

# Teknologi Biodrying untuk Meningkatkan Nilai Kalor Sampah dan Proyeksinya sebagai Bahan Bakar Alternatif pada Tahun 2028

Anindi Cita Fiki, Mochtar Hadiwidodo\*, Badrus Zaman

Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

## ABSTRAK

Timbulan municipal solid waste (MSW) akibat industrialisasi, urbanisasi dan pertumbuhan penduduk telah menimbulkan masalah tentang kerusakan lingkungan dan bahaya kesehatan manusia, terutama di negara-negara berkembang. MSW yang mudah terbakar memiliki kandungan proksimat yang dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif melalui recovery energi dengan metode bio-drying. Penelitian ini bertujuan untuk mengolah MSW menggunakan biodrying dan menghitung potensi MSW sebagai bahan bakar alternatif. MSW dari Jatibarang landfill diolah dalam reaktor bio-drying dengan debit aerasi sebesar 6 L/m selama 21 hari. Hasil penelitian menunjukkan suhu puncak mencapai 58°C pada hari pertama. Kadar air mengalami penurunan hingga 44,65% pada hari ke-21. Nilai kalor mengalami kenaikan 28% dengan nilai tertinggi sebesar 6.049 kal/gr. Produk biodrying dari MSW Jatibarang landfill memiliki potensi 138% sebagai bahan bakar industry. Potensi penggunaan produk biodrying 100% tercapai pada tahun 2030 bulan ke-6 sebesar 638.367 ton.

**Kata kunci:** biodrying, nilai kalor, limbah perkotaan, bahan bakar, energi

## ABSTRACT

Municipal solid waste (MSW) generated as a result of industrialization, urbanization, and population growth has created problems of environmental damage and human health hazards, especially in developing countries. Combustible MSW contains proximate which can be utilized as alternative energy through energy recovery by bio-drying method. This study aims to process MSW using biodrying and calculate the potential of MSW as an alternative fuel. MSW from TPA Jatibarang is processed in a bio-drying reactor with an aeration flowrate of 6 L/m for 21 days. The results showed that the peak temperature reached 58°C on the first day. The water content decreased to 44.65% on the 21st day. The calorific value increased by 28% with the highest value of 6,049 cal/gr. Biodrying products from MSW Jatibarang landfill have 138% potential as industrial fuel. The potential use of 100% biodrying products is achieved in 2030 in the 6th month of 638,367 tons.

**Keywords:** biodrying, calorific value, MSW, fuel, energy

**Citation:** Fiki, A.C., S., Hadiwidodo, M., dan Zaman, B. (2022). Teknologi Biodrying untuk Meningkatkan Nilai Kalor Sampah dan Proyeksinya sebagai Bahan Bakar Alternatif pada Tahun 2028. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(1), 139-146, doi:10.14710/jil.20.1.139-146

## 1. Pendahuluan

Artikel yang disubmit di *Jurnal Ilmu Lingkungan* harus berkaitan dengan penelitian dibidang ilmu lingkungan seperti halnya: Manajemen Lingkungan, Rekayasa Lingkungan, Konservasi alam, Bencana, GIS, dst.

Kota Semarang merupakan salah satu kota metropolitan dengan jumlah penduduk sebesar 1,7 juta jiwa dengan peningkatan timbulan sampah rata-rata 1,5% per tahun. Timbulan sampah harian Kota Semarang pada tahun 2017 sebesar 1.200 ton/hari, sebagian sampah 800-900 ton/hari masuk ke TPA Jatibarang yang memiliki luas 46,0183 ha. TPA ini menerapkan sistem *control landfill* dengan luas area buang 27 ha. Dengan sistem pengelolaan yang telah diterapkan umur pakai TPA Jatibarang tinggal 4-5 tahun lagi (DLH Kota Semarang, 2017). Kebutuhan

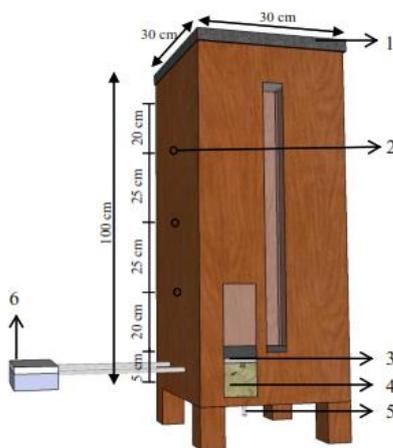
ruang dalam pengolahan *landfilling* dapat menghambat penyelesaian permasalahan *Municipal Solid Waste* (MSW) (Damanhuri, *et al.*, 2010). Pada tahun 2016, sebanyak 35% sampah TPA Jatibarang diolah menjadi pupuk organik oleh PT. Narpati. Selain itu juga menjalin kerjasama dengan Pemerintah Denmark untuk merencanakan pengolahan sampah menjadi energi listrik (Pradana & Subowo, 2017).

Komposisi sampah TPA Jatibarang didominasi jenis *combustible waste* (mudah terbakar) yaitu 12,36% sampah serasah daun, 14,74% sampah kertas, 15,49% sampah plastik, dan 31,60% sampah sisa makanan. Sedangkan 25,81% sisanya merupakan logam, kaca dan jenis sampah lainnya (KLHK RI, 2018). Sampah *combustible* TPA Jatibarang memiliki potensi sebagai bahan baku RDF salah satu jenis bahan bakar alternatif (Sembiring *et al.*, 2018). Pengolahan sampah

\* Penulis korespondensi: mch323@yahoo.com

perkotaan dengan konsep recoveri energi dapat menjadi alternatif untuk memanfaatkan energi yang terkandung di dalam sampah. Recoveri energi limbah padat menjadi energi terbarukan menggunakan metode termal sangat efisien mengurangi volume sampah dalam waktu singkat. Proses *biodrying* menggunakan reaktor yang mengintegrasikan pencacahan sampah, sirkulasi udara dan pengeringan biologis dapat menciptakan proses termal, sehingga menghasilkan output yang lebih kering (Purwono et al., 2016). *Biodrying* merupakan metode pengolahan sampah yang memanfaatkan aktivitas mikroorganisme dalam penguraian material organik (Velis et al., 2009). Adanya aktivitas mikroorganisme pada proses *biodrying* menyebabkan meningkatnya suhu sampah sehingga mampu menghasilkan energi panas (Santosa & Soemarno, 2014). Sampah kertas dan plastik pada proses *biodrying* menjadi *bulking agent* (bahan tambahan) yang memberi porositas pada tumpukan sampah reaktor sehingga oksigen dapat masuk dan menyebabkan mikroorganisme lebih aktif. Melalui proses *biodrying* nilai kalor sampah kertas, plastik, sisa makanan dan serasah daun naik menjadi  $\pm 6000$  cal/gr dari  $\pm 4000$  cal/gr sebelum diolah (Wardhani et al., 2017).

TPA Jatibarang belum mengaplikasikan teknologi *biodrying* untuk memaksimalkan pengurangan kuantitas sampah perkotaan. Penelitian ini bertujuan untuk mengolah MSW menggunakan *biodrying* dan menghitung potensi MSW sebagai bahan bakar alternative. Secara khusus, sampah organik (serasah daun dan sisa makanan), kertas dan plastik dari TPA Jatibarang Kota Semarang yang diolah dengan metode *biodrying* dalam sebuah reaktor. Kemudian dilakukan analisis terhadap suhu, kadar air dan nilai kalor dari produk hasil proses *biodrying*. Sehingga dapat diketahui potensi nilai kalor sampah produk *biodrying* di TPA Jatibarang Kota Semarang sebagai bahan bakar alternatif pada tahun 2019-2028.



Gambar 1. Skema reactor *biodrying*, (1) penutup reactor, (2) lubang pengukuran suhu, (3) kawat jarring, (4) susunan kerikil, (5) saluran lindi, (6) aerator

## 2. Metode

### 2.1. Lokasi penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Laboratorium teknik lingkungan, Departement Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

### 2.2. Bahan dan alat

Penelitian ini menggunakan sampah dari TPA Jatibarang Kota Semarang dengan kadar air  $\pm 65\%$ . Bahan penelitian sebanyak 67,5 liter dengan komposisi menggunakan 17% serasah daun, 20% kertas, 21% plastik dan 42% sisa makanan. Reaktor yang digunakan berbentuk balok dengan ukuran 30x30x100 cm. Reaktor divariasikan dengan debit aerasi 0 L/m sebagai kontrol (reaktor A0) dan 6 L/m sebagai reaktor uji (reaktor 6 L/m). Debit aerasi dihasilkan dari *air pump* yang dialirkan melalui tiga selang kecil dibagian bawah reaktor dengan debit aerasi masing-masing selang sebesar 2 L/m. Skema reactor ditunjukkan pada gambar 1.

### 2.3. Experimental setup

Proses *biodrying* dipantau dengan cara melakukan pengukuran suhu setiap hari (pagi, siang dan malam) menggunakan termometer pada titik pengukuran dengan ketinggian 25 cm, 50 cm dan 75 cm dari dasar reaktor. Pengujian kadar air setiap hari menggunakan alat pengukuran kadar air. Pengujian nilai kalor serta pengukuran volume dan massa sampah dilakukan pada saat hari ke-0, hari suhu puncak, hari ke-7, hari ke-14 dan hari ke-21. Setelah mendapat nilai kalor optimum pengujian dilanjutkan dengan mengidentifikasi potensi nilai kalor sampah sebagai bahan bakar alternatif. Dilakukan proyeksi jumlah timbulan sampah dan jumlah produk *biodrying* dari sampah TPA Jatibarang Kota Semarang pada tahun 2019-2028. Mengidentifikasi bahan bakar suatu kegiatan dengan nilai kalor sesuai produk *biodrying*.

### 2.4. Potensi produk *biodrying*

Berdasarkan jumlah produk *biodrying* dan jumlah kebutuhan bahan bakar industri dapat diketahui potensi sampah produk proses *biodrying* TPA Jatibarang Kota Semarang sebagai bahan bakar alternatif. Perhitungan potensi produk *biodrying* menggunakan persamaan (1).

$$\text{Potensi Produk Biodrying (\%)} = \frac{\text{massa produk biodrying}}{\text{massa bahan bakar}} \times 100\% \quad (1)$$

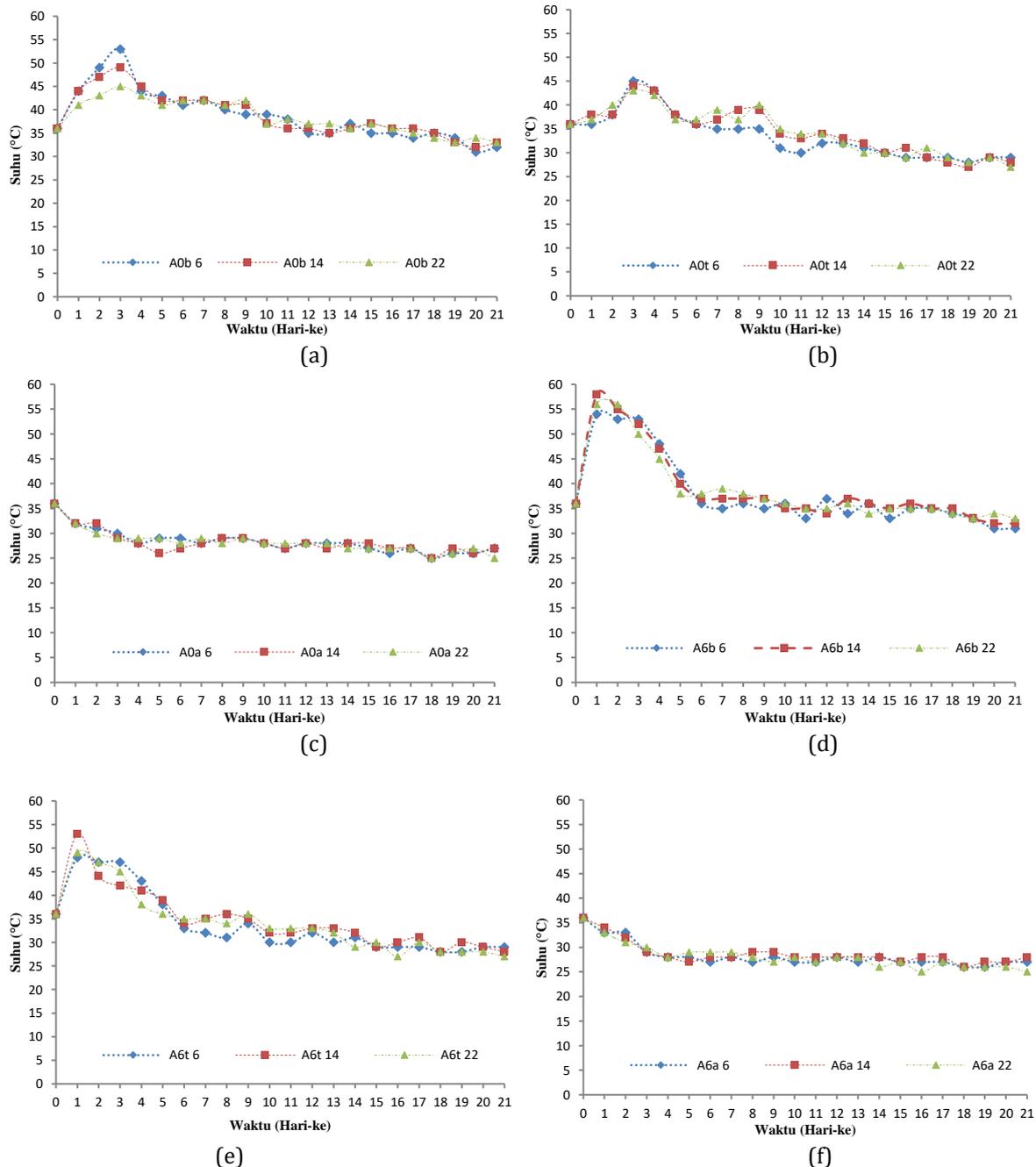
## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Suhu Proses *Biodrying*

Proses *biodrying* sampah TPA Jatibarang pada masing-masing reaktor penelitian ini telah mencapai suhu yang dapat mendukung aktivitas mikroorganisme. Kisaran terbaik untuk menunjang

aktivitas mikroba adalah suhu mesofilik antara 35-40<sup>0</sup>C atau suhu termofilik sedang antara 40-45<sup>0</sup>C (Adani et al., 2002). Suhu pada titik pengukuran suhu bagian bawah merupakan suhu terbaik untuk aktivitas mikroorganisme di reaktor A0 antara 31-53<sup>0</sup>C (Gambar 1 a) dan reaktor A6 antara 31-58<sup>0</sup>C (1d). Suhu yang rendah pada titik pengukuran bagian atas kedua reaktor sejak hari ke-1 dan titik bagian tengah setelah hari ke-15 disebabkan karena adanya penyusutan sampah sehingga bagian itu tidak terisi oleh sampah. Perbedaan kedalaman titik pengukuran suhu mengakibatkan adanya selisih sebesar 8-9<sup>0</sup>C antara suhu pada titik bagian bawah dan titik bagian tengah (Sen & Annachhatre, 2015). Sejak hari ke-1 proses biodrying titik pengukuran suhu bagian atas masing-

masing reaktor tidak lagi terisi sampah, sedangkan titik bagian tengah berada di kedalaman sampah ≤ 10 cm dan titik bagian bawah pada kedalaman sampah ≤ 35 cm. Hal ini mengakibatkan pola suhu pada titik pengukuran bagian bawah lebih tinggi dibandingkan titik pengukuran bagian tengah, karena uap air pada bagian tengah lebih mudah menguap daripada bagian bawah. Uap air yang tertahan pada bagian bawah dapat meningkatkan kelembaban udara, sehingga suhu pada titik bagian bawah lebih tinggi (Adani et al., 2002). Proses aerobik pada biodrying bertujuan menghilangkan air khususnya uap air dengan memanfaatkan aerasi dan suhu tinggi (Sugni et al., 2005).



**Gambar 1.** (a) Suhu biodrying titik bawah A0, (b) titik tengah A0, (c) titik atas A0, (d) titik bawah A6 (e) titik tengah A6 (f) titik atas A6

Tercapainya suhu puncak pada fase termofilik yaitu suhu diatas 55°C menandakan bahwa pada waktu itu proses biodegradasi dari aktivitas mikroorganisme mengalami peningkatan pesat (Ab Jalil et al., 2016). Suhu puncak reaktor A0 dicapai pada titik pengukuran bawah saat pagi hari dengan nilai 53°C, nilai ini belum mencapai suhu termofilik (>55°C) (Gambar 4.1). Sedangkan pada reaktor A6 suhu tertinggi dicapai pada hari pertama yaitu 58°C di titik pengukuran bagian bawah saat siang hari (Gambar 4.4), nilai tersebut telah mencapai suhu diatas 55°C atau disebut juga fase termofilik. Peningkatan suhu pada reaktor biodrying sehingga mencapai suhu puncak terjadi diantara hari pertama hingga hari ketiga proses biodrying (Ab Jalil et al., 2016). Suhu pada reaktor A6 dapat mencapai suhu termofilik karena aktifitas bakteri aerobik efisien dengan adanya pemberian udara terus-menerus dengan debit aerasi tertentu pada tumpukan sampah (Velis et al., 2009). Suhu tinggi ini sangat bermanfaat karena mengaktifkan reaksi eksotermis untuk penguapan kadar air dalam limbah dan degradasi organic carbon (Yuan et al., 2017). Suhu ini tidak dapat dikendalikan karena tergantung kepada aktifitas mikroorganisme didalam reaktor biodrying (Adani et al., 2002). Tetapi mikroba bersifat sensitif terhadap suhu, jika terlalu tinggi dapat mematikan bakteri mesofilik. Ambang batas suhu penunjang aktifitas mikroba yaitu 55-60°C, suhu yang lebih tinggi dapat membunuh mikroba sehingga memperlambat pengeringan (Sharara et al., 2012). hari ke-14 suhu sudah hampir seragam. Suhu yang konstan saat proses biodrying menandakan terjadinya kestabilan biologis telah dicapai atau sudah berkurangnya aktivitas mikroorganisme (Nedwell, 1999).

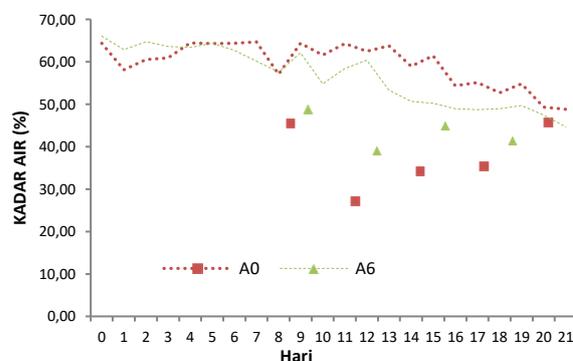
### 3.2. Kadar Air Sampah

Data kadar air selama 21 hari pada penelitian ini (Gambar 4.7) menunjukkan sifat fluktuatif pada reaktor A0 (0 L/m) maupun A6 (L/m). Perubahan tingkat kadar air yang terjadi selama proses biodrying cenderung mengalami penurunan. Kadar air pada reaktor A0 berkisar antara 48,80-64,68% sedangkan reaktor A6 berkisar antara 44,65-66,05%. Kadar air optimum pada awal proses aerobic seharusnya 50-70% untuk pertumbuhan mikroorganisme (Tchobanoglous & Kreith, 2002). Apabila kurang dari 40% menyebabkan aktifitas mikroba rendah karena air dibutuhkan untuk proses metabolisme. Dan apabila kadar air terlalu tinggi menyebabkan air memenuhi pori-pori sampah sehingga kondisi menjadi anaerob (Sadaka et al., 2010). Kadar air yang dikandung suatu material organik akan berkurang akibat adanya aktifitas mikroorganisme pada teknologi biodrying yang secara alami meningkatkan suhu saat proses penguraian (Velis et al., 2009). Saat berlangsungnya proses biodrying, akan timbul panas akibat dari aktivitas mikroorganisme, sehingga panas tersebut dapat digunakan untuk menguapkan air yang terkandung dalam sampah organik (Aminah et al.,

2017). Adanya kenaikan kadar air disebabkan oleh uap air yang tertahan pada bagian bawah yang dapat meningkatkan kelembaban udara (Adani et al., 2002). Selain itu pada penelitian ini air yang merembes ke bagian bawah tumpukan sebagai lindi tidak dapat mengalir sempurna sehingga terjebak di tumpukan sampah (Santosa & Soemarno, 2014).

Kadar air pada reaktor A0 sebelum proses pengolahan adalah 64,38% yang kemudian berubah menjadi 48,80% pada hari ke-21. Sehingga persentase penurunan kadar air sampel reaktor A0 sebesar 24% dari nilai kadar air awal. Sedangkan kadar air sampah di reaktor A6 sebelum proses pengolahan adalah 66,05% yang kemudian menjadi 44,65% pada hari ke-21. Nilai kadar air sampah produk *biodrying* pada reaktor A6 mengalami penurunan dengan persentase sebesar 32% (Tabel 4.14). Penurunan nilai kadar air dimulai sejak hari ke-7 hingga hari ke-14. Persentase penurunan kadar air pada reaktor A6 lebih besar dibanding reaktor A0 dikarenakan pemberian debit udara pada tumpukan sampah efisien dalam menciptakan proses aerobik yang dapat mengurangi kadar air bahan organik (Velis et al., 2009). Sampah kertas dan plastik pada proses *biodrying* ini berperan sebagai *bulking agent* (bahan tambahan) yang memberi porositas diantara tumpukan sampah sehingga oksigen dapat masuk menyebabkan mikroorganisme lebih aktif sehingga efisien dalam penurunan kadar air.

Aktivitas mikroorganisme selama proses *biodrying* dapat menurunkan kadar air dari 60% menjadi kurang dari 20% dalam waktu kurang dari sebulan (Velis et al., 2009). Nilai kadar air terendah dicapai pada reaktor *biodrying* (aerasi 6 L/m) di hari ke-21 masih sebesar 44,65%, nilai ini belum mencapai nilai kadar air yang seharusnya yaitu kurang dari 20%. Hal ini disebabkan oleh uap air yang terperangkap didalam tumpukan sampah proses *biodrying* karena debit udara tidak terdistribusi secara merata pada tumpukan sampah. Jika produk *biodrying* sampah perkotaan yang dijadikan komponen bahan bakar memiliki nilai kadar air lebih besar dari 20%, maka akan menghambat suhu naik hingga lebih 600°C yang menyebabkan proses pembakaran tidak berhasil (Johari et al., 2011).



Gambar 2. Grafik Kadar Air Proses Biodrying

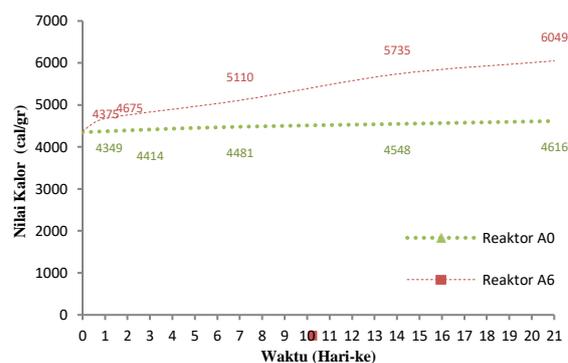
Produk *biodrying* sebelum dimanfaatkan sebagai bahan bakar harus melewati tahap pembriketan dengan parameter sebagai berikut putaran motor sebesar 1250 rpm, tekanan pengepresan sebesar 50 kg/cm<sup>2</sup>, waktu pengepresan 7,5 menit, perbandingan 10:1 untuk limbah dan perekat serta suhu pengeringan 105°C. Parameter tersebut optimum dalam penurunan kadar air mencapai 92% dari kadar air sebelum proses pembriketan (Putro & Hartati, 2014).

### 3.3. Nilai Kalor

Sampah harus memiliki kalor atau nilai panas yang tinggi untuk menghasilkan energi (Santosa & Soemarno, 2014). Potensi nilai kalor yang terkandung pada sampah hasil *biodrying* dapat diolah melalui pembakaran sampah sebagai bahan bakar alternatif yang dikenal sebagai RDF (*Refuse Derived Fuel*) (Annisa, 2015). Pada penelitian ini pengujian nilai kalor dilakukan pada hari ke-0, suhu puncak, ke-7, ke-14 dan ke-21. Berikut ini hasil dari pengujian nilai kalor produk *biodrying* pada reaktor A0 dan A6.

Besaran nilai kalor sampah dipengaruhi oleh komposisi penyusunnya yang memiliki nilai kalor yang berbeda yaitu serasah daun 5.170 kJ, plastik 12.661-20.932 kJ, kertas 8.082 kJ dan sisa makanan 1.920-4.30 kJ (Abdel-Shafy & Mansour, 2018). Data hasil uji laboratorium nilai kalor sampah pada hari ke-0, hari suhu puncak, hari ke-7, hari ke-14 dan hari ke-21 mengalami kenaikan (Gambar 4. 8). Diketahui bahwa sampah TPA Jatibarang Kota Semarang dengan komposisi 12,36% sampah serasah daun, 14,74% sampah kertas, 15,49% sampah plastik, dan 31,60% sampah sisa makanan memiliki nilai kalor sebesar ± 4300 cal/gr. Nilai kalor sampah pada reaktor tanpa aerasi (A0) mengalami kenaikan berturut-turut dari 4349 cal/gr menjadi 4414 cal/gr pada hari suhu puncak (hari ke-3), 4481 cal/gr pada hari ke-7, 4548 cal/gr pada hari ke-14 dan 4616 cal/gr pada hari ke-21. Persentase kenaikan nilai kalor sampah pada reaktor A0 sebesar 6% dari nilai kalor awal sampah. Sedangkan untuk produk *biodrying* pada reaktor uji dengan debit aerasi 6 L/m (A6) mengalami kenaikan dari 4375 cal/gr menjadi menjadi 4675 cal/gr pada hari suhu puncak (hari ke-1), 5110 cal/gr pada hari ke-7, 5735 cal/gr pada hari ke-14 dan 6049 cal/gr pada hari ke-21. Persentase kenaikan nilai kalor sampah produk *biodrying* reaktor A6 sebesar 28% dari nilai kalor awal sampah. Pada penelitian ini nilai kalor tertinggi dicapai oleh sampah produk *biodrying* TPA Jatibarang dengan umur 21 hari pada reaktor A6 (debit aerasi 6 L/m) sebesar 6049 cal/gr (Gambar 4.8).

*Biodrying* merupakan metode pengolahan sampah yang memanfaatkan aktivitas mikroorganisme dalam penguraian material organik. Proses aerobik dengan pemberian udara/oksigen (O<sub>2</sub>) secara terus menerus dengan debit tertentu pada tumpukan sampah di ruang tertutup efisien dalam mendukung aktivitas mikroorganisme selama 14 – 21 hari (Velis et al., 2009).

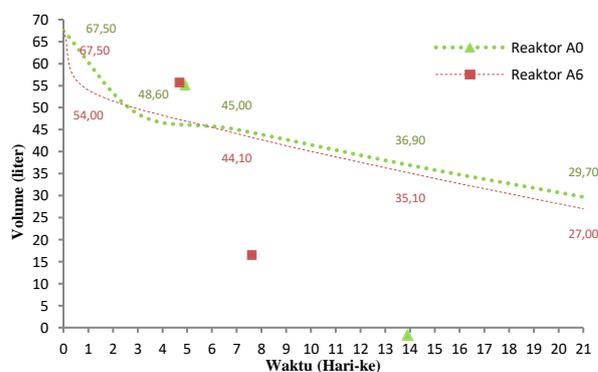


Gambar 3. Nilai Kalor Produk Biodrying

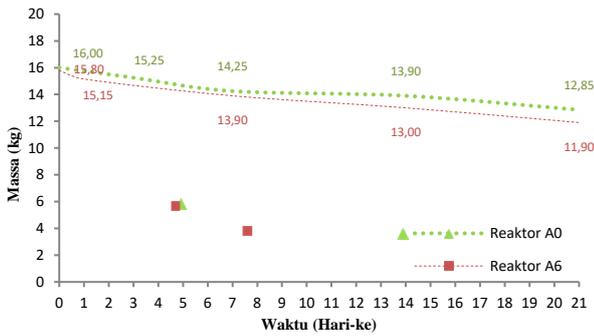
Senyawa organik sederhana pada sampah organik seperti asam amino, glukosa dan asam organik mengalami proses dekomposisi akibat metabolisme bakteri heterotrof. Aktivitas metabolik mikroorganisme mengakibatkan reaksi eksotermis yang tinggi sehingga melepaskan energi panas (Zaman et al., 2018). Adanya aktivitas mikroorganisme pada proses *biodrying* menyebabkan meningkatnya suhu sampah sehingga mampu menghasilkan energi panas. Meminimalkan jumlah limbah dengan pengolahan *biodrying* baik untuk *recovery* energi karena dapat meningkatkan nilai kalor melalui bantuan biodegradasi oleh mikroorganisme (Santosa & Soemarno, 2014). Pengolahan sampah melalui pengeringan sampah yang memanfaatkan mikroorganisme dapat meningkatkan nilai kalor sebesar 30-40% (Ab Jalil et al., 2016).

### 3.4. Volume dan Massa Produk Biodrying

Proses *biodrying* merupakan proses pengolahan sampah yang efektif dalam pengurangan volume dan massa sampah karena adanya suplai udara dengan debit tertentu (He et al., 2013). Pada penelitian ini pengukuran massa dan volume sampah *biodrying* dilakukan pada hari ke-0, suhu puncak, ke-7, ke-14 dan ke-21. Bersamaan dengan waktu pengambilan sampel pengujian nilai kalor untuk mendapatkan data penurunan sampah pada saat nilai kalor tertinggi. Berikut ini data volume dan massa dari produk *biodrying*.



Gambar 4. Volume Proses Biodrying



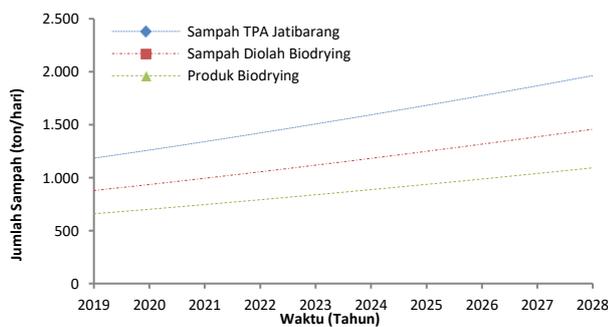
Gambar 5. Massa Proses Biodrying

Pada penelitian ini reaktor A0 sebagai kontrol mengalami pengurangan volume dari 67,5 liter menjadi 29,7 liter pada hari ke-21. Persentase penurunan volume pada reaktor A0 sebesar 56%. Sedangkan reaktor uji (A6) yang diberikan debit aerasi sebesar 6 L/m mengalami pengurangan volume dari 67,5 liter menjadi 27 liter pada hari ke-21. Persentase dari pengurangan volume reaktor A6 adalah 60% (Gambar 4.9).

Selain itu, pada penelitian ini reaktor A0 mengalami penurunan massa dari 16 kg menjadi 12,85 kg pada hari ke-21. Persentase penurunan massa pada reaktor A0 sebesar 20%. Massa sampah produk *biodrying* pada reaktor A6 juga mengalami penurunan dari 15,8 kg menjadi 11,9 kg pada hari ke-21. Persentase penurunan massa pada produk *biodrying* di reaktor A6 sebesar 25% dari massa sampah awal (Gambar 4.10). Proses *biodrying* untuk pengolahan sampah perkotaan mengakibatkan terjadinya penurunan massa sebesar 36-49% dan penurunan volume sebesar 12-32% (Bilgin & Tulun, 2015).

### 3. 5. Proyeksi Timbulan Sampah 2018-2027

Proyeksi pertumbuhan jumlah penduduk Kota Semarang menggunakan pendekatan standar deviasi dengan berdasarkan 3 metode, yaitu metode aritmatika, geometrik dan Least Square. Dari perhitungan ketiga metode dipilih metode yang menghasilkan standar deviasi terkecil, yaitu menggunakan metode proyeksi Aritmatik sebesar 64.214.



Gambar 6. Proyeksi Sampah TPA Jatibarang Tahun 2019-2028

Proyeksi pertumbuhan PDRB Kota Semarang menggunakan pendekatan standar deviasi dengan berdasarkan 3 metode, yaitu metode aritmatika, geometrik dan Least Square. Dari perhitungan ketiga metode dipilih metode yang menghasilkan standar deviasi terkecil, yaitu menggunakan metode proyeksi Aritmatik sebesar 8.846.332.776.

Hasil proyeksi fasilitas dipengaruhi oleh jumlah fasilitas dan jumlah penduduk pada tahun sebelumnya. Dari data hasil proyeksi jumlah penduduk dan PDRB Kota Semarang dapat dicari proyeksi nilai timbulan sampah domestik Kota Semarang 2019-2028. Kota Semarang memiliki jumlah penduduk sebesar 1,7 juta jiwa pada tahun 2017 (DLH Kota Semarang, 2017). Dalam hal ini Kota Semarang termasuk jenis kota metropolitan dengan jumlah timbulan sampah sebesar 3 liter/orang/hari (SNI-3242, 2008). Untuk Timbulan sampah non-domestik dipengaruhi oleh jumlah pengguna fasilitas atau jumlah fasilitas sarana dan prasarana yang ada di kota tersebut. Selanjutnya dari data jumlah unit fasilitas maka dapat diproyeksikan timbulan sampah non domestik Kota Semarang 2019-2028. Jumlah sampah yang masuk ke TPA Jatibarang sekitar 75% dari total timbulan sampah Kota Semarang (DLH Kota Semarang, 2017). Kemudian jumlah timbulan sampah domestik dan non-domestik dikonversikan dalam bentuk ton/hari menggunakan nilai densitas sampah. Sampah yang diolah dengan metode *biodrying* pada penelitian ini adalah 74,19% (serasah daun, plastik, kertas dan sisa makanan) dari jumlah sampah yang masuk TPA Jatibarang. Sampah TPA Jatibarang pada tahun 2018 mengalami penurunan massa sebesar 25% setelah melalui proses *biodrying*.

Dari hasil proyeksi diketahui jumlah produk *biodrying* sampah TPA Jatibarang tahun 2019-2028 secara berturut-turut sebesar 240.423 ton/tahun, 255.914 ton/tahun, 272.121 ton/tahun, 288.800 ton/tahun, 305.950 ton/tahun, 323.573 ton/tahun, 341.667 ton/tahun, 360.233 ton/tahun, 379.271 ton/tahun dan 398.749 ton/hari.

### 3. 6. Potensi Sampah Produk Biodrying TPA Jatibarang Kota Semarang sebagai Energi Alternatif

Pada penelitian ini nilai kalor tertinggi dicapai oleh sampah produk *biodrying* TPA Jatibarang dengan umur 21 hari pada reaktor A6 (debit aerasi 6 L/m) sebesar 6049 cal/gr. Dengan nilai kalor yang dimiliki, produk *biodrying* TPA Jatibarang berpotensi sebagai sumber energi menggantikan batubara kalori sedang yang mempunyai nilai kalor 5100-6100 cal/gr. Batubara yang biasa digunakan dalam sektor industri yaitu *steam coal* dan *cooking coal*. *Steam coal* dimanfaatkan menjadi bahan bakar untuk kebutuhan pembangkit listrik. *Cooking coal* atau kokas dimanfaatkan sebagai bahan baku proses peleburan besi dan baja (Direktorat Sumber Daya Energi, Mineral dan Pertambangan, 2016). *Cooking coal* dan *steam coal* termasuk jenis *hard coal* dengan nilai kalor >5.700 cal/gr yang biasa

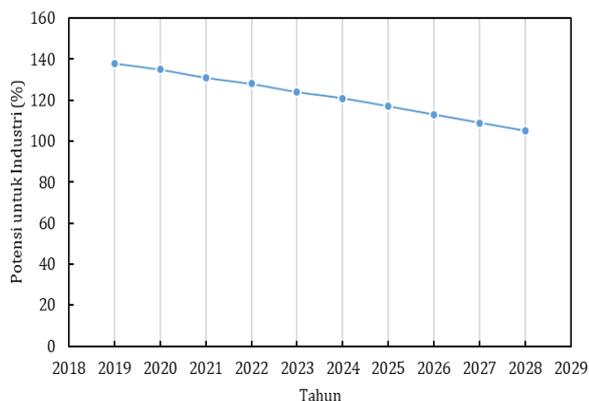
digunakan pada berbagai jenis industri seperti industri semen, industri besi dan baja serta industri kimia. Dari sumber lainnya mengatakan bahwa nilai kalor batubara yang dibutuhkan untuk bahan bakar industri >6000 cal/gr (Lestari et al., 2016).

Pada penelitian ini untuk mengetahui potensi produk *biodrying* sampah, diperlukan data pemakaian bahan bakar batubara dan briket pada industri di Kabupaten/Kota disekitar TPA Jatibarang yaitu Kota Semarang, Kabupaten Semarang, Kabupaten Demak, Kabupaten Kendal dan Kota Salatiga. Pada wilayah tersebut terdapat industri yang mengkonsumsi bahan bakar batubara seperti industri makanan, minuman, pengolahan tembakau, tekstil, bahan kimia, farmasi, karet dan plastik, serta pengolahan logam dasar (BPS Provinsi Jawa Tengah, 2017).

Data proyeksi penggunaan bahan bakar industri diperoleh sesuai laju pertumbuhan penggunaan bahan bakar. Konsumsi domestik batubara di Indonesia mengalami pertumbuhan sebesar 9% setiap tahun (Haryadi & Suciyanti, 2018). Dari jumlah produk *biodrying* dan jumlah kebutuhan bahan bakar industri dapat diketahui potensi sampah produk proses *biodrying* TPA Jatibarang Kota Semarang sebagai bahan bakar alternatif.

**Tabel 1.** Proyeksi Pemakaian Bahan Bakar Batubara dan Briket di Industri

Tahun	Kota Semarang (ton)	Kab. Semarang (ton)
2019	49.959	35.067
2020	54.455	38.223
2021	59.356	41.663
2022	64.698	45.413
2023	70.521	49.500
2024	76.868	53.955
2025	83.786	58.811
2026	91.327	64.104
2027	99.546	69.873
2028	108.505	76.161



**Gambar 7.** Potensi Produk *Biodrying* Sampah TPA Jatibarang Sebagai Bahan Bakar Alternatif

Hasil dari penelitian ini membuktikan bahwa produk dari pengolahan sampah TPA Jatibarang melalui metode *biodrying* berpotensi sebagai energi alternatif. Produk *biodrying* memiliki potensi sebesar 105-138% sebagai bahan bakar alternatif industri di Kota Semarang, Kabupaten Semarang (gambar 7).

#### 4. Kesimpulan

Proses *biodrying* sampah TPA Jatibarang Kota Semarang dengan komposisi 17% serasah daun, 20% kertas, 21% plastik dan 42% sisa makanan selama 21 hari dengan debit aerasi 6 L/m mencapai suhu puncak pada hari pertama yaitu 58°C. Produk *biodrying* umur 21 hari memiliki kadar air 44,65% dan mengalami peningkatan nilai kalor sebesar 28% menjadi 6.049 cal/gr. Nilai kalor tersebut memenuhi nilai kalor bahan bakar batubara pada industri (>6.000 cal/gr).

Produk *biodrying* TPA Jatibarang memiliki potensi 138% untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar batubara industri di Kota Semarang, Kabupaten Semarang, Kabupaten Demak, Kabupaten Kendal dan Kota Salatiga tahun 2019. Setelah diproyeksikan diketahui pada 2028 potensi produk *biodrying* 105 % sebagai bahan bakar alternatif industri. Potensi pemenuhan 100% kebutuhan bahan bakar batubara industri di wilayah tersebut oleh produk *biodrying* TPA Jatibarang dicapai pada bulan ke-6 tahun 2030 dengan jumlah produk *biodrying* sebesar 638.370ton dan jumlah kebutuhan bahan bakar 637.638ton.

#### DAFTAR PUSTAKA

Ab Jalil, N. A., Basri, H., Ahmad Basri, N. E., & Abushammala, M. F. M. (2016). Biodrying of municipal solid waste under different ventilation periods. *Environmental Engineering Research*, 21(2), 145-151. <https://doi.org/10.4491/eer.2015.122>

Abdel-Shafy, H. I., & Mansour, M. S. M. (2018). Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization. In *Egyptian Journal of Petroleum* (Vol. 27, Issue 4, pp. 1275-1290). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.07.003>

Adani, F., Baido, D., Calcaterra, E., & Genevini, P. (2002). The influence of biomass temperature on biostabilization-biodrying of municipal solid waste. *Bioresource Technology*, 83(3), 173-179. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00231-0](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00231-0)

Aminah, S., Sudarno, & Purwono. (2017). Pengolahan Sampah Organik Secara Biodrying Studi Kasus: Sayuran Kangkung. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(1), 1-8.

Annisa, B. (2015). Asesmen Potensi Recovery Energi dari Sampah Perkotaan di TPA (Tempat Pembuangan Sampah Akhir) Sampah untuk Infrastruktur Persampahan Berkelanjutan. *Annual Civil Engineering*, 978-979-79, 978-979.

Badan Standarisasi Nasional, (2008). *SNI -3242:2008 Pengelolaan Sampah di Permukiman*. Badan Standarisasi Nasional, Bandung.

Bilgin, M., & Tulun, Ş. (2015). Biodrying for municipal solid waste: Volume and weight reduction. *Environmental*

- Technology (United Kingdom)*, 36(13), 1691–1697. <https://doi.org/10.1080/09593330.2015.1006262>
- Damanhuri, E. & Padi, T., (2010). *Diktat Kuliah TL-3104 : Pengelolaan Sampah*. Edisi Semester I-2010/2011. Program Studi Teknik Lingkungan FTSL ITB, Bandung.
- Direktorat Sumber Daya Energi, Mineral dan Pertambangan, (2016). *Kajian Ketercapaian Target DMO Batubara Sebesar 60% Produksi Nasional pada Tahun 2019*. BAPPENAS, Jakarta.
- DLH Kota Semarang, (2017). *Pengelolaan TPA Jatibarang*. [Online] Available at: [https://maritim.go.id/konten/unggah/2017/09/Gunawan\\_Saptogiri\\_Env\\_Agency\\_of\\_Semarang.pdf](https://maritim.go.id/konten/unggah/2017/09/Gunawan_Saptogiri_Env_Agency_of_Semarang.pdf) [Diakses 20 September 2018].
- Haryadi, H., & Suciyanti, M. (2018). Analisis Perkiraan Kebutuhan Batubara Untuk Industri Domestik Tahun 2020-2035 Dalam Mendukung Kebijakan Domestic Market Obligation Dan Kebijakan Energi Nasional. *Jurnal Teknologi Mineral Dan Batubara*, 14(1), 59. <https://doi.org/10.30556/jtmb.vol14.no1.2018.192>
- He, P., Zhao, L., Zheng, W., Wu, D., & Shao, L. (2013). Energy Balance of a Biodrying Process for Organic Wastes of High Moisture Content: A Review. *Drying Technology*, 31(2), 132–145. <https://doi.org/10.1080/07373937.2012.693143>
- Johari, A., Hashim, H., Ramli, M., Jusoh, M., & Rozainee, M. (2011). Effects of fluidization number and air factor on the combustion of mixed solid waste in a fluidized bed. *Applied Thermal Engineering*, 31(11), 1861–1868. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.03.013>
- KLHK RI, 2018. *Sistem Pengelolaan Sampah Nasional*. [Online] Available at: [http://sipsn.menlhk.go.id/?q=3a-komposisampah&field\\_f\\_wilayah\\_tid=1476&field\\_kat\\_kota\\_tid=All&field\\_periode\\_id\\_tid=2168](http://sipsn.menlhk.go.id/?q=3a-komposisampah&field_f_wilayah_tid=1476&field_kat_kota_tid=All&field_periode_id_tid=2168) [Diakses 18 Oktober 2018].
- Lestari, D., Asy'ari, M. A., & Hidayatullah, R. (2016). Geokimia Batubara Untuk Beberapa Industri. *Jurnal POROS TEKNIK*, 8(1), 1–54.
- Nedwell. (1999). Effect of low temperature on microbial growth: lowered affinity for substrates limits growth at low temperature. *FEMS Microbiology Ecology*, 30 2, 101–111.
- Pradana, A. E., & Subowo, A. (2017). Studi Penanganan Sampah Di Tempat Pemrosesan Akhir Jatibarang Berdasarkan Peraturan Daerah Kota Semarang Nomor 6 Tahun 2012 Tentang Pengelolaan Sampah. *Indonesian Journal of Public Policy and Management Review*, 6, 68–79.
- Purwono, P., Hadiwidodo, M., & Rezagama, A. (2016). Penerapan Teknologi Biodrying Dalam Pengolahan Sampah High Water Content Menuju Zero Leachate. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 13(2), 75. <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v13i2.75-80>
- Putro, S., & Hartati, S. (2014). Setting Parameter Yang Optimal Pada Proses Pembriketan Limbah Biomassa Guna Mendapatkan Kadar Air Briket Minimal Dalam Menciptakan Energi Alternatif Yang Ekonomis Oleh : M-70 M-71. *Simposium Nasional RAPI XIII - 2014 FT UMS*, 70–76.
- Sadaka, S., Vandevender, K., Costello, T., & Sharara, M. (2010). *Partial Composting for Biodrying Organic Materials*. <https://doi.org/10.13140/2.1.4767.7123>
- Santosa, S., & Soemarno, S. (2014). Peningkatan Nilai Kalor Produk Pada Proses Bio-drying Sampah Organik. *Indonesian Green Technology Journal*, 3(1), 29–38.
- Sembiring, L. A., Priyambada, I. B., Samudro, G., Lokahita, B., Wardhana, I. W., Hadiwidodo, M., & Syafrudin, S. (2018). Potensi Material Sampah Combustible pada Zona II TPA Jatibarang Semarang sebagai Bahan Baku RDF (Refuse Derived Fuel). *Jurnal Teknik Mesin Mercu Buana*, 7(1), 19–23. <https://doi.org/10.22441/jtm.v7i1.2240>
- Sen, R., & Annachhatre, A. P. (2015). *Effect of air flow rate and residence time on biodrying of cassava peel waste Effect of air flow rate and residence time on biodrying of cassava peel waste Ranjit Sen and Ajit P. Annachhatre \* . October*.
- Sharara, M., Sadaka, S., Costello, T., & VanDevender, K. (2012). Influence of Aeration Rate on the Physio-Chemical Characteristics of Biodried Dairy Manure - Wheat Straw Mixture. *Applied Engineering in Agriculture*, 28. <https://doi.org/10.13031/2013.41489>
- Sugni, M., Calcaterra, E., & Adani, F. (2005). Biostabilization-biodrying of municipal solid waste by inverting air-flow. *Bioresource Technology*, 96(12), 1331–1337. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.11.016>
- Tchobanoglous, G., & Kreith, F. (2002). *Handbook of Solid Waste Management, Second Edition* (2nd ed.). McGraw-Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071356237>
- Velis, C. A., Longhurst, P. J., Drew, G. H., Smith, R., & Pollard, S. J. T. (2009). Biodrying for mechanical-biological treatment of wastes: A review of process science and engineering. *Bioresource Technology*, 100(11), 2747–2761. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.026>
- Wardhani, A. K., Sutrisno, E., & Purwono, P. (2017). *Pengaruh Variasi Debit Aerasi Terhadap Kadar Selulosa Dan Nilai Kalor Pada Metode Biodrying Municipal Solid Waste (Msw)*. Universitas Diponegoro.
- Yuan, J., Zhang, D., Li, Y., Chadwick, D., Li, G., Li, Y., & Du, L. (2017). Effects of adding bulking agents on biostabilization and drying of municipal solid waste. *Waste Management*, 62, 52–60. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.02.027>
- Zaman, B., Oktiawan, W., Hadiwidodo, M., Sutrisno, E., & Purwono, P. (2018). Desentralisasi pengolahan limbah padat rumah tangga menggunakan teknologi biodrying. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (Journal of Environmental Sustainability Management)*, 1(3), 18–24. <https://doi.org/10.36813/jplb.1.3.18-24>