

Pengaruh Variasi Ukuran Partikel Bahan Biopellet Terhadap Laju Pembakaran Dan Kerapatan Massa Pada Limbah Kayu Mahoni

Wahidin Nuriana^{1*}, Sudarno², Totok Rokhayat³

^{*1}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Merdeka Madiun, Jl. Serayu No. 79 Taman, Madiun, 63133

E-mail: nuriana@unmer-madiun.ac.id

²Program Studi Teknik Mesin, Universitas Merdeka Madiun, Jl. Serayu No. 79 Taman, Madiun, 63133

E-mail: sudarno@unmer-madiun.ac.id

³Program Studi Teknik Mesin, Universitas Merdeka Madiun, Jl. Serayu No. 79 Taman, Madiun, 63133

E-mail: totokrokhayat@gmail.com

Abstract— The potential of biomass as an alternative energy source is very abundant, but not yet well managed. The purpose of this study was to determine the effect of 40 mesh, 60 mesh, 80 mesh, 100 size variations on biopellet waste on mass density values and combustion rates. The potential of biomass as an alternative energy source is very abundant, but not yet well managed. Biomass is an organic material derived from leaves, twigs, dry grasses, agricultural waste and forestry waste. The purpose of this study was to determine the effect of 40 mesh, 60 mesh, 80 mesh, 100 size variations on biopellet waste on mass density values and combustion rates. Mahogany sawdust waste is sorted, then dried in the sun for 7 hours to reduce water content. Furthermore, mahogany wood powder is refined so that the size of the material becomes smaller. Then do the sifting with a variation of 40 mesh sieve, 60 mesh, 80 mesh, 100 mesh. Mahogany wood waste is sorted, then dried in the sun for 7 hours to reduce water content. Furthermore, mahogany wood powder is refined so that the size of the material becomes smaller. Then sieving with 40 mesh sieve variations, 60 mesh, 80 mesh, 100 mesh. Mahogany wood powder is mixed with adhesive using a ratio of 80% mahogany powder and 20% tapioca adhesive. Subsequently printed using a pressure of 115 kg / cm², allowed to stand for 2 minutes removed from the mold. The results showed the effect of biopellet size on the characteristics of biopellet with the highest density at 100 mesh sieve size with a value of 1.151 g / cm³, and the lowest burning rate was obtained on biopellet with a size of 100 mesh material with a value of 3.58 g / min.

Keywords—: Biopellet; mahogany wood waste; mass density; combustion rate.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kebutuhan energi makin meningkat seiring dengan berkembangnya zaman dan pertumbuhan jumlah penduduk, energi diperlukan untuk kegiatan industri, energi diperlukan untuk kegiatan industri, jasa, perhubungan dan rumah tangga. Namun berkurangnya cadangan minyak, penghapusan subsidi menyebabkan harga minyak naik dan kualitas lingkungan menurun akibatnya pengguna bahan bakar fosil yang berlebihan. Seperti halnya yang terjadi saat ini, dimana bahan bakar minyak (BBM) semakin langka dan secara sosial ekonomi akan berdampak pada masyarakat sebagai pengguna untuk kebutuhan energi alternatif (Heryanti, 2019).

Energi alternatif merupakan pilihan untuk mengatasi krisis energi saat ini, salah satunya energi alternatif yang bisa dimanfaatkan adalah biomassa yang sangat potensial untuk dikembangkan menjadi energi terbarukan. Pengembangan energi terbarukan dapat dilakukan melalui *Clean Development Mechanism* (CDM) ini mengembangkan konversi biomassa menjadi bahan bakar atau sumber energi dan pembersihan lingkungan.

Biomassa merupakan sumber energi terbarukan yang sangat serba guna dibandingkan sumber energi terbarukan lainnya. Biomassa yang digunakan secara langsung tanpa adanya pengolahan akan menyebabkan timbulnya penyakit pernafasan yang disebabkan oleh karbon monoksida, sulfur dioksida (SO₂) dan bahan partikulat. Untuk memperbaiki karakteristik biomassa dilakukan dengan cara mengolah dalam bentuk briket atau biopellet. Biomassa dapat menghasilkan energi untuk panas, listrik, dan transportasi. Biomassa dapat dikonveksi menjadi biopellet sehingga meningkatkan kualitas biomassa sebagai bahan bakar.

Biomassa yang dapat dijadikan biopellet salah satunya adalah kayu mahoni. Kayu mahoni merupakan salah satu energi yang diharapkan yang dapat menggantikan sumber bahan bakar minyak, namun apabila kayu mahoni langsung dijadikan bahan bakar mempunyai sifat yang kurang menguntungkan antara lain kadar air yang tinggi, mengeluarkan asap, banyak abu, dan mempunyai nilai kalor yang rendah. Bahan bakar kayu mahoni yang dapat digunakan secara langsung adalah serbuk gergaji. Serbuk gergaji yang melalui proses berupa pengeringan dan pengepresan yang dapat dijadikan bahan bakar dinamakan biopellet (Ningrum dkk, 2014).

Biopellet adalah bahan bakar padat hasil pengempaan biomassa yang berbentuk silinder yang dapat digunakan sebagai energi alternatif (Rusdianto et al, 2014). Biopellet diproduksi pertama kali diproduksi di Swedia pada tahun 1980 berbahan baku serbuk kayu yang merupakan limbah industri kayu. Produksi kayu di Indonesia mencapai 2,6 juta m³ pertahun, jenis bahan bakar ini

merupakan bahan bakar kayu alternatif yang di pandang memiliki keunggulan. Pengguna pelet kayu sebagai bahan bakar dapat dilakukan dengan menggunakan tungku untuk proses pemasakan bahan baku (Nirwana, 2015).

Ukuran partikel memberikan pengaruh positif terhadap densitas (kerapatan) partikel. Semakin kecil ukuran partikel biopellet maka kerapatannya semakin tinggi dan menyebabkan nilai kalor tinggi, Namun kerapatan biopellet yang semakin tinggi akan menyebabkan ukuran pori-pori biopellet semakin kecil yang menyebabkan laju pembakaran semakin lambat. Sebaliknya jika ukuran partikel pelet semakin besar maka kerapatannya semakin rendah akan menyebabkan nilai kalor semakin rendah, Kerapatan pelet yang rendah akan menyebabkan laju pembakaran semakin cepat, Karena semakin besar partikel menyebabkan ukuran pori-pori akan semakin besar yang akan diisi oleh udara (Hendriyana dkk, 2018).

B. Tinjauan Pustaka

Retno dkk. (2017), menyatakan bahwa Perbedaan ukuran partikel pada biopellet memberikan pengaruh yang nyata terhadap nilai keteguhan tekan, kadar air, kadar abu, kerapatan dan nilai kalor. Kerapatan tertinggi pada biopellet dari kulit coklat dengan campuran tapioka (10%) sebesar $0,87 \text{ g/cm}^3$. Perakuan yang optimal terjadi pada ukuran partikel 20 mesh dengan penambahan perekat tapioka 20% dengan kadar air 3,5%, kadar abu 6,99%, kerapatan $0,87 \text{ g/cm}^3$, dan nilai kalor 3090,1 kal/g.

Menurut Fatriani dkk (2018) semakin tinggi nilai kerapatan pelet maka semakin baik kualitas pelet yang dihasilkan dan memudahkan dalam penanganan, penyimpanan dan pengangkutan sehingga dapat menurunkan biaya yang dibutuhkan. Campuran serbuk gergaji kayu galam (50%) + kayu akasia (50%) mempunyai nilai kerapatan tertinggi sebesar $0,87 \text{ g/cm}^3$. Sedangkan campuran serbuk gergajian kayu galam (75%) + kayu akasia (25%) mempunyai nilai kerapatan terendah sebesar $0,73 \text{ g/cm}^3$. Nilai kerapatan yang tertinggi pada campuran serbuk gergaji kayu galam (50%) + kayu akasia (50%) diduga karena adanya pengaruh campuran bahan baku tersebut. Kerapatan yang dihasilkan memenuhi standart Jerman (DIN 51371) dan Austria (ONORM M 7135).

Penelitian yang dilakukan Fakhruzy (2018) menyatakan kerapatan yang tertinggi adalah bambu tanpa kulit (BTK) 80-100 mesh sebesar $1,080 \text{ gr/cm}^3$, hasil penelitian terendah adalah bambu dengan kulit (BK) 80-100 mesh sebesar $0,528 \text{ gr/cm}^3$. Berdasarkan SNI 8021-2014 nilai kerapatan BK 60-80 mesh dan BK 80-100 mesh belum memenuhi standart sedangkan untuk nilai kerapatan BTK 60-80 mesh dan 80-100 mesh sudah memenuhi standart.

Nuriana dkk, (2019) Menyatakan laju konsumsi biopellet merupakan jumlah masa biopellet yang terpakai untuk mendidihkan air selama proses pemasakan. Waktu pendidihan 1 liter air tercepat adalah 3,8 menit pada biopellet sekam + dedak dengan laju konsumsi 0,79 kg/jam. Biopellet campuran jerami + sekam memerlukan waktu lebih lama dibandingkan biopellet lainnya yaitu 5,5 menit dengan laju konsumsi pembakaran 0,76 kg/jam. Pada biopellet campuran jerami + sekam, masa yang terpakai pada proses pembakaran lebih banyak karena karakteristik biopellet tersebut mempunyai densitas rendah sehingga masa yang terpakai lebih banyak yang terpakai.

Zulfian dkk (2015) menyatakan jumlah masa biopellet yang terbakar untuk mendidihkan air. Waktu pendidihan 1 liter air tercepat selama 6 menit dengan menggunakan biopellet perlakuan ukuran serbuk lolos saringan 20 mesh. Perbedaan waktu didih air dikarenakan adanya perbedaan nilai kalor. Semakin tinggi nilai kalor biopellet maka waktu pendidihan air semakin cepat. Hasil penelitian diketahui bahwa biopellet dengan ukuran lebih halus yang memiliki ukuran lolos saringan 40 mesh menggunakan perekat tepung tapioka dan sagu. Nilai laju konsumsi biopellet sebesar 2,18kg/jam dan 1,98 kg/jam. Ukuran lolos 60 mesh menggunakan perekat tapioka dan sagu memiliki laju konsumsi sebesar 2,09 kg/jam dan 2,22 kg/jam. Kemudahan menyala sebagai salah satu faktor yang mempengaruhi laju konsumsi biopellet.

C. Permasalahan

Permasalahan yang sering muncul dalam pemanfaatan bahan bakar biopellet dari limbah biomassa adalah energi yang dapat dihasilkan oleh bahan bakar tersebut melalui proses pembakaran. Salah satu karakteristik dari bahan bakar biopellet dan proses pembakarannya adalah kepadatan atau kerapatan massa biopellet dan laju pembakaran biopellet. Pada penelitian ini akan dibahas dan diteliti pengaruh ukuran partikel bahan biopellet pada biopellet limbah kayu mahoni terhadap laju pembakaran biopellet dan kerapatan massa biopellet.

II. METODE PENELITIAN

A. Bahan dan Alat

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Merdeka Madiun dalam waktu ± 2 bulan. Bahan untuk pembuatan biopellet adalah limbah serbuk kayu mahoni yang diperoleh di kecamatan Nguntoronadi, selain itu juga bahan tambahan tepung Tapioka dan air. Peralatan yang digunakan untuk pembuatan biopellet adalah : alat penumbuk, ayakan, timbangan, blender, cetakan dan alat pres hidrolik. Sedangkan peralatan untuk pengujian pembakaran meliputi : kompor gasifikasi, kipas DC, stop watch, jangka sorong dan peralatan penunjang lainnya.

B. Prosedur Penelitian

Langkah pembuatan biopellet :

- Kayu dipotong dan dibersihkan dari kotoran (debu atau tanah).
- Setelah dihaluskan permukaannya kayu dikeringkan di bawah sinar matahari agar kadar air lebih cepat berkurang.

- Setelah pengeringan menggunakan oven kemudian kayu diserut halus dan diblender untuk menghaluskan serbuk kayu mahoni.
- Setelah halus serbuk kayu diayak menggunakan ayakan 40 mesh, 60 mesh, 80 mesh, 100 mesh.
- Langkah berikutnya serbuk kayu di campur dengan perekat dan air perbandingan 1 : 3 setelah itu ditekan pada mesin pengepres.
- Setelah kering biopellet ditimbang dengan timbangan digital dan diukur jangka sorong, spesimen siap untuk diuji pembakaran.

Langkah pengujian pembakaran :

- Mengukur biopellet (diameter dan tinggi) menggunakan jangka sorong, dan menghitung volume biopellet.
- Menimbang specimen dengan neraca dan dicatat massa biopellet kemudian menghitung densitas biopellet.
- Pengujian dilakukan dengan cara dibakar secara bergantian dengan laju udara 2,3 m/s.
- Lama pembakaran dicatat dari awal penyalaan biopellet hingga biopellet habis menjadi abu, lama pembakaran dihitung dengan *stopwatch*.
- Penggantian alat pembakaran dilakukan dengan selang waktu 30 menit, agar setiap spesimen yang dibakar dimulai dari suhu alat pembakaran yang sama.
- Biopellet yang pembakarannya habis dengan tanda tidak ada pembakaran sisa abu, secara visual tidak ada lagi bara pada sisa pembakaran.
- Dilanjutkan menimbang sisa abu dari setiap pembakaran spesimen.
- Menghitung massa briket terbakar dengan cara masa briket awal dikurangi masa abu.
- Menghitung laju pembakaran, yaitu massa biopellet terbakar dibagi waktu pembakaran.

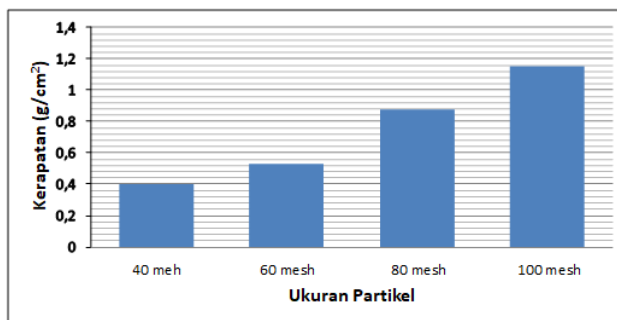
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Hasil penelitian meliputi hasil pengujian kerapatan massa atau densitas biopellet dan hasil pengujian laju pembakaran biopellet serbuk kayu mahoni. Hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada tabel 1. dan tabel 2.

Tabel 1. Hasil Pengujian Kerapatan Masa

No	Nama Sampel	Ukuran Partikel	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Volume (cm ³)	Berat (g)	Kerapatan (g/cm ³)	Rata-rata Kerapatan (g/cm ³)
1	A1	40 Mesh	1,06	3,13	2,760	1,1	0,398	0,403
2	A2		1,06	3,07	2,707	1,1	0,406	
3	A3		1,07	3,07	2,707	1	0,406	
1	B1	60 Mesh	1,07	2,88	2,540	1,6	0,629	0,532
2	B2		1,07	2,97	2,619	1,3	0,496	
3	B3		1,07	2,88	2,540	1,2	0,472	
1	C1	80 Mesh	1,06	2,52	2,222	2,4	0,855	0,889
2	C2		1,07	2,41	2,125	2,3	0,894	
3	C3		1,07	2,34	2,063	2,3	0,920	
1	D1	100 Mesh	1,07	2,36	2,081	2,4	1,153	1,151
2	D2		1,06	2,28	2,011	2,3	1,143	
3	D3		1,07	2,25	1,984	2,3	1,159	



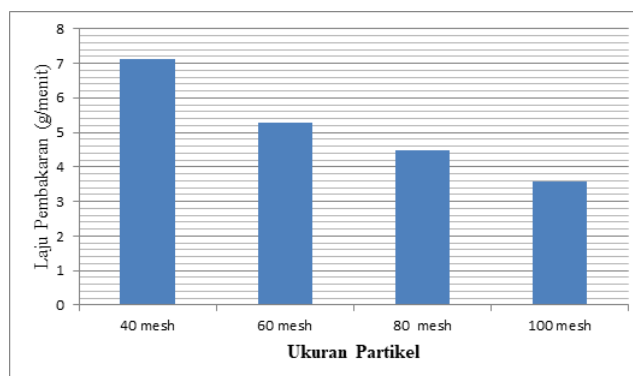
Gambar 1. Grafik Kerapatan Masa biopellet Limbah Kayu Mahoni

Berdasarkan grafik pada gambar1. menunjukkan bahwa variasi ukuran partikel biopellet limbah kayu mahoni bahwa makin kecil ukuran butiran maka tinggi kerapatan masa yang dihasilkan semakin besar. Hal ini disebabkan karena ikatan serbuk

menjadi lebih kompak dan kuat, sehingga partikel terdesak mengisi rongga-rongga yang kosong yang dapat meningkatkan kerapatan. Sehingga nilai kerapatan biopellet tertinggi diperoleh pada ukuran partikel 100 mesh dengan nilai 1,151 g/cm³. Dan yang terendah yaitu bahan biopellet menggunakan ukuran partikel 40 mesh dengan nilai 0,403 g/cm³.

Tabel 2. Hasil Pengujian Laju Pembakaran

No	Nama Sampel	Ukuran Mesh	Masa Awal (g)	Masa abu (g)	Waktu pembakaran (menit)	Laju pembakaran (g/menit)	Rata-rata Laju pembakaran (g/menit)
1	A1	40	150	6	20,42	7,05	7,13
	A2	Mesh	150	7	19,50	7,33	
	A3		150	6	20,32	7,03	
2	B1	60	150	7	26,15	5,46	5,27
	B2	Mesh	150	7	25,57	5,24	
	B3		150	7	26,12	5,13	
3	C1	80	150	6	32,20	4,47	4,49
	C2	Mesh	150	6	32,35	4,45	
	C3		150	6	31,52	4,56	
4	D1	100	150	7	39,57	3,61	3,58
	D2	Mesh	150	7	40,10	3,56	
	D3		150	6	40,20	3,58	



Gambar 2. Grafik Laju Pembakaran Biopellet Limbah Kayu Mahoni

Berdasarkan grafik pada gambar 2. diatas menunjukkan bahwa laju pembakaran terendah yaitu pada ukuran 100 mesh. Ukuran partikel sangat berpengaruh pada laju pembakaran. Laju pembakaran terendah adalah 3.58 g/menit pada mesh 100, hal ini disebabkan karena ruang udara dan pori-pori menjadi sangat kecil, sehingga perambatan panas api pembakaran semakin lambat. Ukuran partikel juga mempengaruhi penyalan pembakaran awal biopellet dikarenakan semakin rapatnya pori-pori membuat distribusi merambatnya temperatur panas tidak mudah hilang.

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat di peroleh pada penelitian biopellet limbah kayu mahoni dengan variasi ukuran partikel 40 mesh, 60 mesh, 80 mesh, 100 mesh adalah diperoleh kerapatan masa biopellet limbah kayu mahoni terhadap variasi ukuran partikel yang paling tinggi adalah biopellet menggunakan ukuran partikel 100 mesh dengan nilai 1,151 g/cm³. Laju pembakaran terendah menggunakan variasi ukuran partikel 100 mesh dengan nilai 3,58 g/menit. Untuk penelitian selanjutnya perlu adanya pengembangan pada mesin pencetak biopellet dan juga pengembangan tentang komposisi campuran perekat dan serbuk kayu.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Andrian Ari, Sulaeman Rudianda, Oktorini Yossi. 2015. Karakteristik *Wood Pellet* Dari Limbah Kayu Karet (*Hevea brazillensis Muell.Arg*) Sebagai Alternatif Sumber Energi Terbarukan. Jom Faperta, Vol 2. No 2. Oktober. Falkutas Pertanian, Universitas Riau.
- Arditya Rahman Ilhamsyah. 2015. Karakterisasi Produk Pirolisis Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Biopellet Tandan Kosong Kelapa Sawit. Falkutas Teknologi Pertanian. Bogor.
- Damayanti Retno, Lusiana Novia, Prasetyo Joko. 2017. Study Pengaruh Ukuran Partikel dan Penambahan Perekat Tapioka Terhadap Karakteristik Biopellet Dari Kulit Coklat (*Theobroma Cacao*) Sebagai Bahan Bakar Alternatif. Jurnal Teknotan, 11(1), 51-60.
- Dea Permata Sari. 2019. Pembuatan Bahan Bakar Biopellet dari Limbah Serbuk Gergaji. Skripsi. Falkutas Pertanian Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Dimas Indra Cipta. 2018. Pengaruh Variasi Persentase Perekat Terhadap Nilai Kalor, Kadar Abu, Dan Temperatur Pembakaran Biopellet Limbah Ampas Tebu. Skripsi. Falkutas Teknik. Universitas Muhammadiyah Malang.
- Fatriani, Sunardi, Arfianti. 2018. Kadar Air, Kerapatan, dan Kadar Abu Wood Pellet Serbuk Gergaji Kayu Galem (*Melaleuca cajuputi Roxb*) dan Kayu Akasia (*Acacia Mangium Wild*). Jurnal Enviro Scientea. Vol 14, No 1, Hal 77-81. April 2018. Universitas Lambung Mangkurat.
- Fakhruzy. 2018. Biopellet Bambu Bentung (*dendrocalamus asper*) sebagai sumber Energi Terbarukan. Jurnal Menara Ilmu, Vol X11, No 9. Oktober 2018. Universitas Muhammadiyah Sumatra Barat.
- Fantozzi S, and Burrati C. 2009. Life Cycle Assessment off Biomass Chains : Wood Pellet From Short Rotation Coppice Using Data Measured On a Real Plant. Biomass Energy. 34 (2010) : 1796 – 1804

- Gufran Pratama Syaputra.2018.Pengaruh Suhu Pengeringan biopellet Serbuk Kayu Dengan Perekat Kanji Terhadap Lama Waktu Pembakaran. *Skripsi*. Falkutas Teknik. Universitas Muhammadiyah Malang.
- Hassanudin, dan Idham Halim Lahay. 2012. Pembuatan Biopellet Ampas Kelapa Sebagai Energi Bahan Bakar Alternatif Pengganti Minyak Tanah Ramah Lingkungan. Falkutas Teknik Universitas Gorontalo, Gorontalo.
- Hendriyana, dkk.2018.Pembuatan Pellet Jerami Padi untuk Bahan Bakar Rumah Tangga : Pengaruh Ukuran Partikel, Kadar Air, dan Konsentrasi Perekat dalam Umpa Terhadap Kualitas Pellet. Teknik Kimia Universitas Jendral Achmad Yani.
- Heryanti Nur Triandini.2019.Pengaruh Ukuran Partikel Jerami Padi dan Penambahan Bekatul Terhadap Kualitas Bahan Bakar Pellet yang Dihasilkan.[*Skripsi*].Falkutas Pertanian, Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Krisnawati H, dan Kannien M. 2011. *Swietenia Marcophylla King. Ecologi, Silviculture and Productivity*. Cifor, Bogor.
- Krizan,P.,M.Matus,L.Soo dan J.Beniak.2015. *Behavior Off Beech Sawdust During Densification Into a Solid Biofuel*. Jurnal off Energies, Vol.8: 6382-6398.doi:10.3990/en 8076382.
- M. Faisal Mahdie, Noor Mirad Sari, Khairun Nisa. 2018. Sifat-Sifat Penyalaan Dari Pembakaran Biopellet Dari Limbah Serbuk Kayu Ulin Dan Limbah Serbuk Kayu Campuran (Balsa Dan Meranti) Sebagai Energi Terbarukan. Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah, Vol 2 Nomor 2, Hal 429-432. Universitas Lambung Mangkurat.
- Muhammad Ari Prima Gisang.2019.Analisa Karakteristik Bahan Bakar Alternatif Biopellet Dari Serbuk Kayu Dan Sekam Padi Terhadap Lama Waktu Pembakaran.*Skripsi*. Falkutas Teknik. Universitas Muhammadiyah Malang.
- Ndraha, 2015. Uji Komposisi Bahan Pembuat Briket Bioarang Tempurung Kelapa dan Serbuk Kayu Terhadap Mutu yang Dihasilkan, Skripsi S-1,Teknik Pertanian Universitas Sumatera Utara.
- Nuriana Wahidin dan Praptiningsi GA. 2019. Biopellet Synthesis of Waste Rice Plant (*Oryza sativa* sp) as A Environmentally Alternative Fuel Substance, *Journal Engineering and Applied Sciences*, Vol 14, No 7: 2268-2271.
- Ningrum dan Munawar.2014. Pembuatan Biopellet dari Bungkil Jarak Pagar (*Jathropawreas*) dengan Penambahan Sludge dan Perekat Tapioka.(*Skripsi*).Falkutas Pertanian Teknologi IPB,Bogor.
- Nirwana Hartadi. 2015.Pemanfaatan Limbah Tebu Menjadi Briket Dan Biopellet. *Skripsi*. Departemen Teknologi Industri Pertanian, Falkutas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Priyanto Asep, Hantarum, dan Sudarno.2018. Pengaruh Variasi Ukuran Partikel Briket Terhadap Kerapatan, Kadar Air dan Laju Pembakaran Pada Briket Kayu Sengon. Jurnal Seminar Sains, dan Teknologi Terapan VI 2018, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.
- Rusdianto,A.S,Choirun,M,& Novijanto,N.2014.Karakteristik Limbah Industri Tape Sebagai Bahan Baku Pembuatan Biopellet.*Jurnal Industrialisasi*,1(3),27-32.
- Subroto.2006. Karakteristik Pembakaran Biobriket Campuran Batu Bara, Ampas Tebu, dan Jerami.*Jurnal Media Mesin*,Vol 7, No 2, Juli 2006:47-55.
- Tajjali, A. 2015. Biomasa Sebagai Sumber Energi Alternatif di Indonesia.
- Zamirza Ferry.2009. Pembuatan Biopellet dari Bungkil Jarak Pagar (*Jathropa Curcas L*) dengan Penambahan Sludge dan Perekat Tapioka.