

Upgrading Bahan Bakar Jemputan Padat (BBJP) Sebagai *Co firing* Sistem Tenaga Uap Melalui *Thermal Drying* dan Fermentasi

Mastur¹, Bambang Sugiantoro^{2*}, Nugrah Rekto Prabowo³, Nana Supiyana⁴, Utis Sutisna⁵

^{1, 2, 3} Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknik Wiworotomo Purwokerto

⁴ Program Studi Teknik Mesin Diploma 3, Sekolah Tinggi Teknik Wiworotomo Purwokerto

⁵ Program Studi Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknik Wiworotomo Purwokerto

^{1,2,3,4} Jln. Semingkir No.1 Rejasari, Purwokerto Barat, , Kabupaten Banyumas, 53134, Indonesia

E-mail: mastur@gmail.com¹, biotech.machining@gmail.com^{2*},

nugrahprabowo03@gmail.com³, nanasupiyana@gmail.com⁴, t15na@gmail.com⁵

Abstrak

Proses pemilahan sampah menghasilkan sampah organik dan anorganik, yang dapat dikonversi Bahan Bakar Jemputan Padat (BBJP) dengan tambahan plastik maksimal 20%, yang dapat dimanfaatkan untuk *co firing* pembakaran batubara pada sistem tenaga uap. Tingkat kelembaban yang tinggi dan kondisi sampah organik dengan berbagai komponen pembentuknya membutuhkan perlakuan pengeringan dan perlakuan lainnya untuk meningkatkan kadar kalorinya. Jenis perlakuan sampah organik, metode pengeringan dan dekomposisi sampah organik melalui proses fermentasi. Tujuan penelitian adalah mengidentifikasi pengaruh fermentasi, penambahan biomas dan cacahan plastik produk BBJP terhadap massa jenis, kadar abu, klorin dan nilai kalori, Dimensi serbuk sampah organik dengan level 50 mesh dan cacahan plastic 5-10 mesh bertujuan untuk meningkatkan ikatan pellet/SRF. Data pengujian mekanik berupa pengujian tekan menghasilkan tingkat ketahanan melampoi syarat kekuatan pellet dan meningkat 67%. Kadar klorin dan sulfur sudah mendekati batas limitasi, tetapi kadar abu masih tinggi. Nilai kalori pellet BBJP pada perlakuan spesimen sampah organik terfermentasi menghasilkan nilai kalori lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Penelitian konversi sampah menjadi bahan bakar *co firing* dalam bentuk padat dengan kriteria nilai kalor dan sifat fisis yang sesuai syarat teknis *co firing* sistem tenaga uap masih dapat dioptimasi untuk menghasilkan bahan bakar yang lebih tinggi kadar kalorinya. Penurunan kadar klorin, sulfur dan abu untuk proses pembakaran rendah karbon dan ramah lingkungan.

Abstract

The waste sorting process produces organic and inorganic waste. It can be converted into Solid Recovered Fuel with the addition of a maximum of 20% plastic, which can be used for *co-firing* coal combustion in steam power systems. High humidity levels and the condition of organic waste with its various constituent components require drying and other treatments to increase the calorie content. Types of organic waste treatment, methods of drying, and decomposition of organic waste went through a fermentation process. The research aims to identify the effect of fermentation, addition of biomass, and plastic shreds of BBJP products on density, ash content, chlorine, and calorific value. Dimensions of organic waste powder at a level of 50 mesh and plastic shreds of 5-10 mesh are aimed at increasing the pellet/SRF bond. Mechanical testing data in the form of compression testing resulted in a level of resistance that exceeded pellet strength requirements and increased by 67%. Chlorine and sulfur levels are approaching the limit, but ash levels are still high. The calorific value of pellets in the fermented organic waste specimen treatment produces a higher calorific value compared to other treatments. Research on converting waste into *co-firing* fuel in solid form with the criteria for calorific value and physical properties that comply with the technical requirements for *co-firing* steam-powered systems can still be optimized to produce fuel with a higher calorie content. Reducing chlorine, sulfur, and ash levels is done for a low-carbon and environmentally friendly combustion process.

Info Naskah:

Naskah masuk: 8 September 2023

Direvisi: 23 Desember 2023

Diterima: 24 Desember 2023

Keywords:

solid recovered fuel;

organik waste;

calorie;

co firing.

*Penulis korespondensi:

Bambang Sugiantoro

E-mail: biotech.machining@gmail.com

1. Pendahuluan

Jumlah timbunan sampah nasional mencapai 28,6 Juta Ton pada tahun 2022, berdasarkan kinerja diketahui sampah terkelola sebesar 64,51% (18,27 Juta ton) dan tidak terkelola 35,49%, (10,2 juta ton [1]). Jumlah sampah yang besar berpotensi dikonversi menjadi bahan bakar akan mendukung kesediaan energi terbarukan sekaligus pencegahan pencemaran lingkungan. Salah satu kendala konversi sampah padat menjadi produk bahan bakar *Reused Derived Fuel (RDF)* dan *Solid Recovered Fuel (SRF)* adalah metode *upgrading* nilai kalori, reduksi *ash*, *chlor* dan sulfur serta percepatan pengeringan dengan kelembaban dibawah 20% untuk memenuhi kriteria RDF dan *co firing* industri.

Peningkatan kalori bahan bakar dari sampah telah dilakukan dengan menggunakan aktivator untuk dekomposisi/fermentasi dari perlakuan percepatan dekomposisi untuk meningkatkan kalori melalui proses hidrotermal dan karbonisasi, dengan pemanasan mencapai suhu 250°C, [2]. Metode ini mampu meningkatkan nilai kalori tetapi prosesnya membutuhkan biaya energi yang tinggi. Pencampuran unsur RDF/an organik sebesar 5%, memenuhi kriteria *co firing* pembangkit tenaga uap, peningkatan nilai kalorinya mencapai kebutuhan nilai *Low Heating Value (LHV)* diatas 3.500 kcal/kg. [3]. Rasio *biomass* 15-35% pada proses *co firing* bahan bakar *boilers* masih merupakan volume yang memenuhi syarat teknis tetapi kadar abu masih tinggi, [4].

Metode pengeringan sampah dilakukan dengan metode *bio-drying*, pengeringan termal, [5], dan pengeringan konveksi. Proses *bio-drying* membutuhkan dekomposisi sampah *solid* selama 20 hari dengan ruang simpan yang luas. Metode pengeringan sampah skala TPS, dituntut aspek kemudahan mekanisme dan tidak membutuhkan biaya tambahan energi. Pengeringan termal dengan udara panas memanfaatkan panas pembakaran sampah residu merupakan salah satu solusi yang dapat dikembangkan. Percepatan pengeringan akan meningkatkan produksi dan minim timbunan, mempercepat konversi sampah menjadi energi. waktu proses dan periode pengeringan mempengaruhi kesiapan bahan baku dan produksi *co firing*/BBJP [6].

Inovasi pengeringan dan karakteristik bahan baku pellet biomas dan bahan bakar jumputan padat dengan target ditemukan mekanisme pengeringan dan formulasi briket sesuai kriteria kandungan kalori bahan bakar *co firing* PLTU yang hasil akhirnya akan mengacu SNI Jumputan padat No. 8966:2021 [7]. Jenis bahan baku, dimensi cacahan, dan suhu proses berpengaruh terhadap densitas dan nilai kalori pellet dengan menggunakan bubuk sampah pemilahan dengan kandungan plastic maksimal 20%. Karakteristik *co firing* untuk mencapai kriteria nilai kalori (*High Heating Value/HHV*) setara energi batubara, membutuhkan perlakuan spesifik, berdasarkan penelitian sebelumnya, faktor suhu, jenis bahan baku, rasio berat dan proses cetak, berpengaruh terhadap kadar kalori.

Konversi sampah solid menjadi *pellet co firing* dengan penerapan teknologi pengeringan termal minimalisasi timbunan dan berpotensi untuk meningkatkan nilai ekonomis. Produksi pellet *co firing* berbahan sampah organik masih dapat ditingkatkan sifat kimia dan fisisnya untuk meningkatkan nilai kalori dan limitasi klorin sulfur

dan kadar abu. Tahapan optimasi pellet untuk bahan bakar *co firing* dipengaruhi faktor dimensi dan parameter perlakuan, seperti ditunjukkan gambar 1.



Gambar 1. Bentuk bahan bakar jumputan padat /pellet *co firing* dengan variasi dimensi pencacahan, sesuai SNI 8966:2021, dengan campuran plastik 20% [5], [6].

Proses pengeringan dan dekomposisi biologis sampah berpotensi meningkatkan nilai kalori, perlakuan fermentasi dengan katalis menunjukkan peningkatan nilai kalori dan mempercepat dekomposisi, kedua hal tersebut akan diteliti dengan faktor pengeringan langsung dan perlakuan fraksi dan dimensi *biomass* untuk melengkapi tahapan riset konversi sampah menjadi energi khususnya BBJP untuk fungsi *co firing* sistem tenaga uap.

2. Metode

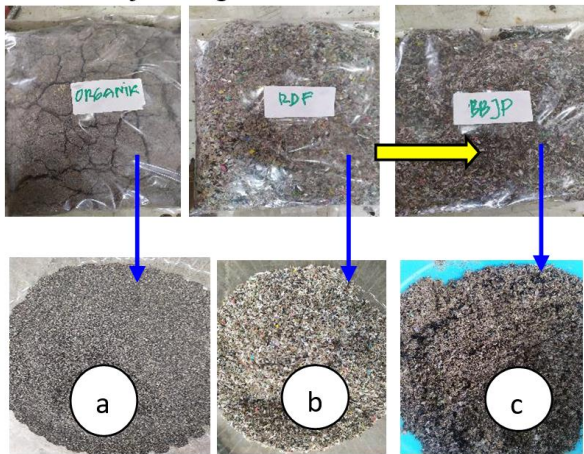
2.1. Material

Sampah organik hasil pemilahan di Tempat Pengelolaan Sampah Terpadu (TPST) di Banyumas dan cacahan plastik dengan dimensi 10-20 *mesh*. Tambahan *biomass* berupa serbuk kayu dengan dimensi serbuk yang sama. Rasio masing-masing fraksi

2.2. Pencetakan Pellet/SRF BBJP:

Pembuatan spesimen menggunakan jenis sampah sesuai jenisnya diambil dari TPST Rempoah, Banyumas. Pengayakan dengan menggunakan ayakan dengan ukuran 20-30 *mesh* dengan kriteria sesuai dengan syarat mutu produk BBJP ditunjukkan gambar 2. Pengukuran tingkat kebasahan bahan baku ditunjukkan gambar 3.

Sesuai dengan jenisnya maka tiap bahan diklasifikasikan untuk disesuaikan dengan mutu bahan *co firing* dengan dimensi serbuk 20-30 *mesh* (1 mm-0,6 mm), sedangkan dimensi cacahan plastik mempunyai dimensi 2-6 mm (4-6 *mesh*). Cacahan plastik merupakan hasil pencacahan bertingkat dengan menggunakan bahan RDF (yang digunakan industri semen). Bahan baku berupa sampah organik, cacahan plastik dan serbuk *biomass* yang sudah diayak dengan dimensi pada poin b. kemudian diukur kadar kebasahan menggunakan sebelum dicetak menggunakan mesin *flat die*.



Gambar 2. (a) sampah organik, (b) Plastik cacahan/RDF (1-2 mm), (c) BBJP (campuran organik dan an-organik + max cacahan plastik 20%).



Gambar 3. Pengukuran level kelembaban/moisture bahan baku BBJP.

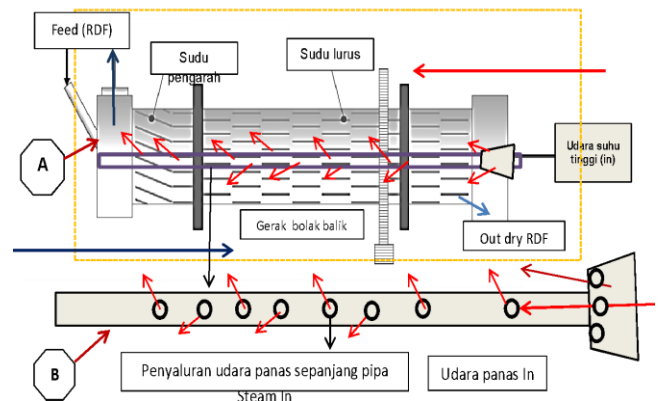
2.3. Desain Ekperimen

Pembuatan specimen untuk diuji dilakukan dengan tahapan pengayakan sampah sesuai jenis berupa sampah organik yang sudah berbentuk serbuk berasal dari sampah organik fermentasi dan non fermentasi. Pencacahan plastik untuk pembentukan SRF/pellet BBJP. Variasi specimen untuk uji bahan baku dilakukan dengan sebaran dan variasi perlakuan bahan baku untuk meningkatkan potensi sampah organik hasil pemilahan sampah di skala TPST untuk mengkonversi sampah organik dan cacahan plastik untuk menjadi *direct co firing*/ BBJP. Perlakuan yang diterapkan dalam pembuatan BBJP ditunjukkan pada tabel 1:

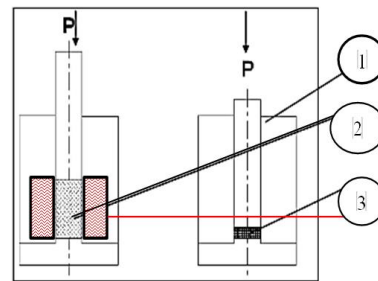
Tabel 1. Variasi perlakuan specimen BBJP berdasarkan fraksi volume *biomass* dan tambahan cacahan plastik 20%

No	Kode Specimen	Perlakuan Bahan BBJP
1	B-01.00	<i>Biomass</i> berupa serbuk kayu dan sekam murni dengan level serbuk (30-50 mesh)
2	B-01.20	Sampah organik hasil pemilahan yang di press + tambahan 20% cacahan plastik
3	B-01.20.F1	<i>Biomass</i> dari sampah pemilahan organik murni (fermentasi) + tambahan 20% cacahan plastik
4	B-01.20.M	<i>Biomass</i> dari sampah organik tanpa fermentasi + tambahan 20% cacahan plastik
5	B-01.20.N	<i>Biomass</i> dari sampah organik + tambahan 20% cacahan plastik
6	B-01.20.TB	<i>Biomass</i> organik dari sampah pemilahan ditambah 20% serbuk kayu/sekam dan tambahan + tambahan 20% cacahan plastik

Bahan bakar jumpatan padat kemudian diaduk sampai merata dan diberikan katalis untuk mudah mengikat pada pencetakan SRF, *Pencetak pellet (SRF)* dibuat skala specimen ditunjukkan gambar 4.



(a)



(b)



Gambar 4. (a). Set up eksperimen Pengeringan, (b). Metode press pellet jumpatan padat (1), Piston, (2), Pencetak pellet, (3). Pellet BBJP, dengan kompresi dengan pneumatic

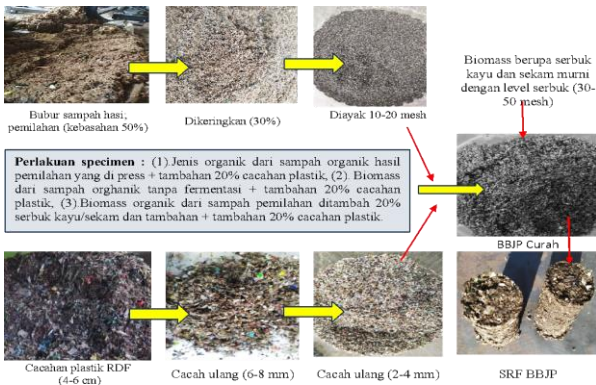
Pembuatan fraksi BBJP dengan variasi fraksi *biomass* sesuai level faktor pada tabel 1, dengan dimensi SRF/pellet (diameter 2 mm dan tinggi 4 mm). Bentuk pellet ditunjukkan gambar 5.

2.4. Pengujian

Karakteristik BBJP menggunakan acuan *Standard American Standard Testimg and Material*, (ASTM D-6866), sifat fisis, kimia dan ketahanan pembakaran SRF. Penelitian ini akan menghasilkan temuan sifat fisis dan kimia serta faktor-faktor yang berpengaruh terhadap mutu dan nilai kalor RDF/SRF.

2.5. Metode Pengeringan

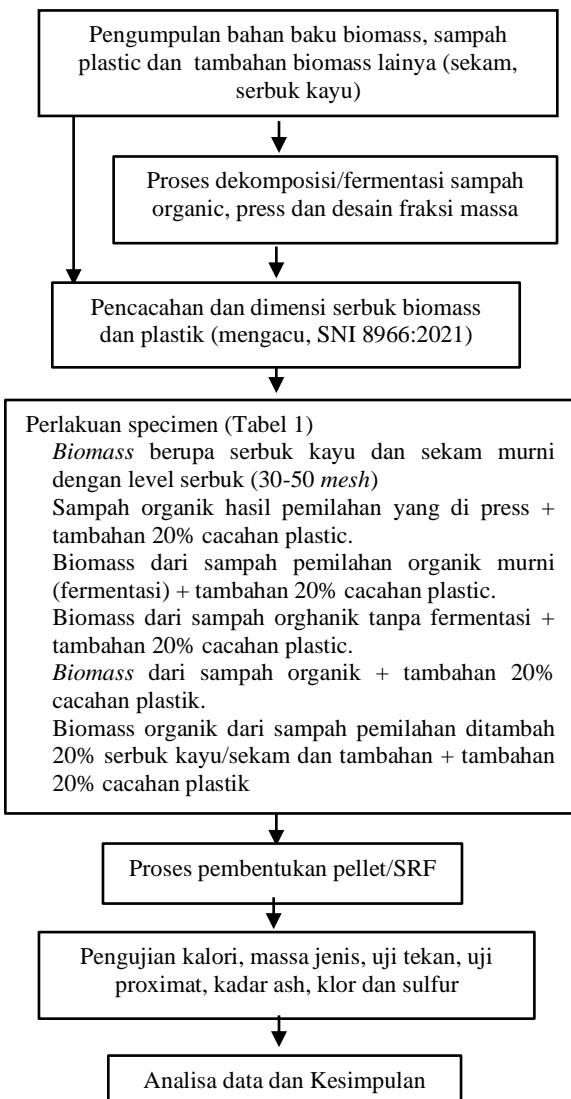
Pengeringan dipengaruhi oleh kelembaban sampah, komposisi bahan dan dimensi cacahan berpengaruh terhadap peningkatan metana dan kalori *co firing* [8] [9]. Proses pengeringan yang cepat dilakukan dengan proses pengeringan dengan konveksi paksa berbasis aliran termal. [9] [10]. proses pengeringan bahan baku untuk evaporasi air terikat, menggunakan udara dengan suhu bervariasi, penguapan air terikat [11] [12], mengaktifkan reaksi kimia senyawa untuk meningkatkan kadar metana dan hidrokarbon, [12] [13] [14].



Gambar 5. Tahapan pencetakan Pellet/SRF bahan bakar jumputan padat

2.6. Metode analisis karakterisasi BBJP

Karakterisasi specimen mengacu metode pembentukan dan spesifik fraksi berdasarkan jenis bahan dan briket [15], dimensi partikel, pembentukan pellet jumputan padat dengan tambahan plastik maksimal 20% dengan metode *spining*, suhu pengeringan. Secara garis besar tahapan penelitian diperlihatkan pada Gambar 6.

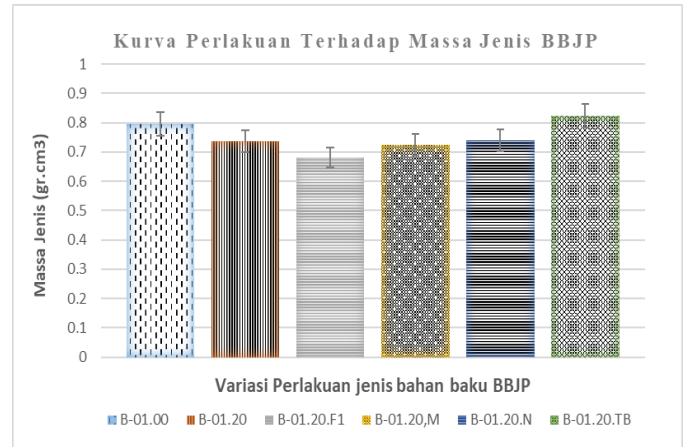


Gambar 6. Alur penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

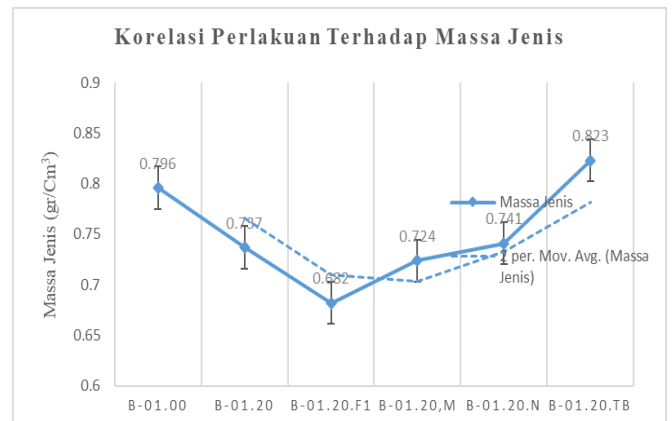
3.1. Data Pengukuran Massa Jenis (gr/cm^3)

Specimen dicetak dengan tekanan pneumatic pada cetakan pellet dengan diameter 29,50 mm tinggi 42 mm dari kompresi 30 gr dari jenis campuran BBJP pada kekeringan 15%. Grafik pengaruh perlakuan pada massa jenis BBJP ditunjukkan gambar 6.



Gambar 7. Korelasi Perlakuan terhadap besaran Massa Jenis BBJP (gr/cm^3)

Karakteristik bahan baku dan perlakuan yang diterapkan dengan variasi massa dan kondisi sampah organik menunjukkan pengaruh terhadap nilai massa jenis bahan baku dan SRF. Perubahan nilai massa jenis dengan fraksi volume ditunjukkan gambar 8.



Gambar 8. Rerata pengaruh perlakuan terhadap besaran Massa Jenis BBJP (gr/cm^3)

Perlakuan bahan baku berpengaruh terhadap massa jenis SRF BBJP, pada tingkat kekeringan yang sama sebesar 14-15%, teridentifikasi fermentasi mempunyai massa jenis yang lebih rendah. Penambahan massa biomass pada specimen (6) dengan penambahan serbuk kayu yang diayak meningkatkan massa jenis bahan baku. Pengukuran massa jenis merupakan data yang dapat digunakan untuk proyeksi jumlah produk pellet BBJP untuk acuan produksi. Data massa jenis menjadi satu data penting untuk karakterisasi BBJP.

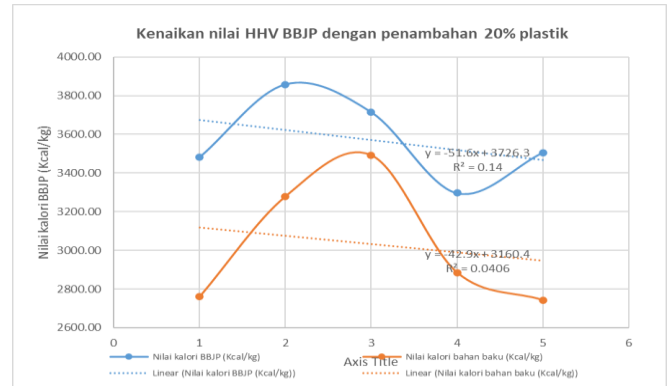
3.2. Data Uji Kalori BBJP

Hasil uji pengukuran nilai kalori BBJP dengan fraksi massa dan kandungan plastik 20% diperlihatkan pada Tabel 2. Korelasi perlakuan terhadap nilai kalori dalam bentuk grafik ditunjukkan gambar 9.

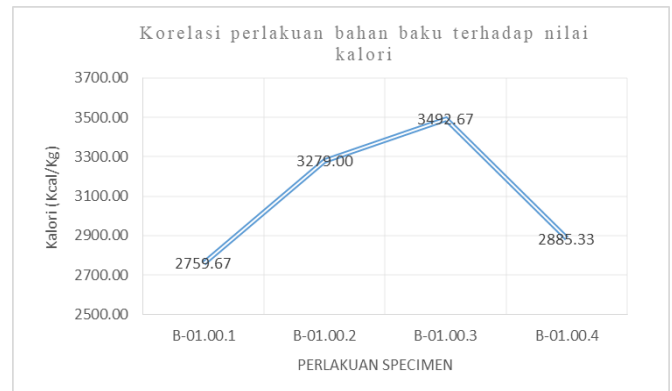
Tabel 2. Pengukuran nilai kalori BBJP dengan fraksi massa dan kandungan plastik 20%

No	Kode Specimen	Perlakuan	Kalori (Kcal/kg)	Rerata (Kcal/kg)
1	B-01.20	Biomass dari sampah organik bubuk sampah pemilahan tanpa fermentasi + tambahan 20% cacahan plastik	3482	3483.00
			3488	
			3479	
2	B-01.20.F1	Biomass dari sampah pemilahan bubuk sampah organik murni (fermentasi) + tambahan 20% cacahan plastik	3847	3858.00
			3855	
			3872	
3	B-01.20, M	Jenis organik dari sampah organik (bubur sampah) hasil pemilahan yang di press + tambahan 20% cacahan plastik	3725	3714.33
			3712	
			3706	
4	B-01.20.N	Biomass dari sampah organik cacahan tanpa fermentasi yang dikeringkan + tambahan 20% cacahan plastik	3295	3296.67
			3302	
			3293	
5	B-01.20.TB	Biomass organik cacahan ditambah 20% serbuk kayu/sekam dan tambahan + tambahan 20% cacahan plastik	3503	3505.67
			3499	
			3515	

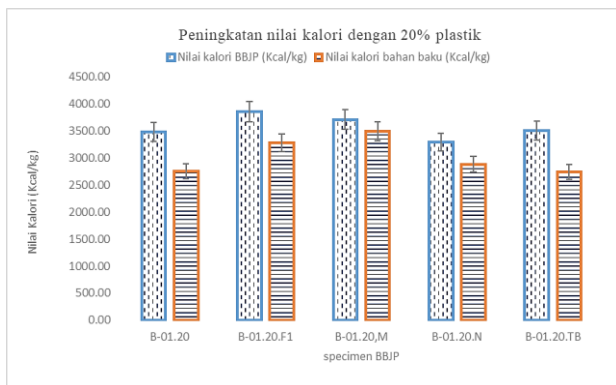
pellet terhadap perubahan nilai kalori. Pada uji tersebut menunjukkan bahwa proses kompresi biomass dan plastik dalam bentuk pellet meningkatkan nilai kalori signifikan. Peningkatan kadar kalori tertinggi pada specimen B-01.20, mencapai 25%.



(a). Kenaikan Nilai HHV dengan tambahan 20% cacahan plastik



(b). Korelasi perlakuan terhadap nilai kalori
Gambar 10. (a),(b) Komparasi nilai kalori BBJP

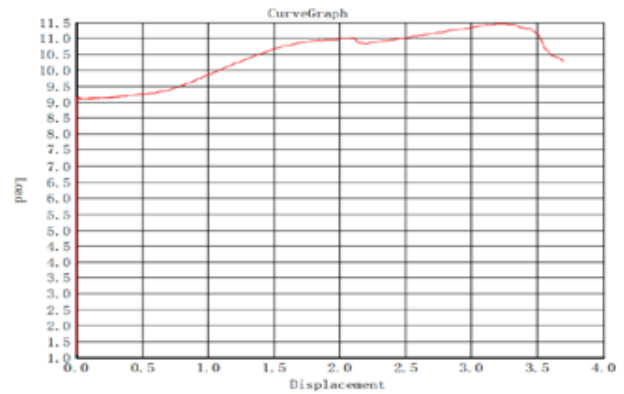


Gambar 9. Komparasi nilai kalori bahan baku dan SRF/pellet BBJP

Pengujian nilai kalori bahan baku dan produk SRF dilakukan untuk mengidentifikasi pengaruh pencetakan

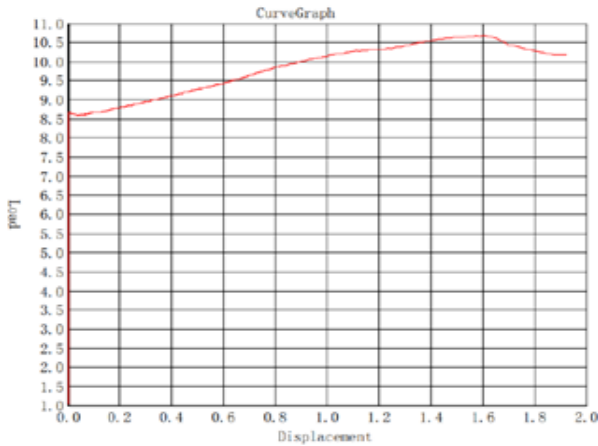
3.3. Uji Tekan Specimen BBJP

Specimen uji tekan diambil 3 specimen dengan sifat teknis yang mendekati kriteria mutu baik co firing yaitu pada specimen dengan kandungan kalori diatas 3500 kcal/kg, kadar abu dibawah 0,2%. Grafik uji tekan SRF ditunjukkan gambar 11, 12 dan 13.



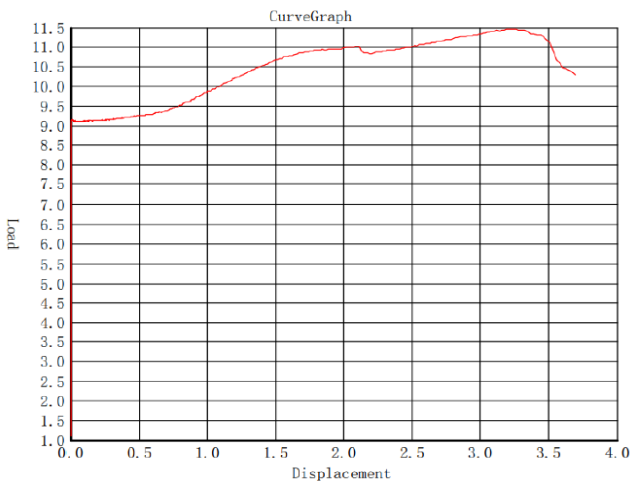
Data: Load: 11,45 KN; Area: 705,5 mm²,
Tensile Strength: 3,3 MPa

Gambar 11. Grafik uji tekan B-01.20.F1



Data: Load: 10, KN; Area: 705,5 mm²,
Tensile Strength: 2,94 MPa

Gambar 12. Grafik uji tekan B-01.20.M



Data : Load: 11,50 KN; Area: 705,5 mm²,
Tensile Strength: 3,23 MPa

Gambar 13. Grafik uji tekan B-01.20.TB.

3.4. Pengujian Kadar Abu (Ash)

Uji abu dilakukan dari pengambilan sampel BBJP, Prosedur Standar ASTM Nomor E1755-01 “Metode Standar Penentuan Abu dalam Biomassa”, Metode pengujian ini mencakup penentuan abu, yang dinyatakan dalam persentase residu tersisa setelah oksidasi kering pada suhu 550 hingga 600° C. Data hasil dikomparasikan relatif terhadap oven berat kering sampel 105°C. Perhitungan berat kering oven/oven dry weight (ODW) sampel, menggunakan rata-rata kandungan total padatan yang ditentukan oleh LAP “Metode Standar untuk Penentuan Total Padatan dalam Biomassa”, [16], yaitu menggunakan persamaan (1).

$$\text{Ash (\%)} = \frac{\text{Weight (sample dry)} \times \text{Total Solid}}{100} \quad (1)$$

Perhitungan dan penentuan persentase abu berdasarkan ODW, [17].

$$\text{(\%)} \text{ Ash} = \frac{\text{Weight}_{\text{Crusible+ash}} - \text{Weight}_{\text{Crusible}}}{\text{ODW}_{\text{sampel}}} \quad (2)$$

Menghitung perbedaan persen relatif (RPD) antara dua sampel, gunakan persamaan (3).

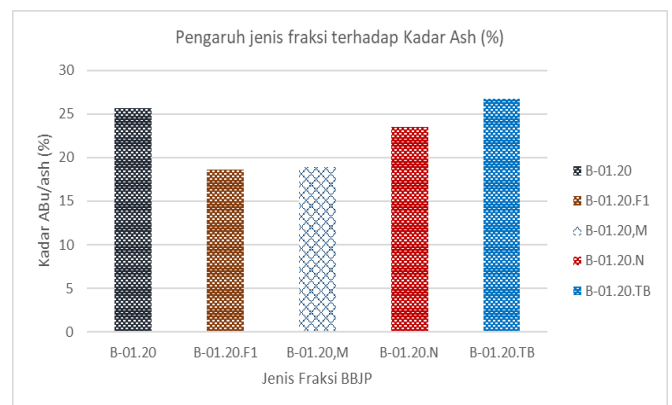
$$\text{RPD} = \left(\frac{X_1 - X_2}{X \text{ mean}} \right) \times 100 \quad (3)$$

Dengan : X₁, X₂ = measured values (data terukur), dan X mean = Rata-rata (X₁ dan X₂)

Pada tabel 3 diketahui bahwa kadar abu masing masing specimen masih tinggi, kadar pellet yang mempunyai kadar abu yang tinggi menunjukkan fraksi yang terbakar menjadi energi belum optimal. Nilai standar kadar abu untuk pada bahan bakar dikisar antara 5-10%. Kadar abu yang tinggi menunjukkan jumlah kontaminan bahan pembentuknya. Grafik pengaruh perlakuan dan bahan baku terhadap nilai kadar abu ditunjukkan gambar 14.

Tabel 3. Pengukuran kadar abu BBJP (Kcal/kg) pada biomass dengan perlakuan dan 20% wt plastik

No	Kode Specimen	Perlakuan	Ash (%)	Rerata (%)
1	B-01.20	Biomass dari sampah organik bubuk sampah pemilahan tanpa fermentasi + tambahan 20% cacahan plastik	24.67	25.67
			26.95	
2	B-01.20.F1	Biomass dari sampah pemilahan bubuk sampah organik murni (fermentasi) + tambahan 20% cacahan plastik	18.99	18.61
			19.02	
3	B-01.20,M	Jenis organik dari sampah organik (bubur sampah) hasil pemilahan yang di press + tambahan 20% cacahan plastik	18.79	18.88
			18.88	
4	B-01.20.N	Biomass dari sampah organik cacahan tanpa fermentasi yang dikeringkan + tambahan 20% cacahan plastik	23.15	23.55
			24.02	
5	B-01.20.TB	Biomass organik cacahan ditambah 20% serbuk kayu/sekam dan tambahan + tambahan 20% cacahan plastik	26.63	26.74
			27.22	
			26.38	



Gambar 14. Korelasi fraksi BBJP terhadap kadar abu/ash (%)

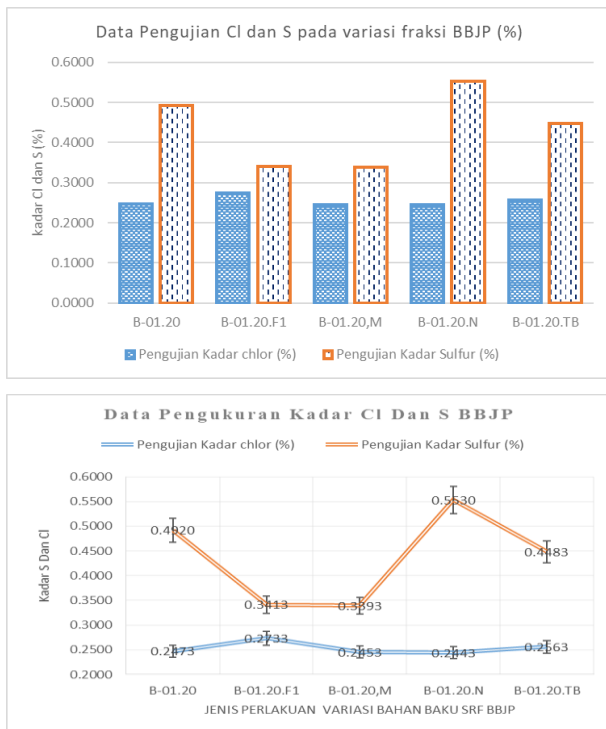
3.5. Pengujian *Chlor* dan Sulfur BBJP

Metode kromatografi ion pembakaran tungku tabung untuk penentuan total sulfur dan klorin dalam bahan bakar padat BBJP. Data pengukuran sulfur dan klorin dalam bahan bakar jumptan padat / BBJP dari uji proximat ditunjukkan tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengukuran kadar *Chlor* dan sulfur BBJP dengan metode *proximate*.

No	Kode Spesimen	<i>chlor</i> (%)	Avg (%)	Sulfur (%)	Avg (%)
1	B-01.20	0.256		0.492	
		0.247	0.2473	0.497	0.4920
		0.239		0.487	
2	B-01.20.F1	0.276		0.337	
		0.275	0.2733	0.349	0.3413
		0.269		0.338	
3	B-01.20.M	0.246		0.342	
		0.242	0.2453	0.338	0.3393
		0.248		0.338	
4	B-01.20.N	0.244		0.556	
		0.246	0.2443	0.554	0.5530
		0.243		0.549	
5	B-01.20.TB	0.255		0.434	
		0.256	0.2563	0.444	0.4483
		0.258		0.467	

Dalam bentuk grafis korelasi jenis perlakuan dan variasi massa *biomass* dan plastik ditunjukkan gambar 15.



Gambar 15. Pengaruh jenis perlakuan terhadap kadar klorin (Cl) dan Sulfur (S)

3.6 Pembahasan

Pengaruh perlakuan bahan baku terhadap nilai kalori, diketahui dari data hasil pengukuran bahan baku pembentuk pada jenis *biomass* murni dengan perlakuan dan tanpa perlakuan (1). *Biomass* dari sampah pemilahan tanpa perlakuan merupakan sampah pemilahan organik yang dikeringkan langsung tanpa press dan proses fermentasi, bahan tidak melalui proses dekomposisi. Bentuk bubuk sampah pemilahan dikeringkan sampai kadar kelembaban dibawah 15% kemudian diuji nilai kalorinya.

Perlakuan bahan spesimen (2), Sampel sampah yang dipress merupakan sampah organik hasil pemilahan yang mempunyai kebasahan 50% kemudian dipress kadar airnya sehingga kandungan cairan organik lain sudah sangat kecil/berkurang, kemudian bahan dikeringkan sampai kekeringan dibawah 15% dan diujikan kadar kalorinya. Rerata nilai kalori jenis mencapai diatas 3200 kcal/kg, hal ini menjelaskan bahwa tekanan pencetakan berpengaruh terhadap nilai kalori. Perlakuan lain adalah yang spesimen (3). Proses fermentasi menggunakan katalis, dengan proses dekomposisi selama 14 hari. Proses tersebut meningkatkan nilai kalori dengan nilai rata-rata mencapai 3400 kcal/kg. (4).

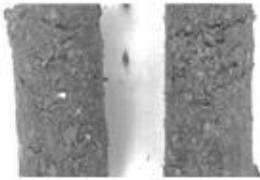




Bahan tambah berupa serbuk kayu yang diayak 30 mesh teridentifikasi nilai kalornya lebih tinggi dibandingkan sampah organik tanpa perlakuan tetapi tidak signifikan, rata rata sebesar 2880 kcal/kg. Hasil pengujian kalori *biomass*/sampah organik dengan perlakuan dan penambahan cacahan plastik dengan maksimal berat 20% (wt) mampu meningkatkan kadar kalori sebesar 15-25%. Hasil perlakuan terhadap nilai kalori memenuhi syarat *co firing*, dengan nilai kalor 3500 kcal/kg melebihi temuan sebelumnya, [18], pada nilai kalori, ash dan kelembaban [19].

Data pengukuran nilai kalori dari semua perlakuan diketahui dengan ditemukannya pengaruh fermentasi paling besar terhadap kenaikan nilai kalori. Kondisi sebaliknya pada specimen tanpa perlakuan menunjukkan nilai kalori yang lebih kecil. Pengukuran kadar klorin (Cl) menunjukkan adanya dan reduksi kadar air dengan dipress tidak berpengaruh signifikan terhadap perubahan sifat fisis dan kalori, hal tersebut juga ditemukan pada specimen *biomass* serbuk kayu sebagai bahan baku dan tambahan pada pencetakan briket/SRF tidak menunjukkan kenaikan nilai kalor, bahkan pada uji kadar abu kedua perlakuan tersebut diketahui masih memiliki kandungan ash yang tinggi melebihi 20%, yang menunjukkan kandungannya masih terdapat campuran unsur tanah, dan unsur yang tidak mampu terbakar sebagai energi kalor.kandungan Cl masih melebihi 24%, reduksi perlu dilakukan agar mencapai dibawah 15%, [20] [21].

Penurunan kadar klorin dan sulfur dengan pemurnian sampah organik dan kandungan plastic akibat adanya unsur *non combustable* dapat direduksi dengan identifikasi pemilahan dengan berbasis sensor, taetapi pada pemilahan manual skala TPST sulit diaplikasikan mengingat teknologinya masih manual.

Nilai ketahanan briket pada tiga spesimen dengan kandungan kalori diatas 3500 kcal/kg yaitu pada specimen B-01.20.F1, B-01.20.M dan B-01.20.TB ketiganya mempunyai kekuatan tekan diatas limitasi briket/SRF dengan nilai *tensile strength* diatas 1,6 MPa. Data pengujian

Tabel 5. Data karakteristik BBJP

No	Kode Bahan Baku/Specimen	Produk SRF BBJP	Pengujian Kadar chlor (%)	Pengujian Kadar Sulfur (%)	Nilai Kalori (Kcal/kg)
1	B-01.20		0.2473	0.4920	3483.00
2	B-01.20.F1		0.2733	0.3413	3858.00
3	B-01.20.M		0.2453	0.3393	3714.33
4	B-01.20.N		0.2443	0.5530	3296.67
6	B-01.20.TB		0.2563	0.4483	3505.67



Gambar 16. Kondisi susunan partikel melalui foto morfologi, 3 specimen dengan nilai kalori diatas 3500 kcal/kg (perbesaran 20X)

menghasilkan tingkat ikatan yang kuat antar partikel penyusunnya. Distribusi komponen pembentuknya diidentifikasi memiliki karakteristik briket yang memadai untuk memenuhi syarat teknis BBJP. daya rendah dan metode yang sederhana terutama pada proses klasifikasi dimensi *biomass*/sampah organik dan cacahan plastik sesuai dengan tuntutan *co firing*. Data karakteristik BBJP yang dihasilkan yang memenuhi kriteria kalori dengan jenis perlakuannya dapat dilihat pada tabel 5.

Data kalori pada pengujian dengan menggunakan identifikasi penyusun skala laboratorium dengan *screening* dan fraksi volume menjadi dasar proses produksi SRF selanjutnya, dengan pendekatan teknologi tepat guna dengan cetakan bertekanan. Nilai kalori pada lima spesimen SRF menunjukkan potensi yang besar pemanfaatan sampah pemilahan dari TPST dan TPA dapat dikonversi 95% menjadi bahan bakar padat dalam bentuk curah maupun SRF. Perlakuan sampah organik dengan proses fermentasi yang cepat menggunakan katalis masih dapat dilanjutkan untuk mempersingkat prosesnya sehingga proses produksi SRF untuk industri semen yang menerima semua jenis cacahan organik, plastik bahkan serat untuk pembakaran sebagai pengganti batubara. Pembangkit tenaga uap dengan pembakaran batubara menghasilkan kadar karbon tinggi dapat direduksi dengan pembakaran *co firing* menggunakan BBJP yang terdiri dari sampah organik dan campuran plastik maksimal 20%. Kendala produksi masal untuk pembuatan produk ini adalah nilai jualnya yang rendah dan kriteria dimensi cacahan yang halus membutuhkan proses *screening* bertingkat dengan kebutuhan energi yang tinggi, terutama pada pencacahan plastik.

4. Kesimpulan

Berdasarkan tujuan *Up-Grading* sampah organik dengan tambahan cacahan plastik sesuai kriteria BBJP dengan perlakuan termal dan proses fermentasi mampu meningkatkan nilai kalorinya, dari Pengujian kalori *biomass*/sampah organik dengan perlakuan dan penambahan cacahan plastik dengan maksimal berat 20% (wt) mampu meningkatkan kadar kalori sebesar 15-25%. Data SRF BBJP memiliki kandungan *ash* rata-rata mencapai 0,42%, dan kadar Cl masih di atas 0,24%, menunjukkan kandungannya terdapat campuran unsur tanah, dan unsur lain yang tidak mampu terbakar sebagai energi kalor. Data nilai ketahanan briket pada tiga specimen dengan kandungan kalori di atas 3500 kcal/kg yaitu pada specimen B-01.20.F1, B-01.20.M dan B-01.20.TB ketiganya mempunyai kekuatan tekan di atas limitasi briket/SRF dengan nilai *tensile strength* di atas 1,6 MPa. Data pengujian tersebut menunjukkan pencetakan sudah mampu menghasilkan tingkat ikatan yang kuat antar partikel penyusunnya.

Pada penelitian ini data yang terekam dan terobservasi masih berupa karakterisasi bahan baku dan briket BBJP yang masih membutuhkan data lanjutan, berupa pengujian laju pembakaran dan uji pada kondisi lingkungan sebenarnya dalam sistem pembakaran *co firing* sistem tenaga uap.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih kepada Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat (DRTPM), Kementerian

Pendidikan Nasional yang telah membiayai penelitian, Sekolah Tinggi Teknik Wiworotomo yang telah memfasilitasi pelaksanaan dan pengujian.

Daftar Pustaka

- [1] KLHK, "Data Capaian Kinerja Pengelolaan Sampah 222 Kabupaten/Kota se-Indonesia Tahun 2022," *Dirjen Pengelolaan Sampah, Limbah & B3 Direktorat Penanganan Sampah Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan*, 2022. <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>
- [2] B. Triyono, M. H. Gusman, D. Hutapea, P. Prawisudha, and A. D. Pasek, "State of the art teknologi hidrotermal untuk pengolahan sampah kota menjadi bahan bakar padat," *Proceeding Semin. Nas. Tah. Tek. Mesin XV (SNTTM XV)*, no. Snttm Xv, pp. 433–445, 2016.
- [3] Mulhidin, F. Wicaksana, and Azwarudin, "Analisis Co-Firing Refused Derived Fuel (Rdf) Di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Pltu) Jeranjang Co-Firing Analysis of Refused Derived Fuel (Rdf) At the Steam Power Plant (Pltu) Jeranjang," *J. Sanitasi dan Lingkung.*, vol. 3, no. 1, pp. 251–258, 2022.
- [4] H. Hariana, H. Prida Putra, M. Lutfi, and A. Prismantoko, "Utilization of agricultural waste biomass for co-firing fuel for coal-fired power plant with consideration of the potential of slagging, fouling, and abrasion in pulverized coal (PC) boilers," *Adv. Food Sci. Sustain. Agric. Agroindustrial Eng.*, vol. 1776/ub.afsaae.2022.005.01.8, 2022, doi: 10.21776/ub.afsaae.2022.005.01.8.
- [5] J. S. Tumuluru, N. A. Yancey, and J. J. Kane, "Pilot-scale grinding and briquetting studies on variable moisture content municipal solid waste bales – Impact on physical properties, chemical composition, and calorific value," *Waste Manag.*, vol. 125, pp. 316–327, 2021, doi: 10.1016/j.wasman.2021.02.013.
- [6] M. M. Tun and D. Juchelková, "Drying methods for municipal solid waste quality improvement in the developed and developing countries: A review," *Environ. Eng. Res.*, vol. 24, no. 4, pp. 529–542, 2019, doi: 10.4491/eer.2018.327.
- [7] A. L. S. Sihombing and R. D. SAC, "Karakteristik Sampah Lama (Mining Landfill Waste) Tempat Pemrosesan Akhir Sebagai Bahan Bakar Jumpitan Padat," *Semin. Nas. Penelit. dan Pengabd. pada Masy.* 2021, pp. 24–28, 2021.
- [8] B. Manufacturing, P. M. Equipment, and C. Agents, "iTech Standards," 2023 doi: 10.1520/D7582.
- [9] E. Naryono and Soemarno, "Indonesian Green Technology Journal Pengeringan Sampah Organik Rumah Tangga," *Indones. Green Technol. J.*, vol. 2, no. 2, pp. 61–69, 2013.
- [10] C. J. Sprenger and A. Uk, "CLASSIFICATION AND DENSIFICATION OF MUNICIPAL SOLID WASTE FOR BIOFUELS APPLICATIONS CORE View metadata, citation and similar papers at core," no. August, 2017.
- [11] P. Tanger, J. L. Field, C. E. Jahn, M. W. DeFoort, and J. E. Leach, "Biomass for thermochemical conversion: Targets and challenges," *Front. Plant Sci.*, vol. 4, no. JUL, pp. 1–20, 2013, doi: 10.3389/fpls.2013.00218.
- [12] P. Prawisudha, B. Triyono, K. Rorimpandey, A. R. Irahma, T. Hardianto, and A. D. Pasek, "Development of torrefaction process to convert mixed MSW into high energy density solid fuel," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1984, 2018, doi: 10.1063/1.5046612.
- [13] H. E. Putra, E. Damanhuri, K. Dewi, and A. D. Pasek, "Hydrothermal treatment of municipal solid waste into coal-like fuel," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 483, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1755-1315/483/1/012021.
- [14] J. Nikiema *et al.*, "Impact of material composition and food waste decomposition on characteristics of fuel briquettes," *Resour. Conserv. Recycl. Adv.*, vol. 15, no. June, p. 200095, 2022, doi: 10.1016/j.rcradv.2022.200095.

- [15] S. Nurhayati and D. Pramanda, "The Coffee Roasting Process using Fuzzy Mamdani," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 407, no. 1, pp. 1–5, Aug. 2018, doi: 10.1088/1757-899X/407/1/012122.
- [16] E. A. Silveira, "Acoustic field influence in the kinetics of thermochemical degradation during biomass torrefaction," no. January, p. 129, 2018.
- [17] T. Ehrman *et al.*, "Chemical Analysis and Testing Laboratory Analytical Procedures," *NREL-Protocols (l. 1-18)*, no. 07, pp. 1–186, 1998.
- [18] A. R. Choudhury *et al.*, "Biomineral and Fresh Municipal Solid Waste as Sources of Refuse Derived Fuel," no. September, pp. 235–252, 2022, doi: 10.1007/978-3-031-07785-2_11.
- [19] V. R. S. Cheela, M. John, and B. Dubey, "Quantitative determination of energy potential of refuse derived fuel from the waste recovered from Indian landfill," *Sustain. Environ. Res.*, vol. 31, no. 1, 2021, doi: 10.1186/s42834-021-00097-5.
- [20] S. Gerassimidou, C. A. Velis, P. T. Williams, M. J. Castaldi, L. Black, and D. Komilis, "Chlorine in waste-derived solid recovered fuel (SRF), co-combusted in cement kilns: A systematic review of sources, reactions, fate and implications," *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, vol. 51, no. 2, pp. 140–186, 2021, doi: 10.1080/10643389.2020.1717298.
- [21] I. Deans, I. Dimas, and C. A. Velis, "Modelling of Solid Recovered Fuel (SRF) Properties Based on Material Composition-Chloride Quality," *Waste to Energy*, vol. 6, pp. 389–399, 2016.