyak pada temperatur 450°C sebesar 76.558%, dan senyawa asam yang dihasilkan terbesar pada temperatur 550°C sebesar 19.231%.
5. Peningkatan temperatur pada proses pirolisis *ex-situ* dengan katalis bentonit dan penambahana uap air menghasilkan massa jenis yang semakin meningkat.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] FOX, L.J., STRUIK, P.C., APPELTON, B.L., *et al.*, “Nitrogen phytoremediation by water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms)”, *Water, Air, and Soil Pollution*, v. 194, n. 1, pp. 199-207, 2008.
- [2] KUSUMANINGTYAS, R.D., “Potensi Pengolahan Eceng Gondok Menjadi Sumber Energi Terbarukan Dalam Mendukung Ketahanan Energi Nasional”, *In: Seminar Nasional Akmil-UNNES*, pp. 56-62, Magelang, Sept. 2017.
- [3] BASU, P., “Introduction”, *In: Zanol, R., Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design and Theory 1 ed.*, chapter 1, Elsevier, 2010.
- [4] KAR, Y., “Catalytic cracking of pyrolytic oil by using bentonite clay for green liquid hydrocarbon fuels production. Biomass and Bioenergy”, *Biomass and Bioenergy*, v. 119, pp. 473 – 479, Dec 2018.
- [5] NURKHOLIS H, PURNAMI, ADIMAS RJ. “The effect of natural bentonite and temperature on gasification of oil palm shell”, *In: AIP Conference Proceedings 1983*, 2018.
- [6] HAIRUL B, M., WIJAYANTI, W., HAMIDI, N., WARDANA, I.N.G., “The role of alkali metal and alkaline metal earth in natural zeolite on combustion of *Albizia Falcataria* sawdust”, *In: International Journal of Energy and Environmental Engineering*, pp. 219–227, 2020.
- [7] ELFADLY, A.M., ZEID, I.F., YEHIA, F.Z., *et.al.*, “Production of aromatic hydrocarbon from catalytic pyrolysis of lignin over acid-activated bentonite clay”, *Fuel Processing Technology*, v. 163, pp. 1-7, Aug. 2017.

- [8] RAHMAN, M.A., “Pyrolysis of water hyacinth in a fixed bed reactor: Parametric effects on product distribution, characterization and syngas evolutionary behaviour”, *Waste Management*, v. 80, pp. 310 – 318, Oct. 2018.
- [9] AKUBO, K., NAHIL, M.A., WILLIAMS, P.T., “Pyrolysis-catalytic steam reforming of agricultural biomass wastes and biomass components for production of hydrogen/syngas”, *Journal of The Energy Institute*, v. 92, n. 6, pp. 1987-1996, Dec. 2019.
- [10] MINKOVA, V., RAZVIGOROVA, M., BJORNBOM, E., *et.al.*, “Effect of water vapour and biomass nature on the yield and quality of the pyrolysis products from biomass”, *Fuel Processing Technology*, v.70, n.1, pp. 53-61, Apr. 2001.
- [11] AVERIL, B., ELDEREDGE P., “Organic Compound”, “*General Chemistry: Principles, Pattern, and Applications*”, chapter 24, Saylor Foundation, pp. 2204 – 2206, 2011.
- [12] LYU G., SHUBIN W., ZHANG H., “Estimation and Comparison of Bio-Oil Components from Different Pyrolysis Conditions”, *Frontiers in Energy Research*, v. 3, n. 28, pp. 1-11, Jun. 2015.
- [13] BASU, P., “Pyrolysis and Torrefaction”, In: Zanol, R., *Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design and Theory 1 ed.*, chapter 3, Elsevier, 2010.
- [14] JAHIRUL, M.I., MOHAMMAD G.R., CHOWDURY, A.A., *et.al.*, “Biofuels production through biomass pyrolysis- A technological review”, *Energies*, v. 5, n. 12, pp. 4952-5001, 2012.
- [15] QUAN, B., HANWU, L., SHOUJIE, R., *et al.*, “Phenol and phenolics from lignocellulosic biomass by catalytic microwave pyrolysis”, *Bioresource Technology*, v. 102, n. 13, Jul. 2011.