

ANALISIS KINERJA *REFUSE DERIVED FUEL (RDF)* DARI SAMPAH ORGANIK DAN NON ORGANIK DENGAN PENDEKATAN SIMULASI SOFTWARE

**Eka Maulana^{1*}, Agri Suwandi¹, Dwi Rahmalina², La Ode Mohammad Firman²,
Budhi M. Suyitno², Dhidik Mahandika¹**

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Srengseng Sawah Jagakarsa, 12640

²Program Studi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jl. Borobudur No. 7, Menteng, 10320

*E-mail: ekamaulana@univpancasila.ac.id

Diterima: 16 Oktober 2020

Direvisi: 25 November 2020

Disetujui: 12 Desember 2020

ABSTRAK

Penumpukan sampah di Kabupaten Tegal terus meningkat setiap tahunnya sehingga TPA Panujah tidak sanggup lagi menampung seluruh sampah di Kabupaten Tegal dan dari data Badan Pusat Statistik didapatkan produksi sampah Kabupaten Tegal sebesar 676,5 ton/hari hanya bisa terangkut 41% atau 282,75 ton/hari saja. Oleh karena itu diperlukan pengolahan sampah terpadu dengan memanfaatkan sampah perkotaan, salah satunya dengan teknologi pirolisis yang dapat mengkonversi sampah plastik menjadi bahan bakar minyak. Sampah di Kabupaten Tegal terdiri 17,6%; kayu 3%; kain 1,93%; karet/kulit 1,55%; plastik 30,25%; metal/logam 2,4%; gelas/kaca 1,06%; organik 38,46%; dan sampah lain-lain 2,75%. Sampah kain, kayu, karet/kulit, kertas dapat berpotensi menjadi Refuse Derived Fuel (RDF) yang digunakan untuk bahan bakar alat pirolisis. Berdasarkan permasalahan tersebut, maka dilakukan penelitian tentang RDF. Tulisan ini membahas tentang analisis kinerja RDF dari sampah organik dan non organik menggunakan metode pendekatan simulasi software. Hasil simulasi yang dilakukan bahwa, bahan baku RDF dengan kayu, kain, karet/kulit, dan kertas menghasilkan nilai kalor yang lebih tinggi, laju aliran panas yang lebih cepat serta distribusi temperatur yang lebih merata dari RDF dengan nilai kalor perhitungan teoritis.

Kata kunci: *RDF, organik, non organik, nilai kalor, simulasi.*

ABSTRACT

The accumulation of garbage in Tegal Regency continues to increase every year so that the Panujah TPA is no longer able to accommodate all the waste in Tegal Regency. From the data from the Central Statistics Agency, Tegal Regency waste production of 676.5 tons/day can only be transported 41% or 282.75 tons/day. Therefore, integrated waste management is needed by utilizing urban waste, one of which is pyrolysis technology that can convert plastic waste into fuel oil. Garbage in Tegal Regency consists of 17.6%; wood 3%; 1.93% fabric; rubber / leather 1.55%; plastic 30.25%; metal / metal 2.4%; glass / glass 1.06%; organic 38.46%; and other waste 2.75%. Cloth, wood, rubber/leather, paper waste can potentially become Refuse Derived Fuel (RDF) which used to fuel pyrolysis equipment. Based on these problems, research on RDF is needed. This paper discusses the analysis of RDF performance from organic and inorganic waste using a software simulation approach. The simulation results show, RDF raw materials with wood, cloth, rubber / leather, and paper produce a higher calorific value, a faster heat flow rate and a more even temperature distribution than RDF with a theoretical calculated calorific value.

Keywords: *RDF, organic, inorganic, calorific value, simulation.*

PENDAHULUAN

Bahan bakar yang dihasilkan dari limbah padat umumnya disebut sebagai RDF (*Refuse Derived Fuel*). RDF adalah pengembangan produk baru yang berkembang dengan pesat. RDF tersedia dalam ukuran besar atau kecil dalam bentuk serbuk dan padat. Dalam setiap kategori, limbah padat dapat diproses melalui berbagai desain proses yang dapat menghasilkan RDF dengan tingkat kemurnian yang berbeda (Novita and Damanhuri, 2009). Kemungkinan variasi kualitas dalam RDF berdasarkan dari input material atau limbah padat bersifat heterogen dan komposisinya akan bervariasi tergantung lingkungan atau kedalaman dari penimbunan sampah tersebut berada (Izaty, 2018). Beberapa penelitian telah mengkarakterisasi komposisi limbah padat, namun masih banyak lagi yang harus dilakukan, seperti prosedur pengujian yang baku, komposisi sampah yang bervariasi dan lainnya (Brás, dkk., 2017). Berdasarkan beberapa hasil penelitian yang dilakukan yang diterima secara umum sebelum menghasilkan komposisi standar dengan nilai kalor RDF yang diakui oleh Kementerian ESDM (Yusgiantoro, 2006).

Peraturan Presiden (PERPRES) No 35 Tahun 2018 tentang Percepatan Pembangunan Instalasi Pengolah Sampah Menjadi Energi Listrik Berbasis Teknologi Ramah Lingkungan menyatakan bahwa perlu adanya pengolah sampah menjadi energi listrik berbasis teknologi ramah lingkungan yang dapat mengurangi volume sampah secara signifikan (Pemerintah Pusat, 2018).

Salah satu daerah di Pulau Jawa yang mengalami masalah sampah adalah Kabupaten Tegal. TPA Panujah tidak sanggup lagi menampung seluruh sampah di Kabupaten Tegal. Volume sampah di Kabupaten Tegal semakin meningkat. Berdasarkan hasil observasi lapangan yang dilakukan sampah hanya dibuat *open dumping* atau pengumpulan dengan cara ditumpuk seperti pada gambar 1 dan tidak ada tempat pengolahan sampah terpadu yang baik.

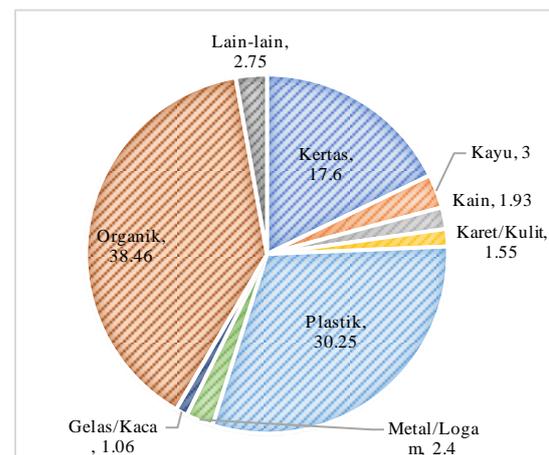
Berdasarkan data BPS Kabupaten Tegal pada Tahun 2018 tercatat dari perkiraan produksi sampah Kabupaten Tegal 676,5 ton/hari atau setara dengan 902 m³ dan hanya bisa terangkut 41% atau sebesar 282,75 ton/hari atau 377 m³ saja (BPS Kabupaten Tegal 2019). Hal ini

menjadi masalah yang krusial terhadap penanganan sampah di Kabupaten Tegal.



Gambar 1. Kondisi TPA Panujah Desember 2020

Sampah di Kabupaten Tegal berdasarkan data tahun 2017 memiliki komposisi sampah berupa (lihat Gambar 2) kertas 17,6%; kayu 3%; kain 1,93%; karet/kulit 1,55%; plastik 30,25%; metal/logam 2,4%; gelas/kaca 1,06%; organik 38,46%; dan sampah lain-lain 2,75% (BPS Kabupaten Tegal 2019).



Gambar 2. Komposisi Sampah di Kabupaten Tegal Tahun 2017 (BPS Kabupaten Tegal 2019)

Dengan banyaknya sampah jenis kain, kayu, karet/kulit dan kertas dengan total 24,08% maka dapat dibuat bahan bakar alternatif dari limbah kain, kayu, karet/kulit dan kertas menjadi *Refuse Derived Fuel* (RDF) untuk menangani sampah yang belum dikelola tersebut. RDF dari hasil pengolahan sampah tersebut dapat digunakan untuk bahan bakar *incinerator* pirolisis pada Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA).

Menurut Rania, dkk., persentase komposisi dari bahan baku penyusun RDF yang terdiri dari komposisi sampah 15,35% kertas, 1% kayu, 2% kain, dan 2,35% karet/kulit serta tambahan 8% sampah plastik, bahwa

berdasarkan hasil uji laboratorium diperoleh persentase kadar air = 4,68%, kadar abu = 11.64%, kadar volatile = 7,81%, dan fixed carbon = 75.87% dengan nilai kalor briket RDF sebesar 16.609,03 kJ/kg atau setara dengan 3973,45 kcal/kg (Rania, Lesmana, dan Maulana, 2019).

Penelitian yang dilakukan oleh Sriwijaya, menjelaskan bahwa persentase komposisi dari bahan baku penyusun RDF yang terdiri dari komposisi sampah 5% kertas, 2% kayu, 3% kain, dan 1% karet/kulit serta tambahan 28% sampah plastik dengan hasil uji laboratorium diperoleh persentase kadar air = 5,49%, kadar abu = 6,40%, kadar volatile = 33,06%, dan fixed carbon = 77% dengan nilai kalor briket RDF sebesar 6,267 kJ/kg atau setara dengan 1497,849 kcal/kg (Sriwijaya 2016).

Hasil penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh Rania dkk. (Rania, Lesmana, dan Maulana, 2019), telah memenuhi nilai kalor RDF tersebut telah memenuhi Permen ESDM No.047 Tahun 2006 dengan standar nilai kalor sebesar 4400 kcal/kg (Yusgiantoro, 2006). Sedangkan hasil penelitian Sriwijaya belum memenuhi standar nilai kalor yang ditentukan oleh Kementerian ESDM (Sriwijaya, 2016).

Penelitian yang dilakukan oleh Chiemchaisri, dkk (Chiemchaisri, Charannok, dan Visvanathan 2010), mengatakan bahwa komposisi RDF dengan berbahan baku plastik (non organik) lebih banyak dapat meningkatkan nilai kalor. Berbanding terbalik dengan penelitian yang dilakukan oleh Octaviani (Octaviani, 2020) yang mengatakan bahwa, komposisi RDF dengan baku material organik dapat meningkatkan nilai kalor namun dengan waktu yang lebih lama.

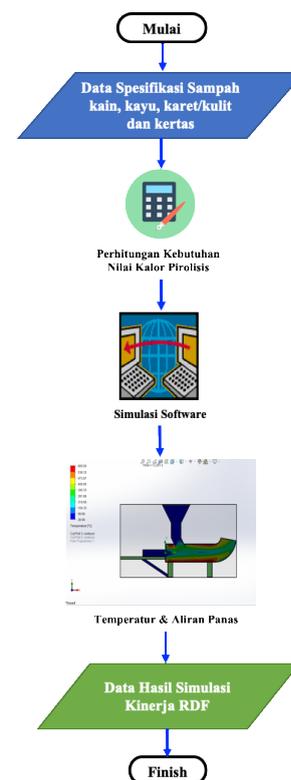
Capelioullar (Çepelioğullar, dkk., 2016) dalam tulisannya, membahas tentang pemodelan perilaku termal bahan bakar turunan sampah (RDF) dengan menggunakan *Artificial neural networks* (ANNs) yang dapat memprediksi nilai kalor yang mempengaruhi tubuh manusia. Sarc dan Lorber (Sarc dan Lorber 2013) menjelaskan, bahwa untuk menghasilkan nilai kalor yang optimal, sampah yang digunakan sebagai bahan baku harus dikondisikan dengan baik dengan perlakuan khusus agar RDF dapat menghasilkan nilai kalor yang tinggi.

Dari beberapa literatur yang diperoleh, belum ada yang membahas tentang analisis kinerja RDF dari sampah organik dan non organik dengan pendekatan analisis simulasi. Tulisan

ini membahas tentang analisis kinerja RDF dari sampah organik dan non organik dengan pendekatan simulasi *software*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan data kinerja RDF yang akan menjadi acuan komposisi sampah yang dibutuhkan melalui metode kombinasi perhitungan teoritis dan analisis simulasi, sehingga akan dihasilkan RDF yang lebih optimal.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode experimental yang berbasis pada simulasi *software*. *Software* yang digunakan dalam penelitian ini adalah SOLIDWORKS® dengan simulasi yang dilakukan adalah *Computational Fluid Dynamics* (CFD). RDF dalam studi kasus ini digunakan untuk bahan bakar insinerator Alat Pirolisis. Adapun parameter yang menjadi input data, meliputi: temperatur ruang bakar, nilai kalor briket RDF, spesifikasi *burner* dan desain *burner* yang dibutuhkan. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Tahapan ekperimental berbasis simulasi

Untuk melakukan perhitungan teoritis kebutuhan nilai kalor pirolisis diperlukan data spesifikasi dari insinerator pirolisis tipe *batch* yang akan dijadikan studi kasus seperti pada

gambar 4, yaitu: kapasitas plastik = 20 kg; temperatur pemanasan reaktor pirolisis = 478 °C ; laju pembakaran yang diinginkan sebesar 6 kg/jam; temperatur ruang bakar = 600 °C; Waktu pemanasan = 1 jam; dengan material insinerator stainless steel SUS 304. Adapun pemanasan awal pada plastik sebelum memasuki reaktor pirolisis diasumsikan memiliki suhu sebesar $T_0 = 100$ °C.



Gambar 4. Insinerator pirolisis tipe *batch* yang digunakan

Parameter yang dibutuhkan dalam menghitung nilai kalor optimal adalah dengan menggunakan persamaan:

$$Q_1 = m \cdot C_{pLDPE} \cdot (T_1 - T_0) \quad (1)$$

$$Q_2 = m \cdot L_{LDPE} \quad (2)$$

$$Q_3 = m \cdot C_{pLDPE} \cdot (T_2 - T_1) \quad (3)$$

$$Q_4 = m \cdot U_{LDPE} \quad (4)$$

$$Q_5 = m \cdot C_{pLDPE} \cdot (T_3 - T_2) \quad (5)$$

$$Q_{total} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (6)$$

Dimana Q_1 adalah nilai energi yang dibutuhkan untuk pemanasan insinerator (kJ); Q_2 adalah nilai energi untuk meleburkan plastik (kJ); Q_3 adalah nilai energi panas ketika plastik mencair (kJ); Q_4 adalah nilai energi penguapan cairan plastik (kJ); Q_5 adalah nilai energi panas ketika uap menjadi cair (kJ); Q_{total} adalah nilai energi panas yang terjadi didalam insinerator (kJ); m adalah nilai massa jenis plastik LDPE (kg); C_{pLDPE} adalah nilai kalor jenis plastik LDPE ($J/kg^{\circ}C$); L_{LDPE} adalah kalor lebur plastik LDPE ($J/kg^{\circ}C$); U_{LDPE} adalah koefisien perindahan panas total plastik LDPE ($J/kg^{\circ}C$); T_0 adalah nilai temperatur awal (°C); T_1 adalah nilai temperatur plastik

LDPE maksimal sebelum mencair (°C); T_2 adalah nilai temperatur didih plastik LDPE maksimal sebelum menguap (°C); dan T_3 adalah nilai temperatur penguapan plastik LDPE (°C).

Nilai kalor optimal dihitung dengan persamaan:

$$N_p = \frac{Q_{total}}{W_a \times t_1 \times \eta} \quad (7)$$

Dimana N_p adalah nilai kalor optimal (kJ/kg); W_a adalah nilai laju pembakaran (kg/jam); t_1 adalah nilai waktu pemanasan (jam); dan η nilai efisiensi (%). Sedangkan untuk menghitung energi yang bekerja pada *burner* per harinya, dapat digunakan persamaan:

$$E = W_a \times t_2 \times \eta \times N_p \quad (8)$$

Dimana E adalah nilai energi yang bekerja pada *burner* per harinya (kcal/hari); t_2 adalah nilai waktu kerja alat (jam/hari). Berdasarkan data perhitungan tersebut, dapat dilakukan perhitungan total kebutuhan briket RDF dalam satu hari sesuai dengan kebutuhan dan spesifikasi insinerator pirolisi dimana M adalah jumlah kebutuhan briket (kg/hari):

$$M = \frac{E \times 1}{N_p} \quad (9)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. memperlihatkan nilai parameter *input* untuk perhitungan yang dilakukan. Sedangkan tabel 2, memperlihatkan nilai hasil perhitungan berdasarkan persamaan-persamaan yang digunakan:

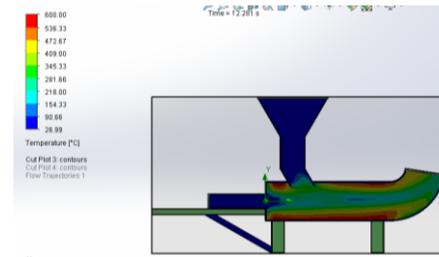
Tabel 1. Nilai parameter

Simbol Parameter	Nilai	Satuan
m	20	kg
C_{pLDPE}	2300	$J/kg^{\circ}C$
L_{LDPE}	98.000	$J/kg^{\circ}C$
U_{LDPE}	670.000	$J/kg^{\circ}C$
T_0	100	°C
T_1	112	°C
T_2	300	°C
T_3	478	°C
W_a	6	kg/jam
t_1	1	jam
η	30	%
t_2	24	jam/hari

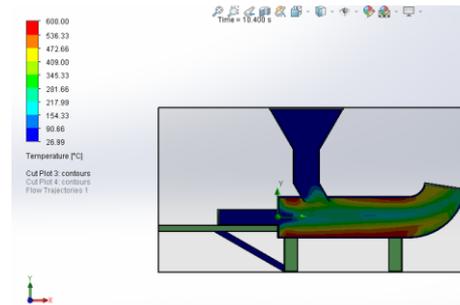
Tabel 2. Nilai hasil perhitungan

Simbol Parameter	Nilai	Satuan
Q ₁	552	kJ
Q ₂	1.960	kJ
Q ₃	8.648	kJ
Q ₄	13.400	kJ
Q ₅	4.600	kJ
Q _{total}	29.160	kJ
N _p	16.200	kJ/kg
E	167.265	kcal/hari
M	43	kg/hari

Dalam melakukan pengujian diperlukan beberapa data parameter untuk melakukan pengujian, yaitu: temperatur ruang bakar 600 °C, nilai kalor briket rata-rata RDF dari sampah kain, kayu, karet/kulit, kertas adalah 4529 kcal/kg atau 18.949 kJ/kg. Semakin tinggi nilai kalor maka laju pembakaran akan semakin cepat, bila laju pembakaran 16.200 kJ/kg menghasilkan waktu pembakaran 6 kg/jam, maka didapatkan laju pembakaran RDF kain, kayu, kertas dan karet/kulit adalah 7,02 kg/jam sehingga dapat diketahui massa alir briket pada nilai kalor optimal adalah 0,1667 kg/s sedangkan RDF kain, kayu, karet/kulit, kertas adalah 0,00195 kg/s. *Burner* RDF menggunakan spesifikasi *blower* sebagai berikut: Daya = 120 W; Tegangan = 220 V ; Frekuensi = 50 Hz; dn Volume alir = 2,5 m³/h = 0,0007 m³/s. Dengan memasukkan parameter tersebut dilakukan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan *software* SOLIDWORKS®, sehingga dapat diketahui perbandingan penyebaran dan aliran panas didalam *burner* untuk RDF dengan nilai kalor optimal dan nilai kalor RDF dari bahan baku kain, kayu, kertas dan kulit/karet hasil perhitungan teoritis. Gambar 5, menampilkan analisis simulasi temperatur pada *burner* dalam insinerator pirolisis yang dijadikan studi kasus. Gambar 5.a memperlihatkan simulasi yang terjadi pada ruang *burner* dengan menggunakan dengan nilai RDF kalor optimal hasil perhitungan teoritis, temperatur dengan suhu maksimal (600 °C) lebih sedikit area distribusinya pada ruang *burner*. Sedangkan jika dibandingkan dengan gambar 5.b yang menggunakan nilai RDF dari bahan baku kayu, kain, karet/kulit, dan kertas area temperatur dengan suhu tinggi memiliki sebaran area yang lebih luas.

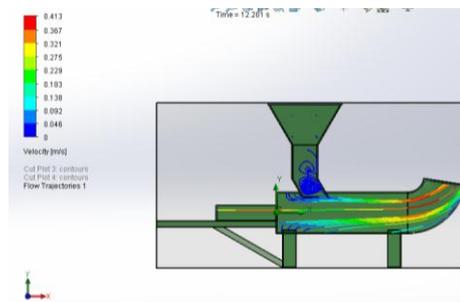


(a). Dengan nilai RDF kalor optimal

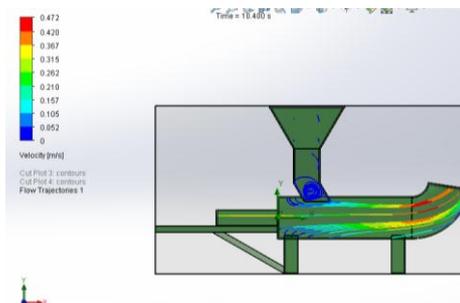


(b). Dengan nilai RDF kayu, kain, karet/kulit, dan kertas

Gambar 5. Analisis temperatur pada ruang *burner* insenerator pirolisis



(a). Dengan nilai RDF kalor optimal



(b). Dengan nilai RDF kayu, kain, karet/kulit, dan kertas

Gambar 6. Analisis aliran panas pada ruang *burner* insenerator pirolisis

Gambar 6.a., menampilkan hasil simulasi analisis aliran panas dengan kecepatan 0,413 m/s pada ruang *burner* insenerator pirolisis dengan menggunakan nilai RDF kalor optimal

dari hasil perhitungan teoritis, sedangkan gambar 6.b. memperlihatkan hasil simulasi distribusi aliran panas memiliki yang memiliki nilai laju aliran 0,472 m/s atau lebih cepat, 0,059 m/s.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan, pada penggunaan RDF dengan nilai kalor optimal hasil perhitungan sesuai kebutuhan insenerator sebesar 16.200 kJ/kg menghasilkan kecepatan aliran udara panas sebesar 0,413 m/s sedangkan pada bahan bakar RDF kain, kayu, karet/kulit dan kertas menghasilkan kecepatan aliran 0,472 m/s, atau dalam arti mengalami peningkatan kinerja sebesar 14,28%. Hal tersebut dapat disimpulkan, bahwa penggunaan kombinasi material bahan baku organik dan non organik dapat meningkatkan kecepatan aliran udara panas dengan distribusi panas yang lebih merata.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kegiatan penelitian, desain dan pengembangan oleh penulis yang dilakukan dalam tulisan ini didukung oleh hibah penelitian “Program Insinas Riset Pratama Kemitraan”, dengan kontrak nomor 47/E1/KPT/2020 dari Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia dan LPPM Universitas Pancasila dengan surat perjanjian penugasan penelitian nomor 23/INS-2/PPK/E4/2020.

DAFTAR PUSTAKA

BPS Kabupaten Tegal. 2019. *Kabupaten Tegal Dalam Angka (Tegal Regency in Figures) 2019*. Tegal.

Brás, Isabel et al. 2017. “Refuse Derived Fuel from Municipal Solid Waste Rejected Fractions-a Case Study.” *Energy Procedia* 120: 349–56.

Çepelioğullar, Özge, İlhan Mutlu, Serdar Yaman, and Hanzade Haykiri-Acma. 2016. “A Study to Predict Pyrolytic Behaviors of Refuse-Derived Fuel (RDF): Artificial Neural Network Application.” *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 122: 84–94. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165237016300985>.

Chiemchaisri, Chart, Boonya Charnnok, and Chettiyappan Visvanathan. 2010. “Recovery of Plastic Wastes from

Dumpsite as Refuse-Derived Fuel and Its Utilization in Small Gasification System.” *Bioresource technology* 101(5): 1522–27.

- Izaty, Fatimah Nurul. 2018. “Analisis Komposisi Dan Identifikasi Potensi RDF (Refuse Derived Fuel) Pada Sampah Zona 1 Tpa Piyungan Bantul Dengan Analisis Proximate Dan Nilai Kalor.”. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia.
- Novita, Dian Marya, and Enri Damanhuri. 2009. “Perhitungan Nilai Kalor Berdasarkan Komposisi Dan Karakteristik Sampah Perkotaan Di Indonesia Dalam Konsep Waste to Energy.” *Jurnal Teknik Lingkungan* 16(2): 103–14.
- Octaviani, Mutiara. 2020. “Analisis Sampah Non Plastik Di Kota Sukabumi Sebagai Bahan Baku Refuse Derived Fuel (RDF)”. Disertasi. Universitas Pertamina.
- Pemerintah Pusat. 2018. “Peraturan Presiden (PERPRES) Tentang Percepatan Pembangunan Instalasi Pengolah Sampah Menjadi Energi Listrik Berbasis Teknologi Ramah Lingkungan.” : 1–18. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/73958/perpres-no-35-tahun-2018>.
- Rania, Mutiara Fadila, I Gede Eka Lesmana, and Eka Maulana. 2019. “Analisis Potensi Refuse Derived Fuel (RDF) Dari Sampah Pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Di Kabupaten Tegal Sebagai Bahan Bakar Incinerator Pirolisis.” *SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* 13(1): 51–59.
- Sarc, R, and K E Lorber. 2013. “Production, Quality and Quality Assurance of Refuse Derived Fuels (RDFs).” *Waste Management* 33(9): 1825–34. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X13002134>.
- Sriwijaya, Sayid Bahri. 2016. “Analisa Potensi Sampah Di TPSA Cilowong Sebagai Bahan Baku Refuse Derived Fuel (RDF).” *TEKNOBIZ* 6(3): 174–82.
- Yusgiantoro, Purnomo. 2006. “Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Nomor : 047 Tahun 2006.” : 1–21.