

BIOBRIKET CAMPURAN BOTTOM ASH BATU BARA LIMBAH PLTU DAN BIOMASSA MELALUI PROSES KARBONISASI SEBAGAI SUMBER ENERGI TERBARUKAN

Sugeng Slamet¹, Budi Gunawam²

¹ Progdil Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muria Kudus
Jl. Gondang manis Po.Box 53, Bae-Kudus- Indonesia

² Progdil Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muria Kudus
*Email : Sugengteknik@gmail.com

Abstrak

Batu bara masih merupakan bahan bakar unggulan sebagai sumber energi bagi sejumlah pembangkitan listrik/power plant di Indonesia. Ada beberapa keunggulan yang dimilikinya, selain ketersediaannya yang melimpah, proses produksi yang relatif sederhana, harga murah juga memiliki nilai panas yang sangat tinggi untuk jenis antrasite. Indonesia sebagai negara tropis juga kaya akan sumber energi hayati berupa biomassa yang dapat diolah lebih lanjut menjadi berbagai macam bahan bakar baik padat, gas maupun cair. Salah satunya adalah produk energi biomassa berupa biobriket. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa potensi limbah biomassa dengan bottom ash dengan beberapa komposisi terhadap sifat fisis dan kimia yang dimiliki, untuk referensi sebagai bahan bakar padat alternatif.

Metode penelitian yang dilakukan adalah mengolah campuran bottom ash di PLTU Tanjung Jati Kabupaten Jepara jenis sub bituminous yang dikombinasi dengan beberapa biomassa melalui proses karbonisasi. Biomassa yang digunakan meliputi tempurung kelapa, cangkang buah kopi dan cangkang kapuk. Biomassa dan bottom ash yang telah dibuat serbuk, selanjutnya dilakukan proses kompaksi dengan tekanan kompaksi 4 : 2. Komposisi biomassa dan bottom ash terdiri 50 : 50 ; 60 : 40 ; 70 : 30 dalam prosen berat. Pengujian yang dilakukan dari biobriket campuran bottom ash dan biomassa ini adalah komposisi senyawa, kadar air, kadar abu terhadap nilai teoritis batu bara jenis bituminous..

Hasil pengujian menggunakan SEM-EDS menunjukkan pengurangan prosen berat bottom ash menaikkan kadar carbon dan menurunkan senyawa SO_x pada semua komposisi biobriket. Kadar carbon campuran bottom ash dengan biomassa arang tempurung kelapa naik rata-rata 10,95%, arang cangkang kopi 7.25% dan arang cangkang kapuk 15.0%. Sedangkan senyawa sulfur oksida (SO_x) pada biobriket menunjukkan prosentase berbeda, komposisi terendah pada campuran biobriket 60 : 40 biomassa tempurung kelapa. Kadar air campuran bottom ash dengan biomassa tempurung kelapa naik rata-rata 2.68%, cangkang kulit kopi 3.93% dan cangkang kulit kapuk 2.75%. Sedangkan kadar abu biomassa tempurung kelapa naik rata-rata 11.41%, cangkang kulit kopi 11.09% dan cangkang kulit kapuk 9.13%. Penambahan biomassa pada biobriket meningkatkan kadar abu hingga 15%.

Kata kunci : biomassa, bottom ash, biobriket, kadar air, kadar abu

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan bahan bakar untuk keperluan rumah tangga maupun industri dari tahun ke tahun semakin meningkat. Sementara itu ketersediaan bahan bakar minyak dan gas selain harganya terus meningkat juga produksi dan distribusinya sering terkendala. Bahan bakar sudah menjadi kebutuhan utama bagi masyarakat untuk menggerakkan roda perekonomian bangsa. Selain untuk keperluan sehari-hari bagi rumah tangga, bahan bakar juga merupakan sumber energi untuk menggerakkan mesin-mesin produksi bagi industri kecil menengah/IKM. Pada kalangan industri, usahawan kecil menengah dan rumah tangga, bahan bakar merupakan bahan baku produksi yang harus ada. Kenaikan bahan bakar akan menjadi tekanan ekonomi bagi mereka.

Disisi lain pemerintah terus mendorong program kemandirian energi berbasis potensi daerah yang ada. Hal ini bertujuan mengurangi ketergantungan masyarakat akan penggunaan bahan bakar minyak dan terus mengupayakan konversi energi ke bahan bakar alternatif dengan memanfaatkan potensi lokal yang dapat dikembangkan. Penciptaan bahan bakar alternatif melalui program konversi energi yang memungkinkan untuk diupayakan adalah dengan memanfaatkan potensi lokal yang selama ini kurang diperhatikan. Bahan bakar batu bara yang digunakan pada power

plant berpotensi menghasilkan limbah abu yang diperkirakan masih menyimpan energi panas yang relatif besar. Potensi limbah batubara dari beberapa power plant terdekat dari Universitas Muria Kudus yang dapat dijadikan sebagai sumber bahan baku adalah PLTU Tanjung jati A dan B, Pura Power Plant, PLTU di Sluke – Rembang.

Komponen pembentuk batu bara berdasarkan analisis proksimat terdiri dari: air lembab (*Moisture* = M), abu (*Ash* = A), materi mudah menguap (*Volatile Matter* = VM), karbon tertambat (*Fixed Carbon* = FC). Komponen *volatile* adalah kandungan yang mudah menguap kecuali *moisture*. Penguapan terjadi pada temperatur tinggi tanpa adanya udara (*pyrolysis*), umumnya adalah senyawa-senyawa organik, gas CO₂, dan gas SO₂ yang terdapat pada batubara. Adapun komposisi bahan bakar padat (Syamsir, 1988) pada tabel 1.

Tabel 1. Komposisi bahan bakar padat

Fuel	Ultimate Analysis						Gross HV Kcal/Kg
	Carbon	Hidrogen	Oksigen	Nitrogen	Sulfur	Ash	
Wood	48.5	6.0	43.5	0.5	-	1.5	2500
Peat	58.0	6.3	30.5	0.9	-	4.0	3500
Lignite	66.0	5.0	20.0	1.0	3.5	3.5	5000
Bituminous	81.0	5.0	8.0	1.5	1.0	3.5	7500
Anthrasite	91.0	3.0	2.5	0.5	0.5	2.5	8500

Abu batubara yang merupakan limbah dari proses pembangkit tenaga listrik tersebut dapat berupa abu terbang dan abu dasar. Abu tersebut kemudian dipindahkan kelokasi penimbunan abu dan terakumulasi dilokasi tersebut dalam jumlah yang sangat banyak. Dengan bertambahnya jumlah abu batubara, maka perlu usaha usaha untuk memanfaatkan limbah padat tersebut . Abu batubara sebagai limbah abu padat hasil proses pembakaran terdiri dari 20 % abu terbang dan 80 % abu dasar secara mineralogi yang tersusun dalam fasa amorf, kristalin dan memiliki daya rekat (*pozzolan*) dengan komposisi kimia utama SiO₂, Al₂O₃, MgO, dan komposisi pendukung CaO, NaO dan Fe₂O₃ (American Electric Power, 2004). Abu batubara mengandung SiO₂ = 58,75 %, Al₂O₃ = 25,82 %, Fe₂O₃ = 5,30 % CaO = 4,66 %, alkali = 1,36 %, MgO = 3,30 % dan bahan lainnya = 0,81 % (Misbachul Munir,2008). Beberapa logam berat yang terkandung dalam abu batubara seperti tembaga (Cu), timbal (Pb), seng (Zn), kadmium (Cd), chrom (Cr).

Abu dasar memiliki warna gelap, dengan ukuran butiran (partikel) kasar, sementara abu terbang berwarna terang dengan butiran yang halus. Abu batubara mempunyai ukuran partikel dalam beberapa mikron dengan komposisi pembentukan komposisi kimia terdiri dari SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, dan MgO dengan mineral tambahan mullite (Al₆Si₂O₁₃) dan magnite (Fe₃O₄).

Bottom Ash masih memiliki nilai kalori 3000 kkal/kg (Suwanto, 2014). *Bottom ash* merupakan limbah berupa abu dasar yang memiliki massa yang lebih tinggi dari *fly ash*.



Gambar 1. Biobriket

Komponen utama dari *bottom ash* adalah oksida-oksida/mineral yang mengandung silika, aluminium, besi, kalsium, natrium dan magnesium. Komponen-komponen tersebut sangat berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan sekitar, oleh sebab itu diperlukan penanganan terhadap limbah *bottom ash* ini (Hartanto, widiastuti, ulfin. 2010).

Batubara yang terbakar kurang sempurna atau dengan perkataan lain masih ada karbon yang tersisa. *Ash* yang terbentuk terutama *bottom ash* masih memiliki kandungan kalori 3000- 3600 kkal/kg. Di beberapa negara, *bottom ash* / berupa bara yg tak terbakar habis (*pyrites*) digunakan sebagai bahan bakar untuk tungku pandai besi, pembakaran kapur. Sumber energi biomassa mempunyai beberapa kelebihan antara lain merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*) sehingga dapat menyediakan sumber energi secara berkesinambungan (*sustainable*). Di Indonesia, biomassa merupakan sumber daya alam yang sangat penting dengan berbagai produk primer sebagai serat, kayu, minyak, bahan pangan dan lain-lain yang selain digunakan untuk memenuhi kebutuhan domestik juga diekspor dan menjadi tulang punggung penghasil devisa negara.

Penanganan limbah sangat dianjurkan menggunakan teknik 3R (*Reuse, Reduce, Recycle*). Briket yang akan dikembangkan dalam penelitian ini adalah komposisi antara *bottom ash* dengan biomassa tempurung kelapa, cangkang kulit kopi dan cangkang kulit kapuk. Proses pembriketan adalah proses pengolahan yang mengalami perlakuan penggerusan, pencampuran bahan baku, pencetakan dan pengeringan pada kondisi tertentu, sehingga diperoleh briket yang mempunyai bentuk, ukuran fisik, dan sifat kimia tertentu. Tujuan dari pembriketan adalah untuk meningkatkan kualitas sebagai bahan bakar, mempermudah penanganan dan transportasi serta mengurangi kehilangan bahan dalam bentuk debu pada proses pengangkutan (Titin, 2013). Arang merupakan residu hitam berbentuk padatan berpori yang mengandung 85- 95% karbon, dihasilkan dengan menghilangkan kandungan air dan komponen *volatile* dari bahan-bahan yang mengandung karbon melalui pemanasan pada suhu tinggi. Komarayati (2013) mendefinisikan bahwa arang adalah residu berwarna hitam hasil pembakaran pada keadaan tanpa oksigen yang mengandung karbon yang berbentuk padat dan berpori, seperti kayu atau bahan biomaterial lainnya. Sebagian pori-pori masih tetap tertutup dengan hidrokarbon, dan senyawa organik lain. Komponennya terdiri dari karbon terikat (*fixed carbon*), abu, air, nitrogen dan sulfur.

Arang merupakan produk setengah jadi dalam pembuatan arang aktif dan kualitas arang aktif yang dihasilkan diantaranya dipengaruhi oleh kesempurnaan proses pengarangan. Pengarangan merupakan salah satu dari proses termokimia yang dapat mengkonversi biomassa menjadi arang (Nailul F, 2009).

Briket batubara karbonisasi ; briket jenis ini mempunyai karakteristik yang lebih baik dibandingkan dengan briket non karbonisasi, hal ini disebabkan sebagian besar *volatile matter*nya sudah hilang atau berubah menjadi senyawa karbon di dalam briketnya. Nilai kalor yang ditimbulkan lebih tinggi, kadar belerang rendah sehingga mengurangi polusi dalam penggunaannya. Suatu cara untuk pemanfaatan biomassa ialah dengan pirolisa (*pyrolysis*) yaitu suatu proses pemanasan bahan baku secara bebas udara, sehingga tidak ada oksidasi. Cara ini menghasilkan suatu bahan bakar yang dapat mempunyai bentuk benda padat, cair atau gas. Bahan bakar padat akan berupa arang, sebagaimana dikemukakan sebelumnya (As'ari, 2011). Upaya selanjutnya adalah melakukan analisis kelayakan limbah batubara tersebut sebagai bahan baku pembuatan briket halus dengan kadar sulfur rendah. Bahan bakar ini dapat digunakan untuk menggantikan bahan bakar minyak terutama untuk kebutuhan rumah tangga dan industri kecil menengah.

2. METODOLOGI

Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan briket adalah limbah abu batubara pada boiler berupa *bottom ash* dan biomassa berupa tempurung kelapa, cangkang kapuk dan cangkang kopi. Untuk menghasilkan produk specimen biobriket dilakukan proses karbonisasi biomassa, yang mana dilakukan proses pemanasan dengan temperatur sebesar 300°C dalam bejana tertutup yang memungkinkan oksigen sangat sedikit. Proses ini hanya meninggalkan carbon sebagai residu. Proses ini sangat efektif untuk menghilangkan kandungan zat terbang serta kadar air. Dalam penelitian ini kami menggunakan bahan *bottom ash* yang berasal dari pembakaran batubara yang tidak sempurna, jenis batubara yang digunakan adalah *batubarabituuminous*. Untuk mengikat partikel arang biomassa dan *bottom ash* menggunakan resin alam/ tetes tebu.



Gambar 2. Unit reaktor karbonisasi

Peralatan yang digunakan meliputi :

1. Reaktor pirolisis (tungku dan tabung pengarangan).
2. *Thermometer Infrared*
3. Penumbuk arang
4. Ayakan mesh 400.
5. Timbangan digital
6. Cetakan briket
7. Mesin press
8. Oven pemanas
9. Pengukur kadar air
10. SEM-EDS

Bahan baku yang digunakan biomassaterdiri : tempurung kelapa, tempurung kapuk, cangkang kulit kopi dan bottom ash PLTU Tanjung jati-Jepara.

Jenis pengujian yang dilakukan meliputi : Pengujian senyawa menggunakan SEM-EDS, pengujian kadar air dan pengujian kadar abu.

Komposisi biobriket terdiri atas campuran bottom ash dan biomassa sebagai berikut :50 : 50 ; 60 : 40 ; 70 : 30 dalam prosen berat dengan pengikat resin alami tetes tebu.

Proses fabrikasi biobriket yang dilakukan meliputi : pengeringan bahan, karbonisasi, penggilingan menjadi serbuk, pengayakan, *blending dan mixing*, dan pengepresan dengan perbandingan kompaksi 4:2.

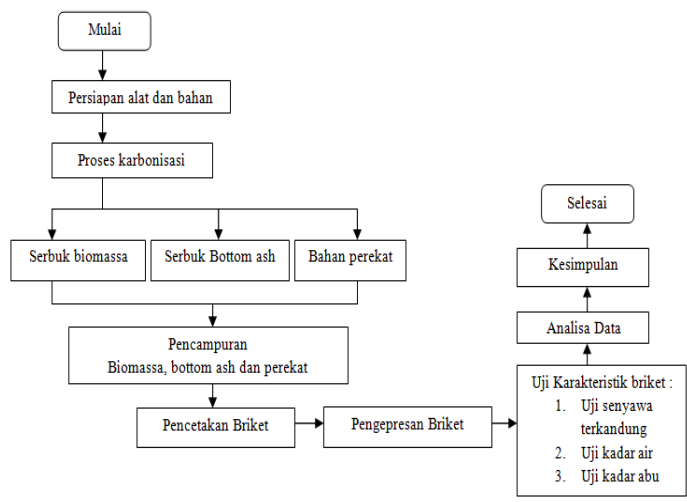


Gambar 3. Cetakan biobriket

Volume cetakan 70,65 cm³, untuk menentukan komposisi berat masing-masing komponen dinyatakan dengan :

$$m = \rho \times V \dots\dots\dots(1)$$

Sedangkan metode yang kami lakukan sebagaimana ditunjukkan gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir penelitian

Selanjutnya specimen biobriket dilakukan pengujian meliputi :

1. Pengujian SEM- EDS
2. Pengujian kadar air

Kadar air dari specimen dikadar air dengan rumus sebagai berikut:

$$KA1 = \frac{b - c}{b - a} \times 100\%$$

$$KA2 = \frac{c - d}{b - a} \times 100\%$$

Kadar air sesungguhnya =

$$KA1 + KA2 - (KA1 \times KA2) / 100 \dots \dots \dots (2)$$

3. Pengujian kadar abu

$$\text{Kadar Abu Total} = \frac{\text{Massa Abu Total}}{\text{Massa Sampel}} \times \dots \dots \dots (3)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

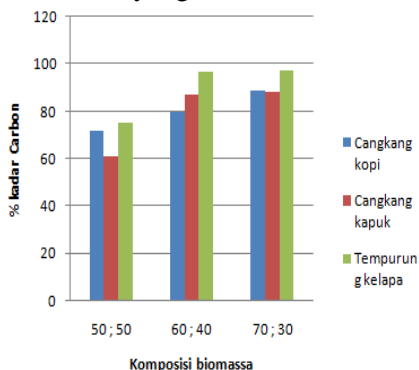
Perhitungan volume tabung menghasilkan volume briket sebesar 70,65 cm³. Volume briket tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung massa biomassa dan bottom ash dengan prosentase perbandingan 50 : 50, 60 : 40, dan 70 : 30. Massa jenis arang tempurung kelapa 0.75 g/cm³, cangkang kopi 0.34 g/cm³, cangkang kapuk 0,91 g/cm³ dan bottom ash 1.28 g/cm³. Setelah dilakukan pengujian didapatkan hasil pada tabel 2.

Tabel 2. Pengujian komposisi biobriket

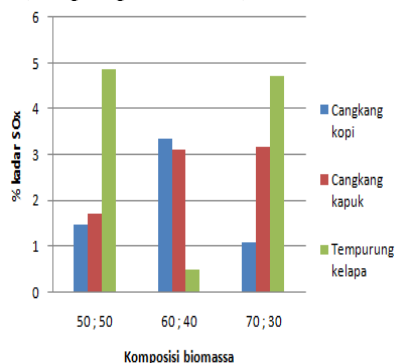
No Jenis Biomassa	Tipe	Komposisi (%)	Kadar Carbon (%)	Sulfur Oksida (%)	Kadar air (%)	Kadar Abu (%)
1 Cangkang kopi	A	50; 50	71.86	1.47	2.93	35.09
	B	60; 40	79.4	3.33	4.18	40.25
	C	70; 30	88.67	1.08	4.7	47.92
2 Cangkang kapuk	D	50; 50	60.91	1.71	2.57	37.88
	E	60; 40	87.13	3.09	2.46	42.37
	F	70; 30	88.06	3.16	3.22	48.98
3 Tempurung kelapa	G	50; 50	74.98	4.88	2.88	46.38
	H	60; 40	96.94	0.48	2.34	50.62
	I	70; 30	97.29	4.71	2.83	62.12

Dari tabel 2. diatas menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan terhadap penambahan biomassa terhadap peningkatan kadar carbon pada briket campuran dengan bottom ash. Dari tabel tersebut di atas diperoleh grafik kadar karbon, kadar sulfur oksida, kadar air dan kadar abu untuk masing-masing komposisi biobriket. Hasil pengujian SEM-EDS menunjukkan prosen

karbon terhadap komposisi bio briket sebagaimana ditunjukkan pada gambar 5. Peningkatan kadar carbon biomassa cangkang kopi sebesar 9,5% untuk komposisi 50 : 60 dan 10,5% untuk komposisi 60 : 70. Biomassa cangkang kapuk naik 30% pada komposisi 50 : 60 sedangkan penambahan komposisi 60 : 70 sekitar 1%. Begitu juga biomassa tempurung kelapa kadar carbon mengalami kenaikan cukup signifikan sebesar 22% pada komposisi 50 : 60 sedangkan komposisi 60:70 hanya sekitar 1%. Besarnya prosen karbon sangat menentukan nilai panas biobriket. Nilai panas merupakan jumlah energi kalor yang dilepaskan oleh bahan bakar saat terjadi proses oksidasi dari unsur-unsur kimia yang ada di dalam bahan bakar tersebut (Napitupulu, 2006).



Gambar 5. Prosentase karbon



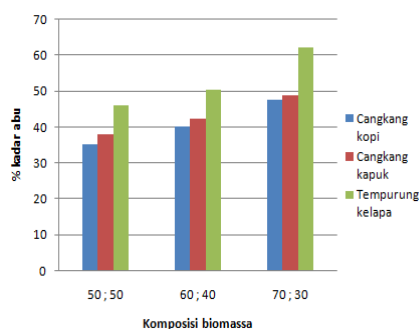
Gambar 6. Prosentase SOx

Sebagaimana diketahui penggunaan batu bara sangat beresiko bagi kesehatan makhluk hidup, hal ini dikarenakan kadar sulfur yang terkandung pada batu bara mencapai 3,5%. Oleh karena itu penggunaan bottom ash sebagai campuran dalam biobriket juga perlu dilakukan pengujian kadar sulfur oksida (SO_x). Hal ini untuk memastikan bahwa kadar belerang yang ada masih relatif aman jika biobriket ini digunakan manusia. Pada gambar 6.grafik diatas menunjukkan penambahan biomassa cangkang kopi menurunkan kadar SO_x hingga 1,08 % pada komposisi 70:30. Sedangkan untuk biomassa cangkang kapuk relatif tinggi untuk semua komposisi. Biomassa tempurung kelapa pada komposisi 60 : 40 menunjukkan penurunan kadar SO_x hingga 0,48%. Kadar belerang dalam bakar mampu dapat meningkatkan nilai panasnya (Hardjono, 2001).

Kadar abu erat kaitannya dengan inorganik atau garam dalam bahan bakar, abu yang berlebihan pada bahan bakar briket dapat menyebabkan pengendapan kotoran pada peralatan pembakaran serta pencemaran udara. Gambar 7. Menunjukkan peningkatan kadar abu untuk semua komposisi campuran bottom ash dan biomassa. Biomassa arang cangkang kopi mengalami kenaikan rata-rata 11,09%, biomassa arang cangkang kapuk naik rata-rata 9,13% dan arang tempurung kelapa naik rata-rata 11,4%. Nilai kadar abu biobriket menunjukkan nilai linearitas, dimana penambahan biomassa sangat mempengaruhi penambahan prosen kadar abu yang terbentuk.

Pengujian kadar air terhadap komposisi bahan baku briket sebagaimana ditunjukkan pada gambar 8. Air yang terkandung dalam bahan bakar padat terdiri dari:

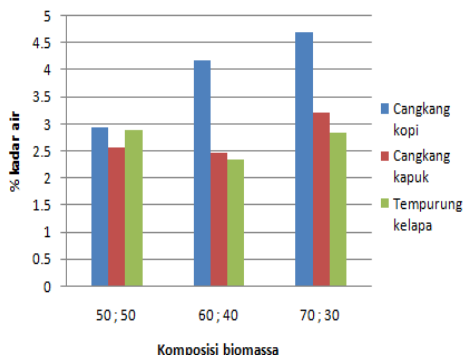
- a. Kandungan air internal atau air kristal, yaitu air yang terikat secara kimiawi.
- b. Kandungan air eksternal atau air mekanikal, yaitu air yang menempel pada permukaan bahan dan terikat secara fisis atau mekanis.



Gambar 7. Prosentase abu

Air dalam bahan bakar merupakan uap air yang bercampur dengan bahan bakar tersebut. Air yang terkandung dalam bahan bakar menyebabkan penurunan mutu bahan bakar karena:

- a. Menurunkan nilai kalor dan memerlukan sejumlah kalor untuk penguapan
- b. Menurunkan titik nyala
- c. Memperlambat proses pembakaran, dan menambah volume gas buang.



Gambar 8. Prosentase kadar air

Hasil pengujian kadar air menunjukkan hasil yang bervariasi, namun jika dikaitkan dengan nilai karbon yang sangat berpengaruh terhadap nilai panas maka komposisi 60:40 untuk semua campuran bottom ash dan biomassa menunjukkan nilai yang cukup signifikan. Biobriket campuran bottom ash dan arang tempurung kelapa menunjukkan nilai kadar air relatif rata-rata 2,68%. Sedangkan nilai kadar air dengan biomassa arang cangkang kapuk rata-rata 2,75% dan arang cangkang kopi rata-rata 3,93%. Perbandingan teoritis antara biobriket dengan batu barabituminous untuk beberapa senyawa terkandung sebagaimana ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan teoritis biobriket dan bituminous

No	Jenis bahan bakar	Kadar Carbon %	Kadar air %	Kadar abu %
1	Cangkang kopi	79.9	3.94	41.09
2	Cangkang kapuk	78.7	2.75	43.08
3	Tempurung kelapa	89.8	2.68	53.04
4	Bituminous coal	81.0	3.50	3.5

Dari tabel di atas menunjukkan bahwa adanya kenaikan yang signifikan terhadap penggunaan jenis biomassa terhadap kadar karbon dan penurunan kadar airnya. Nilai kadar abu menunjukkan bahwa penambahan biomassa akan meningkatkan kadar abu biobriket hingga 15%.

Nilai panas briket biomassa/biobriket dibanding beberapa bahan bakar fosil nilainya lebih rendah. Namun ada beberapa hal yang sangat menguntungkan dari penggunaan biobriket yaitu besarnya potensi biomassa di Indonesia yang merupakan sumber bahan baku, untuk memproduksinya tidak membutuhkan investasi dan teknologi yang tinggi (*low cost and technology*), merupakan sumber energi terbarukan/hijau (*green energy*), tidak banyak menimbulkan dampak negatif lingkungan baik tanah, air dan udara, dapat dikerjakan sendiri oleh masyarakat maupun *corporate* dan harga biobriket lebih murah.

Arang tempurung kelapa adalah produk yang diperoleh dari pembakaran tidak sempurna terhadap tempurung kelapa. Sebagai bahan bakar, arang lebih menguntungkan dibanding kayu bakar. Arang memberikan kalor pembakaran yang lebih tinggi sebesar 16.900 kJ/kg, dan asap yang lebih sedikit. Arang dapat ditumbuk, kemudian dikempa menjadi briket dalam berbagai macam bentuk (Nur Asni, 2013).

Dari uraian tersebut di atas menunjukkan bahwa *bottom ash* dapat dijadikan sebagai bahan bakar padat alternatif dengan cara melakukan proses daur ulang untuk selanjutnya dilakukan proses karbonisasi dengan biomassa lain sehingga nilai panasnya dapat ditingkatkan. Penggunaan biomassa sebagai campuran briket akan lebih ramah lingkungan dikarenakan biomassa tersebut tidak mengandung unsur-unsur yang berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan terutama sulfur sebagaimana dijumpai pada batu bara murni. *Bottom ash* merupakan pengotor dari batu bara yang

tidak bisa terbakar sehingga pada proses pembakaran batubara di *boiler* pengotor ini akan jatuh ke bawah menuju tempat penampung limbah.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

- (1) Komposisi limbah batu bara/*bottom ash* dengan beberapa biomassa merupakan sumber energi terbarukan untuk menggantikan sumber bahan bakar fosil.
- (2) Kadar carbon campuran *bottom ash* dengan biomassa arang tempurung kelapa naik rata-rata 10,95%, arang cangkang kopi 7.25% dan arang cangkang kapuk 15.0%. Sedangkan senyawa sulfur oksida (SOx) pada biobriket menunjukkan prosentase berbeda, komposisi terendah pada campuran biobriket 60 : 40 biomassa tempurung kelapa.
- (3) Kadar air campuran *bottom ash* dengan biomassa tempurung kelapa naik rata-rata 2.68%, cangkang kulit kopi 3.93% dan cangkang kulit kapuk 2.75%. Sedangkan kadar abu biomassa tempurung kelapa naik rata-rata 11.41%, cangkang kulit kopi 11.09% dan cangkang kulit kapuk 9.13%.
- (4) Proses karbonisasi pada bahan baku biobriket mampu menurunkan prosentase senyawa berbahaya khususnya SOx yang terkandung dalam limbah batu bara.
- (5) Penambahan biomassa pada biobriket meningkatkan kadar abu hingga 15%.

DAFTAR PUSTAKA

- As'ari, 2011, Pengaruh slow heating pada saat karbonisasi terhadap kualitas karbon tempurung kelapa, Program studi Fisika FMIPA Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- American Electric Power, 2004.
- Hartanto, Widiastuti, Ulfan, 2010, Pemanfaatan Limbah Abu Dasar (Bottom ash) sebagai bahan penyerap multifungsi untuk Ammonia dan Organik Pada Air tambak udang serta penyerapan logam berat dari limbah industri pelapisan logam, Research Report, Research Institutions and Community Service, ITS 541.335 Djo p.2009.
- Hardjono, A, 2001, Teknologi minyak bumi, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Komarayati, 2013, Arang dan cuka kayu : Produk hasil hutan buka kayu untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman dan serapan hara karbon, Pusat litbang keteknikan hutan, Bogor.
- Misbachul Munir, 2008, Pemanfaatan abu batubara (*fly ash*) untuk hollow block yang bermutu dan aman bagi lingkungan. Program Magister Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Diponegoro, Semarang.
- Muin A Syamsir, 1988, Konversi Energi I, Jakarta, Rajawali Press
- Nur Asni dan Linda Yanti, 2013, Teknologi Pengolahan Arang Tempurung Kelapa, Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Jambi.
- Napitupulu, FH, 2006, Pengaruh nilai kalor (heating value) suatu bahan bakar terhadap perencanaan volume ruang bakar ketel uap berdasarkan metode penentuan nilai kalor bahan bakar yang dipergunakan, FT-USU, Sumatera.
- Nailul Fauziah, 2009, Pembuatan arang aktif secara langsung dari kulit Acacia mangium wild dengan aktivasi fisika dan aplikasinya sebagai adsorben, IPB, Bogor.
- Suwarto, 2014, Pemanfaatan bottom ash limbah bahan bakar batu bara pada industri tekstil untuk beton massal, Jurusan teknik sipil, Politeknik Negeri Semarang.
- Titin, 2013, Proses pembuatan briket dari campuran serbuk gergaji kayu jati, daun bambu dan bonggol jagung, _____