

PROTOTYPE REAKTOR HIDROTERMAL PENGOLAHAN SAMPAH MENJADI BAHAN BAKAR PADAT

HYDROTHERMAL REACTOR PROTOTYPE FOR WASTE PROCESSING INTO SOLID FUEL

Ali Satria Wijaya¹, Susilo Eko Pebrianto², Yuniar Balqis³, Sutini Pudjiastuti Lestari⁴, Arizal Aswan⁵,
Ida Febriana⁶

¹²³⁴⁵⁶Program Studi Teknik Energi, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya
Jalan Srijaya Negara, Palembang 30139, Telp 0711-353414/ Fax 0711-355918
e-mail: sutini_pl@polsri.ac.id⁴

Abstract

Trash is a waste material both from animals, humans and plants which is well used again and released into nature in the form of solids, liquids and gases. Based on data from the Environment and Hygiene Office of the City of Palembang, the amount of garbage in the last 6 years in Sukawinatan Final Disposal Site continues to increase every year, from 2013 to 2018 the amount of waste increased from 202,940,928kg to 264,858,892kg. To overcome this problem, a prototype of a hydrothermal reactor was designed which processes waste into solid fuel or briquettes. In this study the independent variables observed were temperature operation and stirring speed, Temperature and stirring speed variations are done to see the effect of temperature and stirring speed to heating value of solid fuel. the results showed that the higher the operating temperature and stirring speed, the higher the fuel heating value of temperature and stirring speed. The highest calorific value produced at operating stirring speed of 350 rpm is equal to 7056.4546 kal/gr, with 7.90% ash content; volatile matter 47.67%; water content of 22.97% and fixed carbon 21.46%.

Keywords—stirring speed, hydrothermal, temperature, heating value, solid fuel.

1. PENDAHULUAN

Jumlah penduduk kota Palembang tiap tahunnya mengalami peningkatan berdasarkan data Badan Pusat Statistik Kota Palembang (BPS Kota Palembang) yang tercatat dari tahun 2012-2017. Tahun 2012 jumlah penduduk kota Palembang sebesar 1.503.485 jiwa meningkat menjadi 1.623.009 jiwa sampai tahun 2017. Bertambahnya jumlah penduduk menjadi salah satu penyebab meningkatnya jumlah sampah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sukawinatan, dapat dilihat dari data hasil observasi di Unit Pelaksana Teknis TPA kota Palembang selama 6 tahun terakhir (2013-2018) menunjukkan peningkatan jumlah sampah tiap tahunnya. Tahun 2013 jumlah sampah yang dihasilkan sebanyak 202.930.928 Kg dan bertambah tiap tahun, sampai pada tahun 2018 jumlah sampah yang dihasilkan sebanyak 264.858.892 Kg.

Pengolahan sampah khususnya di TPA Sukawinatan hanya memanfaatkan sampah organik sebagai bahan baku pembuatan kompos, dan kegiatan pembuatan kompos tersebut belum dilaksanakan secara rutin dikarenakan belum ada kesadaran akan pemanfaatan sampah organik sebagai salah satu solusi mengurangi jumlah sampah (Novi, 2019). Pengolahan sampah menjadi kompos memerlukan lahan khusus dalam proses pembuatannya dan dibutuhkan waktu yang lama agar sampah siap digunakan sebagai kompos.

Perkembangan zaman menunjukkan bahwa pengolahan sampah tidak berhenti pada pembuatan kompos saja. Pengolahan sampah dengan metode pirolisis digunakan untuk mengolah sampah jenis plastik dan dalam proses pengolahannya plastik harus dikeringkan terlebih dahulu dan dibersihkan dari bahan pengotor (Hamid, dkk., 2016). Metode lain dalam pengolahan sampah yaitu metode insenerasi yang menghasilkan gas

buang dari proses pembakaran sampah berpotensi mencemari lingkungan, sehingga dibutuhkan teknologi khusus untuk mengurangi emisi gas buang (Yuliani, 2016). Metode-metode tersebut kurang efektif untuk mengolah sampah yang relatif memiliki kandungan air tinggi.

Proses hidrotermal dikualifikasikan untuk mengonversi sampah menjadi bahan bakar briket dan pupuk kompos, dengan briket yang didapatkan mengandung unsur karbon yang tinggi dan nilai kalor yang tinggi (Fiori dan Lucian, 2017). Proses hidrotermal terjadi dalam sebuah reaktor yang membutuhkan suhu dan tekanan tinggi dengan air sebagai katalis, oleh karena itu sampah tidak harus dikeringkan terlebih dahulu sebelum masuk ke proses hidrotermal. Pengaplikasian proses hidrotermal bertujuan untuk mengurangi sampah dengan menghasilkan bahan bakar berupa briket dengan nilai kalor setara dengan batubara sub-bituminus *grade* rendah (Kristyawan, 2017).

Hasil penelitian pengolahan ampas kopi menggunakan proses hidrotermal untuk bahan baku pembuatan biobriket memiliki kelemahan berupa alat ukur yang masih manual menyebabkan kondisi operasi yang terjadi tidak dapat diatur maupun diamati (Huseini, dkk., 2018).

Berdasarkan hal di atas, ingin dibuat unit reaktor hidrotermal untuk pengolahan sampah dengan penambahan kontrol panel agar parameter operasi dapat diatur sesuai dengan ketentuan untuk mendapatkan bahan bakar briket sesuai dengan SNI 1-6235-2000.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Menurut Hadiwiyoto, sampah adalah sisa-sisa bahan yang mengalami perlakuan-perlakuan, baik karena sudah diambil bagian utamanya, atau karena pengolahan, atau karena sudah tidak ada manfaatnya yang ditinjau dari segi sosial ekonomis tidak ada harganya dan dari segi lingkungan dapat menyebabkan pencemaran atau gangguan terhadap lingkungan hidup.

Jenis-jenis sampah yang dapat dimanfaatkan dalam konversi menjadi biobriket adalah jenis sampah organik. Nilai kalor dari berbagai jenis sampah organik dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Kalor Sampah Organik

No.	Sampel	Nilai Kalor (Kcal/kg)
1.	HVS	3024,24
2.	Karton	3602,18
3.	Koran	3845,53
4.	Majalah	2598,95
5.	Kertas Nasi	4246,92
6.	Kardus	4487,07
7.	Makanan tercampur	5162,21
8.	Daun Pembungkus	4638,37
9.	Batok & Gambut Kelapa	4684,11
10.	Sayur	4568,29
11.	Ikan	5837,12
12.	Lemak	9891,62
13.	Daging	7154,78
14.	Tulang	4464,42
15.	Buah	5064,86
16.	Daun	3998,02
17.	Rumput	4153,51
18.	Cabang Pohon/Ranting	4715,66

(Sudradjat, 2006)

Teknologi Hidrotermal

Teknologi hidrotermal adalah pengolahan sampah menggunakan proses termokimia yang melibatkan penggunaan air dalam suatu kondisi suhu dan tekanan tertentu. Keunggulan utama teknologi hidrotermal adalah sampah organik kota yang akan diolah tidak memerlukan proses pemilahan maupun pengeringan. Selama proses hidrotermal, sampah organik (biomassa) di konversi menjadi produk karbon-padat, biobriket, yang dapat digunakan untuk berbagai aplikasi. Biobriket menjadi salah satu alternatif untuk bahan bakar pengganti bahan bakar fosil (Fiori dan Lucian, 2017).

Pengolahan dengan hidrotermal mengarah ke proses *thermo-chemical* untuk mendekomposisi material yang mengandung zat arang seperti batubara dan biomassa dengan air dalam kondisi temperatur dan tekanan tinggi. Dibanding dengan metode konversi *thermo-chemical* yang lain seperti pirolisis dan gasifikasi, temperatur pengolahan dengan hidrotermal lebih rendah (200-230°C pada proses hidrotermal, dibanding dengan 250-550°C untuk pirolisis dan 900-1200°C untuk gasifikasi). Sebagai tambahan, konversi biomassa terjadi di lingkungan yang lembab, sehingga

kandungan air dari bahan baku tidak menjadi masalah. Untuk itu metode hidrotermal cocok untuk mengolah biomassa yang mengandung kadar air tinggi, seperti limbah pertanian yang mengandung air lebih dari 50% wt pada kondisi segar.

Hidrotermal dari biomassa lignoselulosa adalah proses pretreatment untuk menghomogenisasi dan memadatkan bahan baku biomassa yang beragam. Produk padat ini bersifat hidrofobik dan gembur dengan analisis akhir yang serupa dengan lignit, dan mudah dibuat menjadi pelet padat dan tahan lama. Produk sampingan termasuk gula, asam, karbon dioksida, dan air. Prosesnya terdiri dari perlakuan dalam keadaan panas (180-280 ° C) air bertekanan untuk waktu kontak yang singkat, dan telah ditunjukkan pada biomassa kayu, residu pertanian, dan rumput.

Reaksi yang terjadi pada tahap pertama pengolahan dengan hidrotermal menjadi hydrocar adalah hidrolisis, ketika air bereaksi dengan ekstraktif, hemiselulosa, atau selulosa dan menghancurkan ikatan ester dan eter (terutama ikatan β -(1-4) glikosidik), menghasilkan berbagai macam produk, termasuk oligomer terlarut seperti oligon-sakarida dari selulosa dan hemiselulosa. Proses pengolahan dengan hidrotermal membutuhkan aplikasi panas dan tekanan untuk mengolah biomassa dalam media berair ini secara luas dianggap sebagai cara yang menjanjikan untuk mengubah biomassa basah menjadi produk bernilai tambah (seperti *biofuel* dan bahan kimia) karena hal itu menghilangkan kebutuhan (modal, energi, dan waktu) untuk pengeringan dan pengeringan bahan baku.

Briket

Briket adalah bahan bakar padat dengan bentuk tertentu yang dibuat dengan teknik pengepresan dan menggunakan bahan perekat sebagai bahan pengeras. Jenis – jenis briket berdasarkan bahan baku penyusunnya terdiri dari Briket Batubara, Briket Bio-Batubara dan Biobriket (Fariadhie,2009).

Parameter Kualitas Briket

Briket yang dibuat harus memenuhi kriteria briket sesuai dengan SNI yang telah ditetapkan. Analisis briket berupa nilai kalor dan analisis proksimat untuk mengetahui kualitas briket.

ISSN:

E-ISSN:

<https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index>

1. Nilai Kalor

Nilai kalor bahan bakar adalah jumlah energi panas maksimum yang dibebaskan oleh suatu bahan bakar melalui reaksi pembakaran sempurna persatuan massa atau volume bahan bakar tersebut.

Analisa nilai kalor suatu bahan bakar dimaksudkan untuk memperoleh data tentang energi kalor yang dapat dibebaskan oleh suatu bahan bakar dengan terjadinya reaksi atau proses pembakaran (Almu, dkk., 2014).

2. Analisis Proksimat

Analisis proksimat mencakup kadar air tertambat (*inherent moisture*), karbon tetap (*fix carbon*), kadar abu (*ash*), dan zat terbang (*volatile matter*).

Kandungan volatile matter (VM) atau zat terbang yang tinggi dapat menurunkan nilai kalor sementara kandungan *fixed carbon* (FC) yang tinggi dapat menaikkan nilai kalor bahan bakar. Kandungan FC yang tinggi lebih disukai dibandingkan kandungan VM pada bahan bakar padat. FC ditemukan dalam bahan yang tersisa setelah VM dilepaskan (Apriyanto, 2018).

Bahan bakar briket yang dihasilkan harus memenuhi persyaratan sesuai dengan Standar Mutu Briket berdasarkan SNI 01-6235-2000. Standar yang telah ditetapkan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Standar Mutu Briket berdasarkan SNI 01-6235-2000

No.	Jenis Uji	Satuan	Persyaratan
1	Kadar air b/b	%	Mak 8
2	Bagian yang hilang pada pemanasan 90	%	Mak 15
3	Kadar Abu Kalori	%	Mak 8
4	(ADBK)	Kal/gr	Min 5000

(SNI 01-6235-2000)

3. METODE PENELITIAN

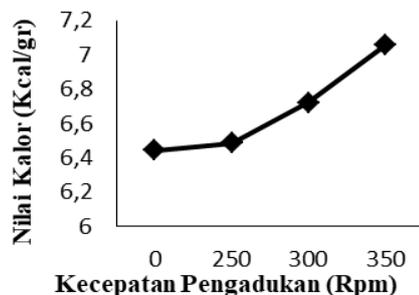
Pengolahan sampah digunakan metode hidrotermal yang akan menghasilkan biobriket. Pengolahan tersebut dilakukan selama 1 jam dengan variasi temperatur

130°C, 150°C, 170°C, 190°C dan variasi kecepatan pengadukan 0 rpm, 250 rpm, 300 rpm, dan 350 rpm. Biobriket yang dihasilkan akan dianalisa nilai kalor dan analisa proksimat. Nilai kalor akan dianalisa dengan menggunakan alat *Adiabatic Bomb Calorimeter Parr 6400* mengacu pada ASTM D 5865-11a, sedangkan analisa proksimat dengan menggunakan alat *Thermogravimetric Analyzer (TGA 701)* ASTM D 7582-10.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hubungan kecepatan pengadukan (rpm) terhadap nilai kalor

Grafik hubungan antara kecepatan pengadukan (rpm) terhadap nilai kalor dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hubungan antara Kecepatan pengadukan (Rpm) Terhadap Nilai Kalor bahan bakar

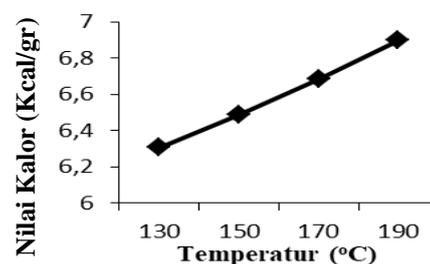
Dari Gambar 1. nilai kalor pada setiap variasi kecepatan pengadukan berkisar antara 6–7 kcal/gram, Nilai kalor terendah pada variasi kecepatan pengadukan 0 rpm sebesar 6,4416 kcal/gram dan nilai kalor tertinggi sebesar 7,0564 kcal/gram pada variasi kecepatan pengadukan 350 rpm. Dapat dilihat bahwa semakin cepat pengadukan maka nilai kalor yang dihasilkan akan semakin tinggi dan berlaku sebaliknya semakin lambat pengadukan maka nilai kalor yang dihasilkan semakin rendah. Nilai kalor yang dihasilkan untuk setiap variasi pengadukan memenuhi standar SNI 01-6235-2000 yaitu minimum 5000 cal/gram. Analisa nilai kalor suatu bahan bakar padat dimaksudkan untuk memperoleh data mengenai energi kalor yang dapat dibebaskan oleh suatu bahan bakar dengan terjadinya reaksi atau proses pembakaran. Nilai kalor yang besar akan meningkatkan kualitas suatu bahan bakar. Pengaruh dari pengadukan pada proses pengolahan sampah

hidrotermal menjadi bahan bakar padat akan menghasilkan produk yang seragam/homogen dari campuran sampah organik.

Dari grafik pengaruh kecepatan pengadukan mempengaruhi nilai kalor, karena produk yang dihasilkan berupa bahan baku pembuatan bahan bakar padat semakin halus. Partikel yang lebih kecil ukurannya akan lebih cepat terbakar. Ukuran partikel bahan bakar padat merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi pada proses pembakaran bahan bakar padat. Dengan partikel yang lebih kecil ukurannya, maka suatu bahan bakar padat akan lebih cepat terbakar.

Hubungan temperatur terhadap nilai kalor

Pada penelitian pengolahan sampah menjadi bahan bakar padat menggunakan metode hidrotermal, ditinjau dari pengaruh temperatur terhadap nilai kalor diperoleh nilai kalor tertinggi yaitu 6,8978 kcal/gr pada temperatur 190°C dan terendah 6,3053 kcal/gr pada temperatur 150°C.



Gambar 2. Hubungan antara Temperatur terhadap Nilai Kalor

Berdasarkan gambar diatas, nilai kalor bahan bakar dipengaruhi oleh temperatur operasi, semakin tinggi temperatur operasi maka semakin tinggi nilai kalor bahan bakar. Hal ini disebabkan seiring dengan naiknya temperatur, kandungan zat terbang dan oksigen berkurang, sementara kandungan karbon tetap dan nilai kalor meningkat (Kim, dkk., 2012).

Nilai kalor adalah jumlah panas yang dibebaskan jika satu unit berat atau satu unit volume terbakar sempurna, semakin besar nilai kalor bahan bakar maka semakin tinggi kualitas bahan bakar, Nilai kalor briket yang dihasilkan sebesar 6,4-6,8kcal/gr, telah memenuhi standar mutu briket berdasarkan SNI 01-6235-2000 yang menetapkan nilai kalor minimal sebesar 5 kcal/gr.

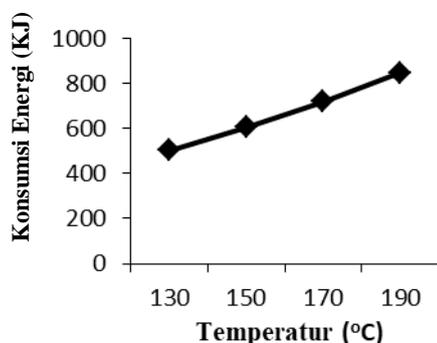
Hasil penelitian menunjukkan nilai kalor tertinggi 6,8978 kcal/gr pada temperatur 190°C. Kemudian dilakukan analisa proksimat dengan hasil kadar air 13,19%, kadar zat terbang 53,04%, kadar abu 9,08%, dan kadar karbon tetap 24,69%. Kadar abu, zat terbang dan air tidak memenuhi spesifikasi briket yang telah ditetapkan dalam SNI01-6235-2000. Besarnya kadar abu, zat terbang dan air dipengaruhi oleh bahan baku dan lama pengeringan.

Abu merupakan kandungan residu *non-combustible* yang umumnya terdiri dari senyawa-senyawa silikadioksida (SiO_2), kalsium oksida (CaO), karbonat dan mineral-mineral lainnya (Febriana, 2014). Jumlah abu yang dihasilkan pada proses pembakaran dipengaruhi oleh jenis biomassa yang digunakan. Salah satu unsur penyusun abu adalah silika. Semakin tinggi kadar silika pada biomassa, maka abu yang dihasilkan dari proses pembakaran akan semakin tinggi pula (Rahman, 2011).

Zat terbang adalah zat yang dapat menguap sebagai hasil dekomposisi senyawa-senyawa yang masih terdapat di dalam briket selain air, karbon terikat dan abu (Warmam, 2005). Kadar zat terbang dipengaruhi oleh jenis bahan baku, sehingga perbedaan jenis bahan baku akan berpengaruh terhadap kadar zat menguap (Rahman, 2011).

Hubungan temperatur terhadap konsumsi energi

Grafik yang menyatakan hubungan variasi temperatur dengan konsumsi energi yang dapat dilihat pada Gambar 3



Gambar 3. Hubungan Temperatur terhadap Konsumsi Energi

Pada Gambar 3. menunjukkan bahwa konsumsi energi semakin meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur operasi. Secara umum, semakin rendah suhu hidrotermal, maka semakin rendah energi termal yang dibutuhkan. Hal ini disebabkan oleh efek penyeimbang dari fluks termal yang jauh lebih rendah untuk memanaskan biomassa. Pada suhu hidrotermal yang rendah, energi termal yang dibutuhkan semakin rendah yang dibutuhkan untuk menguapkan air yang terkandung pada biomassa. Sebaliknya, semakin tinggi suhu hidrotermal, maka semakin tinggi energi termal yang dibutuhkan (Fiori dan Lucian, 2017).

Dari proses pengolahan bahan baku dengan metode hidrotermal, konsumsi tertinggi sebesar 846,1926 KJ dan terendah 503,1746 KJ.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pengolahan sampah menjadi bahan bakar padat menggunakan metode hidrotermal dapat disimpulkan:

1. Kecepatan pengadukan mempengaruhi nilai kalor bahan bakar padat yang dihasilkan. Semakin besar kecepatan pengadukan, maka semakin besar nilai kalornya.
2. Nilai kalor tertinggi dihasilkan pada temperatur operasi 190°C yaitu 6897,8017 kal/gr.
3. Parameter nilai kalor bahan bakar hasil pengolahan hidrotermal telah memenuhi standar mutu briket SNI 01-6235-2000.
4. Parameter analisa proksimat bahan bakar hasil pengolahan hidrotermal tidak memenuhi standar mutu briket SNI 01-6235-2000.
5. Konsumsi energi tertinggi sebesar 846.192,60 Joule dan terendah sebesar 503.174,56 Joule.

6. SARAN

Reaktor hidrotermal yang dirancang masih mengalami kebocoran dibagian pengaduknya, sehingga tekanan reaktor sulit mengalami peningkatan. Oleh karena itu disarankan untuk melakukan pengkajian pembuatan tutup reaktor berpengaduk yang terisolasi secara penuh agar uap dalam reaktor tidak hilang.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, B.P. 2016. Partisipasi Masyarakat Dalam Pengolahan Sampah. *Studi Deskriptif Kec. Curuf Tengah, Kab. Rejang Lebong, Bengkulu*, 124-143.
- Almu, M.A., Syahrul, dan Pandang, Y.A. 2014. Analisa Nilai Kalor dan Laju Pembakaran pada Briket Campuran Biji Nyamplung (*Caophyllm Inophyllm*) dan Abu Sekam Padi. *Teknik Mesin, Vol. 4, No. 2*, 117-122.
- Apriyanto, Agus. 2018. *Rancang Bangun Dan Analisis Unjuk Kerja Reaktor Torefaksi Kontinu Tipe Tubular Dengan Sistem Pemanas Oil Jacket*. Jurnal Tesis Program Pasca Sarjana Teknik Mesin Universitas Negeri Lampung. Hal.22-23.
- Badan Pusat Statistik Kota Palembang. 2019. *Jumlah Penduduk Kota Palembang*, (online). (<https://palembangkota.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id>, diakses pada 12 Maret 2019).
- Fariadhie, Jeni. 2009. *Perbandingan Briket Tempurung Kelapa dengan Ampas Tebu, Jerami dan Batu Bara*. Jurnal Universitas Sultan Fatah. 5(1):1-8.
- Febriana, Indah. 2014. *Pengaruh Komposisi Campuran Biosolar dan Minyak Jelantah serta Suhu Pemanasan Terhadap Peningkatan Mutu Batubara Lignit*. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Fiori, L. dan M. Lucian. 2017. *Hydrothermal Carbonization of Waste Biomass: Process Design, Modeling, Energy Efficiency and Cost Analysis*. Article in Energies MDPI.
- Hadiwiyoto, S. 1983. *Penanganan dan Pemanfaatan Sampah*. Jakarta: Yayasan Idayu.
- Hamid, R., Djide, M.N., dan Ibrahim, R. 2016. *Penangan Limbah Plastik dengan Teknologi Pirolisis dan Biodegradasi dengan Bakteri *Pesedomonas SP*. Tugas Akhir*.
- Huseini, Muhammad Reza, Ericha Indriani Marjuki, Deri Iryawan, dan Tri Yuni Hendrawati. 2018. *Pengaruh Variasi Temperatur Pengolahan Hidrothermal Ampas Kopi Terhadap Yield Energi untuk Bahan Baku Pembuatan Biobriket*. Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2018. Hal.1-4.
- Kim, D., Prawisudha, P., & Yoshikawa, K. (2012). *Hydrothermal Upgrading of Korean MSW for Solid Fuel Production: Effect of MSW Composition*. Japan: Department of Environmental Science and Technology.
- Kristyawan, I.P. 2017. *Pengolahan Sampah dengan Teknologi Hidrotermal. Bahan Pengkajian dan Penerapan Ilmu Teknologi*, 45-90.
- Novi.16 Maret 2019. *Pengolahan Sampah di TPA Sukawinatan*. Mahasiswa Teknik Energi, Pewawancara.
- Prawisudha, Pandji. 2018. *Gunakan Prinsip Hidrotermal, Pakar ITB Kembangkan Alat Pengolah Sampah Kota Menjadi Bahan Bakar Padat*, (online). (<https://www.itb.ac.id/news/read/56670/home/gunakan-prinsip-hidrotermal-pakar-itb-kembangkan-alat-pengolah-sampah-kota-menjadi-bahan-bakar-padat>, diakses pada 11 Maret 2019).
- Rahman.2011. *Uji Keragaan Biopellet Dari Biomassa Limbah Sekam Padi (*Oryza Sativa SP*) Sebagai Bahan Bakar Alternatif Terbarukan*. Bogor : Fakultas Teknologi Pertanian Bogor, Intitut Pertanian Bogor.
- Simanungkalit, Sabar Pangihutan, Dieni Mansur, dan Muhammad Arifuddin Fitriady. 2016. *Hydrothermal Liquefaction Limbah Distilasi Bioetanol Generasi-2*. eJurnal Undip. *Reaktor*, 16(2): 49-56
- Sudradjat, R. 2006. *Mengolah Sampah Kota*. Jakarta: Niaga Swadaya.
- Warmam, Aditia. 2005. *Analisa Pengaruh Impregnesi Silika (SiO_2) terhadap Nilai Kalor Bakar dan Kuat Tekan Briket Arang Tempurung Kelapa*. Medan: Pascasarjana Universitas Sumatera Utara.
- Yuliani, M. 2016. *Insinerasi untuk Pengolahan Sampah*. *Pusat Teknologi Lingkungan*, 89-96.