

Pendayagunaan Limbah Diaper sebagai Bahan Bakar Menggunakan Proses Densifikasi

Nurul Muyasaroh^{1)*}, Endah Ayuningtyas¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

*Korespondensi: nurulmuyasaroh@ity.ac.id

Abstract

Disposable diapers are the choice of the majority of mothers because of their practicality. This causes the accumulation of diaper waste more and more. Utilization of diaper waste is still very rarely done. During this time, diaper waste is piled up in landfills or thrown carelessly in rivers. This condition has a negative impact on the environment, both air, water and soil pollution and reduced environmental aesthetics. Moreover, if there is feces in the diaper waste, it will cause Escherichia coli bacteria contamination. This study aims to process diaper waste into renewable and sustainable biofuel pellets using the densification process. The next objectives of this study are to determine the effect of humidity on the calorific value of biofuel pellets, to analyze the proximate and to compare the amount of Escherichia coli of diaper waste before and after being processed into biofuel pellets. The process of making biofuel pellets is carried out by collecting diaper waste; crushing it using a chopper; drying and sterilizing it; then molding into biofuel pellets. The calorific value test was carried out based on ASTM D-2015 guidelines. Proximate analysis was performed according to ASTM D-3174, ASTM D-1762-84, ASTM D-3172 and ASTM D-2395 guidelines. Diaper waste can be processed into biofuel pellets using a densification process. The lower the humidity, the higher the calorific value. Biofuel pellets with 0% moisture content had a calorific value of 6181.9 cal/g, 74.55% volatile matter, 15.25% ash content, 10.20% fixed carbon content and 0.86 g/cm³ density. The calorific value, volatile matter and density of this biofuel pellet has qualified the quality standard of SNI 8021:2014. The amount of Escherichia coli in diaper waste was 1.3x10⁹ cfu/g, whereas after being processed into biofuel pellets was <10 cfu/g.

Keywords: biofuel pellet, calorific value, diaper waste, Escherichia coli, proximate analysis.

Abstrak

Popok sekali pakai (diaper) menjadi pilihan mayoritas ibu karena kepraktisannya. Hal ini menimbulkan limbah diaper yang semakin hari semakin menumpuk. Pendayagunaan limbah diaper masih sangat jarang dilakukan. Selama ini limbah diaper ditimbun di tempat pembuangan sampah atau dibuang sembarangan di sungai. Kondisi ini menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, baik berupa pencemaran udara, air, tanah serta berkurangnya estetika lingkungan, terlebih jika terdapat feces pada limbah diaper sehingga menimbulkan pencemaran bakteri *Escherichia coli*. Penelitian ini bertujuan untuk mengolah limbah diaper menjadi *biofuel pellet* yang *renewable* dan *sustainable* menggunakan proses densifikasi, serta untuk mengetahui pengaruh kelembaban terhadap nilai kalor *biofuel pellet*, menganalisis proksimat serta membandingkan angka *Escherichia coli* limbah diaper sebelum dan sesudah diolah menjadi *biofuel pellet*. Proses pembuatan *biofuel pellet* dilakukan dengan mengumpulkan limbah diaper; menghancurkannya menggunakan alat pencacah; mengeringkan dan mensterilkannya; kemudian mencetak menjadi *biofuel pellet*. Pengujian nilai kalor dilakukan berdasarkan pedoman ASTM D-2015 dan perhitungannya berdasarkan pedoman ASTM D-3175. Analisis proksimat dilakukan berdasarkan pedoman ASTM D-3174, ASTM D-1762-84, ASTM D-3172 dan ASTM D-2395. Limbah diaper dapat diolah menjadi *biofuel pellet* menggunakan proses densifikasi. Semakin rendah kelembaban, maka nilai kalor *biofuel pellet* semakin tinggi. *Biofuel pellet* dengan kelembaban 0% memiliki nilai kalor sebesar 6181,9 kal/g, kadar zat volatil 74,55%, kadar abu sebesar 15,25%, kadar karbon terikat sebesar 10,20% dan densitas sebesar 0,86 g/cm³. Nilai kalor, kadar zat volatil dan densitas *biofuel pellet* ini memenuhi standar SNI 8021:2014. Sedangkan kadar abu dan kadar karbon terikat belum memenuhi standar. Angka *Escherichia coli* limbah diaper sebesar 1,3x10⁹ cfu/g, sedangkan setelah diolah menjadi *biofuel pellet* menurun drastis yaitu <10 cfu/g.

Kata kunci: analisis proksimat, *biofuel pellet*, *Escherichia coli*, limbah diaper, nilai kalor.

1. PENDAHULUAN

Popok sekali pakai (diaper) menjadi pilihan yang lebih disukai masyarakat karena kenyamanan dan kepraktisannya, sehingga produksinya terus meningkat (Bachra et al., 2020). Bahkan menurut Global Market Insights (2019) dalam Bachra et al. (2020) pasar diaper dunia diperkirakan akan tumbuh lebih dari 6% pada tahun 2022 dan akan mempertahankan dominasinya hingga tahun 2025. Diaper tersusun dari tiga komponen utama, yaitu: lapisan atas, lapisan penyerap dan lapisan bawah. Lapisan atas adalah lapisan yang langsung bersentuhan dengan kulit bayi, lapisan ini terbuat dari bahan *polypropylene nonwovens*. Lapisan penyerap berupa *pulp* yang terbuat dari selulosa sehingga dapat menyerap dan menahan cairan yang sangat banyak. Lapisan bawah terbuat dari *polyethylene* yang berfungsi untuk menahan dan mencegah kebocoran cairan (Cordella et al., 2015). Dalam sehari, setiap bayi rata-rata menghabiskan 4 buah diaper (Kurnia, 2011). Ini berarti, selama setahun setiap bayi menghabiskan 1460 diaper. Jika jumlah ini dikalikan dengan jumlah bayi di seluruh dunia, maka betapa banyak jumlah limbah diaper yang dihasilkan.

Limbah diaper menjadi permasalahan di setiap negara. Rata-rata limbah diaper rumah tangga di Indonesia dalam satu tahun sebanyak 96,9 kg (Aprilia et al., 2013). Limbah diaper semakin hari semakin menggunung bercampur dengan limbah padat lainnya di tempat pembuangan sampah dengan persentase 2-3% (Blumenthal, 2011). Bahkan tak jarang limbah diaper menumpuk di bantaran sungai hingga menyumbat aliran air yang dapat menyebabkan banjir. Timbulan sampah di tempat pembuangan sampah akan diikuti dampak negatif terhadap lingkungan. Dampak negatif tersebut adalah dihasilkannya gas dan lindi yang sangat berpotensi merusak lingkungan. Dampak negatif lain yang muncul adalah bau yang tidak sedap dan berkurangnya estetika lingkungan (Kasam, 2011). Dampak negatif ini diperparah jika para ibu tidak membersihkan feses terlebih dahulu sebelum membuang limbah diaper. Hal ini berpotensi menimbulkan pencemaran bakteri *Escherichia coli* dalam tanah. Sebagian besar bakteri *Escherichia coli* berada dalam saluran pencernaan manusia maupun hewan. Bakteri *Escherichia coli* yang berada di alam terbuka hidup di dalam tanah. Jika terjadi pencemaran, tanah menjadi media pertumbuhan yang baik untuk bakteri sehingga menyebabkan peningkatan konsentrasi bakteri *Escherichia coli*. Saat hujan turun, semakin banyak bakteri *Escherichia coli* yang terbawa oleh air tanah dan masuk ke sungai (Sutiknowati, 2016).

Pendayagunaan limbah diaper masih jarang dilakukan. Hanya terdapat beberapa penelitian yang telah dipublikasikan. Widyastuti (2013) mengolah limbah diaper menjadi kompos. Dahlena et al. (2014) menggunakan limbah diaper sebagai media produksi enzim selulosa. Karimi et al. (2020) memanfaatkan limbah diaper sebagai bahan campuran beton.

Komponen terbanyak diaper adalah *pulp* yang merupakan biomassa. Biomassa mempunyai densitas yang rendah. Salah satu cara untuk meningkatkan densitasnya adalah dengan proses densifikasi (Syamsiro, 2016). Penelitian ini bertujuan untuk mengolah limbah diaper menjadi *biofuel pellet* yang *renewable* dan *sustainable* menggunakan proses densifikasi. Tujuan selanjutnya dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kelembaban terhadap nilai kalor *biofuel pellet*, melakukan analisis proksimat serta membandingkan angka *Escherichia coli* limbah diaper sebelum dan sesudah diolah menjadi *biofuel pellet*. Dengan mengolah limbah diaper menjadi bahan bakar, maka selain memperoleh solusi penanganan pencemaran lingkungan, juga memperoleh bahan bakar alternatif sebagai substitusi bahan bakar fosil.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengolah limbah diaper menjadi *biofuel pellet* menggunakan proses densifikasi. Tahapan pengolahan limbah diaper yaitu dengan mengumpulkan limbah diaper; menghancurkannya menggunakan alat pencacah; mengeringkan dan mensterilkannya; kemudian mencetak menjadi *biofuel pellet*. Komponen diaper yang berupa *hot melt adhesive* berguna sebagai perekat *pellet*, sehingga tidak perlu ditambahkan zat perekat.

Limbah diaper divariasikan kelembabannya menjadi 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50% dan 60% untuk mengetahui pengaruh kelembaban terhadap nilai kalor. Pengujian nilai kalor dilakukan berdasarkan pedoman ASTM D-2015 dan perhitungannya berdasarkan pedoman ASTM D-3175. *Biofuel pellet* juga diuji kadar zat volatil, kadar abu, kadar karbon terikat dan juga densitasnya. Perhitungan kadar zat volatil dilakukan berdasarkan pedoman ASTM D-1762-84. Perhitungan kadar abu dilakukan berdasarkan pedoman ASTM D-3174. Perhitungan kadar karbon terikat dilakukan berdasarkan pedoman ASTM D-3172 dengan rumus yang ditunjukkan oleh persamaan (1).

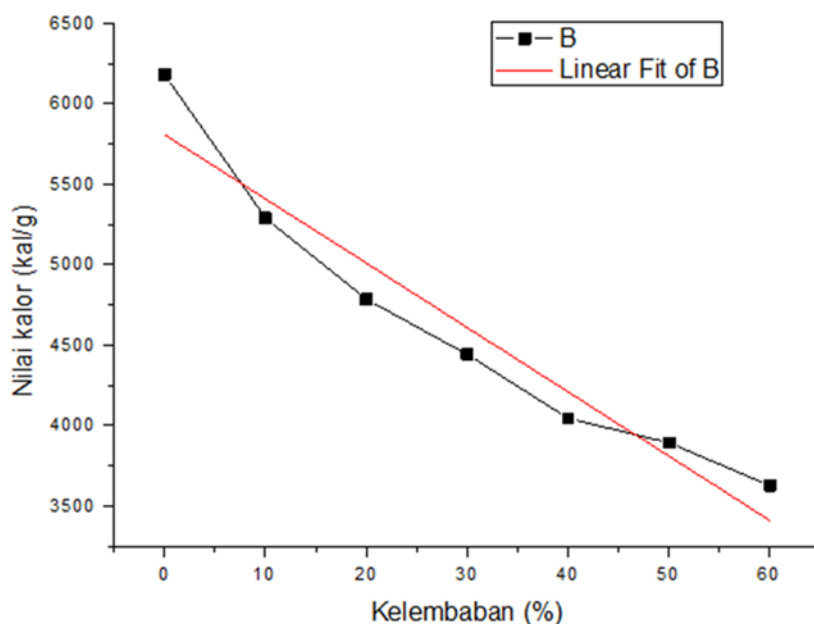
$$\text{Kadar karbon terikat (\%)} = 100\% - \text{Kadar abu (\%)} - \text{Kadar zat volatil (\%)} \quad (1).$$

Sedangkan perhitungan densitas dilakukan berdasarkan pedoman ASTM D-2395. Angka *Escherichia coli* limbah diaper sebelum diolah dibandingkan dengan angka *Escherichia coli* setelah diolah menjadi *biofuel pellet*. Angka *Escherichia coli* diuji menggunakan metode hitung koloni *pour plate*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Nilai Kalor

Limbah diaper dapat diolah menjadi *biofuel pellet* menggunakan proses densifikasi. *Biofuel pellet* yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki diameter 1,5 cm dan panjang 4 cm. Kelembaban limbah diaper berpengaruh pada nilai kalor *biofuel pellet* (Hansen et al., 2009 dalam Wibowo et al., 2017). Nilai kalor merupakan nilai panas yang dihasilkan *biofuel pellet* saat pembakaran (Shengzou et al., 2013 dalam Wibowo et al., 2017).



Gambar 1. Grafik Hubungan antara Nilai Kalor terhadap Kelembaban

Grafik hubungan antara nilai kalor *biofuel pellet* terhadap kelembaban limbah diaper ditunjukkan oleh **Gambar 1**. Grafik pada **Gambar 1** tersebut linier dengan persamaan regresi $y = 5809,2 - 39,9 x$. Persamaan regresi ini menunjukkan bahwa setiap penambahan 1% kelembaban, maka nilai kalor turun sebesar 39,9 kal/g. Grafik ini memiliki nilai $R^2 = 0,92$. Nilai ini menunjukkan bahwa pengaruh kelembaban terhadap nilai kalor dalam penelitian ini sebesar 92%, sedangkan 8% dipengaruhi oleh variabel yang lain.

Nilai kalor tertinggi diperoleh saat kelembaban 0% dan terus berkurang dengan bertambahnya kelembaban. Hal ini terjadi karena semakin tinggi kelembaban, maka energi yang diperlukan untuk menguapkan air pada proses pembakaran semakin besar (Parsamehr et al., 2013). Saat kelembaban 0%, nilai kalor *biofuel pellet* sebesar 6181,9 kal/g. Jika dibandingkan dengan standar SNI 8021:2014 yang mensyaratkan nilai kalor ≥ 4000 kal/g, maka nilai kalor *biofuel pellet* ini telah memenuhi standar. Nilai kalor *biofuel pellet* ini lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kalor bambu (4105 kal/g) maupun *pellet* sengon (4745,87 kal/g) (Sukarta et al., 2020 dan Acda et al., 2015). Jika dibandingkan dengan nilai kalor batubara, maka nilai kalor *biofuel pellet* ini masuk dalam rentang nilai kalor batubara kualitas tinggi menurut Peraturan Pemerintah Nomor 45 Tahun 2003 dalam Darmawan et al. (2015) yaitu antara 6100 kal/g – 7100 kal/g. Oleh karena itu *biofuel pellet* perlu dipertimbangkan untuk dijadikan bahan bakar alternatif.

3.2. Kadar Zat Volatil

Tabel 1. Analisis proksimat *biofuel pellet*

Kadar zat volatil (%)	74,55
Kadar abu (%)	15,25
Kadar karbon terikat (%)	10,20
Densitas (g/cm^3)	0,86

Biofuel pellet dengan kelembaban 0% yang memiliki nilai kalor tertinggi diuji kadar zat volatil, kadar abu, nilai karbon terikat dan densitasnya dan mendapat hasil sebagaimana tertera pada **Tabel 1**. Kadar zat volatil pada *biofuel pellet* ini sebesar 74,55%, jika dibandingkan dengan standar SNI 8021:2014 yang mensyaratkan kadar zat volatil $\leq 80\%$, maka kadar zat volatil *biofuel pellet* ini memenuhi standar. Kadar zat volatil dipengaruhi oleh karakteristik bahan baku (Hasna et al., 2019). Menurut Loo dan Koppejan (2008) dalam Hasna et al. (2019), kadar zat volatil biomassa berkisar antara 70-86% dari massa keringnya, sehingga bahan bakar biomassa lebih reaktif dari pada batubara yang memiliki kadar zat volatil 35%. Kadar zat volatil berpengaruh pada proses pembakaran, semakin tinggi kadar zat volatil, maka *biofuel pellet* akan semakin mudah terbakar dan menyala, akan tetapi juga akan menimbulkan asap yang banyak (Wibowo et al., 2017).

3.3. Kadar Abu

Kadar abu *biofuel pellet* sebesar 15,25%, jika dibandingkan dengan standar SNI 8021:2014 yang mensyaratkan kadar abu $\leq 1,5\%$, maka kadar abu *biofuel pellet* ini belum memenuhi standar. Kadar abu merupakan indikator untuk mengetahui banyaknya abu yang dihasilkan setelah selesai pembakaran (Hasna et al., 2019). Menurut Dick et al. (2007) dalam Hasna et al. (2019) kadar abu ditentukan dari komposisi unsur mineral bahan bakar, sehingga perlu dilakukan uji ultimat untuk mengetahui faktor penyebab tingginya kadar abu *biofuel pellet* ini.

3.4. Kadar Karbon Terikat

Kadar karbon terikat *biofuel pellet* sebesar 10,20%, jika dibandingkan dengan standar SNI 8021:2014 yang mensyaratkan kadar karbon terikat $\geq 14\%$, maka kadar karbon terikat ini masih di bawah standar. Karbon terikat merupakan indikator untuk mengetahui jumlah material padat yang dapat terbakar setelah komponen zat volatil dihilangkan dari bahan bakar (Speight, 2005 dalam Hasna et al., 2019). Nilai karbon terikat berbanding terbalik dengan kadar abu dan juga kadar zat volatil (Hasna et al., 2019).

Kadar abu *biofuel pellet* pada penelitian ini tinggi, maka dengan menggunakan persamaan (1) diperoleh kadar karbon terikat yang rendah. Padahal kadar karbon terikat sangat menentukan tinggi rendahnya nilai kalor. Semakin tinggi kadar karbon terikat, maka nilai kalor *biofuel pellet* semakin tinggi (Junary et al., 2015). Dengan melakukan uji ultimat dapat diketahui faktor penyebab tingginya kadar abu yang menyebabkan rendahnya kadar karbon terikat sehingga dapat dicari solusi untuk menaikkan nilai kalor.

3.5. Densitas

Densitas *biofuel pellet* sebesar 0,86 g/cm³, jika dibandingkan dengan standar SNI 8021:2014 yang mensyaratkan densitas $\geq 0,8$ g/cm³, maka densitas *biofuel pellet* ini memenuhi standar. Densitas *biofuel pellet* dipengaruhi oleh densitas bahan bakunya (Wardani et al., 2013 dalam Wibowo et al., 2017). Hubungan antara densitas dengan nilai kalor menunjukkan kandungan energi per volume *biofuel pellet*. Semakin tinggi densitas, maka kandungan energi per volume *biofuel pellet* juga semakin tinggi (Wibowo et al., 2017). Jika ingin memperoleh nilai kalor yang tinggi, maka densitas *biofuel pellet* harus tinggi. Akan tetapi densitas yang terlalu tinggi dapat menyebabkan *biofuel pellet* sulit terbakar (Hendra, 2012 dalam Wibowo et al., 2017).

3.6. Angka *Escherichia coli*

Limbah diaper yang tercemar feces diuji angka *Escherichia coli* menggunakan metode hitung koloni *pour plate* menunjukkan hasil sebanyak $1,3 \times 10^9$ cfu/g. Jumlah ini sangat berbahaya jika mencemari tanah maupun perairan hingga dapat menyebabkan masalah kesehatan. Menurut Clarke et al. (2017) dalam Nag et al. (2021) penyakit yang dapat disebabkan oleh air yang tercemari *Escherichia coli* dengan jumlah yang tinggi berupa tifus, hepatitis, infeksi telinga, gastroenteritis dan disentri. Angka *Escherichia coli* menurun drastis ketika limbah diaper tersebut diolah menjadi *biofuel pellet*. Angka *Escherichia coli* setelah diolah menjadi *biofuel pellet* <10 cfu/g.

Penurunan angka *Escherichia coli* yang drastis ini dikarenakan adanya proses pemanasan dengan temperatur 100°C pada saat pengolahan limbah diaper menjadi *biofuel pellet*. Sedangkan bakteri *Escherichia coli* hanya dapat hidup dalam rentang temperatur $20^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$ (Sutiknowati, 2016). Karena penurunan angka *Escherichia coli* yang signifikan, menunjukkan bahwa pengolahan limbah diaper menjadi *biofuel pellet* dapat dijadikan salah satu cara untuk mereduksi pencemaran bakteri *Escherichia coli*.

4. KESIMPULAN

Limbah diaper dapat diolah menjadi *biofuel pellet* menggunakan proses densifikasi. Semakin rendah kelembaban, maka nilai kalor *biofuel pellet* semakin tinggi. *Biofuel pellet* dengan kelembaban 0% memiliki nilai kalor sebesar 6181,9 kal/g, kadar zat volatil 74,55%, kadar abu sebesar 15,25%, kadar karbon terikat sebesar 10,20% dan densitas sebesar $0,86 \text{ g/cm}^3$. Nilai kalor, kadar zat volatil dan densitas *biofuel pellet* ini memenuhi standar SNI 8021:2014. Sedangkan kadar abu dan kadar karbon terikat belum memenuhi standar. Angka *Escherichia coli* limbah diaper sebesar $1,3 \times 10^9$ cfu/g, sedangkan setelah diolah menjadi *biofuel pellet* menurun drastis yaitu <10 cfu/g.

DAFTAR PUSTAKA

- Acda, M.N., (2015), Physico-Chemical Properties of Wood Pellets from Coppice of Short rotation Tropical Hard Woods, Fuel 160:531–533.
- Aprilia, A., Tezuka, T., Spaargaren, G., (2013), Inorganic and Hazardous Solid Waste Management: Current Status and Challenges for Indonesia, Elsevier B.V., Procedia Environmental Sciences, 17 (2013) 640 – 647.
- Bachra, Y., Grouli, A., Damiri, F., Bennamara, A. dan Berrada, M., (2020), A New Approach for Assessing the Absorption of Disposable Baby Diapers and Superabsorbent Polymers: A Comparative Study, Results in Materials 8 (2020) 100156.
- Badan Standarisasi Nasional, (2014), SNI 8021:2014, Pelet Kayu, Badan Standarisasi Nasional.
- Blumenthal, K., (2011), Generation and Treatment of Municipal Waste, Eurostate Statistics in Focus, 31/2011.

- Cordella, M., Bauer, I., Lehmann, A., Schulz, M., Wolf, O., (2015), Evolution of Disposable Baby Diapers in Europe: Life Cycle Assessment of Environmental Impacts and Identification of Key Areas of Improvement, *Journal of Cleaner Production*, 95 (2015) 322e331.
- Dahlana, M., Dahliaty, A., Devi, S., (2014), Pemanfaatan Selulosa Popok Bayi Sebagai Subtrat Untuk Produksi Enzim Selulase Oleh Isolat Bakteri S-16 dan S-22 Strain Lokal Riau, *JOM FMIPA*, Volume 1 No. 2 Oktober 2014.
- Darmawan, A., Supriadi, A., Kurniawan, F., Alwendra, Y., Kurniasih, T.N., Prasetyo, B.E., Kusumawanto, A., Rabbani, Q., Aprilia, R., Setiadi, I., Anggreani, D. dan Isra, A., (2015), Perkembangan Penyediaan dan Pemanfaatan Migas Batubara Energi Baru Terbarukan dan Listrik, Pusat Data dan Teknologi Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, ISBN : 978-602-0836-15-7.
- Hasna, A.H., Sutapa, J.P G. dan Irawati, D., (2019), Pengaruh Ukuran Serbuk dan Penambahan Tempurung Kelapa terhadap Kualitas Pelet Kayu Sengon, *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 13 (2019) 170-180.
- Junary, E., Pane, J.P. dan Herlina, N., (2015). Pengaruh Suhu dan Waktu Karbonisasi pada Pembuatan Bioarang Berbahan Baku Pelepah Aren (*Arenga pinnata*), *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(2): 46-52.
- Karimi, H., Yu, Q.L. dan Brouwers, H.J.H., (2020), Valorization of Waste Baby Diapers in Concrete, *Resources, Conservation & Recycling*, 153 (2020) 104548.
- Kasam, (2011), Analisis Resiko Lingkungan pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah (Studi Kasus: TPA Piyungan Bantul), *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, Volume 3, Nomor 1, Januari 2011, Halaman 019-030 ISSN: 2085-1227.
- Kurnia, W.A., (2011), Fenomena Sampah Popok Sekali Pakai, *Buletin Cipta Karya*, 04/Tahun IX/April 2011.
- Nag, R., Nolan, S., O'Flaherty, V., Fenton, O., Richards, K.G., Markey, B.K., Whyte, P., Bolton, D. dan Cummins, E., (2021), Quantitative Microbial Human Exposure Model for Faecal Indicator Bacteria and Risk Assessment of Pathogenic *Escherichia coli* in Surface Runoff Following Application of Dairy Cattle Slurry and Co-Digestate to Grassland, *Journal of Environmental Management* 299 (2021) 113627.
- Parsamehr, M., Nilsson, N., (2013), Heat Generation by Cow Dung Incineration in the North of Iran Environmental Engineering Department, Mid Sweden University, Sweden.
- Sukarta, I.N. dan Ayuni, P.S., (2016), Analisis Proksimat dan Nilai Kalor pada Pellet Biosolid yang Dikombinasikan dengan Biomassa Limbah Bambu, *Jurnal Sains dan Teknologi*, Vol. 5, No. 1, April 2016, ISSN: 2303-3142.
- Sutiknowati, L.I., (2016), Bioindikator Pencemar Bakteri *Escherichia coli*, *Oseana*, Volume XLI, Nomor 4 Tahun 2016 : 63 - 71 ISSN 0216-1877.

Syamsiro, M., (2016), Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Padat Biomassa dengan Proses Densifikasi dan Torrefaksi, *Jurnal Mekanika dan Sistem Termal*, Vol. 1(1), April 2016
ISSN: 2527-3841; e-ISSN: 2527-4910.

Wibowo, S., Laila, D.P.O., Khotib, M. dan Pari, G., (2017), Karakterisasi Karbon Pellet Campuran Rumput Gajah dan Tempurung Nyamplung, *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, Vol. 35 No. 1, ISSN: 0216-4329.

Widyastuti, S., (2013), Pemanfaatan Limbah Popok Sekali Pakai (*Diapers*) Untuk Pembuatan Kompos Menggunakan Komposter *Rotary Drum*, Unipa, Surabaya.