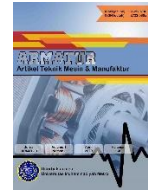
Contents list available at [Sinta](https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur)**A R M A T U R**

: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur

Journal homepage: <https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur>**Analisis Karakteristik Sampah Padat Perkotaan Kategori Kota Kecil dan Kelayakannya Menjadi Bahan Bakar Padat
(Studi Pada Wilayah Perkotaan Kalianda, Lampung Selatan)****Agus Apriyanto^{1*}, Yunita Mauliana²**¹ Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sang Bumi Ruwa Jurai, Jl. Imam Bonjol No. 468 Kota Bandar Lampung, Lampung, Indonesia² Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sang Bumi Ruwa Jurai, Jl. Imam Bonjol No. 468 Kota Bandar Lampung, Lampung, Indonesia**A R T I C L E
I N F O**

Keywords:
municiple solid waste
characteristics waste
torrefaction
solid fuel

A B S T R A C T

The municiple solid waste problem currently facing Kalianda City is the lack of appropriate technology that is effective and efficient. This research aims to analyze the characteristics of Kalianda city waste and its feasibility as an alternative energy source by applying appropriate technology. Surveys and investigations of waste generation volume, composition and characteristics have been carried out referring to SNI 19-3964-1994. Characterization of analytical tests such as mouister content, ash content, volatile matter, fixed carbon and chemical elements to calculate the heating value. The measurement results show that the average waste generation in Kalianda City is 0.39 kg/person/day with a composition of 65% organic waste and 35% anorganic waste. Organic waste has a mouister content of 63.05%, ash content of 16.29%, volatile matter of 70.48%, and produces fixed carbon of 44.26%. Empirical calculations after drying the waste until the mouister content was <10%, obtained a calorific value of 4,017.69 kcal/kg to 4,140.62 kcal/kg. The application of torrefaction technology results in an increase in the heating value of up to 5,424.60 kcal/kg to 5,623.29 kcal/kg equivalent to subbituminous coal B which can be used for thermal and electricity generation. The technology is economical, sustainable and uses a relatively small area.

*Corresponding author: agus.apriyanto89@gmail.com

DOI: <https://10.24127/armatur.v5i2.6512>

Received 23 Agustus 2024; Received in revised form 18 September 2024; Accepted 24 September 2024

Available online 30 September 2024

Pendahuluan

Sampah telah menjadi isu penting dalam permasalahan lingkungan perkotaan khususnya di Kabupaten Lampung Selatan. Seiring semakin meningkatnya jumlah penduduk, maka semakin bertambah pula volume timbulan sampah. Secara umum sistem pengelolaan persampahan terpadu di Kabupaten Lampung Selatan baru dilaksanakan pada wilayah perkotaan, khususnya wilayah ibu kota Kalianda, sebagai pusat pemerintahan dan pusat perekonomian.

Kondisi saat ini terdapat beberapa permasalahan sampah yang menjadi perhatian bagi seluruh pemangku kepentingan antara lain: pencapaian target kinerja persampahan yang masih rendah, dimana persentase pengurangan sampah di tahun 2021 baru mencapai 7,99% dan persentase penanganan sampah di tahun 2021 baru mencapai 42,92%. Sedangkan target yang harus dicapai pada tahun 2021 adalah 24% untuk pengurangan sampah dan 74% untuk penanganan sampah. [1] Disisi lain upaya – upaya pengurangan sampah berbasis pemberdayaan masyarakat masih sangat minim dilakukan, terdapat hanya 3 (tiga) unit Bank Sampah dan 3 (tiga) unit TPS 3R yang beroperasi baik di Kabupaten Lampung Selatan. Serta belum adanya keterlibatan pihak swasta dalam pengelolaan persampahan, baik dari sisi pengangkutan sampah maupun teknologi pengolahan sampah menjadi produk bernilai ekonomis.

Menindaklanjuti permasalahan tersebut diatas, perlu adanya akselerasi yang harus dilakukan oleh Pemerintah Daerah Kabupaten Lampung Selatan dalam membuat kebijakan terkait perencanaan umum dalam penanganan sampah. Mengingat perkotaan Kalianda termasuk dalam kategori kota kecil, maka harus disusun Perencanaan Teknis dan Manajemen Persampahan (PTMP).

Dalam hal penyusunan PTMP Kabupaten Lampung Selatan, berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor

03/PRT/M/2013 tentang Penyelenggaraan Prasarana Dan Sarana Persampahan Dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga Dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga, dibutuhkan data karakteristik dan komposisi sampah yang valid, yaitu yang dapat menggambarkan kondisi riil di lapangan.

Oleh karenanya, sebagai implementasi penyusunan kebijakan berbasis riset (*research based policy*) dan langkah awal dalam menyelesaikan permasalahan persampahan di wilayah perkotaan Kalianda, maka pelaksanaan studi karakteristik sampah dan tingkat kelayakan menjadi sumber energi terbarukan sebagai bahan bakar padat yang ramah lingkungan ini menjadi penting untuk dilakukan.

Sampah Kota Kalianda selama ini menjadi masalah karena menjadi sumber penyakit dan jumlahnya yang terus meningkat. Padahal apabila dianalisis komponen sampah kota terdiri dari bahan organik yang dapat dibuat kompos juga berpotensi mempunyai nilai kalor cukup tinggi bila digunakan sebagai bahan bakar. Penerapan teknologi tepat guna dipandang dapat mengurangi volume sampah secara efektif dan efisien, berkelanjutan dan menggunakan area yang relatif kecil untuk jangka waktu yang lama [2]. Pemanfaatan sumber energi dari sampah akan didapatkan dua keuntungan sekaligus, yakni berkurangnya jumlah sampah secara signifikan dan dihasilkannya bahan bakar alternatif dari sampah [3].

Penggunaan sampah kota menjadi bahan bakar padat menjadi solusi yang cepat bagi masyarakat perkotaan dibandingkan bila dibuat kompos yang membutuhkan proses yang lama. Namun demikian penggunaan secara langsung sebagai bahan bakar mempunyai banyak kendala karena sampah terdiri dari multi komponen yang sulit dikontrol kualitas pembakarannya, juga sifat kandungan air yang tinggi, sehingga sampah merupakan bahan bakar yang buruk, yang ditandai dengan nilai kalor yang rendah. [4]. Untuk memperbaiki sifat sampah sebagai bahan bakar padat, diperlukan proses yang

khusus, diantaranya adalah proses termal yang dapat mendekomposisi komponen sampah sehingga dapat menaikkan densitas energinya. [5].

Tulisan ini membahas studi terkait karakteristik sampah padat perkotaan wilayah Kota Kalianda dan analisis kelayakannya menjadi sumber energi yang mencakup aspek teknis dan analisis termalnya. Serangkaian survei dilakukan untuk mengetahui komposisi sampah perkotaan di wilayah Kota Kalianda yang dilanjutkan uji karakteristik dari komposisi sampah. Sifat kimia dan fisika serta nilai kalor sampah dievaluasi sebagai bahan bakar padat. Tujuan dari penelitian ini adalah menyelidiki karakteristik sampah Kota Kalianda yang khas dan kemungkinan penerapannya sebagai sumber energi bahan bakar padat ramah lingkungan dari sampah kota.

Metode Penelitian

Studi ini dilakukan di Kecamatan Kalianda, Kabupaten Lampung Selatan. Kecamatan Kalianda membawahi 29 desa dengan luas wilayah 226,05 km². Jumlah penduduknya berdasarkan jenis kelamin sebanyak 98.013 jiwa yang terdiri dari 49.841 penduduk laki-laki dan 48.172 penduduk perempuan. [6]. Dengan jumlah penduduk tersebut Kota Kalianda termasuk dalam kategori Kota Kecil, dengan jumlah penduduk < 100.000 jiwa [7].

Studi dimulai dengan survey timbulan dan komposisi sampah wilayah perkotaan Kalianda. Pendekatan yang digunakan dengan metode survey pengambilan dan pengukuran contoh timbulan sampah dan metode eksperimen berdasarkan standar SNI 19-3964-1994 dimana basis volume sampel sampah yang diambil adalah 1 m³. Objek penelitian ini adalah sampah perkotaan, sedangkan subjek penelitian adalah penghasil sampah di kawasan perumahan dan non perumahan.

Rancangan metode survey ini tidak dilakukan terhadap seluruh populasi subjek penelitian, tetapi hanya mengambil sampel atau sebagian dari populasi tersebut yang

mewakili karakteristik populasi. Data dalam penelitian merupakan data primer yang meliputi timbulan sampah dan komposisi sampah yang dikumpulkan secara langsung dari subjek penelitian.

Survey sampah dilakukan selama 8 hari berturut turut terhadap subjek penelitian yakni sebanyak 31 KK di kawasan perumahan yang merepresentasikan perumahan dengan pendapatan tinggi, pendapatan sedang dan pendapatan rendah serta 18 lokasi di kawasan non perumahan terdiri dari : toko, kantor, sekolah, jalan, hotel, rumah makan, objek wisata dan rumah ibadah.

Sampah dari penghasil sampah dipisahkan menjadi dua kategori komponen yakni sampah organik dan anorganik. Sampah organik terdiri dari dari sampah sisa makanan, sisa sayur, sampah dapur dan daun. Sampah anorganik terdiri dari sampah kertas, kayu, kain/tekstil, plastik, logam, gelas/kaca, karet/kulit dan lain-lain. [7]. Persen komposisi sampah adalah berat masing-masing komponen sampah dibagi dengan berat total sampah keseluruhan.

Tahapan terakhir adalah analisis laboratorium. Uji laboratorium mencakup analisis proksimat, tes dilakukan di Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri (BSPJI, Kementerian Perindustrian Republik Indonesia) dan analisis ultimat dilakukan di TekMIRA (Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Batubara, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia). Analisis pengujian proksimate dan ultimate tersaji pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Analisis Proksimat (BSPJI)

No.	Komponen	Standard
1	<i>Volatile Matter</i>	ASTM D3172-13
2	Kadar Air	ASTM D3172-13
3	<i>Fixed Carbon</i>	ASTM D3172-13
4	Kadar Abu	ASTM D3172-13

Tabel 2. Analisis Ultimate (TekMIRA).

No.	Komponen	Standard
1	Carbon (C)	ASTM D 5373-16
2	Hidrogen (H)	ASTM D 5373-16
3	Oksigen (O)	ASTM D 3176-15
4	Nitrogen (N)	ASTM D 5373-16
5	Sulfur(S)	ASTM D 4239-18

Perhitungan nilai kalor dihitung menggunakan persamaan empiris Dulong-Berhelot, merujuk pada Pers.1. sebagai berikut:

$$HHV = 0.314 C + 1.4445 H - (N+O-I)/8 + 0.0093 S \quad (\text{Pers. 1})$$

Kemudian Channiwala dan Parikh mengembangkan persamaan empiris untuk menghitung nilai kalor berdasarkan 15 korelasi yang ada dan 50 bahan bakar, termasuk biomassa, Untuk menghitung nilai kalor menggunakan persamaan Channiwala, merujuk pada Pers. 2 sebagai berikut :

$$HHV = 349.1C + 1178.3H + 105S - 103.4O - 15.1N - 21.1Ash \quad (\text{Pers. 2})$$

Sifat-sifat ini kemudian digunakan untuk analisis energi dan desain pembuatan bahan bakar padat dari sampah biomassa.

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil pengukuran secara langsung dilapangan selama 8 hari di kawasan perumahan diperoleh data volume sampah yang dihasilkan dari masyarakat adalah 1.611,8 liter atau rata rata sebesar 1,41 liter/orang/hari dengan berat sampah yang dihasilkan sebesar 381,39 Kg atau rata rata sebesar 0,33 kg/orang/hari.

Perbedaan tingkat pendapatan masyarakat mengakibatkan timbulan sampah yang dihasilkan juga berbeda. timbulan sampah berkorelasi dengan pendapatan, semakin tinggi pendapatan maka timbulan sampah yang dihasilkan semakin tinggi. Masyarakat yang secara ekonomi berpendapatan tinggi membeli

makan dan menggunakan sesuatu lebih banyak dari orang lain. Mereka juga menghasilkan limbah dalam jumlah besar yang kebanyakan bersifat sulit dan lama untuk teruraikan. Pada masyarakat berpendapatan rendah laju konsumsinya rendah, menghasilkan limbah yang lebih rendah dan relatif homogen dari masyarakat berpendapatan tinggi. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 3. hubungan antara masyarakat dengan pendapatan tinggi, sedang dan rendah terhadap timbulan sampah yang dihasilkan.

Tabel 3. Timbulan Sampah Berdasarkan Tingkat Pendapatan

Tipe Rumah	Rerata Timbulan (Kg/Orang/hari)	Rerata Timbulan (L/Orang/hari)
Pendapatan Tinggi	0,40	1,67
Pendapatan Sedang	0,31	1,61
Pendapatan Rendah	0,30	1,14

Berdasarkan hasil pengukuran secara langsung dilapangan selama 8 hari berturut turut terhadap 8 Kategori lokasi non perumahan diperoleh berat sampah yang dihasilkan dari masyarakat adalah 2.093,78 Kg atau rata rata sebesar 0,05 kg/unit/hari dengan volume sampah yang dihasilkan sebesar 13.126,1 liter atau rata rata sebesar 0,34 liter/ unit/hari. Sehingga berdasarkan data diatas bahwa timbulan sampah kota Kalianda, kontribusi terbesarnya adalah berasal dari kawasan non perumahan sekitar 85-90% dan sisanya dihasilkan oleh kawasan perumahan sekitar 10-15%. Rerata timbulan sampah perharinya dari pengasil sampah adalah sekitar 0,39 kg/unit/hari atau sekitar 1,75 liter/unit/hari.

Sampah memiliki komposisi yang berbeda-beda pada tiap jenis sumber sampah. Komposisi sampah kawasan perumahan akan berbeda dengan komposisi sampah kawasan non perumahan. Dari tiap

sumber sampah dapat dilihat jenis sampah yang dominan sehingga dapat diketahui pengolahan yang tepat pada langkah selanjutnya. Tabel 4. memperlihatkan data komposisi sampah berdasarkan komponen sampah organik dan anorganik, sesuai jumlah sampel yang diambil pada 31 KK untuk kawasan perumahan dan 18 titik lokasi pada kawasan non perumahan. Komposisi sampah terbesar untuk kawasan perumahan adalah sampah organik dengan massa 248,55 kg (65 %) dan sampah anorganik sebesar 132,84 kg (35%).

Dominasi sampah anorganik secara berturut turut adalah sampah plastik 49,78 kg (13%), sampah kertas 31,78 kg (8%), sampah lainnya 26,37 kg (7%), sampah kain/tekstil 10,26 kg (3%), sampah gelas/kaca 8,37 kg (2,2%), sampah karet/kulit 2,88 kg (0,8 %), sampah kayu 2,08 kg (0,5 %), sampah logam 1,32 kg (0,3%). Komposisi sampah kawasan non perumahan juga didominasi sampah organik sebesar 1.353,72 kg (65%) dan sampah anorganik sebesar 740,06 kg (35%).

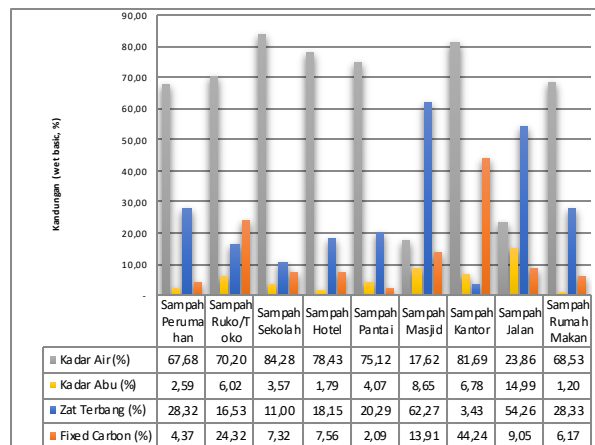
Tabel 4. Komposisi Sampah Kota Kalianda

No	Komposisi Sampah	Kawasan	
		Perumahan	Non Perumahan
A	Organik:	Massa (kg)	Massa (kg)
1	Sampah sisa sayur/makanan / dapur	248,55	1.353,72
B	Anorganik:		
2	Kertas (Kr)	31,78	402,14
3	Kayu (Ky)	2,08	28,52
4	Kain/Tekstil (Kn)	10,26	30,69
5	Plastik (Pl)	43,09	198,92
6	Botol Plastik	6,68	12,49
7	Logam	1,32	1,77
8	Gelas/Kaca (Kc)	8,37	4,30
9	Karet/Kulit (Kt)	2,88	2,48
10	Lain-Lain	26,37	58,74
	Total	381,39	2093,78

Dominasi sampah anorganik secara berturut turut adalah sampah kertas 402,14

kg (19%), sampah plastik 211,41 kg (10%), sampah lainnya 58,74 kg (3%), sampah kain/tekstil 30,69 kg (1,5%), sampah kayu 28,52 kg (1,4%), sampah gelas/kaca 4,30 kg (0,2%), sampah karet/kulit 2,48 kg (0,12 %), sampah logam 1,77 kg (0,08%).

Karakteristik sampah yang terutama adalah dari jenis sampah organik. Sebab beberapa komponen sampah seperti plastik, kertas dan logam seringkali diambil masyarakat karena masih memiliki nilai ekonomis. Uji proksimat merupakan analisis di laboratorium untuk menentukan kadar air zat terbang karbon tetap dan kadar abu. Hasil analisis proksimat dari subjek penelitian dapat dilihat pada Gambar 1..



Gambar 1. Analisis Proksimat

Kandungan komponen sampah organik didominasi oleh zat terbang dengan nilai rata-rata 70,48%, zat terbang yang tinggi dapat menurunkan nilai kalor sementara kandungan karbon tetap (*fixed carbon*) yang tinggi dapat menaikkan nilai kalor bahan bakar. Kandungan karbon tetap yang tinggi lebih disukai dibandingkan kandungan zat terbang pada bahan bakar padat. karbon tetap ditemukan dalam bahan yang tersisa setelah zat terbang dilepaskan. Nilai rata-rata kandungan karbon tetap pada sampah Kota Kalianda tergolong rendah rata-rata sebesar 13,23%. Mengindikasikan nilai kalornya juga relative rendah.

Kadar Air adalah jumlah air yang terkandung dalam sampah dan dinyatakan dalam satuan persen, jumlah rata-rata kadar air sampah cukup tinggi sebesar 63,05%.

Kadar air tertinggi sampah dimiliki oleh sampah sekolah (84,28%) dan kadar air terendah berasal dari sampah masjid sebesar 17,62% karena didominasi oleh daun kering dan kertas.

Kadar abu sampah Kota Kalianda berdasarkan hasil laboratorium bervariasi setiap jenisnya, dengan nilai rata-rata sekitar 16,29 % (*dry basic*). Angka ini menunjukkan bahwa dengan proses pada suhu tinggi sampah akan tersisa sebesar 16,29 % dari total berat kering.

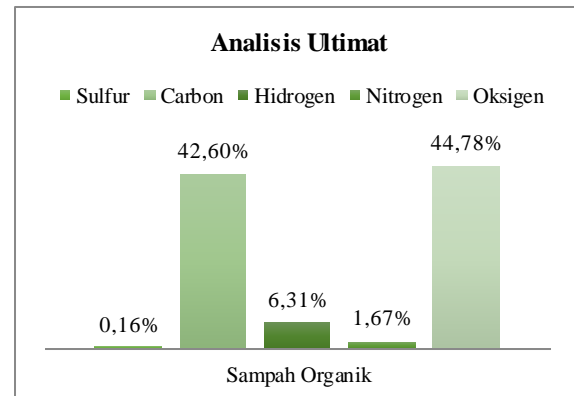
Zat terbang adalah komponen dalam sampel sampah selain air yang dilepaskan ketika sampel sampah dipanaskan tanpa oksigen. Sampah rumah makan memiliki kadar zat terbang tertinggi sekitar 90,02% (*dry basic*) dan sampah kantor dengan kadar zat terbang terendah sekitar 18,73% (*dry basic*).

Kadar karbon tetap adalah karbon ditemukan dalam bahan yang tersisa setelah bahan yang mudah menguap. Sampah kantor memiliki kadar karbon tetap tertinggi sekitar 44,24% (*dry basic*) yang didominasi sampah organik dan kertas. Sampah pantai memiliki kadar karbon tetap terendah 2,09% (*dry basic*) yang didominasi sampah organik.

Analisis ultimat meliputi elemen *carbon*, *hidrogen* dan *oksigen* merupakan komponen utama dari bahan bakar padat. Nilai prosentase karbon dan hidrogen memberikan nilai kalori yang lebih tinggi karena konsentrasi dari unsur-unsur dalam bahan bakar secara langsung terkait dengan nilai kalor. *Carbon* sebagian hadir dalam bentuk teroksidasi yang menjelaskan nilai yang lebih rendah pada *gross caloriic value* untuk biomassa daripada batu bara.

Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan bahwa hasil analisis *ultimate* pada basis kering menunjukkan bahwa konsentrasi atom berturut-turut adalah *oksigen* > *carbon* > *hidrogen* > *nitrogen* > *sulfur*. Unsur C terdapat dalam karbon tetap dan zat terbang, sementara unsur H dan O berasal dari kandungan hidrokarbon dan air yang terdapat dalam sampah. Sampah kota komposisi organik memiliki kandungan

carbon sebesar 42,6%, *oksigen* 44,78%, *hidrogen* sebesar 6,31%, *nitrogen* sebesar 1,67% dan *sulfur* sebesar 0,16%.



Gambar 2. Analisis Ultimat

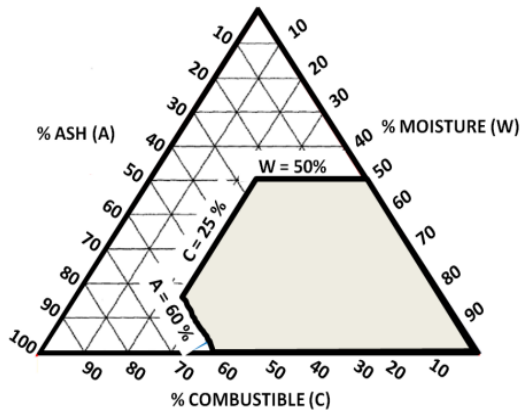
Kandungan sulfur 0,16% lebih rendah daripada kandungan sulfur pada batubara (0,7%). Nilai tersebut merupakan konsentrasi yang tidak berbahaya karena lebih kecil dari 0,3%. Berdasarkan data komposisi kimia bahan bakar yang diperoleh dari hasil pengujian ultimat, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai kalor menggunakan persamaan Dulong dan persamaan Channiwala.

$$\begin{aligned}
 \text{HHV} &= 0.314 C + 1.4445 H - (N+O-1)/8 + 0.0093 S \\
 &= 0.314 \times 42.6 + 1.4445 \times 6.31 \\
 &\quad - (1.67 + 44.78 - 1)/8 + 0.0093 \times 0.16 \\
 &= 16.810 \text{ kJ/kg} = \mathbf{4.017.69 \text{ kcal/kg}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{HHV} &= 349.1C + 1178.3H + 100.5S - 103.4O - 15.1N - 21.1Ash \\
 \text{HHV} &= (349.1 \times 42.6) + (1178.3 \times 6.31) \\
 &\quad + (105 \times 0.16) - (103.4 \times 44.78) \\
 &\quad - (15.1 \times 1.67) - (21.1 \times 16.29) \\
 &= 17.324 \text{ kJ/kg} = \mathbf{4.140.62 \text{ kcal/kg}}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas nilai kalor sangat dipengaruhi oleh kadar air, agar sampah dapat dibakar tanpa menggunakan bahan bakar tambahan kadar air harus lebih rendah dari 50%, kadar abu harus lebih rendah dari 60% dan karbon tetap harus lebih besar dari 25% [8]. Kondisi ini ditunjukkan oleh area yang

diarsir pada Gambar 3. Kadar air aktual dalam sampah kota Kalianda rata-rata 63,05%, maka sampah tersebut harus diolah sebelum masuk dalam tungku atau boiler.



Gambar 3. Diagram *Tanner* Untuk Pembakaran Sampah.

Teknologi pengolahan sampah bertujuan untuk mengubah sampah menjadi bahan yang berguna secara ekonomi dan efisien dengan dampak lingkungan yang minimal. Teknologi pengolahan sampah secara termal yang saat ini sedang dikembangkan adalah melalui proses torefaksi. Konsep teknologi torefaksi untuk menghasilkan bahan bakar padat yang ramah lingkungan ditunjukkan pada Gambar 6.

Sampah yang dikumpulkan dari kota dipilih berdasarkan komposisinya dan dipilih dari jenis sampah biomassa yang tidak dapat didaur ulang, disiapkan untuk menjadi bahan bakar padat. Sampah kemudian dicincang menggunakan mesin pencacah untuk memperkecil ukuran partikel dan kemudian didistribusikan dengan *whell loader* ke lantai pengering. Lokasi pengolahan ini sebaiknya berdekatan dengan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Sampah tersebut dikeringkan selama beberapa hari sebelum diolah, sehingga kadar airnya turun dibawah 40%.

Setelah mengalami pengeringan alami, sampah kemudian didistribusikan ke unit pengolahan, pertama sampah masuk

kedalam silo penampungan, kemudian dikirimkan ke mesin pengering menggunakan sistem *belt conveyor*. Di dalam mesin pengering ini sampah dipanaskan dengan temperatur 150°-200°C, sehingga kadar airnya kembali turun di bawah 10%. Setelah mengalami proses Pengeringan, sampah kemudian masuk kedalam ruang reaktor torefaksi. Didalam reaktor ini terjadi proses dekomposisi zat-zat volatile.

Proses torefaksi berlangsung pada tekanan atmosfer pada kisaran suhu antara 200-300°C dengan waktu tinggal didalam reaktor selama 30 menit. Selama proses ini berlangsung, semua unsur kelembapan, senyawa organik hilang dari sampah biomassa. Reaksi eksotermik akan terjadi pada temperatur 200°-270°C, dan hemiselulosa mulai terdekomposisi. Proses dekomposisi ini akan menyebabkan perubahan warna pada sampah biomassa dan lepasnya air, CO₂, asam asetat, fenol, dan *volatile matter* lainnya. Pada temperatur diatas 280°C produksi CO₂, asam asetat, fenol dan hidrokarbon akan meningkat, keseluruhan proses akan menjadi eksotermik. Proses torefaksi merubah sifat fisik sampah, jika dilihat dari warnanya, sampah biomassa hasil torefaksi berubah warnanya menjadi kehitaman, seperti arang. Perubahan yang lain yang terlihat dalam kekerasan dan keuletan, sampah hasil torefaksi menjadi lebih lunak dan getas, visualisasi dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Sampah Torefaksi Temperatur 275°C (a) dan 300°C (b)

Pada akhir proses torefaksi akan terbentuk padatan yang memiliki struktur

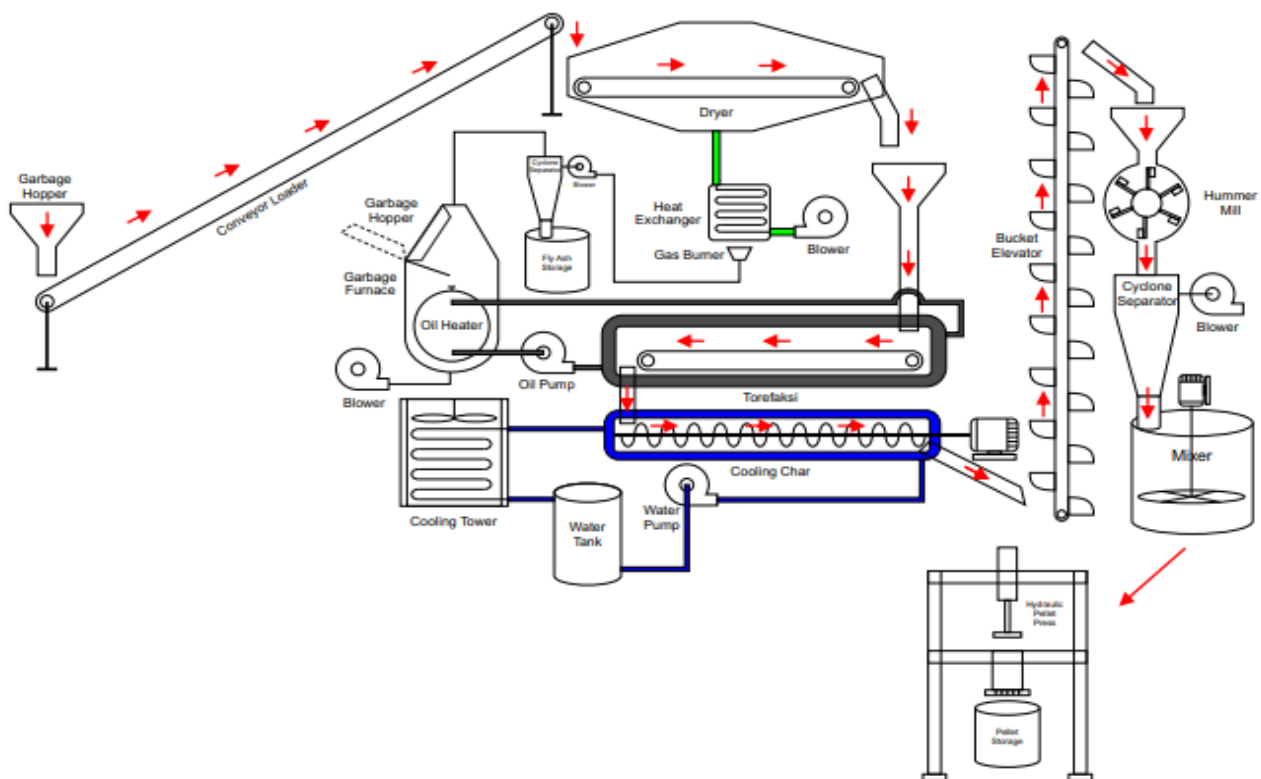
polimer yang lebih pendek dan lebih sederhana . Produk dari hasil torefaksi yang keluar memiliki temperatur tinggi sehingga diperlukan proses terakhir yakni tahap pendinginan di dalam *cooling char* dengan dilengkapi seperangkat sistem pendinginan dengan media pendingin berupa air yang disirkulasikan ke dalam *cooling char* sampai temperatur produk torefaksi turun hingga 60°C .

Kemudian produk torefaksi dikirim ke mesin *hammer mill* melalui *bucket elevator*. Pada mesin *hammer mill*, produk torefaksi dihaluskan sampai menjadi serbuk, kemudian masuk ke *cyclone separator* dan masuk kedalam mesin *mixer*. Proses pada mesin *mixer* terjadi pencampuran zat perekat dan serbuk sampah biomassa tertorefaksi yang selanjutnya dilakukan densifikasi menjadi produk berupa biopellet pada mesin *pelletizer*, Gambar 5



Gambar 5. Biopellet dari sampah

Produk akhir yang diperoleh adalah biopellet dari sampah biomassa yang dapat digunakan sebagai sumber bahan bakar padat. Standar mutu biopellet diproduksi merujuk SNI 8966: 2021 tentang Bahan Bakar Jumptan Padat. Biopellet ini dapat digunakan sebagai pembakaran campuran (*cofiring*) dengan batubara dalam sistem pembangkit, karena memiliki karakteristik yang setara dengan batubara.



Gambar 6. Sistem Pengolahan Sampah Menjadi Bahan Bakar Padat

Pada hasil analisis nilai kalor terlihat bahwa proses torefaksi telah meningkatkan Nilai Kalor dari sampah sekitar 35% - 40%. Semakin tinggi temperatur proses, nilai kalor yang dihasilkan semakin tinggi. Proses torefaksi menghasilkan rasio molar H/C menurun dengan konstan dari 1,78 ke 1,27 dan 0,97. Pada rentang suhu yang sama, kandungan oksigen pada sampah produk torefaksi lebih sedikit dari sampah mentah, sehingga rasio O/C sampah hasil torefaksi menurun. Rasio molar O/C menurun dari 0.78 ke 0.45, dan 0.36.

Selama torefaksi, karena suhu meningkat, persentase berat konten C meningkat tetapi persentase berat H dan O menurun yang menjelaskan penurunan rasio H/C dan O/C. Selain itu, rasio O/C yang lebih rendah biasanya menguntungkan karena nilai kalor cenderung meningkat. Penurunan O/C sekaligus H/C ini akan meningkatkan kualitas bahan bakar. Peningkatan kualitas yang diperoleh cukup signifikan, dimana bahan bakar padat produk torefaksi sampah organik yang mewakili sampah kota mendekati batubara.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dibahas diatas sampah padat perkotaan Kalianda memiliki komposisi 65% berupa sampah organik dan 35% berupa sampah anorganik. Berdasarkan karakteristiknya, sampah Kota Kalianda memiliki kadar air 63,05%, kadar abu sebesar 16,29%, zat terbang sebesar 70,48%, dan menghasilkan karbon padat sebesar 44,26%. Perhitungan empiris Nilai Kalor sampah sebesar 4.017.69 kcal/kg s.d 4.140. 62 kcal/kg, (asumsi kadar air <10%). Sehingga dapat disimpulkan bahwa sampah padat perkotaan Kalianda dapat digunakan sebagai bahan bakar padat yakni dengan dibuat pelet. Kadar air sampah > 60%, sehingga proses perlakuan panas harus diterapkan untuk mengurangi kadar air hingga < 10%. Melalui proses termal pelet

dari hasil torefaksi memiliki nilai kalor yang cukup tinggi 5.424,60 - 5.623,29 kcal/kg yang setara dengan batubara subbituminous B. Oleh sebab itu diperlukan upaya perencanaan strategis untuk pengolahan sampah menjadi biopelet yang lebih intensif. Pengembangan program di masa yang akan datang adalah suatu keniscayaan sehingga terbangun sistem keberlanjutan program, sehingga dapat dicapai Kabupaten Lampung Selatan ramah sampah.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Badan Riset dan Inovasi Daerah Kabupaten Lampung Selatan yang telah mendanai Penelitian ini.

Referensi

- [1] Pemerintah Daerah Kabupaten Lampung Selatan, 2022. Kebijakan Strategis Daerah (Jakstrada) Bidang Persampahan Kabupaten Lampung Selatan.
- [2] Amrul. 2014. Pemanfaatan Sampah Menjadi Bahan Bakar Padat Setara Batubara Melalui Proses Torefaksi. Disertasi Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- [3] Hardianto, dkk., 2013 Konversi Sampah Kota Menjadi Bahan Bakar Padat: Modifikasi Sistem Torefaksi Kontinu Unggun Terfluidisasi untuk Mengakomodasi Karakteristik Sampah. Proceeding Seminar Tahunan Teknik Mesin XII (SNTTM XII) Universitas Lampung.
- [4] Apriyanto, A. 2020. Torefaksi Kontinu Mutiple Solid Waste (MSW) Pada Screw Conveyor Reactor Dengan Sistem Pemanas Heat Transfer Oil. Universitas Sang Bumi Ruwa Jurai. Bandar Lampung.
- [5] Pasek, dkk 2013. Feasibility of Recovering Energy From Munciple Solid Waste to Generate Electricity. J.Eng. Techno. Sci Vol. 45 No. 3 Hal. 241-256.
- [6] Badan Pusat Statistik, 2023. Kabupaten Lampung Selatan Dalam Angka 2023.

- [7] Badan Standarisasi Nasional. SNI 19-3964-1994. Metode Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan dan Komposisi Sampah Perkotaan.
- [8] Hewitt, G.F., Shires G.L. & Bott, T.R., Process Heat Transfer, Begell House, Inc., New York, 2000.