

Comparison Of Biomass Zeolite Mixture As Catalyst On Pyrolysis Combustion On Results Of Biochar And Liquid Smoke

Kemas Ridhuan¹, Dwi Irawan¹, Adam H².

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Metro

²Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Metro

kmsridhuan@yahoo.co.id - dwi_irawan12@yahoo.co.id - Adamh15@gmail.com

Abstract: The characteristics of zeolites are very stable with very high adsorption ability, selective, have a lot of active pore structure (micropore), which causes zeolite to be very potentially processed as a catalyst. Catalyst is a substance that is able to increase the rate of reaction and accelerate the reaction in the pyrolysis process. Catalyst is utilized to reduce the energy that occurs in the combustion process so that reactions can occur at low temperatures. The purpose of this study was to determine the characteristics of pyrolysis combustion that occurred also determine the quality and quantity of biochar and liquid smoke generated. The research method uses gelam wood biomass, zeolite from Lampung with mesh size 20. Burning with fast pyrolysis and using LPG fuel. With a variation of 10 kg of biomass, biomass to zeolite 10 : 5 and 10 : 10 is arranged in layers between biomass and zeolite. Research results obtained the highest combustion temperature without zeolite is 521 °C, and 10 : 10 is 425 °C. The most liquid smoke in zeolite 10 : 10 gelam wood is 2.5 kg with 4.7 kg charcoal. The highest efficiency of liquid smoke at 1 : 1 is 25% and the efficiency of charcoal is 47%, the highest content of charcoal ash without zeolite is 56.31%. The highest heating value of charcoal in pyrolysis without zeolite is 9,3889.39 cal/g The liquid smoke is clear at 1 : 1 that is light yellow with ph 2.9.

Keywords: Pyrolysis, Combustion, Zeolite, Biochar, Liquid smoke.

Abstrak: Karakteristik zeolit sangat stabil dengan kemampuan adsorpsi yang sangat tinggi, selektif, mempunyai struktur pori (mikroporus) aktif yang banyak, hal itu menyebabkan zeolit sangat berpotensi diproses sebagai katalis. Katalis merupakan suatu zat yang mampu meningkatkan laju reaksi dan mempercepat terjadinya reaksi pada proses pirolisis. Katalis digunakan untuk menurunkan energi yang terjadi pada proses pembakaran sehingga reaksi dapat terjadi pada temperatur rendah. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui karakteristik pembakaran pirolisis yang terjadi juga mengetahui kualitas dan kuantitas bioarang dan asap cair yang dihasilkan. Metode penelitian menggunakan bahan biomassa kayu gelam, zeolite asal lampung dengan ukuran mesh 20. Pembakaran dengan pirolisis fast dan menggunakan bahan bakar LPG. Dengan variasi biomassa 10 kg, biomassa terhadap zeolite 10 : 5 dan 10 : 10 disusun berlapis antara biomassa dan zeolite. Hasil penelitian didapat temperatur pembakaran tertinggi pada tanpa zeolit yaitu 521°C, dan 10:10 yaitu 425°C. Asap cair terbanyak pada kayu gelam zeolit 10:10 yaitu 2,5 kg dengan arang 4,7 kg. Efisiensi asap cair tertinggi pada 1:1 yaitu 25% dan efisiensi arangnya 47 %, Kadar abu arang tertinggi pada tanpa zeolit yaitu 56,31% Nilai kalor arang tertinggi pada pirolisis tanpa zeolit yaitu 9.389,39 cal/g Asap cair terjernih pada 1:1 yaitu berwarna kuning muda dengan ph 2,9.

Kata Kunci: Pirolisis, Pembakaran, Zeolit, Bioarang, Asap cair.

© 2019. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Biomassa adalah semua bahan organik seperti kayu, hasil pertanian, rumput laut, kotoran hewan, yang bisa digunakan sebagai sumber energi. Penggunaan biomassa sebagai energi pada prinsipnya adalah pengembalian dari proses fotosintesis. Pengembalian energi ini dapat

dilepaskan ketika tanaman atau limbah dibakar atau dikonversi menjadi bahan bakar. Biomassa merupakan sumber energi yang terbarukan karena persediaannya tidak terbatas, seperti tumbuhan-tumbuhan, pertanian, maupun limbah yang dihasilkan akan selalu tersedia.

Isu lingkungan sudah menjadi masalah yang krusial saat ini dan hal-hal yang terkait lingkungan seperti energy alternatif, dan prinsip 3R (Reuse, Recycle, Reduce) sudah menjadi keharusan. Diantara banyak isu terkait lingkungan yang berkembang saat ini yaitu bahan kimia/pengawet makanan yang harus dihindari karena merugikan kesehatan seperti formalin, borax, dll. Selain itu isu lainnya adalah pencemaran lingkungan diantaranya limbah buangan biomassa yang belum dimanfaatkan secara maksimal sehingga menimbulkan masalah bagi sebagian tempat.

Berbagai cara yang dapat dilakukan untuk memanfaatkan biomassa tersebut sebagai sumber energi adalah dengan cara pembakaran pirolisis. Pirolisis merupakan proses degradasi atau penguraian biomassa yang padat menjadi gas dengan pembakaran pada suhu tinggi tanpa atau sedikit oksigen. Hasil produk pembakaran pirolisis dapat berupa padatan (charcoal/arang), gas (fuel gas) dan cairan (bio-oil) [1].

Arang merupakan suatu produk yang dihasilkan dari proses karbonisasi dari bahan yang mengandung karbon terutama biomass kayu. Arang pirolisis memiliki nilai kalor yang tinggi. Produk ini utamanya banyak digunakan sebagai sumber energi. Proses pembuatan arang sesungguhnya dapat dihasilkan berbagai arang yang mempunyai kegunaan berbeda misalnya arang biasa hasil dari pembakaran hanya dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk menghasilkan panas. Sedangkan arang dengan melalui proses pengaktifan fungsinya dapat berubah untuk kesehatan, pertanian, kecantikan, elektronik, dll.

Kemudian asap cair merupakan suatu hasil kondensasi atau pengembunan dari uap hasil pembakaran secara langsung maupun tidak langsung dari bahan-bahan yang banyak mengandung lignin, selulosa, hemiselulosa serta senyawa karbon lainnya. Bahan baku yang banyak digunakan untuk membuat asap cair adalah kayu, bongkol kelapa sawit, ampas hasil penggergajian kayu, dan lain-lain. Beberapa manfaat asap cair yaitu sebagai bahan pengawet makanan, pengolahan karet penghilang bau dan pengawet kayu biar tahan terhadap rayap.

Asap cair dapat diaplikasikan pada produk pangan dengan berbagai metode, yaitu pencampuran, pencelupan atau perendaman, penyuntikan, pencampuran asap cair pada air perebusan, dan penyemprotan. Metode pencampuran biasanya digunakan pada produk daging olahan, flavor ditambahkan dalam jumlah

yang bervariasi. Metode ini dapat digunakan untuk ikan, emulsi daging, bumbu daging pangan, mayonaise, sosis, keju oles, dan lain lain (Kostyra, Pikielna 2007).

Proses pembakaran pirolisis dapat dipengaruhi oleh ukuran partikel, laju pemanasan, waktu, suhu serta tekanan [2]. Pembakaran pirolisis pada suhu 400°C merupakan metode yang baik karena memaksimalkan senyawa lignin dan selulosa dari tumbuhan untuk menghasilkan bahan bakar cair [2].

Untuk mempercepat terjadinya reaksi pada proses pirolisis, maka diperlukan adanya katalis. Penggunaan katalis dapat membantu proses pirolisis dengan mengkonversi sampel menjadi senyawa hidrokarbon [3]. Katalis Ni.Mo/Lempung Cengar berfungsi untuk mempercepat terjadinya reaksi kimia dan bekerja secara spesifik untuk reaksi tertentu dan dapat menurunkan besarnya energi aktivasi suatu reaksi.

Zeolit merupakan suatu mineral alumino silikat yang berbentuk rangka tiga dimensi, yang mempunyai rongga dan mengandung ion-ion logam seperti Na, K, Mg, Ca, Fe, serta molekul air. Adanya logam prekursor seperti Ni didalam zeolit mampu menambahkan aktivitas zeolit sebagai katalis yaitu dengan melakukan proses impregnasi larutan logam prekursor NiCl₂.6H₂O. Penambahan logam Ni ini dapat meningkatkan situs aktif pada zeolit sehingga akan menambah keasaman katalis oleh karena itu proses konversi menjadi produk yang diinginkan tercapai [4]. Zeolit merupakan katalis yang baik, karena memiliki struktur kristal berpori dan mempunyai luas permukaan yang besar serta tingkat keasaman yang tinggi [5]. Adanya diameter kanal pada pelet katalis diharapkan dapat mengurangi tekanan yang terjadi saat proses pirolisis katalitik sehingga diharapkan semakin banyak gas yang akan bertumbukan dengan permukaan zeolit sehingga mempercepat proses degradasi termal hingga akhirnya biooil yang dihasilkan akan maksimal.

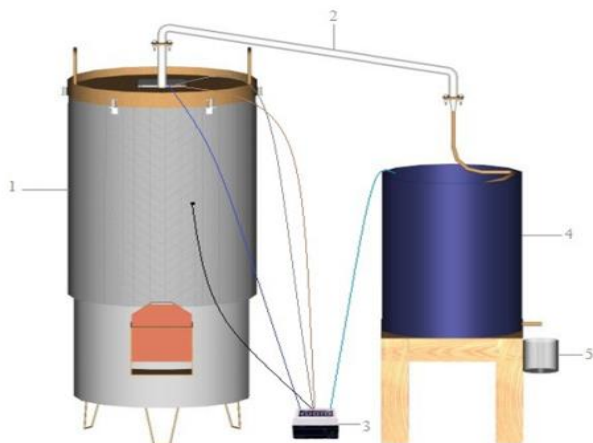
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan campuran antara biomassa zeolit sebagai katalis pada pembakaran pirolisis terhadap karakteristik hasil bioarang dan asap cair seperti nilai kalor, kadar abu, kadar air, pH dan berat jenis.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan bahan biomassa kayu gelam yang banyak terdapat dimasyarakat. Jenis zeolite yang digunakan yaitu zeolite lampung

berjenis klinoptilolit sangat cocok digunakan pada proses adsorpsi senyawa organik seperti fenol yang mengandung 8% Modernit dan 14% Analsim. Dengan mesh 15.

Reactor pirolisis berkapasitas 25 kg biomassa, jenis pirolisis yang digunakan yaitu pirolisis fast karena suhu pembakarannya diatas 450°C. bahan bakar yang digunakan LPG. Kondensor menggunakan pipa tembaga berdiameter ½ inch dengan jumlah lilitan 13 buah dengan pendingin air.



Gambar 1. Rangkaian reaktor pirolisis

Campuran biomassa dan zeolite yang dibakar direaktor disusun berlapis zeolite biomassa zeolite biomassa dengan variasi perbandingan ; biomassa saja sebanyak 10 kg, lalu biomassa 10 kg dan zeolite 5 kg. kemudian biomassa 10 kg dan zeolite 10 kg. biomassa dipotong kecil-kecil berukuran diameter ± 6 cm dan tebal 4 cm.

Proses pembakaran pirolisis yaitu biomassa dan zeolite dimasukkan ke dalam reaktor secara berlapis sesuai dengan perbandingan dan jumlah yang telah ditentukan. Tutup reaktor dan hubungkan dengan kondensor. Hidupkan burner pembakaran LPG, catat waktu dan suhu pembakaran yang terjadi setiap 10 menit pada tiap beberapa titik. Amati kejadian selama penelitian seperti waktu mulai menetes asap cair dan waktu berhenti menetes. Setelah dipastikan asap cair tidak keluar lagi (menetes) maka cukupkan pembakaran pirolisisnya dan buka reaktor. Dinginkan asap cair sejenak lalu ukur dan timbang asap cair dan bioarang yang didapat. Selanjutnya bioarang dan asap cair diuji di laboratorium kimia untuk mengetahui karakteristik bioarang seperti nilai kalor, kadar air, kadar abu. Lalu asap cairnya seperti kadar pH, kadar asam, berat jenis, viskositas.



Gambar 2. Hasil asap cair berbagai kualitas



Gambar 3. Hasil bioarang berbagai kualitas

Hasil dan Pembahasan

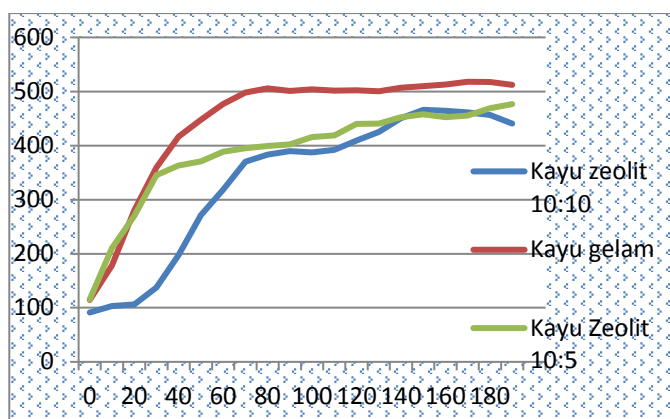
Adapun data hasil pengujian yang didapat yaitu

Tabel 1. Karakteristik hasil asap cair

No	Jenis variasi	Kadar pH	Efisiensi (%)
1	Kayu gelam	2,6	19
2	Kayu zeolit 10:5	2,8	21
3	Kayu zeolit 10:10	2,9	25

Tabel 2. Karakteristik hasil bioarang

No	variasi	Kadar air (%)	Kadar abu (%)	Nilai kalor (cal/g)	Efisiensi (%)
1	Kayu gelam	3,1	56,31	9,389.39	52
2	Kayu zeolit 10:5	3,1	53,81	8,532.80	50
3	Kayu zeolit 10:10	3,1	51,19	8,278.01	47

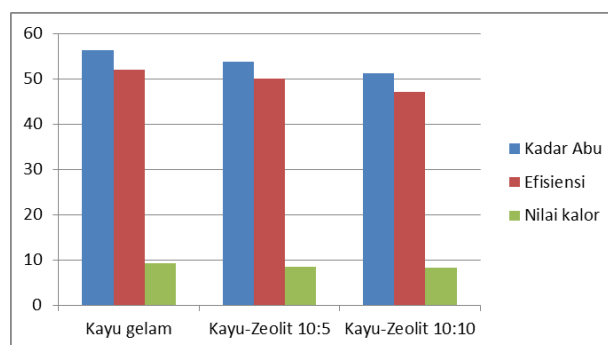


Gambar 2. Grafik pembakaran biomassa-zeolit

Dengan meningkatnya waktu pirolisis, kadar air yang terkandung pada arang akan semakin menurun. Hal ini dapat dijelaskan bahwa semakin lama waktu pirolisis, semakin terbuka pori-pori dari arang tersebut. Dikarenakan waktu pirolisis yang digunakan sama yaitu 180 menit untuk ketiga variasi zeolite maka kadar air yang dimiliki tiap sampel sama juga yaitu 3,1% berdasarkan tabel 2 Hal ini sesuai dengan pernyataan [6] bahwa kadar air pada arang dipengaruhi oleh waktu pirolisis.

Dari gambar 3, 4 dan 5 terlihat bahwa semakin tinggi temperatur, maka bioarang yang dihasilkan semakin sedikit, sebaliknya asap cair yang dihasilkan akan semakin banyak. Hal ini dikarenakan dengan semakin besarnya temperatur pirolisis, maka komponen/senyawa yang ada di dalam kayu gelam akan semakin banyak yang terdekomposisi menjadi asap cair. Dekomposisi biomasa yang terjadi ini akan menyebabkan mengecilnya partikel-partikel kayu akibat menguapnya uap air dan volatile matter. Volatile matter ini pada kondisi atmosfer nanti akan menghasilkan asap cair dan gas.

Dari tabel 2. Diketahui bahwa kadar abu tertinggi pada bahan kayu gelam tanpa zeolite dan yang terendah pada kayu gelam dengan zeolite 10:10. Tingginya kadar abu pada arang dapat disebabkan oleh kondisi saat proses pirolisis, dimana kemungkinan terjadinya proses oksidasi pada tanur dengan suhu pirolisis yang relatif tinggi yaitu pada kayu gelam. Hal ini sesuai dengan penelitian [7] bahwa semakin banyak jumlah zeolit maka kadar abu arang akan semakin sedikit dan sebaliknya semakin sedikit jumlah zeolit maka kadar abu pada arang akan semakin banyak.

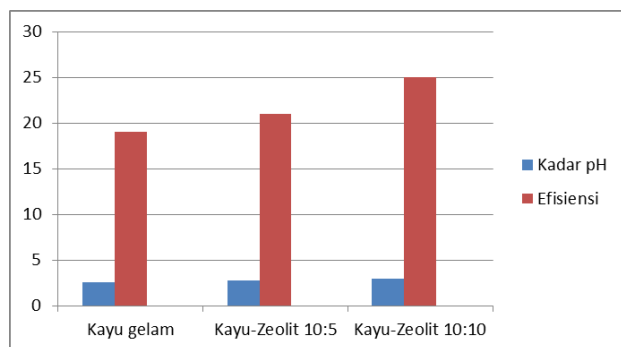


Gambar 4. Karakteristik bioarang yang dihasilkan

Dari gambar 4 dapat dilihat bahwa jumlah padatan (bioarang) atau efisiensi hasil bioarang pirolisis pada sampel dengan katalis yang berbeda dalam reaktor dapat mempengaruhi hasil bioarang. Dimana semakin banyak zeolite maka efisien bioarang akan semakin kecil dan sebaliknya. Hal ini dikarenakan katalis dapat meningkatkan reaksi dekomposisi atau pemutusan ikatan kimia pada biomassa yang mengakibatkan semakin banyaknya hidrokarbon rantai panjang yang terpecah menjadi hidrokarbon rantai pendek sehingga semakin banyak gas yang terbentuk dan padatan yang dihasilkan semakin sedikit.

Dengan adanya penambahan jumlah katalis akan menyebabkan energi aktivasi menjadi semakin kecil dan kecepatan reaksi semakin besar, sehingga yield bio-oil yang dihasilkan juga semakin besar. Selain itu, menurut [8], bahwa dengan bertambahnya persentase berat katalis terhadap biomassa dengan ukuran biomassa yang sama, maka jumlah pori pada katalis semakin meningkatkan dan luas permukaannya juga semakin besar, sehingga situs-situs aktif pada katalis yang dapat dimanfaatkan selama proses perengkahan semakin banyak dan dapat meningkatkan asap cair yang dihasilkan.

Untuk nilai kalor bioarang seperti pada gambar 4 terlihat, bahwa semakin besar temperatur pirolisis, maka semakin besar pula nilai kalornya. Hal ini dikarenakan semakin tinggi pemanasan, maka semakin banyak pula pure-char yang terbentuk. Artinya, pada suhu yang rendah, produk padat tidak hanya berupa char saja, namun campuran antara kayu (masih ada) dan arang. Semakin tinggi suhu pemanasan, maka akan semakin banyak kayu yang terdekomposisi untuk menjadi arang. Kecenderungan yang sama terjadi pada pembentukan asap cair dimana semakin tinggi temperatur pirolisis maka semakin besar nilai kalor hasil pirolisis. Hasil ini sesuai dengan penelitian [9].



Gambar 5. Karakteristik asap cair yang dihasilkan

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa semakin banyak jumlah katalis yang digunakan dalam reaktor maka semakin banyak pula jumlah asap cair hasil pirolisis yang didapat. Hal ini disebabkan karena Katalis memiliki permukaan yang mempercepat terjadinya reaksi dekomposisi selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Oleh karena itu, dengan adanya katalis, yield yang dihasilkan lebih besar dibanding dengan reaksi tanpa katalis. Selain itu juga katalis meningkatkan reaksi dekomposisi biomassa yang mengakibatkan semakin banyaknya hidrokarbon rantai panjang yang terpecah menjadi hidrokarbon rantai pendek sehingga semakin banyak gas yang terbentuk yang kemudian terkondensasi menjadi asap cair hasil pirolisis. Hal ini sesuai dengan [8] dengan bertambahnya persentase berat katalis terhadap biomassa dengan ukuran partikel yang serupa (dalam hal ini-15 mesh), jumlah pori pada katalis semakin meningkat dan luas permukaannya juga semakin besar, sehingga situs-situs aktif pada katalis yang dapat dimanfaatkan selama proses perengkahan semakin banyak.

Pada gambar 5. Terlihat bahwa semakin banyak jumlah zeolite maka semakin besar juga kadar pH pada asap cair tersebut walaupun perbedaannya sangat kecil yaitu antara 2,6 s.d 2,9. Kadar pH pada asap cair dari berbagai proses pemurnian asap cair sangat dipengaruhi oleh asam asetat atau fenol yang terdapat dalam asap cair tersebut. Nilai pH merupakan salah satu parameter kualitas dari asap cair yang dihasilkan. Senyawa asam asetat dapat mempengaruhi pH asap cair dan citarasa serta umur simpan produk asapan. Selain itu kadar fenol juga mempengaruhi pH dari asap cair karena fenol memiliki sifat asam yang merupakan pengaruh dari cincin aromatisnya [10].

Reaksi pertama yaitu reaksi primer merupakan reaksi dekomposisi yang menghasilkan produk berupa arang, asap cair dan gas. Reaksi ini berlangsung pada temperatur 250°C - 450°C dan reaksi kedua / tambahan yaitu reaksi sekunder, dimana hasil dari reaksi ini yaitu sebagian dari tar l

menjadi gas², reaksi ini berlangsung pada temperatur 450°C - 800°C, sehingga semakin banyak gas dan tar yang terbentuk [11]. Untuk melihat besar pengaruh dari zeolit dapat dilihat dari waktu pembentukan tar, dimana waktu pembentukan tar pada proses pirolisis dengan menggunakan zeolit jauh lebih cepat dibanding tanpa menggunakan zeolit, selain itu nilai perubahan volume tar secara perhitungan mendekati nilai volume tar pengujian.

Untuk efisiensi bioarang dan asap cair seperti pada gambar 4 dan 5, bahwa ini merupakan perbandingan terbalik yaitu semakin banyaknya zeolite maka jumlah asap cair yang didapat akan lebih banyak sebaliknya pada bioarang akan semakin sedikit hal ini dikarenakan katalis dapat meningkatkan reaksi dekomposisi atau pemutusan ikatan kimia pada biomassa sehingga banyak biomassa yang terurai menjadi asap dan mencair di kondensor.

Pada gambar 2 terlihat bahwa ada tiga ukuran warna hasil asap cair yang pertama berwarna kuning, kedua coklat dan ketiga hitam pekat. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak zeolite maka akan semakin banyak tar yang terserap oleh zeolite sehingga hasil asap cairnya berwarna kuning dan sebaliknya semakin sedikit zeolite maka akan sedikit tar yang terserap dan asap cairnya berwarna coklat atau tanpa zeolite maka asap cairnya akan berwarna hitam. Hal tersebut dapat disebabkan karena terjadinya proses oksidasi senyawa fenolat di dalam asap cair sehingga perlu dilakukan pengemasan asap cair pada wadah tertutup berwarna gelap untuk mengurangi terjadinya oksidasi pada asap cair.

Kesimpulan

1. Suhu tertinggi terjadi pada biomassa kayu gelam tanpa zeolite yaitu 521 °C, dan terendah kayu gelam + zeolite 10:10 yaitu 393,3 °C
2. Efisiensi tertinggi dari bioarang yang dihasilkan yaitu kayu gelam tanpa zeolite 52%, dan efisiensi terendah pada kayu gelam + zeolite 10:10 yaitu 47%
3. Efisiensi tertinggi dari asap cair yang dihasilkan yaitu kayu gelam + zeolite 10:10 yaitu 25% dan terendah pada kayu gelam saja yaitu 19%.
4. Nilai kalor tertinggi pada kayu gelam tanpa zeolite yaitu 9389,39 dan yang terendah kayu gelam + zeolite 10:10 yaitu 8278,01
5. Kadar pH tertinggi pada kayu gelam + zeolite 10:10 yaitu 2,9 dan terendah pada kayu gelam tanpa zeolite yaitu 2,6.

Penghargaan

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia yang sudah mendukung penelitian ini dalam program Penelitian Strategi masional Nomor : 224/SP2H/RT/DRPM2019. Dan tidak lupa pula kepada Rektor Universitas Muhammadiyah Metro serta Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Muhammadiyah Metro.

Daftar Pustaka

- [1] Wijayanti, Widya. Nur, Mega Sasongko. dkk., 2013. Metode Pirolisis Untuk Penanganan Sampah Perkotaan Sebagai Penghasil Bahan Bakar Alternatif, *Jurnal Rekayasa Mesin*, Vol.4, No.2, ISSN: 0216-468X, Hlm. 85-92
- [2] F. Cuypers, L. Helsen, Pyrolysis of chromated copper arsenate (CCA) treated wood waste at elevated pressure: Influence of particle size, heating rate, residence time, temperature and pressure, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 92, 1, (2011) 111-122
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jaap.2011.05.002>
- [3] Richard French, Stefan Czernik, Catalytic pyrolysis of biomass for biofuels production, *Fuel Processing Technology*, 91, 1, (2010) 25-32
<http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2009.08.011>
- [4] Min Hye Youn, Jeong Gil Seo, Kyung Min Cho, Ji Chul Jung, Heesoo Kim, Kyung Won La, Dong Ryul Park, Sunyoung Park, Sang Hee Lee, In Kyu Song, Effect of support on hydrogen production by auto-thermal reforming of ethanol over supported nickel catalysts, *Korean Journal of Chemical Engineering*, 25, 2, (2008) 236-238
<http://dx.doi.org/10.1007/s11814008-0042-1>
- [5] Megumu Inaba, Kazuhisa Murata, Masahiro Saito, Isao Takahara, Ethanol conversion to aromatic hydrocarbons over several zeolite catalysts *Reaction Kinetics and Catalysis Letters*, 88, 1, (2006) 135-141
<http://dx.doi.org/10.1007/s11144-006-0120-5>
- [6] Siaka, I. Made., Putu, Diana, Febriyanti., Ni., Sahara, Emmy., 2016, Pembuatan Dan Karakterisasi Arang Dari Batang Tanaman Gumitir (*Tagetes Erecta*) Pada Berbagai Suhu Dan Waktu Pirolisis, *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)* Volume 4, Nomor 2, ISSN 2302-7274. Hlm. 168 - 177
- [7] Pari, G. 2004. Arang aktif serbuk gergaji kayu sebagai bahan adsorben pada pemurnian minyak goreng bekas. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 10(5): 141-149. Pusat Litbang Hasil Hutan Bogor, Bogor
- [8] Lestari, D.Y. 2010. Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolite Alam dari Berbagai Negara. Prosiding seminar nasional Kimia dan Pendidikan Kimia 2010.30 Oktober. Universitas Negeri Yogyakarta: 1-7.
- [9] Gilar S. Pambayun, Y.E. Yulianto, Remigius, 2013, Pembuatan Karbon Aktif Dari Arang Tempurung Kelapa Dengan Aktivator $ZnCl_2$ Dan Na_2CO_3 Sebagai Adsorben Untuk Mengurangi Kadar Fenol Dalam Air Limbah, *Jurnal Teknik Pomits* Vol. 2, No. 1, (2013) Issn: 2337-3539 (Hal. 2301-9271)
- [10] Wijaya, M., Noor, E., Irawadi, T.T. dan Pari, G. 2008b. Perubahan suhu pirolisis terhadap struktur kimia asap cair dari serbuk gergaji kayu pinus. *Jurnal Hasil Hutan*. 1(2) Hal. 73-77.
- [11] Tanoue, Ken-Icuro., Hinauchi, Tatsuya., OO, Thaug., Nishimura, Tatsuo., Taniguchi, Miki., and Sasauchi, KenIchi., 2007 Modeling of heterogeneous chemical reactions caused in pyrolysis of biomass particles, *Japan : Advanced Powder Technol.*, Vol. 18, No. 6, pp. 825-84