

## Studi Peningkatan Mutu Biobriket dengan Penambahan *Paper Waste* dan Minyak Jelantah

Nova Ariyanti dan Mohamad Mirwan\*

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Email Korespondensi: [mmirwan.tl@upnjatim.ac.id](mailto:mmirwan.tl@upnjatim.ac.id)

### **Kata Kunci:**

*biobriket, briket, kulit kacang tanah, limbah kertas, minyak jelantah, tongkol jagung.*

### **ABSTRAK**

Pengolahan sampah yang kurang optimum menyebabkan timbulan sampah dalam jumlah besar sehingga diperlukan tindakan untuk mengolahnya menjadi produk baru yang bermanfaat, misalnya menjadi briket. Implementasi penambahan bahan baku dalam pembuatan briket dengan sampah yang memiliki nilai ekonomi rendah diharapkan dapat meningkatkan mutu briket. Limbah kertas bekas dan minyak jelantah mempunyai potensi untuk diolah sebagai bahan baku penambah pada pembuatan briket dalam menghasilkan bahan bakar alternatif. Berdasarkan hasil pengujian karakteristik, kualitas mutu briket meningkat setelah penambahan *paper waste* dan minyak jelantah. Kadar air briket dari 5,12% mengalami penurunan menjadi 1 – 2%. Kadar abu briket dari 10,01% mengalami penurunan menjadi 5 – 7%. Nilai kalor briket dari 4.902 kal/g meningkat menjadi 5.200 – 5.700 kal/g. Kuat tekan briket dari 4,38 kg/cm<sup>2</sup> meningkat menjadi 5,51 – 9,48 kg/cm<sup>2</sup>. Perlakuan pencelupan minyak jelantah memiliki batas waktu optimum karena dapat memengaruhi soliditas arang saat pengujian kuat tekan. Penambahan *paper waste* dan minyak jelantah terhadap laju pembakaran menambah daya pembakaran briket dan nyala api lebih lama sehingga rentang laju pembakaran yang didapatkan kecil. Emisi karbon monoksida (CO) yang dihasilkan oleh briket dalam penelitian ini tergolong rendah karena masih jauh dibawah standar baku mutu yang dipersyaratkan.

### **Keyword:**

*bio briquettes, briquettes, peanut shells, paper waste, cooking oil, corn cobs.*

### **ABSTRACT**

*Waste processing that is less than optimal causes the generation of large amounts of waste so that action is needed to process it into useful new products, for example into briquettes. The implementation of adding raw materials in making briquettes with waste that has low economic value is expected to improve the quality of briquettes. Paper waste and used cooking oil have the potential to be processed as additional raw materials in the manufacture of briquettes in producing alternative fuels. Based on the results of characteristic testing, the quality of the briquettes increased after the addition of paper waste and used cooking oil. The water content of briquettes from 5,12% decreased to 1 – 2%. The ash content of briquettes from 10,01% decreased to 5 – 7%. The calorific value of briquettes from 4902 cal/g increased to 5200 – 5700 cal/g. The compressive strength of briquettes from 4,38 kg/cm<sup>2</sup> increased to 5,51 – 9,48 kg/cm<sup>2</sup>. The immersion treatment of used cooking oil has an optimum time limit because it can affect the solidity of the charcoal when testing the compressive strength. The addition of paper waste and used cooking oil to the combustion rate increases the combustion power of briquettes and the flame lasts longer so that the combustion rate range obtained is small. The emission of carbon monoxide (CO) produced by the briquettes in this study is relatively low because it is still far below the required quality standards.*

## 1. PENDAHULUAN

Permasalahan utama yang tidak ada habisnya dihadapi oleh masyarakat Indonesia bahkan dunia dari segi lingkungan adalah sampah. Pengolahan sampah yang kurang efektif menyebabkan timbulan sampah dalam jumlah yang besar. Tidak hanya volume, sampah yang timbul semakin beragam karakter dan jenisnya. Berdasarkan data hasil survei KLHK

pada tahun 2019, diperkirakan Indonesia mampu menghasilkan sampah sebesar 67,8 juta ton per tahun. Timbulan sampah tersebut terbagi menjadi beberapa bagian dengan sampah organik menjadi yang paling tinggi yaitu sebesar 57%, sampah plastik menduduki urutan kedua dengan persentase sebesar 15%, sampah kertas dengan jumlah sebesar 11%, dan tersisa 17% untuk sampah lainnya. Dengan demikian, perlu adanya tindakan untuk mengurangi timbulan

sampah tersebut dengan mengolahnya menjadi produk baru yang bermanfaat, misalnya menjadi briket.

Peningkatan kebutuhan bakar menyebabkan jenis briket semakin berkembang lebih luas dari jenis briket gambut, briket arang, briket batu bara, dan briket biomassa (biobriket). Biomassa merupakan bahan baku yang paling sering digunakan sebagai briket. Biomassa memiliki tiga jenis limbah, yaitu limbah gas, limbah cair, dan limbah padat. Umumnya yang sering dijadikan sebagai bahan baku briket adalah biomassa yang berbentuk padat, misalnya tempurung kelapa, sekam padi, serbuk kayu, sekam kopi, dan lain-lain (Pari *et al.*, 2012). Energi biomassa mampu dijadikan sebagai bahan bakar alternatif dikarenakan memiliki sifat yang menguntungkan, dapat digunakan secara berkelanjutan, mudah diperbaharui (*renewable resources*), dan tidak menimbulkan polusi udara, serta meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya hutan dan pertanian (Bontong, 2018). Sebagai komoditas ekspor dan bahan bakar alternatif, kualitas mutu briket harus stabil serta memenuhi standar persyaratan. Implementasi penambahan bahan baku briket dengan sampah-sampah yang memiliki nilai ekonomi rendah seperti *paper waste* dan minyak jelantah diharapkan dapat meningkatkan kualitas mutu dari briket tersebut.

Minyak goreng yang dipakai berkali-kali disebut dengan minyak jelantah. Tingginya penggunaan minyak goreng mengakibatkan kebutuhannya terus meningkat dari tahun ke tahun sehingga masyarakat sering menggunakan minyak goreng yang sama secara kontinu dan membuat persentase limbah minyak jelantah cukup tinggi. Perlakuan pencelupan minyak jelantah dalam penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan mutu briket karena *treatment* pencelupan briket ke dalam minyak jelantah ditujukan agar permukaan briket terlapisi minyak jelantah sepenuhnya sehingga briket lebih sulit dalam menyerap air (Efelina *et al.*, 2018). Kadar air yang rendah menyebabkan nilai kalor briket menjadi lebih baik. Minyak jelantah juga diharapkan akan memengaruhi nyala api briket yang lebih konstan daripada sebelum perendaman minyak jelantah. Minyak jelantah dikatakan mempunyai titik nyala pada kisaran *temperature* 240°C – 300°C serta nilai kalor sebesar 9.197,29 kal/gram. Dengan rentang titik nyala tersebut diharapkan dapat mempermudah pembakaran briket (Chandra, 2018).

Selain minyak jelantah, *paper waste* juga memberikan dampak negatif bagi lingkungan, baik dari segi keindahan maupun kesehatan. Kertas merupakan salah satu limbah yang sering dijumpai di berbagai macam instansi dan menyumbang tingginya timbulan sampah. Pada tahun 2019, jumlah kertas yang digunakan di Indonesia mencapai 13,6 juta ton. Saat ini pengolahan daur ulang sampah kertas masih belum optimal, biasanya hanya di daur ulang menjadi pembungkus makanan padahal limbah kertas dapat ditingkatkan nilai gunanya dengan mengubahnya menjadi bahan baku pembuatan briket (Kamal, 2022). Kertas memiliki kandungan selulosa yang tinggi mencapai 90% berat. Hipotesisnya, semakin besar selulosa akan memengaruhi besarnya kadar karbon terikat dalam briket. Hal ini disebabkan oleh karbon yang merupakan komponen penyusun selulosa sehingga kandungan karbon terikat berbanding lurus dengan tingginya nilai kalor yang dihasilkan (Satmoko *et al.*, 2013).

Berdasarkan studi literasi di atas, peneliti tertarik untuk meneliti peningkatan mutu biobriket dengan penambahan limbah yang sering dijumpai yaitu *paper waste* dan minyak

jelantah terhadap analisa fungsi produk, laju pembakaran dan emisi karbon monoksida (CO) yang dihasilkan sebagai salah satu sumber energi terbarukan.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan yang dibutuhkan mencakup *furnace*, oven, desikator, cawan *crucible*, penjepit, cetakan berbentuk silinder, alat press briket, ayakan 30 mesh, timbangan digital, lesung penumbuk, limbah tongkol jagung, limbah kulit kacang tanah, limbah kertas bekas, minyak jelantah, dan tetes tebu.

### 2.2 Pembuatan Biobriket

Bahan baku yang disiapkan berupa tongkol jagung, kulit kacang tanah, dan kertas bekas. Tongkol jagung dan kulit kacang tanah dikeringkan dahulu kemudian ditumbuk untuk membuat ukuran partikel lebih kecil. Untuk sampah kertas dipotong kecil-kecil sesuai dengan kebutuhan. Sampah kertas kemudian dimasukkan ke dalam baskom dan dituangkan air secukupnya. Sampah kertas tersebut diaduk hingga menjadi bubur kertas. Bubur kertas disaring dan dijemur di bawah sinar matahari 1–2 hari hingga kering. Bahan biomassa yang telah siap selanjutnya dikarbonasi menggunakan *furnace* dengan suhu 450°C selama 30 menit. Bahan yang telah dikarbonasi kemudian didinginkan dengan desikator. Bahan yang telah menjadi arang kemudian diperkecil dan diseragamkan ukuran partikelnya dengan penumbukan serta pengayakan.

Arang biomassa yang telah diayak kemudian dicampurkan dengan kertas yang telah disiapkan menggunakan perekat tetes tebu sebanyak 30 gram atau sama dengan 21 mL. Bahan dicetak menggunakan pipa yang telah dipotong sesuai kebutuhan dan pemberian tekanan kempa dilakukan dengan alat press hidrolik berupa dongkrak. Briket yang telah terbentuk dikeringkan dalam oven dengan suhu 105°C selama 10 jam. Setelah dioven, briket dicelupkan ke minyak jelantah. Briket kemudian didiamkan hingga minyak jelantah terserap sempurna ke dalam minyak jelantah hingga kering. Setelahnya briket siap diuji berdasarkan parameter penelitian.

Pengumpulan data analisis dilakukan dengan pengujian analisis proksimat untuk mendapatkan nilai kadar air dan kadar abu dengan menggunakan oven serta *furnace*, nilai kalor menggunakan *bomb calorimeter*. Pengujian laju pembakaran dilakukan menggunakan *stopwatch*, sedangkan pengujian emisi karbon monoksida menggunakan alat ECOM – J2KN.

**Tabel 1.** Komposisi Perlakuan Bahan Baku

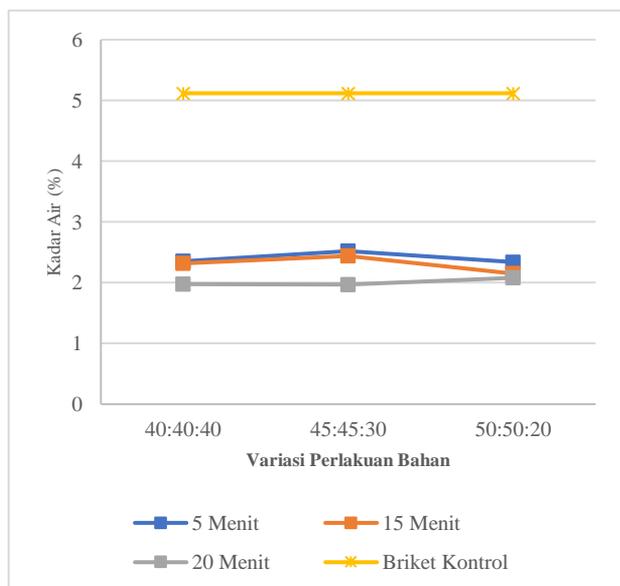
Tongkol Jagung (gram)	Kulit Kacang Tanah (gram)	Paper Waste (gram)	Minyak Jelantah (menit)
60	60	0	0
40	40	40	
45	45	30	5
50	50	20	
40	40	40	
45	45	30	15
50	50	20	
40	40	40	
45	45	30	20

Tongkol Jagung (gram)	Kulit Kacang Tanah (gram)	Paper Waste (gram)	Minyak Jelantah (menit)
50	50	20	

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Kadar Air

Salah satu parameter penentuan mutu briket sebagai bahan bakar alternatif adalah kadar air. Kadar air yang terkandung pada briket berpengaruh dalam kemudahan penyalaan, daya pembakaran briket, dan nilai kalor yang dihasilkan briket (Iskandar *et al.*, 2019). Briket dengan kualitas baik adalah briket dengan kadar air yang rendah. Kadar air yang tinggi menyebabkan sebagian kalor yang dihasilkan briket akan terpakai untuk menguapkan air yang masih tersisa. Hal tersebut berdampak terhadap panas kalor briket yang berkurang karena besarnya energi penyalaan awal yang dibutuhkan dalam pembakaran briket tersebut (Asip *et al.*, 2014).



Gambar 1. Hasil Uji Kadar Air

Nilai kadar air terendah ditunjukkan oleh biobriket komposisi 45:45:30 dengan waktu pencelupan minyak jelantah 20 menit yaitu sebesar 1,97%. Kadar air tertinggi dihasilkan briket kontrol yaitu briket biomassa sebesar 5,12%. Tingginya kadar air pada briket kontrol diakibatkan tidak adanya penambahan pencelupan minyak jelantah, sehingga sifat higroskopis yang dimiliki briket bekerja lebih mudah dalam menyerap air dari sekelilingnya. Berbanding terbalik dengan briket komposisi 45:45:30 dengan waktu pencelupan minyak jelantah 20 menit, hasil tersebut menunjukkan angka terendah karena briket sudah melalui pencelupan minyak jelantah, sehingga briket akan sulit menyerap air dari sekelilingnya ketika diletakkan di tempat terbuka.

Penambahan *paper waste* juga turut memengaruhi kadar air yang dihasilkan. Menurut Sulistio *et al.*, (2020), biomassa

memiliki daya serap air dalam kadar yang cukup tinggi karena sifat hidrofilik yang dimilikinya, yaitu mudah mengikat air. Maka dari itu, kertas yang berasal dari biomassa karena terbuat dari kayu pun memiliki daya serap yang cepat dalam merangkap air juga. Seperti yang terlihat pada Gambar 1 menunjukkan kurva naik turun dikarenakan terdapat beberapa hasil yang acak dari segi komposisi perlakuan tongkol jagung, kulit kacang tanah dan penambahan *paper waste*. Hal ini disebabkan pada saat pencampuran bahan baku, kertas lebih banyak menyerap perekat molase daripada arang biomassa. Apalagi dalam pelaksanaannya, perlakuan penambahan *paper waste* saat proses persiapan bahan melewati pembuatan bubur kertas dahulu kemudian dikeringkan sebelum pencampuran semua bahan menjadi briket.

Hal ini sejalan dengan penelitian Dianta Mustofa Kamal (2022) yang mengatakan bahwa komposisi perlakuan 90% kertas memiliki nilai kadar air paling tinggi yaitu sebesar 11,78%. Sebaliknya, kadar air terendah dihasilkan oleh komposisi perlakuan 30% kertas yakni sebesar 5,68%. Walaupun begitu jika dibandingkan dengan arang tongkol jagung dan kulit kacang tanah, daya uap kertas lebih tinggi karenanya kertas lebih cepat mengering. Oleh karena itu, jumlah kehilangan air pada arang biomassa dan *paper waste* saat pengeringan atau pengujian tidak bisa disetarakan. Hasil kadar air pada briket kemungkinan juga disebabkan oleh perbedaan penekanan briket pada saat pencetakan yang dalam pelaksanaannya masih menggunakan tenaga manusia. Dalam penelitiannya, Nasruddin & Affandy (2011) menyebutkan semakin tinggi gaya tekan kempa saat pencetakan briket maka kandungan air pada briket akan mengalami penurunan yang cukup signifikan. Hal itu terjadi sebab kompresi volume ruang karena peningkatan gaya tekan yang diberikan terhadap briket.

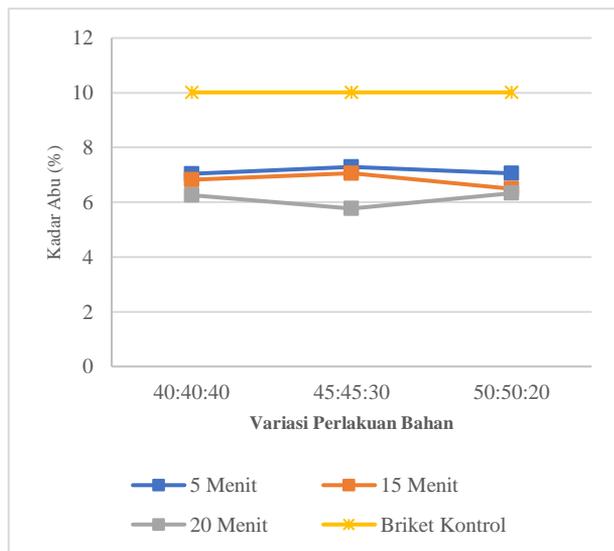
Faktor lain yang memengaruhi hasil kadar air adalah proses pengeringan bahan baku dengan bantuan sinar matahari langsung dan suhu yang tidak terukur sehingga besarnya kehilangan kadar air tidak dapat diseragamkan. Selain itu, ketika proses karbonisasi dengan menggunakan *furnace* dimungkinkan terdapat oksigen yang masuk karena adanya pengkaratan dan berlubang pada alat sehingga karbon yang terbentuk tidak sempurna dan banyak mengandung air. Faizal *et al.*, (2014) mengatakan bahwa briket yang cepat dalam menyerap air disebabkan perbedaan ukuran pori-pori antar partikel penyusunnya. Persentase kandungan air pada bahan yang digunakan, suhu karbonisasi, proses pengeringan serta perekat yang mengandung air dalam jumlah tertentu tidak luput dalam memengaruhi nilai kadar air.

Namun demikian, terlepas dari analisis tersebut hasil kadar air biobriket dalam penelitian ini terus mengalami penurunan dari segi pencelupan minyak jelantah dan masuk dalam SNI 01-6235-2000 tentang Briket Arang Kayu, standar baku mutu maksimum untuk kadar air sebesar 8%.

#### 3.2 Kadar Abu

Pengujian analisis kadar abu dilakukan untuk mengetahui bagian yang tidak terbakar dan tidak mempunyai unsur karbon lagi setelah briket dibakar. Kadar abu mewakili mineral yang tidak ikut terbakar ketika proses pembakaran berlangsung, sehingga kadar abu akan berkurang seiring dengan penurunan kadar air. Hal itu disebabkan kadar abu pada briket sebanding dengan kandungan bahan anorganik yang terdapat di dalamnya (S. Suryaningsih & Pahleva, 2020). Kandungan abu

yang terlalu tinggi tidak baik untuk briket karena akan membentuk kerak yang berdampak pada penurunan kualitas briket. Kadar abu briket umumnya berasal dari bahan pasir, clay, perekat, dan berbagai zat mineral lainnya (Wahida, 2021).



**Gambar 2.** Hasil Uji Kadar Abu

Nilai kadar abu terendah ditunjukkan oleh biobriket komposisi 45:45:30 dengan waktu pencelupan minyak jelantah 20 menit yaitu sebesar 5,77%. Kadar abu tertinggi ditunjukkan biobriket kontrol dengan hasil sebesar 10,01%. Perbandingan komposisi sampel memberikan pengaruh cukup signifikan terhadap kadar abu yang dihasilkan. Hal ini disebabkan bahan organik yang terkandung dalam biomassa tongkol jagung dan kulit kacang tanah tinggi. Bahan-bahan organik tersebut seharusnya terbakar, tetapi tidak terbakar sempurna sehingga menyisakan bahan anorganik yang terkandung pada campuran komposisi tersebut. Abu yang tersisa setelah proses pembakaran briket berasal dari materi anorganik, seperti kalsium, magnesium, fosfor, dan lain sebagainya. Jika kadar abu dalam briket tinggi, hal ini menandakan bahwa briket tersebut mengandung unsur silika yang tinggi. Unsur silika mempunyai pengaruh buruk terhadap kualitas briket yang dihasilkan. Kebalikannya dari biobriket kontrol, biobriket campuran bahan 45:45:30 dengan waktu pencelupan minyak jelantah 20 menit menunjukkan kadar abu terendah karena komposisi arang tongkol jagung dan kulit kacang tanah yang tidak sebanyak biobriket kontrol, yaitu hanya sebesar 45 gram.

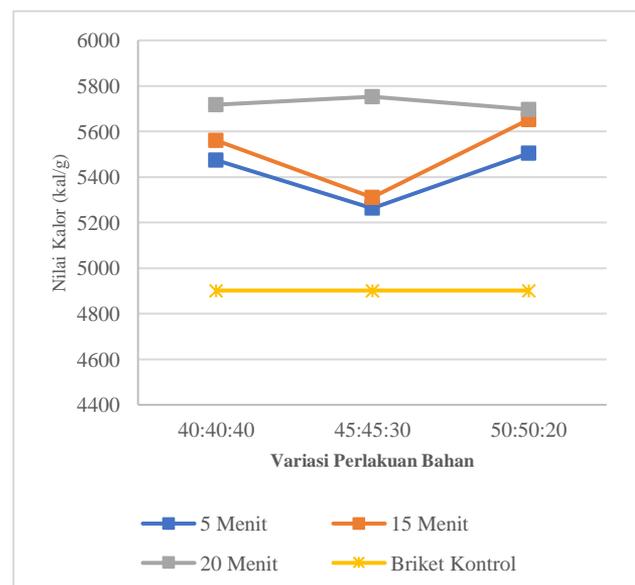
Gambar 2 memperlihatkan juga bahwa kadar abu yang diperoleh semakin rendah seiring dengan bertambahnya waktu pencelupan minyak jelantah. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Utomo (2015), dalam penelitiannya menjelaskan bahwa semakin tinggi persentase minyak oli bekas dalam pembuatan briket maka semakin sedikit kadar abu yang dihasilkan karena saat briket telah habis terbakar minyak oli bekas tidak meninggalkan abu. Dengan demikian, abu yang dihasilkan adalah abu yang berasal dari biomassa tongkol jagung, kulit kacang tanah, dan *paper waste*. Jadi, perlakuan pencelupan minyak jelantah bisa dikatakan berhasil dalam meningkatkan mutu briket karena dapat mengurangi kadar abu daripada briket tanpa pencelupan minyak jelantah.

Kadar abu yang lebih besar bisa juga disebabkan adanya perekat molase yang mengandung unsur organik sehingga mudah merekat saat proses pembakaran. Molase sendiri memiliki kadar air sebesar 20% dan kadar abu sebesar 11,9% (Kale *et al.*, 2019). Seperti yang diketahui bahan-bahan organik dapat menghasilkan abu jika dibakar. Hasil ini didukung oleh pernyataan Fitri (2017) bahwa abu merupakan residu material anorganik yang terbentuk dari pembakaran suatu produk berbahan organik. Residu tersebut berupa zat mineral yang tidak hilang sewaktu pembakaran. Perlakuan tekanan kempa saat pencetakan juga memberikan pengaruh terhadap kadar abu di mana tingginya tekanan kempa yang diberikan terhadap briket maka kadar abu berkurang karena sebagian besar perekat akan terbuang keluar (Widodo, 2016).

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan terlihat bahwa perlakuan penambahan *paper waste* dan minyak jelantah dapat meningkatkan mutu briket dengan hasil kadar abu berkisar berkisar 5 – 7%. Nilai yang tercantum telah memenuhi standar baku mutu kadar abu yang telah ditetapkan SNI 01-6235-2000 tentang Briket Arang Kayu yang sebesar 8%.

### 3.3 Nilai Kalor

Nilai kalor diperlukan dalam pengujian karakteristik briket untuk mendeteksi jumlah panas pembakaran yang terkandung di dalam briket. Nilai kalor merupakan parameter penting untuk briket sebagai bahan bakar alternatif karena semakin tinggi nilai kalor maka semakin baik kualitas briket tersebut sehingga bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan panas pembakaran tertentu tidak terlalu banyak. Nilai kalor tidak terlepas dari faktor nilai proksimat lainnya seperti kadar air dan kadar abu. Semakin rendah kadar air dan kadar abu dalam briket maka nilai kalor akan semakin meningkat (Sari *et al.*, 2018).



**Gambar 3.** Hasil Uji Nilai Kalor

Nilai kalor terendah ditunjukkan oleh biobriket kontrol dengan hasil sebesar 4902 kal/g. Nilai kalor tertinggi ditunjukkan biobriket komposisi 45:45:30 dengan waktu pencelupan minyak jelantah 20 menit yakni sebesar 5753 kal/g. Tingginya nilai kalor pada biobriket komposisi 45:45:30 dengan waktu pencelupan minyak jelantah 20 menit

diakibatkan rendahnya kadar air dan kadar abu. Penambahan perlakuan pencelupan minyak jelantah yang melapisi briket membuat briket menjadi hidrofobik. Hal tersebut menyebabkan pori-pori pada briket akan tersumbat untuk mencegah air masuk kedalam briket (Chandra, 2018). Sепthiani & Septiani (2015) mengatakan kadar abu dari briket merupakan salah satu faktor yang memengaruhi nilai kalor. Semakin kecil kadar abu, semakin banyak jumlah karbon yang terikat dalam briket. Kadar karbon terikat yang tinggi memengaruhi nilai kalor briket yang tinggi. Berbanding terbalik dengan biobriket kontrol yang menunjukkan angka nilai kalor terendah karena briket tidak melalui pencelupan minyak jelantah, sehingga briket sangat mudah menyerap air dari sekelilingnya dan pori-pori masih ada yang berongga. Briket dengan keadaan tersebut dapat menghasilkan abu yang mengandung komposisi berbahaya tinggi yang kemudian berdampak pada rendahnya nilai kalor briket.

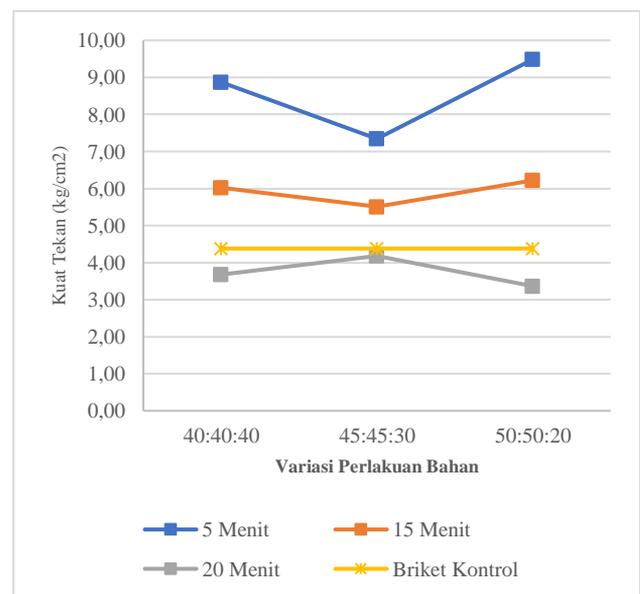
Septhiani & Septiani, (2015) mengatakan bahwa briket yang diberikan penambahan minyak jelantah sebagai bahan baku menunjukkan tren kenaikan pada hasilnya. Nilai kalor untuk briket minyak jelantah sebesar 6245,66 kal/g, hasil tersebut mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan nilai kalor briket kontrolnya yang sebesar 4703,27 kal/g. Hal yang sama dijelaskan Efelina *et al.* (2018) bahwa hasil nilai kalor biobriket kulit durian tanpa perlakuan pencelupan minyak jelantah cenderung rendah yaitu berkisar 5076,99 kal/g. Namun, setelah melalui pencelupan minyak jelantah biobriket mengalami peningkatan nilai kalor menjadi 5655,23 kal/g. Jadi, perlakuan pencelupan minyak jelantah bisa dikatakan berhasil dalam meningkatkan mutu briket karena mampu meningkatkan nilai kalor daripada briket tanpa pencelupan minyak jelantah.

Penambahan *paper waste* juga turut memengaruhi nilai kalor yang dihasilkan. Terlihat bahwa beberapa komposisi menunjukkan kadar abu tinggi pada kadar penambahan *paper waste* yang banyak, beberapa lagi menunjukkan hasil yang fluktuatif. Kertas dapat dikatakan menyumbang abu karena saat dibakar sendiri pun menghasilkan abu walau tidak dalam jumlah yang banyak. Namun, kertas juga memiliki jumlah karbon terikat yang cukup tinggi karena kertas memiliki kandungan selulosa sehingga seharusnya nilai kalor yang dihasilkan semakin bertambah. Dikarenakan dalam penelitian ini molase ditambahkan sebagai perekat maka kertas akan menyerap molase juga sehingga beberapa hasil menunjukkan nilai kalor rendah. Penggunaan molase dapat menyebabkan kadar abu tinggi. Namun, hasil tersebut tidak merata tinggi atau turun seiring dengan bertambahnya persentase kertas.

Hasil nilai kalor tidak terlepas faktor nilai proksimat yang lain seperti kadar air dan kadar abu dan nilai proksimat satu sama lain juga memiliki hubungan. Tahapan pengepresan briket juga berpengaruh terhadap karakteristik briket karena arang yang kompak memengaruhi nilai kalor yang dihasilkan. Tekanan pencetakan briket yang sangat besar menyebabkan densitas antar butiran briket menjadi tinggi sehingga kadar air dan laju pembakarannya lebih rendah (Dewi *et al.*, 2022). Dari hasil pengujian yang telah dilakukan terlihat bahwa penambahan *paper waste* dan minyak jelantah memperoleh hasil nilai kalor yang tinggi berkisar 5200 – 5700 kal/g. Nilai yang tercantum telah memenuhi standar baku mutu nilai kalor yang telah di tetapkan SNI 01-6235-2000 tentang Briket Arang Kayu yang minimal sebesar 5000 kal/g.

### 3.4 Kuat Tekan

Besarnya daya ketahanan briket dapat diketahui dengan pengujian analisis kuat tekan briket yang nantinya akan berpengaruh terhadap proses pengemasan, pengangkutan, dan pemasaran. Briket dengan kuat tekan yang tinggi tidak akan mudah pecah dan tahan lama pada saat pembakaran (Natalia H *et al.*, 2015). Kuat tekan banyak dipengaruhi oleh tekanan pengepresan yang semakin tinggi. Hal ini dikarenakan jika tekanan pengepresan yang diberikan semakin besar maka kuat tekan yang dihasilkan akan lebih baik sehingga perekat pada briket tersebut mampu mengikat komponen arang dengan sempurna dan menghasilkan arang yang padu sama lain. Hal tersebut membuat briket mampu menahan gaya tekan pada saat dilakukan pengujian kuat tekan (Sinta *et al.*, 2020).



Gambar 4. Hasil Uji Kuat Tekan

Nilai kuat tekan tertinggi dihasilkan biobriket komposisi 50:50:20 dengan pencelupan minyak jelantah 5 menit sebesar 9,48 kg/cm<sup>2</sup>, sedangkan nilai kuat tekan paling rendah ditunjukkan oleh biobriket komposisi 50:50:20 dengan waktu pencelupan minyak jelantah 20 menit dengan nilai sebesar 3,37 kg/cm<sup>2</sup>. Rendahnya hasil kuat tekan briket pada penelitian ini dikarenakan lamanya waktu pencelupan minyak jelantah yang dilakukan. Secara logika, lamanya waktu pencelupan minyak jelantah akan berpengaruh terhadap soliditas atau keutuhan butiran arang briket, waktu pencelupan minyak jelantah 20 menit menyebabkan cairan minyak jelantah masuk ke dalam komponen penyusun briket lebih merata sehingga kondisi ini mengakibatkan mudahnya penguraian arang briket. Oleh sebab itu, pada komposisi perlakuan pencelupan minyak jelantah 20 menit mendapatkan hasil kuat tekan yang lebih rendah daripada biobriket lainnya.

Namun, biobriket dengan waktu pencelupan minyak jelantah 5 menit dan 15 menit memiliki nilai kuat tekan yang baik daripada biobriket dengan waktu pencelupan minyak jelantah 20 menit. Hal itu terjadi karena minyak jelantah ketika dipanaskan akan mendeformasi lignin dan hemiselulosa pada bahan baku briket saat pengeringan atau pemanasan sehingga dapat berfungsi sebagai perekat alami. Perekat alami yang terkandung dalam biomassa dapat diaktifkan dengan

pemanasan. Perakat termoplastik adalah polimer padat yang meleleh ketika dipanaskan, begitu juga dengan lignin yang mencair saat dipanaskan dan mengeras saat didinginkan (Sakti & Saputro, 2020). Dengan demikian, biobriket dengan waktu pencelupan minyak jelantah 5 menit dan 15 menit memiliki nilai kuat tekan yang baik karena pencelupan minyak jelantah dalam pembuatan briket bisa mengubah kandungan kimia biomassa menjadi perekat tambahan dan ikatan akan semakin merekat kuat.

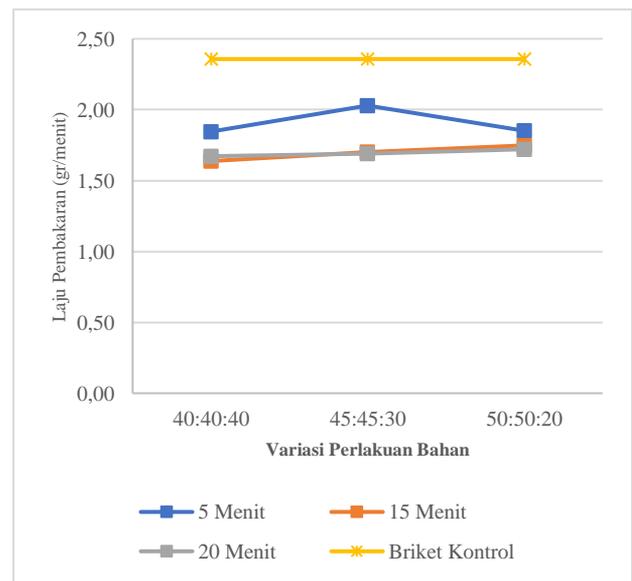
Hal tersebut harus diiringi dengan waktu pencelupan minyak jelantah yang ideal. Jika terlalu banyak minyak jelantah yang terkandung dalam briket membuat soliditas arang berkurang sehingga membutuhkan waktu pengeringan atau pemanasan yang sangat lama agar minyak jelantah terserap sepenuhnya dan bisa bekerja mendeformasi komposisi kimia biomassa sebagai perekat alami. Berdasarkan pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa perlakuan penambahan pencelupan minyak jelantah memiliki batas waktu optimum, semakin lama pencelupan minyak jelantah maka semakin tidak efektif untuk hasil kuat tekan briket. Terlepas dari pernyataan tersebut secara keseluruhan tidak ada briket yang hancur atau terbagi menjadi beberapa bagian pada saat pencelupan ke dalam minyak jelantah, meskipun dengan jenis waktu yang berbeda yaitu 5, 15, dan 20 menit. Hal itu tetap tidak memengaruhi kondisi bentuk awal cetakan briket. Masalah rapuhnya briket hanya disebabkan oleh komposisi perekat yang sedikit sehingga daya rekat dan ikatan partikel antar butiran arang juga lemah. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian terdahulu bahwa penambahan kandungan perekat yang dipakai mampu meningkatkan ikatan antar butiran arang pada briket (Rahmanto *et al.*, 2020).

Dari segi komposisi perlakuan variasi sampel, penggunaan biomassa tongkol jagung dan kulit kacang dalam kadar yang tinggi terlihat memengaruhi kekerasan briket. Menurut Hendra (2010), penggunaan jenis bahan baku memiliki pengaruh nyata terhadap daya ketahanan yang dihasilkan briket. Setiap bahan baku memiliki densitas berbeda-beda sehingga nilai kuat tekan yang didapatkan juga berbeda. Hal tersebut karena tongkol jagung dan kulit kacang tanah memiliki kerapatan partikel lebih besar daripada *paper waste* sehingga semakin tinggi kandungan tongkol jagung dan kulit kacang tanah akan meningkatkan nilai kekerasan briket yang dihasilkan. *Paper waste* yang digunakan dalam penelitian ini berupa kertas yang telah dicacah sampai halus, maka dari itu nilai kekerasan *paper waste* tidak bisa disandingkan dengan arang tongkol jagung dan kulit kacang tanah. Widodo (2016) mengatakan bahwa perlakuan tekanan kempa berpengaruh besar dan berbanding lurus dengan kerapatan briket. Oleh sebab itu, briket saat di uji ketahanannya tidak mengalami pengurangan massa yang banyak dan tidak langsung hancur pada saat dijatuhkan.

Baku mutu yang mengatur tentang kuat tekan briket adalah Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral No. 47 Tahun 2006, tetapi disebutkan dalam PERMEN tersebut jika jenis briket yang dimaksud adalah briket bio-batubara. Hal tersebut dikarenakan masih memiliki kesamaan dengan menggunakan bahan baku biomassa maka hasil kuat tekan biobriket pada penelitian ini mengacu pada kriteria kuat tekan briket bio-batubara. Dijelaskan dalam PERMEN ESDM Nomor 47 Tahun 2006 bahwa standar baku mutu kuat tekan briket bio-batubara minimal 65 kg/cm<sup>2</sup>, maka hasil kuat tekan seluruh biobriket dalam penelitian belum memenuhi kriteria yang telah ditetapkan.

### 3.5 Laju Pembakaran

Laju pembakaran adalah estimasi cepatnya briket terbakar habis. Artinya nilai laju pembakaran yang semakin besar mengakibatkan briket akan semakin cepat habis (Pangga & Ahzan, 2020). Analisis laju pembakaran ditujukan untuk mengetahui kecepatan briket terbakar hingga menjadi abu karena merupakan indikator penting dalam menentukan kualitas briket. Hal ini dijadikan sebagai tolak ukur sejauh mana kelayakan briket yang diuji agar dalam penggunaannya nantinya dapat terpakai dengan baik.



Gambar 5. Hasil Uji Laju Pembakaran

Laju pembakaran terbesar ditunjukkan oleh biobriket kontrol sebesar 2,36 gr/menit, pada komposisi ini pembakaran briket memiliki estimasi waktu pembakaran selama 30,12 menit. Laju pembakaran terkecil ditunjukkan oleh biobriket perlakuan 40:40:40 dengan waktu pencelupan minyak jelantah 15 menit sebesar 1,64 gr/menit, pada komposisi ini pembakaran briket memiliki estimasi waktu pembakaran selama 57,40 menit. Semakin tinggi laju pembakaran, semakin cepat biobriket untuk habis terbakar. Sebaliknya, jika laju pembakaran lebih rendah maka pembakaran biobriket lambat hingga habis menjadi abu. Lama waktu pembakaran pada briket diakibatkan perlakuan pencelupan minyak jelantah dan rendahnya kadar air yang dihasilkan sehingga daya pembakaran saat pengujian berlangsung lama. Selain itu, pada setiap waktu pencelupan minyak jelantah terlihat bahwa penambahan 40 gram *paper waste* bisa dikatakan menambah cepat dan tahan lamanya pembakaran briket. Penyebab dari hal tersebut karena kertas mengandung selulosa yang cukup tinggi sehingga mudah terbakar ketika disulut api. Nyala api saat pembakaran berlangsung pun cukup besar dan stabil serta tidak membutuhkan waktu yang lama untuk briket menghasilkan bara api.

Sebaliknya, laju pembakaran biobriket kontrol mendapatkan hasil pembakaran tercepat karena tidak adanya perlakuan pencelupan minyak jelantah. Briket kontrol yang awalnya sudah memiliki kadar air tinggi akan bertambah kadarnya dari menyerap air di sekeliling. Hal tersebut dikarenakan tidak ada lapisan yang melindungi permukaan biobriket dari sifat higroskopis. Pratama & Praswanto (2022)

dalam penelitiannya juga mengatakan kadar air sangat memengaruhi laju pembakaran dan waktu pembakaran sebuah briket karena semakin tinggi kadar air menyebabkan sulitnya api membakar briket saat pengujian.

Indikator lain yang paling terlihat dalam pengujian laju pembakaran adalah nyala api. Pengujian nyala api awal hanya sampai di detik-detik briket menghasilkan bara api. Tekanan selama pencetakan memengaruhi laju pembakaran karena semakin rapat pori-pori memudahkan pembakaran awal untuk dinyalakan serta distribusi merambatnya *temperature* panas tidak cepat hilang. Nyala api yang dihasilkan saat pembakaran pun terbilang besar dan konstan untuk perlakuan penambahan *paper waste* dan pencelupan minyak jelantah. Estimasi waktu biobriket perlakuan pencelupan minyak jelantah dan penambahan *paper waste* dalam menghasilkan bara api kurang lebih 1 menit, dibandingkan dengan biobriket kontrol yang membutuhkan waktu selama 2 menit lebih.

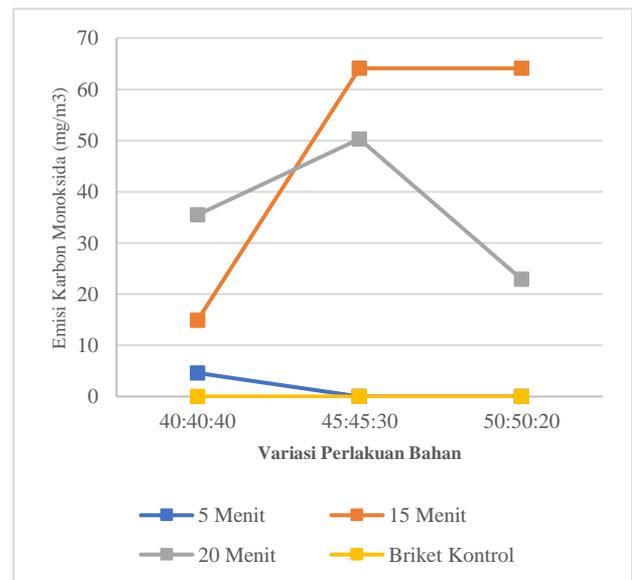
Dari segi komposisi arang biomassa tongkol jagung, kulit kacang tanah, dan *paper waste* hasil laju pembakaran memperlihatkan grafik yang naik turun. Salah satu faktor baiknya hasil laju pembakaran adalah dengan mencampurkan bahan baku biomassa karena mengandung komposisi kimia yang berupa karbon terikat dan zat menguap (Wijaya & Aji, 2012). Hal yang sama disebutkan Iriany *et al.*, (2016) dalam penelitiannya dengan mencampurkan serbuk arang pelepah dan cangkang kelapa sawit komposisi perbandingan 1:8 bisa mendapatkan hasil laju pembakaran yang bagus. Nilai kalor pun turut memengaruhi laju pembakaran karena tingginya nilai kalor membuat laju pembakaran yang dihasilkan briket lebih konstan. Selain itu, densitas briket turut memengaruhi laju pembakaran briket. Besarnya densitas briket menyebabkan pori-pori partikel penyusun briket lebih padat yang berdampak terhadap waktu pembakaran briket menjadi lama (Wahida, 2021). Briket yang memiliki ukuran partikel halus membuat partikel penyusun briket lebih kompak sehingga oksigen lebih sulit masuk yang menyebabkan waktu pembakaran lama dan lambatnya laju pembakaran (Suryaningsih *et al.*, 2018).

Nilai laju pembakaran ini tidak ada dalam SNI dan masih belum ada standar baku mutu yang menjelaskan tentang laju pembakaran untuk briket, padahal laju pembakaran adalah bukti nyata baiknya kualitas bahan bakar yang dihasilkan melalui nyala api. Jika briket memiliki laju pembakaran rendah maka karakteristik briket bisa dikatakan baik. Hal tersebut dikarenakan semakin kecil nilai laju pembakaran menandakan semakin lamanya waktu yang dibutuhkan briket tersebut untuk habis terbakar. Hal tersebut karena cepatnya transfer *temperature* panas pada briket dan mengandung karbon yang rendah sehingga tidak menghasilkan banyak emisi debu dalam pembakarannya (Wijaya *et al.*, 2021).

### 3.6 Emisi Karbon Monoksida (CO)

Dalam pemakaiannya sebagai bahan bakar, briket tentunya melewati proses pembakaran, di mana terdapat pembakaran sempurna atau pembakaran tidak sempurna. Pada pembakaran yang tidak sempurna, briket dapat menghasilkan emisi gas yang menyebabkan karbon yang ada dalam bahan bakar briket tidak berikatan seluruhnya dengan oksigen. Pengukuran polutan udara seperti karbon monoksida (CO) dilakukan untuk mengetahui kadar gas CO yang dihasilkan. Semakin rendah

kandungan CO maka kualitas briket yang dihasilkan semakin baik (Sari *et al.*, 2018).



Gambar 6. Hasil Uji Emisi Karbon Monoksida (CO)

Kadar emisi karbon monoksida (CO) yang tertinggi dihasilkan oleh biobriket komposisi 45:45:30 dan 50:50:20 dengan waktu pencelupan minyak jelantah 15 menit yakni sebesar 64,1 mg/m<sup>3</sup>, sedangkan kadar emisi karbon monoksida (CO) yang terendah dihasilkan oleh biobriket kontrol sebesar 0 mg/m<sup>3</sup> dan biobriket perlakuan bahan 45:45:30 dan 50:50:20 dengan waktu pencelupan minyak jelantah 5 menit yaitu 0 mg/m<sup>3</sup>. CO yang terbentuk dari sisa pembakaran briket banyak dipengaruhi oleh komposisi perbandingan bahan baku. Dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa semakin besar komposisi arang biomassa dan semakin rendah *paper waste*, kadar emisi CO yang dihasilkan berkurang. Hal ini sesuai dengan pernyataan Goembira *et al.*, (2017) bahwa persentase biomassa yang besar dalam briket maka kadar emisi CO yang terbentuk akan semakin menurun. Bahan bakar briket biomassa menghasilkan emisi yang lebih rendah daripada bahan bakar biomassa non briket dan penggunaan bahan bakar biomassa briket lebih efisien daripada biomassa non briket.

Meningkatnya kadar emisi CO dalam penelitian ini seiring dengan bertambah waktu pencelupan minyak jelantah, namun pada waktu 20 menit pencelupan kadar emisi CO yang dihasilkan menurun. Menurut Anetiesia *et al.*, (2015) dalam penelitiannya mengatakan bahwa kompor berbahan bakar minyak jelantah dapat menghasilkan emisi CO sebesar 242,60 ppm. Jika dibandingkan dengan pernyataan tersebut, emisi CO briket campuran tongkol jagung, kulit kacang tanah, *paper waste*, dan minyak jelantah masih lebih rendah. Sejalan dengan Witjonarko & Haryono (2017), dalam penelitiannya mengatakan bahwa penambahan minyak jelantah dalam pembuatan biodiesel mampu membuat emisi CO yang dikeluarkan lebih sedikit daripada bahan bakar solar murni. Pemakaian biodiesel minyak jelantah 100% menyebabkan rendahnya emisi CO yang terbentuk kisaran 10% sampai 50%. Penyebabnya adalah jumlah karbon dari minyak solar akan menurun seiring dengan banyaknya kandungan biodiesel minyak jelantah. Namun demikian, dengan melihat hasil pengujian yang telah dilakukan dari perlakuan penambahan

minyak jelantah terlihat bahwa minyak jelantah menyumbang gas emisi CO. Dari hal tersebut dapat disimpulkan bahwa pencelupan minyak jelantah memiliki batas waktu optimum agar emisi CO yang dihasilkan tidak terlalu tinggi.

Hasil emisi CO yang acak dan tidak beraturan bahkan beberapa memunculkan hasil emisi 0 ppm kemungkinan terjadi disebabkan beberapa faktor karena tidak mungkin jika bahan bakar mengandung emisi CO 0 ppm. Salah satunya adalah faktor lingkungan pada saat proses pengujian, tahapan pengujian yang tidak terstandarisasi, dan faktor alat penangkap emisi gas CO yang digunakan tidak terstandarisasi. Alat tersebut berupa reaktor sederhana hasil rancang semata untuk penangkapan gas yang dihasilkan dari pembakaran briket sehingga menimbulkan faktor x yang membuat hasil uji tidak sesuai. Faktor lain yang memengaruhi tinggi rendahnya kandungan emisi CO pada briket adalah kerapatan massa. Ketika kandungan gas CO tinggi pada briket disebabkan oleh kerapatan massa yang tinggi sehingga pada saat dibakar oksigen sulit masuk ke dalam bahan membuat panas pembakaran tidak mudah hilang sehingga emisi yang dihasilkan tinggi (Setyawan & Ulfa, 2019).

Selain itu, ukuran mesh turut serta memengaruhi hasil kandungan emisi CO. Seperti yang dijelaskan S. R. I. Suryaningsih *et al.*, (2018) bahwa emisi karbon monoksida akan menurun seiring dengan semakin kasarnya ukuran partikel penyusun briket. Hal yang sama diungkapkan oleh peneliti terdahulu bahwa emisi CO briket dengan ukuran 60 mesh lebih besar daripada briket ukuran 30 mesh. Hal ini menunjukkan bahwa partikel yang lebih kecil memengaruhi besarnya kadar karbon monoksida yang dihasilkan. Kadar abu juga tidak luput dalam memengaruhi kadar emisi CO yang telah dihasilkan, di mana proses pembakaran sempurna akan terhambat karena kandungan abu yang tinggi (Adipratama *et al.*, 2021).

Pada dasarnya pengukuran emisi karbon monoksida (CO) dalam penelitian ini untuk mengetahui besaran konsentrasi gas yang terbentuk dan diharapkan mampu meminimalkan pencemaran yang terjadi ketika proses produksi briket. Hal itu disebabkan belum adanya baku mutu yang menjelaskan tentang emisi karbon monoksida (CO) untuk briket biomassa, yaitu briket yang berbahan baku sampah organik. Baku mutu yang mengatur tentang emisi sumber tidak bergerak adalah Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 13 Tahun 1995, tetapi tidak menjelaskan standar mutu emisi karbon monoksida pada briket. Menurut Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 47 Tahun 2006 menyebutkan bahwa baku mutu emisi karbon monoksida (CO) sebesar 726 mg/m<sup>3</sup> untuk standar briket batubara. Namun, terdapat perbedaan bahan baku briket yang mana dalam penelitian ini menggunakan bahan organik bukan batu bara dan pada saat pengukuran emisi CO yang dilakukan tidak distandarisasi sebagaimana semestinya, maka hasil emisi CO biobriket biomassa, *paper waste*, dan minyak jelantah tidak dapat dibandingkan dengan standar kualitas tersebut. Namun demikian, jika mengacu pada Peraturan Menteri tersebut, hasil menunjukkan bahwa emisi karbon monoksida (CO) yang terkandung dalam biobriket tergolong rendah karena masih jauh dibawah standar baku mutu.

#### 4. KESIMPULAN

Kualitas mutu briket setelah perlakuan penambahan *paper waste* dan pencelupan minyak jelantah dalam pembuatan briket biomassa tongkol jagung dan kulit kacang tanah mengalami peningkatan dengan signifikan. Hasil uji analisis yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik briket telah memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan. Namun, perlakuan pencelupan minyak jelantah dalam pembuatan briket memiliki batas waktu optimum karena semakin lama pencelupan minyak jelantah akan memengaruhi lemahnya soliditas arang dan tingginya emisi karbon monoksida yang dihasilkan. Pengaruh variasi komposisi *paper waste* dan minyak jelantah terhadap laju pembakaran yang dihasilkan dapat meningkatkan mutu briket karena menambah daya pembakaran dan kestabilan nyala api lebih lama sehingga rentang laju pembakaran yang didapatkan kecil. Emisi karbon monoksida (CO) yang dihasilkan briket dalam penelitian ini tergolong rendah karena masih jauh di bawah standar baku mutu yang dipersyaratkan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam menyelesaikan penelitian mengenai peningkatan mutu briket sehingga diharapkan hasil dari penelitian ini menjadi inovasi baru dalam perkembangan produksi briket sebagai bahan bakar alternatif untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar yang terus melonjak dan briket mampu memenuhi standar baku mutu yang dipersyaratkan sebagai komoditas bahan bakar ekspor.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Adipratama, M. R., Setiawan, R., & Fauji, N. (2021). Hasil Pengujian Proksimasi dan Gas Buang pada Briket Campuran Limbah Serutan Kayu, Sekam Padi dan Bulu Ayam. *Jurnal Teknik Mesin*, 14(1), 33–39.
- Anetiesia, S. E., Syafrudin, & Zaman, B. (2015). Pembuatan Briket dari Bottom Ash dan Arang Tempurung Kelapa Sebagai Sumber Energi Alternatif.
- Asip, F., Anggun, T., & Fitri, N. (2014). Pembuatan Briket dari Campuran Limbah Plastik LDPE, Tempurung Kelapa dan Cangkang Sawit. *Teknik Kimia*, 20(2), 45–54.
- Bontong, Y. (2018). Analisis Briket Kelapa sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Journal Dynamic Saint*, 3(1), 537–547.
- Chandra, F. (2018). Peningkatan Nilai Kalor Briket Limbah padat Sawit Menggunakan Metode *Oil Coating Mikropartikel*. Skripsi.
- Dewi, R. P., Saputra, T. J., & Purnomo, S. J. (2022). Analisis Karakteristik Briket Arang dengan Variasi Tekanan Kempa Pembriketan. *Jurnal Media Mesin*, 23(1), 13–19.
- Efelina, V., Naubnome, V., & Sari, D. A. (2018). Biobriket Limbah Kulit Durian dengan Pencelupan pada Minyak Jelantah. *CHEESA. Chemical Engineering Reseach Articles*, 1(2), 37–42.
- Faizal, M., Andynapratiwi, I., Putri, P. (2014). Pengaruh Komposisi Arang dan Perakat terhadap Kualitas Biobriket dari Kayu Karet. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya.
- Fitri, N. (2017). Pembuatan Briket dari Campuran Kulit Kopi

- (Coffea Arabica) dan Serbuk Gergaji dengan Menggunakan Getah Pinus (Pinus Merkusii) sebagai Perekat. 1–65.
- Goembira, F., Oktafianto, F., Hakim, K., Husna, A., Nazir, A., & Sawir, H. (2017). Studi Konsentrasi PM<sub>2,5</sub>, CO, dan CO<sub>2</sub> dari Penggunaan Briket Biomassa sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Secara Terpadu 2017*, 201–210.
- Hendra, J. (2010). Pemanfaatan Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes L*) untuk Bahan Baku Briket sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*
- Iriany, Carnella C., dan Sari, C.N. (2016). Pembuatan Biobriket dari Pelepah dan Cangkang Kelapa Sawit: Pengaruh Variasi Komposisi Bahan Baku dan Waktu Karbonisasi terhadap Kualitas Briket. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 5(3), Hal : 31–37.
- Iskandar, N., Nugroho, S., & Feliyana, M. F. (2019). Uji Kualitas Produk Briket Arang Tempurung Kelapa Berdasarkan Standar Mutu SNI. *Majalah Ilmiah Momentum*, 15(2), 103–108.
- Kale, J., Mula, Y. R., Iskandar, T., & Abrina, S. P. (2019). Optimalisasi Proses Pembuatan Briket Arang Bambu Dengan Menggunakan Perekat Organik. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan Dan Infrastruktur (SENTIKUIN)*, 2, 1–7.
- Kamal, D. M. (2022). Penambahan Serbuk Ampas Kopi sebagai Upaya Meningkatkan Nilai Kalor Briket Limbah Kertas. *Jurnal Inovasi Penelitian*, 2(12), 3913–3920.
- Nasruddin, & Affandy, R. (2011). Karakteristik Briket dari Tongkol Jagung dengan Perekat Tetes Tebu dan Kanji. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, 22(2), 1–10.
- Natalia H, B., Zaman, B., & Syafrudin, S. (2015). Pembuatan Briket Dari *Bottom Ash* dan Arang Sekam Padi sebagai Sumber Energi Alternatif (Studi Kasus: Industri Tekstil X, Ungaran–Semarang). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 4(2), 1–9.
- Pangga, D., & Ahzan, S. (2020). Uji Laju Pembakaran dan Nilai Kalor Briket Wafer Sekam Padi. 6(November), 200–206.
- Pari, G., Mahfudin, & Jajuli. (2012). Teknologi Pembuatan Arang, Briket Arang dan Arang Aktif Serta Pemanfaatannya. *Gelar Teknologi Tepat Guna*, 1–9.
- Pratama, A. R., & Praswanto, D. H. (2022). Analisa Laju Pembakaran pada Briket Ampas Kopi dan Serbuk Kayu dengan Campuran Minyak Sawit. 250–258.
- Rahmanto, D. E., Fitroni, E. H., & Rudyanto, B. (2020). Pemanfaatan Daun Biduri (*Calotropis Gigantea*) Sebagai Perekat pada Pembuatan Briket Serbuk Gergaji Kayu Bayur (*Pterospermum Javanicum*). *Rona Teknik Pertanian*, 13(1), 24–39.
- Sakti, M. I. P., & Saputro, D. D. (2020). Peningkatan Mutu Briket dari Limbah Serbuk Kayu Jati dengan Penambahan Limbah Minyak Jelantah (p. JIM 2 (1) 25-34).
- Sari, A. N., Nurhilal, O., & Suryaningsih, S. (2018). Pengaruh Konsentrasi Briket Campuran Sekam Padi dan Serutan Kayu Albasia terhadap Emisi Karbon Monoksida dan Laju Pembakaran. *Jurnal Material Dan Energi Indonesia*, 08(02), 25–32.
- Satmoko, M. E., Saputro, D. D., & Budiyono, A. (2013). Karakteristik Briket dari Limbah Pengolahan Kayu Sengon dengan Metode Cetak Panas. *Journal of Mechanical Engineering Learning*, 2(1), 1408–1412.
- Setyawan, B., & Ulfa, R. (2019). Pengaruh Komposisi Bahan Baku dan Perekat Terhadap Emisi Gas Briket Arang Kulit Kopi dan Tempurung Kelapa. Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Universitas Pgrisri Banyuwangi. 267–276.
- Sinta, Yenie, E., & Andrio, D. (2020). Pengaruh Tekanan Pengepresan terhadap Nilai Kuat Tekan Briket. *Jom Fteknik*, 7(2), 1–4.
- Sulistio, Y., Febryano, I.G., Hasanudin, U., Yoo, J., Kim, S., Lee, S., dan Hidayat, W. 2020. Pengaruh Torefaksi dengan Reaktor *Counter-Flow Multi Baffle* (COMB) dan Electric Furnace terhadap Pelet Kayu Jabon (*Anthocephalus cadamba*). *Jurnal Sylva Lestari*, 8(1): 65-76
- Suryaningsih, S. R. I., Nurhilal, O., & Affandi, K. A. (2018). Pengaruh Ukuran Butir Briket Campuran Sekam Padi dengan Serbuk Kayu Jati terhadap Emisi Karbon Monoksida (CO) dan Laju Pembakaran. 02(01), 15–21.
- Suryaningsih, S., & Pahleva, D. R. (2020). Analisis Kualitas Briket Tandan Kosong dan Cangkang Kelapa Sawit dengan Penambahan Limbah Plastik *Low Density Polythelene* (LDPE) sebagai Bahan Bakar. *Jurnal Material Dan Energi*, 10(01), 27–35.
- Utomo, S. (2015). Pembuatan Briket dari Serbuk Kayu Gergaji dan Oli Bekas. Simposium Nasional Teknologi Terapan, 3, 1–8.
- Wahida, L. N. (2021). Karakteristik Briket Bioarang dari Campuran Limbah Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*), Sekam Padi, dan Tempurung Kelapa. 134.
- Widodo, A. A. (2016). Pengaruh Tekanan terhadap Karakteristik Briket Bioarang dari Sampah Kebun Campuran dan Kulit Kacang Tanah dengan Tambahan Minyak Jelantah.
- Wijaya AK, A. A., Yulianti, N. L., & Putu Gunadnya, I. B. (2021). Karakteristik Briket Biomassa dari Variasi Bahan Baku dan Persentase Perekat yang Berbeda. *Jurnal BETA (Biosistem Dan Teknik Pertanian)*, 9(2), 202.
- Wijaya, Purwita Dan Aji Hermawan. (2012). Analisis Pemanfaatan Limbah Kulit Singkong Sebagai Bahan Bakar Alternatif Biobriket, Skripsi, Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor Jawa Barat,
- Witjonarko, R. D. E., & Haryono, E. (2017). Kajian Eksperimental Emisi Gas Buang *Two Stroke Marine Diesel Engine* Berbahan Bakar Campuran Minyak Solar (HSD) dan Biodiesel Minyak Jelantah pada Beban Simulator *Full Load*. 7(2), 84–97.