

PEMBUATAN BRIKET KOMPOSIT PLASTIK *POLYETHYLENE*, ARANG TEMPURUNG KELAPA, DAN ARANG SEKAM PADI SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF

P. Coniwanti¹, A. G. Putri¹, M. Chandra¹

¹ Teknik Kimia, Universitas Sriwijaya, Palembang
Corresponding author: auliagayendra@gmail.com

ABSTRAK: Kehidupan pada era globalisasi menghasilkan peningkatan pertumbuhan penduduk dan ekonomi yang berbanding lurus terhadap permintaan bahan bakar namun berbanding terbalik terhadap ketersediaan bahan bakar fosil, hal tersebut dapat ditanggulangi dengan menciptakan energi alternatif. Plastik HDPE dan LDPE yang berpotensi dalam menciptakan kekumuhan memiliki nilai kalor yang sangat tinggi yaitu 11.207 kkal/kg dan 12.318,4 kkal/kg, namun memiliki kadar zat terbang mencapai 99%. Kombinasi plastik *polyethylene* dengan biomassa seperti tempurung kelapa dan sekam padi yang memiliki kadar zat terbang yang rendah dan mengandung kadar selulosa dan lignin yang tinggi berpotensi menghasilkan briket sebagai bahan bakar alternatif dengan kualitas yang baik. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mendapatkankarakteristik briket terbaik dari sembilan komposisi campuran (plastik *polyethylene*:tempurung kelapa:sekam padi) berdasarkan standarisasi briket yang ada. Plastik *polyethylene* yang digunakan yaitu plastik HDPE dan LDPE. Bahan baku arang tempurung kelapa dan arang sekam padi yang digunakan merupakan hasil proses karbonisasi pada variasi temperatur 400°C, 500°C, dan 600°C. Pada penelitian ini diperoleh briket dengan kualitas optimal pada temperatur 600°C, komposisi 20% *low density polyethylene*:65% arang tempurung kelapa:15% arang sekam padi dengan nilai kadar air 5,97%, kadar abu 7,98%, *volatile matter* 35,39%, *fixed carbon* 50,36%, dan nilai kalor 7.419,48 kal/gr.

Kata Kunci: Briket, Tempurung Kelapa, Sekam Padi, Polietilena, Karbonisasi

ABSTRACT: Life in an era of the globalization brings the increasing of population and economic growth which is directly proportional to fuel demand but inversely proportional to the existence of fossil fuel, this condition can be overcome by creating the alternative energy. HDPE and LDPE plastics which potentially create slums have a high calorific value of 11,207 kcal/kg and 12,318.4 kcal/kg, but contain of 99% volatile matter. The combination of polyethylene plastics with biomass such as coconut shell and rice husk which contain the little amount of volatile matter and high levels of cellulose and lignin has the potency to produce a good quality of briquette as alternative fuels. The purpose of this study is to obtain the best briquette characteristic from nine compositions (polyethylene plastik:coconut shell:rice husk) based on the standardization. Thepolyethylene plastikused is HDPE and LDPE plastics. Thecoconut shell charcoal and rice husk charcoal are the result of carbonization process at temperature of 400°C, 500°C, and 600°C. In this research,the optimal quality of briquette were obtained at the carbonization temperature of 600°C with a composition of 20% low density polyethylene:65% coconut shell charcoal:15% rice husk charcoal which has moisture content 5.97%, ash content 7.98%, volatile matter 35.39%, fixed carbon 50.36%, and calorific value 7419,48 cal/gr.

Key Words: Briquette, Coconut Shell, Rice Husk, Polyethylene, Carbonization

PENDAHULUAN

Studi mengenai energi alternatif ataupun energi baru dan terbarukan sebagai solusi kelangkaan bahan bakar fosil terus mengalami perkembangan. Salah satu contoh yang paling sederhana dan telah dikembangkan

hingga sekarang yaitu studi mengenai pembuatan briket menggunakan bahan baku berupa biomassa dan batubara, serta inovasi penggunaan limbah plastik sebagai bahan baku pembuatan briket. Sampah plastik sangat berpotensi sebagai bahan baku pembuatan briket karena memiliki nilai kalor yang tinggi dan

ketersediaannya melimpah. Indonesia menghasilkan limbah plastik terbesar kedua di dunia yang langsung dibuang ke laut sebanyak 187,2 juta ton per tahun (Jambeck, 2015).

Terdapat berbagai macam sampah plastik, namun yang paling sering ditemukan yaitu *polyethylene* yang terdiri dari dua jenis yaitu *high density polyethylene* dan *low density polyethylene*. Nilai kalor plastik jenis LDPE sangat tinggi sebesar 12.318,4 kkal/kg, sedangkan nilai kalor jenis HDPE yaitu 11.207 kkal/kg (Damanhuri, 2010). Namun, kadar zat terbang yang mencapai 99% menyebabkan kecenderungan untuk cepat habis serta menimbulkan asap, sehingga diperlukan pencampuran dengan material lain seperti limbah organik (Anggun, 2014).

Limbah organik yang biasanya digunakan sebagai bahan baku pembuatan briket yaitu tempurung kelapa dan sekam padi karena memiliki kandungan serat kasar yang tinggi seperti selulosa dan lignin. Menurut data Badan Pusat Statistik, total keseluruhan produksi padi di Indonesia tahun 2016 mencapai 79,2 juta ton padi, sehingga produksi sekam padi di Indonesia berpotensi mencapai 18 juta ton per tahun (Purba, 2017).

Setiap bahan baku memiliki kelebihan dan kekurangan di setiap aspek, sehingga perlu dilakukan pembuatan briket dengan kombinasi antara limbah organik dan sampah plastik untuk meningkatkan nilai kalor dan kualitas proksimat dari briket tersebut. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kondisi dan komposisi bahan baku penyusun briket yang terbaik sehingga layak digunakan sebagai sumber energi atau bahan bakar alternatif. Permasalahan pada penelitian ini adalah tidak diketahui proses pembuatan briket komposit plastik *polyethylene*, arang tempurung kelapa, dan arang sekam padi. Permasalahan pada penelitian ini adalah tidak diketahui proses pembuatan serta kualitas briket komposit plastik *polyethylene*, arang tempurung kelapa, dan arang sekam padi.

Briket

Briket merupakan hasil konversi energi berwujud padat dengan bahan baku berupa batubara atau biomassa sehingga memiliki nilai kalor yang tinggi sebagai energi alternatif. Proses pembuatan briket umumnya dilakukan melalui proses pembakaran tidak sempurna terhadap bahan baku agar tidak menghasilkan abu.

Briket memiliki parameter yang harus dipenuhi sebagai bahan bakar yang baik, yaitu:

- Mudah untuk dinyalakan
- Tidak menghasilkan asap pada saat pembakaran

- Emisi gas yang ditimbulkan rendah dan tidak mengandung racun
- Kedap air dan tidak berjamur apabila disimpan dalam waktu yang lama
- Memiliki waktu, laju, dan temperatur pembakaran yang baik

Parameter Kualitas Briket

Parameter kualitas briket dapat diketahui melalui metode, seperti metode ASTM (*American Society for Testing and Materials*) yaitu analisa proksimat dan nilai kalor.

Kadar Air

Kadar air adalah keseluruhan jumlah air pada briket. Kadar air dapat ditentukan melalui perbandingan massa air briket dan massa kering briket setelah proses pengovenan. Pengaruh kadar air terhadap briket yaitu semakin tinggi kandungan air maka semakin rendah nilai kalor dan kualitas briket. Kadar air yang rendah pada briket menyebabkan peningkatan nilai kalor karena panas yang dihasilkan tidak terlalu banyak digunakan untuk menguapkan air dan langsung digunakan sebagai panas pembakaran (Hendra, 2000).

Kadar Abu

Kadar abu merupakan zat sisa dari hasil pembakaran briket. Senyawa utama penyusun abu adalah silika yang dapat menurunkan nilai kalor briket. Pengaruh kadar abu terhadap kualitas briket yaitu semakin rendah kadar abu maka semakin tinggi kualitas briket karena kadar abu yang rendah meningkatkan nilai kalor briket sehingga briket tersebut memiliki kualitas yang baik (Lubis, 2008).

Kadar Zat Terbang (Volatile Matter)

Kadar zat terbang merupakan jumlah zat yang menguap selama proses pembakaran sebagai produk dari dekomposisi senyawa pada arang. Kandungan utama zat terbang yaitu karbonmonoksida (CO), metana (CH₄), dan hydrogen serta gas yang tidak mudah terbakar seperti CO₂ dan H₂O. *Volatile matter* dapat terbentuk apabila briket dibakar tanpa adanya suplai udara pada temperatur berkisar 950°C. Pengaruh zat terbang terhadap kualitas briket, yaitu semakin rendah kadar zat terbang maka semakin rendah kualitas briket karena briket sulit untuk dinyalakan dan dibakar.

Kadar Karbon Terikat (Fixed Carbon)

Kadar karbon terikat merupakan jumlah karbon yang tersisa pada arang setelah dilakukan proses penghilangan *volatile matter*, *ash content*, dan *moisture* dalam briket. Kadar karbon terikat juga dapat diartikan sebagai jumlah keseluruhan karbon yang berada dalam briket (Erikson, 2011). Pengaruh kadar karbon terikat terhadap kualitas briket, yaitu semakin tinggi kadar karbon terikat maka semakin tinggi kualitas briket karena briket memiliki nilai kalor tinggi dari reaksi pembakaran antara karbon dan oksigen (Bahri, 2007).

Nilai Kalor

Nilai kalor adalah jumlah keseluruhan panas dari pembakaran briket. Briket berkualitas baik memiliki nilai kalor yang tinggi. Jenis bahan baku mempengaruhi nilai kalor briket karena perbedaan kadar zat terbang, kadar abu, kadar air, dan kadar

karbon terikat. Briket dengan nilai kalor tinggi tentunya menggunakan bahan baku kadar zat terbang yang rendah dan kadar karbon terikat yang tinggi (Hendra, 2003).

Standarisasi Kualitas Briket

Tabel 1 menunjukkan standar kualitas briket. Standar kualitas briket yang layak digunakan meninjau pada nilai kalor, kadar air (*moisture*), kadar abu (*ash*), kadar zat terbang, dan kadar karbon terikat. Terdapat standarisasi kualitas briket secara internasional di tiga negara yaitu Jepang, Amerika, dan Inggris. Selain ketiga negara di atas, Indonesia juga memiliki standar kualitas briket tersendiri yaitu pada SNI (Standar Nasional Indonesia) dengan nomor SNI 01-6235-2000 dan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral RI No. 047 Tahun 2006.

Tabel 1. Standar Kualitas Briket

Sifat Briket	Jepang ^(a)	Amerika ^(a)	Inggris ^(a)	SNI No. 01-6235-2000 ^(b)	PERMEN No. 47 Th. 2006 ^(b)
Moisture (%)	6 – 8	6	3 – 4	≤ 8	≤ 15
Ash Content (%)	5 – 7	16	8 – 10	≤ 8	≤ 10
Volatile Matter (%)	15 – 30	19 – 28	16,4	≤ 15	Sesuai bahan baku
Fixed Carbon (%)	60 – 80	60	75	≥ 77	Sesuai bahan baku
Nilai Kalor (cal/gr)	5000 – 6000	5870	4000-6500	≥ 5000	4400

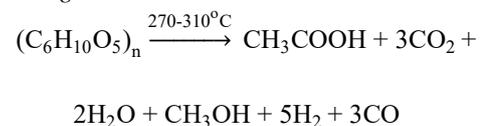
(Sumber: a. Hendra, 1999, b. Anggun, 2014)

Karbonisasi

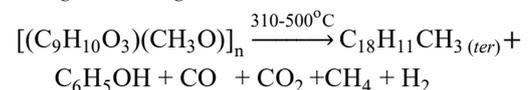
Karbonisasi merupakan suatu proses pengarangan material organik yang dilakukan dengan suplai udara yang sedikit dan tanpa adanya oksigen. Hal tersebut dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan kadar *fixed carbon* dari material organik itu sendiri (Kindriani, 2012).

Proses karbonisasi atau pengarangan umumnya dilakukan pada temperatur sekitar 500 – 800°C, sehingga kandungan zat terbang yang terdapat pada material akan menguap (Widowati, 2003). Karbon terbentuk pada proses karbonisasi dengan temperatur 400 – 600°C selama waktu 1 – 2 jam dalam kondisi yang sedikit kontak dengan udara. Menurut Maryono (2013), reaksi yang terjadi pada proses karbonisasi, yaitu:

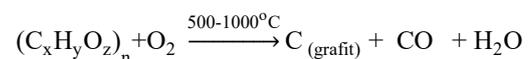
Reaksi Penguraian Selulosa



Reaksi Penguraian Lignin



Reaksi Umum Pembentukan Karbon



Plastik HDPE

HDPE (*High Density Polyethylene*) merupakan plastik paling banyak digunakan dalam kegiatan manusia karena dianggap plastik paling aman dan mudah di daur ulang. Plastik HDPE memiliki massa jenis $\pm 0,941 \text{ g/cm}^3$ dengan percabangan rendah sehingga memiliki kekuatan antar molekul yang tinggi. Plastik HDPE sering ditemukan sebagai botol deterjen, botol susu, botol shampo, botol minum, botol pelembab, ember, maupun beberapa jenis tas plastik. Selain dalam bentuk botol, HDPE juga dapat ditemukan pada tempat sampah, maupun produk lain yang sering dipakai untuk kegiatan *outdoor* (Anggraini, 2008).

Plastik LDPE

Plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*) merupakan jenis plastik yang berasal dari hasil pengolahan minyak bumi. Nilai kalor LDPE lebih tinggi dibandingkan dengan plastik HDPE yaitu sebesar 12.318,4 kkal/gr (Damanhuri, 2010). Plastik LDPE sering digunakan sebagai pembungkus makanan karena tidak bereaksi terhadap makanan ataupun minuman sehingga aman digunakan. Kekurangan plastik LDPE adalah sangat sulit daur ulang (Johansyah, 2014).

Tempurung Kelapa

Tempurung kelapa merupakan bagian kelapa terluar dengan ketebalan 3 – 5 mm. Tempurung kelapa bersifat sangat keras dikarenakan mengandung senyawa silika dan didominasi oleh kadar lignin dengan persentase yang tinggi dibandingkan kadar selulosa.

Tabel 2. Komposisi Kimia Tempurung Kelapa

Komposisi	Persentase (%)
Lignin	29,40
Pentosan	27,70
Selulosa	26,60
Abu	0,6
Nitrogen	0,1
Air	8,0

(Sumber: *Suhardiyo, 1995*)

Tempurung kelapa memiliki nilai kalor yang tidak terlalu tinggi atau tidak melebihi batubara berkisar 18.200 – 19.388,05 kJ/kg (Budi, 2011). Tempurung kelapa dapat diolah menjadi sumber energy dalam bentuk arang melalui proses karbonisasi. Arang

tempurung kelapa sering digunakan sebagai bahan bakar karena memiliki nilai kalor yang tinggi mencapai 7000 kal/gram. Modifikasi penggunaan arang dilakukan melalui konversi arang menjadi briket, arang dihaluskan dan diberi tekanan serta dicetak menjadi briket maupun biobriket yang penggunaannya lebih mudah serta mudah untuk dinyalakan.

Sekam Padi

Sekam padi diperoleh dari zat buangan proses pemisahan pada tahap penggilingan beras. Karakteristik sekam padi secara fisika yaitu memiliki nilai kalor berkisar 3300 – 3600 kkal, berat jenis sebesar 0,1 g/mL dan nilai konduktivitas panas sebesar 0,271 BTU (Houston, 1972). Jaringan serat selulosa penyusun sekam padi terdiri atas serabut keras yang mengandung silika serta komposisi lainnya dengan persentase seperti yang terlihat pada Tabel 3. Proses karbonisasi sekam padi dilakukan pada temperatur kurang dari 700°C. Kadar karbon arang sekam padi meningkat dari 48% menjadi 51% pada temperatur karbonisasi 350 – 550°C (Phuong, 2009).

Tabel 3. Komposisi Kimia Sekam Padi

Komposisi	Persentase (%)
Selulosa	32,12
Hemiselulosa	22,48
Lignin	21,40
Abu mineral	13,87
Silika	15-20
Air	7,86

(Sumber: *Kumar, 2010*)

METODOLOGI PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada rentang waktu 1 Agustus 2018 sampai 26 September 2018 di Laboratorium Teknik Konversi Energi Politeknik Sriwijaya. Pengujian mutu analisa proksimat dan nilai kalor briket dilakukan di Laboratorium STG dan Boiler Batubara PT Pupuk Sriwidjaja Palembang, Sumatera Selatan.

Prosedur Penelitian

Tahap Persiapan Bahan Baku

- Tempurung kelapa dan sekam padi dibersihkan terlebih dahulu dari bahan pengotor seperti serabut, tanah atau lumpur, dan kotoran yang menempel.
- Plastik HDPE dan LDPE dibersihkan dari merk yang masih menempel dan dicuci untuk menghilangkan tanah atau kotoran yang ada pada plastik.
- Tempurung kelapa dan sekam padi dipotong menjadi ukuran yang lebih kecil untuk memudahkan saat proses selanjutnya.
- Tempurung kelapa dan sekam padi dikeringkan di bawah sinar matahari selama 3 hari untuk mengurangi kandungan air.
- Plastik HDPE dan plastik LDPE digerus menggunakan alat parut menjadi ukuran yang lebih kecil dan seragam.
- Plastik HDPE dan plastik LDPE yang telah diparut kemudian diayak menggunakan ayakan 20 mesh.

Tahap Karbonisasi

- Tempurung kelapa dan sekam padi yang telah kering dimasukkan ke dalam *furnace* menggunakan kendi.
- Suhu *furnace* diatur dengan variasi 400°C, 500°C, dan 600°C.
- Proses pengarangan atau karbonisasi berlangsung selama 2 jam.
- Arang yang diperoleh dicecilkan ukurannya dan dihaluskan menjadi serbuk menggunakan *grinder*.
- Arang yang telah mengalami *size reduction* kemudian diayak menggunakan ayakan 60 mesh.

Tahap Pembuatan Perekat

- Tepung tapioka ditimbang sebanyak 5% dari berat bahan baku per satu briket.
- Tepung tapioka dimasukkan ke dalam *aquades* dengan perbandingan konsentrasi perekat dan air yaitu 1:20(b/v).
- Campuran tersebut dipanaskan di atas *hot plate* hingga perekatnya mengental dan merata sempurna.

Tahap Pembriketan

- Masing-masing jenis bahan baku ditimbang sesuai dengan persentase massa (Plastik *polyethylene*:arang tempurung kelapa:arang sekam padi) dengan total massa campuran seberat 10 gram, yaitu 10:45:45, 20:40:40, 30:35:35, 10:70:20, 20:65:15, 30:60:10, 10:20:70, 20:15:65, 30:10:60.

- Ketiga bahan tersebut dicampur dan dihomogenkan.
- Perekat ditambahkan dan diaduk sampai merata.
- Kemudian dicetak dengan menggunakan alat pencetak briket.
- Campuran briket dikeringkan menggunakan oven pada temperatur 60°C selama 24 jam.

Prosedur Uji Kualitas Briket

Prosedur uji kualitas briket terbagi menjadi dua, yaitu:

1. Analisa proksimat briket berupa kadar air, kadar abu, *volatile matter*, dan *fixed carbon* dilakukan menggunakan alat LECO TGA701 (*Thermogravimetric Analyzer*) berdasarkan metode ASTM D7582.
2. Analisa nilai kalor briket dilakukan menggunakan alat *Calorimeter* AC500 berdasarkan ASTM D5865.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Temperatur Karbonisasi terhadap Kualitas Briket Campuran *Polyethylene*, Tempurung Kelapa dan Sekam Padi

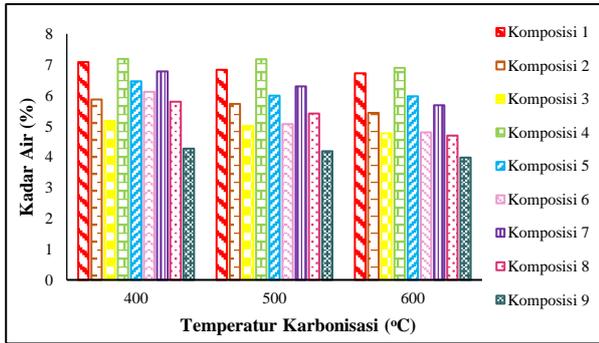
Temperatur karbonisasi mempengaruhi kualitas briket yaitu kadar air (*moisture*), kadar abu (*ash content*), kadar zat terbang (*volatile matter*), kadar karbon terikat (*fixed carbon*), dan nilai kalor (*calorific value*).

Pengaruh Temperatur Karbonisasi terhadap Kadar Air Briket Campuran Polyethylene, Tempurung Kelapa, dan Sekam Padi

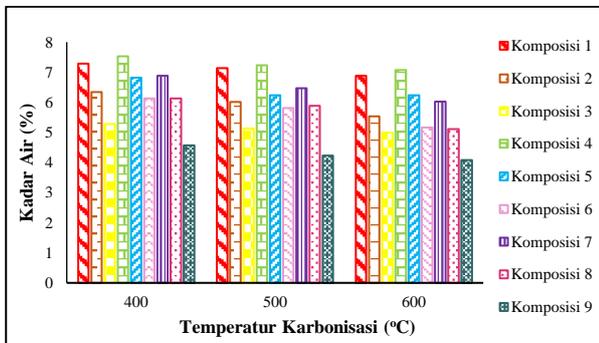
Gambar 1 dan Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai temperatur karbonisasi berbanding terbalik dengan kadar air yang terkandung pada briket. Hal tersebut karena tingginya temperatur karbonisasi dapat menguapkan banyak air, sehingga briket dengan temperatur karbonisasi yang paling tinggi cenderung lebih kering dibandingkan dengan briket pada temperatur karbonisasi lainnya. Oleh karena itu, penambahan perekat tapioka dengan persentase dan perlakuan yang sama tidak mempengaruhi kadar air briket hasil.

Kadar air paling rendah diperoleh dari briket hasil proses karbonisasi temperatur 600°C yaitu sebesar 3,98%. Kadar air tertinggi diperoleh dari briket hasil proses karbonisasi temperatur 400°C yaitu sebesar 7,53%. Semua sampel briket yang dianalisa telah

memenuhi standar *moisture* (kadar air) menurut SNI (Standar Nasional Indonesia) yaitu maksimal kadar air briket sebesar 8%.

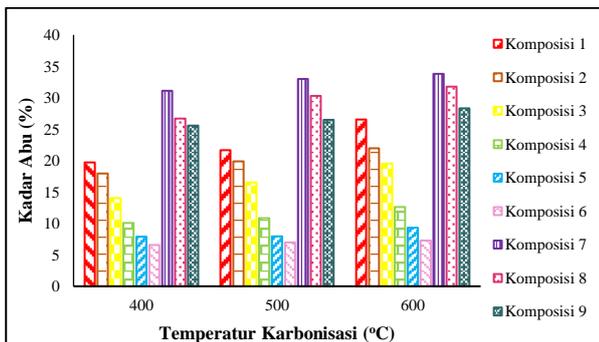


Gambar 1. Pengaruh Temperatur Karbonisasi terhadap Kadar Air Briket Campuran Plastik LDPE



Gambar 2. Pengaruh Temperatur Karbonisasi terhadap Kadar Air Briket Campuran Plastik HDPE

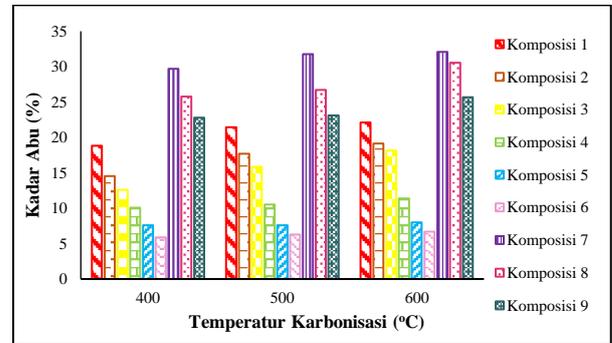
Pengaruh Temperatur Karbonisasi terhadap Kadar Abu Briket Campuran Polyethylene, Tempurung Kelapa, dan Sekam Padi



Gambar 3. Pengaruh Temperatur Karbonisasi terhadap Kadar Abu Briket Campuran Plastik HDPE

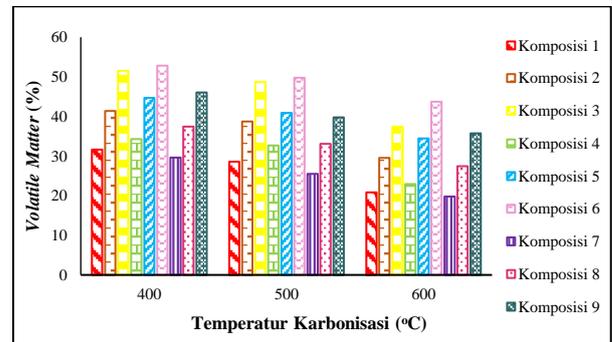
Semakin tinggi temperatur proses karbonisasi, maka semakin tinggi kadar abu briket hasil sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar

4. Hal tersebut disebabkan temperatur karbonisasi yang tinggi menyebabkan jumlah massa yang hilang, sehingga semakin tinggi persentase kadar abu. Kadar abu tertinggi didapatkan dari briket hasil karbonisasi temperatur 600°C yaitu sebesar 33,81%. Kadar abu paling rendah didapatkan dari briket hasil karbonisasi pada temperatur 400°C yaitu sebesar 5,89%.

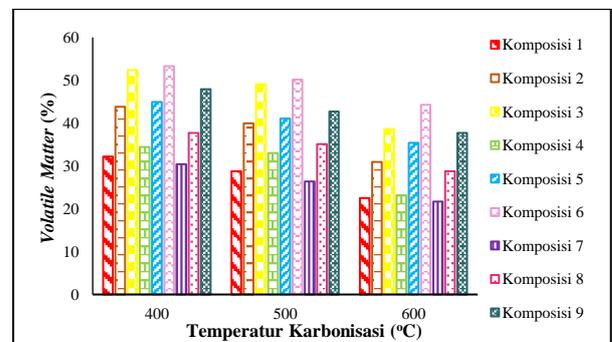


Gambar 4. Pengaruh Temperatur Karbonisasi terhadap Kadar Abu Briket Campuran Plastik LDPE

Pengaruh Temperatur Karbonisasi terhadap Kadar Zat Terbang (Volatile Matter) Briket Campuran Polyethylene, Tempurung Kelapa, dan Sekam Padi



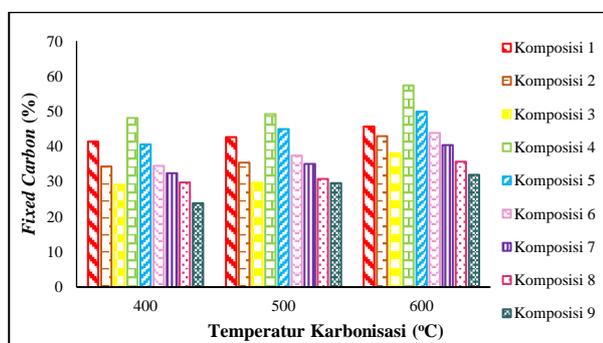
Gambar 5. Pengaruh Temperatur Karbonisasi terhadap Volatile Matter Briket Campuran Plastik HDPE



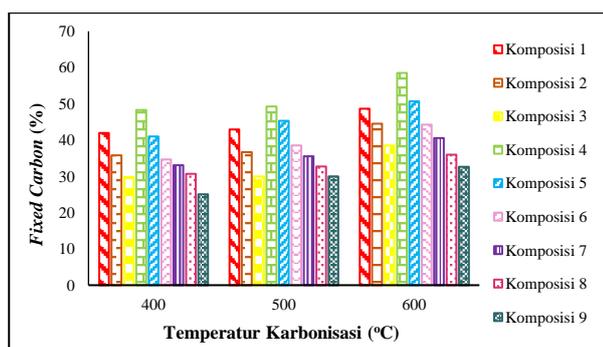
Gambar 6. Pengaruh Temperatur Karbonisasi terhadap Volatile Matter Briket Campuran Plastik LDPE

Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur karbonisasi maka semakin rendah kadar *volatile matter* yang dimiliki oleh briket. Hal ini karena pada temperatur karbonisasi yang tinggi menyebabkan kadar zat terbang yang terdapat pada bahan baku semakin banyak menguap, sehingga *volatile matter* pada briket semakin berkurang. Kadar *volatile matter* paling tinggi terdapat pada briket hasil karbonisasi pada temperatur 400°C sebesar 53,31%, sedangkan kadar *volatile matter* paling rendah terdapat pada briket hasil karbonisasi pada temperatur 600°C sebesar 19,75%.

Pengaruh Temperatur Karbonisasi terhadap Kadar Karbon Terikat (Fixed Carbon) Briket Campuran Polyethylene, Tempurung Kelapa, dan Sekam Padi



Gambar 7. Pengaruh Temperatur Karbonisasi terhadap Fixed Carbon Briket Campuran Plastik HDPE

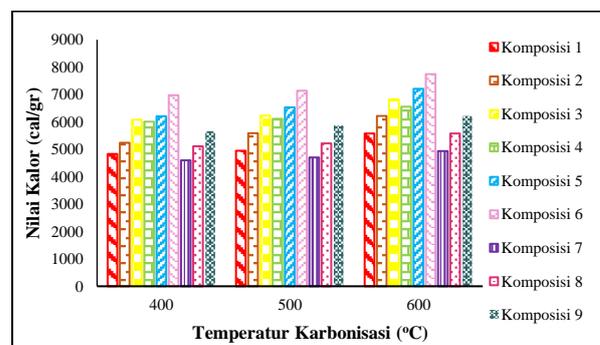


Gambar 8. Pengaruh Temperatur Karbonisasi terhadap Fixed Carbon Briket Campuran Plastik LDPE

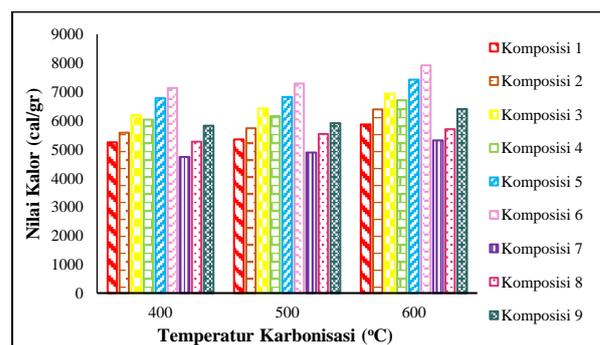
Pengaruh temperatur karbonisasi dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8 yang menunjukkan semakin tinggi temperatur karbonisasi maka semakin tinggi nilai *fixed carbon* briket. Hal ini karena ketika bahan baku mengalami proses karbonisasi maka kadar zat terbang dan kadar air menurun atau berkurang dan menyebabkan peningkatan nilai karbon baik pada

bahan baku maupun pada briket yang dihasilkan. Selain itu, semakin tinggi temperatur karbonisasi maka semakin banyak karbon yang terbentuk karena proses penguraian lignin terjadi lebih sempurna. Faktor lain yang juga mempengaruhi kadar karbon terikat pada briket hasil adalah bahan baku yang digunakan. Bahan baku yang memiliki kadar karbon terikat paling tinggi adalah arang tempurung kelapa. Tempurung kelapa yang mengalami karbonisasi pada temperatur yang tinggi akan menghasilkan karbon terikat lebih banyak. Nilai *fixed carbon* tertinggi diperoleh dari briket dengan temperatur karbonisasi 600°C yaitu sebesar 58,53%, sedangkan nilai *fixed carbon* paling rendah terdapat pada briket dengan temperatur karbonisasi 400°C yaitu sebesar 23,84%.

Pengaruh Temperatur Karbonisasi terhadap Nilai Kalor Briket Campuran Polyethylene, Tempurung Kelapa, dan Sekam Padi



Gambar 9. Pengaruh Temperatur Karbonisasi terhadap Nilai Kalor Briket Campuran Plastik HDPE



Gambar 10. Pengaruh Temperatur Karbonisasi terhadap Nilai Kalor Briket Campuran Plastik LDPE

Semakin tinggi temperatur proses karbonisasi maka semakin tinggi nilai kalor yang dimiliki briket sebagaimana terlihat pada Gambar 9. dan Gambar 10. Hal tersebut disebabkan kadar air dan *volatile matter* pada masing-masing bahan baku mengalami penurunan dan *fixed carbon* meningkat seiring dengan

peningkatan temperatur karbonisasi. Selain itu juga semakin tinggi temperatur karbonisasi, maka proses penguraian lignin menjadi arang terjadi lebih sempurna dan memiliki nilai kalor yang tinggi. Nilai kalor tertinggi dihasilkan oleh briket dengan temperatur karbonisasi 600°C yaitu sebesar 7924,01 cal/g. Nilai kalor paling rendah dihasilkan oleh briket dengan temperatur karbonisasi 400°C yaitu 4595,71 cal/g.

Pengaruh Komposisi Bahan Baku terhadap Kualitas Briket Campuran *Polyethylene*, Tempurung Kelapa, dan Sekam Padi

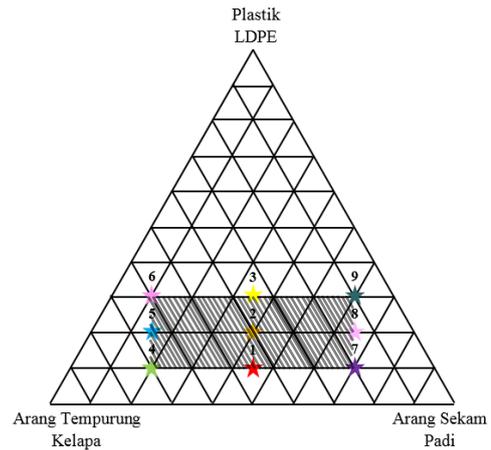
Komposisi bahan baku pembuatan briket terbagi menjadi 9 jenis sampel sebagaimana terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Komposisi Bahan Baku Pembuatan Briket

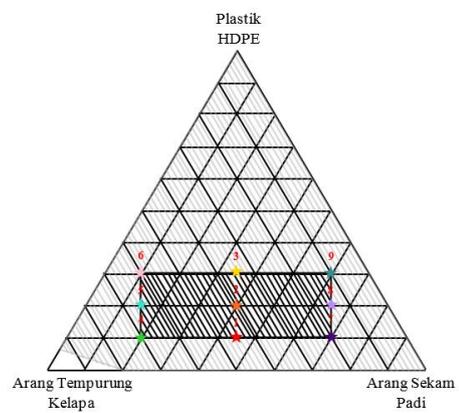
Sampel	<i>Polyethylene</i> (%)	Arang Tempurung Kelapa (%)	Arang Sekam Padi (%)
1	10	45	45
2	20	40	40
3	30	35	35
4	10	70	20
5	20	65	15
6	30	60	10
7	10	20	70
8	20	15	65
9	30	10	60

Pengaruh Komposisi Bahan Baku terhadap Kadar Air Briket Campuran Polyethylene, Tempurung Kelapa, dan Sekam Padi

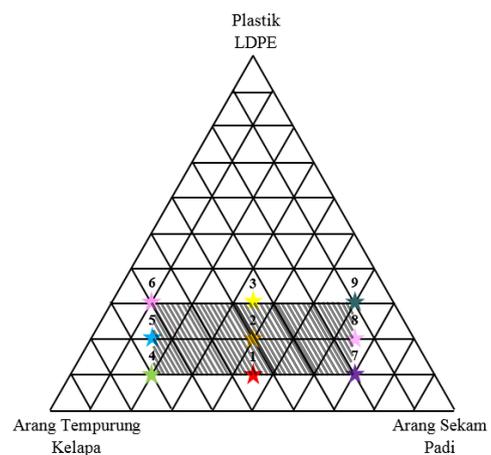
Briket dengan komposisi tempurung kelapa lebih banyak memiliki kadar air lebih tinggi dari briket dengan komposisi sekam padi lebih banyak, karena kadar air arang tempurung kelapa lebih tinggi dari arang sekam padi. Arang tempurung kelapa memiliki daya serap terhadap air yang tinggi akibat struktur permukaan terbuka dan kandungan senyawa hidoksil dan asetil seperti hemiselulosa yang higroskopik. Plastik *polyethylene* mengandung kadar air rendah yaitu $\leq 0,01\%$, sehingga semakin besar penggunaan plastik maka semakin rendah kadar air briket hasil sebagaimana terlihat pada Gambar 11A, Gambar 11B, Gambar 12A, dan Gambar 12B.



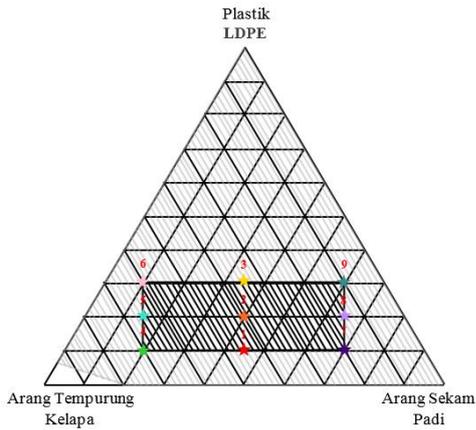
Gambar 11A. Pengaruh Komposisi Bahan Baku terhadap Kadar Air Briket Campuran Plastik HDPE



Gambar 11B. Pengaruh Komposisi Bahan Baku secara Teoritis terhadap Kadar Air Briket Campuran Plastik HDPE



Gambar 12A. Pengaruh Komposisi Bahan Baku terhadap Kadar Air Briket Campuran Plastik LDPE



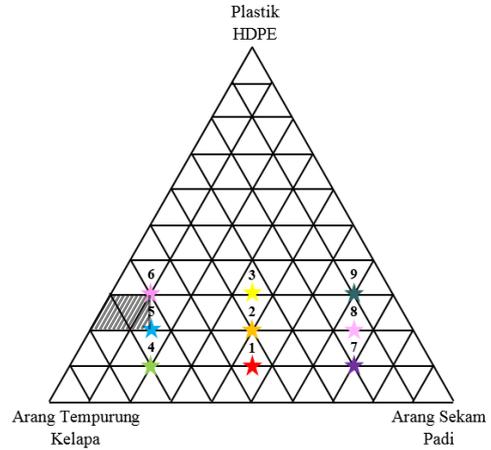
Gambar 12B. Pengaruh Komposisi Bahan Baku secara Teoritis terhadap Kadar Air Briket Campuran Plastik LDPE

Gambar 11A, Gambar 11B, Gambar 12A, dan Gambar 12B juga menunjukkan kadar air briket campuran plastik HDPE (*High Density Polyethylene*) lebih tinggi dari briket dengan campuran plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*). Hal tersebut disebabkan kadar air plastik HDPE lebih tinggi dari LDPE. Kadar air tertinggi dihasilkan oleh briket pada komposisi 4 (10% *high density polyethylene*, 70% arang tempurung kelapa, 20% arang sekam padi). Hal tersebut karena arang tempurung kelapa mempengaruhi kadar air secara signifikan. Kadar air paling rendah dihasilkan oleh briket pada komposisi 9 (30% *low density polyethylene*, 10% arang tempurung kelapa, 60% arang sekam padi). Kadar air seluruh sampel briket sesuai dengan perhitungan teoritis yaitu berkisar antara 3,24-7,201% dan memenuhi standar kadar air SNI yaitu dibawah 8%.

Pengaruh Komposisi Bahan Baku terhadap Kadar Abu Briket Campuran Polyethylene, Tempurung Kelapa, dan Sekam Padi

Faktor utama yang mempengaruhi kadar abu pada briket hasil adalah komposisi dari bahan baku yang digunakan. Kadar abu yang dimiliki oleh arang tempurung kelapa lebih rendah dari kadar abu yang dimiliki oleh arang sekam padi, sehingga arang tempurung kelapa memiliki kadar abu yang lebih rendah dibandingkan dengan arang sekam padi. Kadar abu arang sekam padi tinggi karena kandungan silika pada arang sekam padi yang lebih tinggi dibandingkan dengan arang tempurung kelapa. Senyawa silika merupakan komponen utama yang terdapat pada abu hasil pembakaran atau karbonisasi. Tabel 1 menunjukkan bahwa arang tempurung kelapa memiliki kadar abu sebesar 2,79 – 4,88%, sedangkan kadar abu

arang sekam padi sebesar 36,52 – 44,17%. Oleh sebab itu, Gambar 13A, Gambar 13B, Gambar 14A, dan Gambar 14B menunjukkan bahwa briket dengan penggunaan komposisi arang sekam padi lebih banyak memiliki kadar abu lebih tinggi.



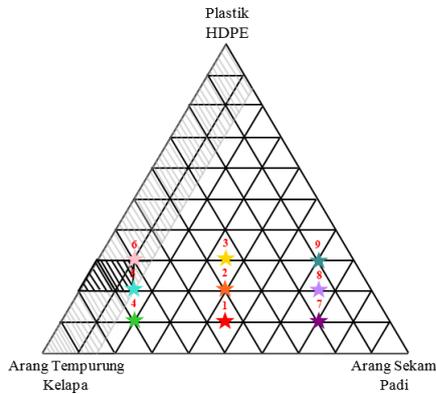
Gambar 13A. Pengaruh Komposisi Bahan Baku terhadap Kadar Abu Briket Campuran Plastik HDPE

Selain kadar abu yang dimiliki oleh arang tempurung kelapa dan arang sekam padi, kadar abu yang dimiliki oleh plastik *polyethylene* juga mempengaruhi kadar abu pada briket. Kadar abu plastik *polyethylene* rendah, yaitu sebesar 1,31 – 2,99%, sehingga semakin besar persentase plastik dalam campuran penyusun briket, maka semakin rendah kadar abu briket hasil seperti terlihat pada Gambar 4.13A, Gambar 4.13B, Gambar 4.14A, dan Gambar 4.14B. Kadar abu briket campuran HDPE lebih tinggi dari briket campuran LDPE sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 13A, Gambar 13B, Gambar 14A, dan Gambar 14B.

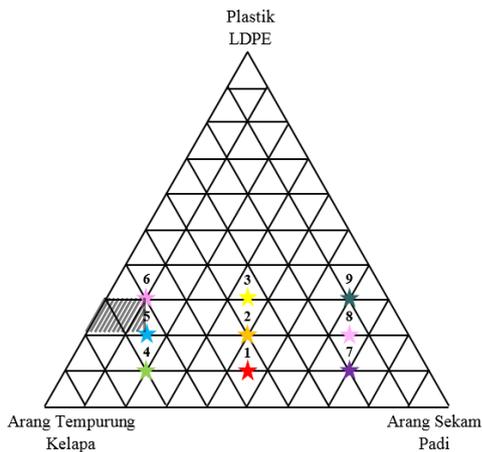
Hal tersebut disebabkan kadar abu plastik HDPE (*high density polyethylene*) dan LDPE (*low density polyethylene*) lebih tinggi dari plastik LDPE (*low density polyethylene*). Adanya perbedaan kadar abu antara HDPE dan LDPE karena perbedaan proses pembuatan kedua jenis plastik tersebut berbeda. Proses pembuatan HDPE menggunakan katalis zigglernata yang mengandung silika dan alumina, sedangkan proses pembuatan LDPE tidak menggunakan katalis.

Kadar abu paling tinggi diperoleh dari briket dengan komposisi 7 (10% *high density polyethylene*, 20% arang tempurung kelapa, 70% arang sekam padi). Kadar abu paling rendah diperoleh dari briket dengan komposisi 6 (30% *low density polyethylene*, 60% arang tempurung kelapa, 10% arang sekam padi). Sampel yang memenuhi standar kadar abu menurut SNI maksimal 8% adalah sampel 5 dan sampel 6. Hal

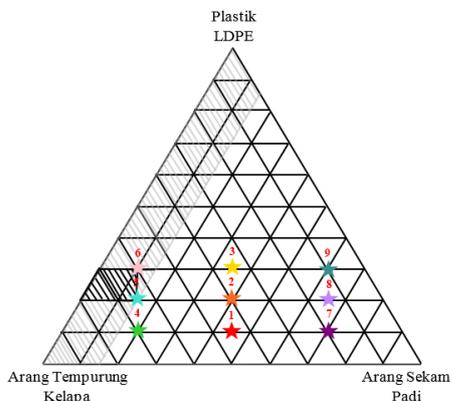
tersebut karena kadar abu yang disuplai dari arang sekam padi yang tinggi dan kadar abu briket secara teoritis berkisar 5,719%-32,026%.



Gambar 13B. Pengaruh Komposisi Bahan Baku secara Teoritis terhadap Kadar Abu Briket Campuran Plastik HDPE



Gambar 14A. Pengaruh Komposisi Bahan Baku terhadap Kadar Abu Briket Campuran Plastik LDPE



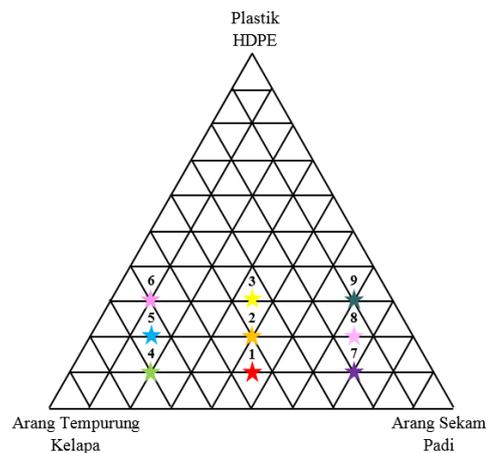
Gambar 14B. Pengaruh Komposisi Bahan Baku secara Teoritis terhadap Kadar Abu Briket Campuran Plastik LDPE

Pengaruh Komposisi Bahan Baku terhadap Kadar Zat Terbang (Volatile Matter) Briket Campuran Polyethylene, Tempurung Kelapa, dan Sekam Padi

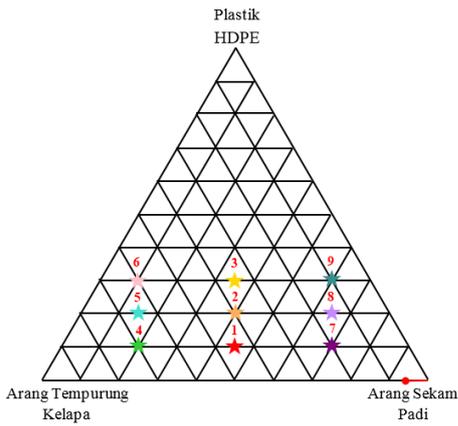
Kadar zat terbang tempurung kelapa lebih tinggi dari kadar zat terbang yang dimiliki oleh sekam padi, sehingga arang tempurung kelapa memiliki kadar zat terbang yang lebih tinggi dibandingkan dengan arang sekam padi. Tingginya kadar zat terbang arang tempurung kelapa disebabkan kadar lignin arang tempurung kelapa lebih tinggi dari arang sekam padi sehingga dalam waktu karbonisasi selama 2 jam masih menimbulkan lignin yang tersisa. Selain itu, lignin termasuk dalam senyawa 10romatic dan alifatik yang bersifat mudah untuk menguap dan apabila kandungannya masih tersisa cukup tinggi dalam suatu bahan maka dapat menghasilkan zat terbang yang tinggi pula saat terjadi proses pembakaran.

Pada Tabel 1 ditunjukkan bahwa arang tempurung kelapa memiliki kadar zat terbang sebesar 18,48 – 30,26%, sedangkan arang sekam padi memiliki kadar zat terbang sebesar 11,12 – 18,96%. Oleh karena itu, briket dengan komposisi arang tempurung kelapa yang lebih banyak memiliki kadar zat terbang yang tinggi, sedangkan briket dengan komposisi arang sekam padi lebih banyak memiliki kadar zat terbang yang rendah sebagaimana terlihat pada Gambar 15A, Gambar 15B, Gambar 16A, dan Gambar 16B.

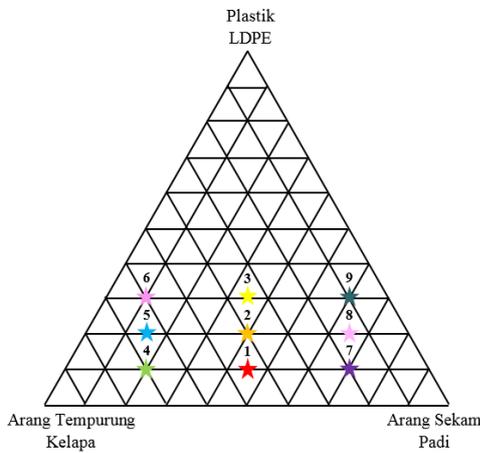
Plastik *polyethylene* mengandung kadar zat terbang yang tinggi yaitu $\leq 99\%$ karena pada plastik terdapat unsure hidrokarbon yang jika dibakar akan mudah menguap. Semakin besar persentase plastik maka semakin tinggi kadar zat terbang pada briket meskipun seperti terlihat pada Gambar 15A., Gambar 15B., Gambar 16A., dan Gambar 16B.



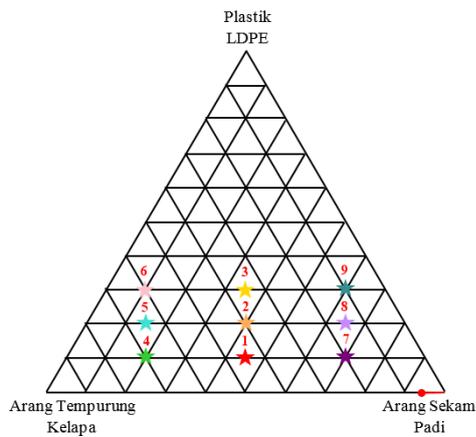
Gambar 15A. Pengaruh Komposisi Bahan Baku terhadap *Volatile Matter* Briket Campuran Plastik HDPE



Gambar 15B. Pengaruh Komposisi Bahan Baku secara Teoritis terhadap *Volatile Matter* Briket Campuran Plastik HDPE



Gambar 16A. Pengaruh Komposisi Bahan Baku terhadap *Volatile Matter* Briket Campuran Plastik LDPE



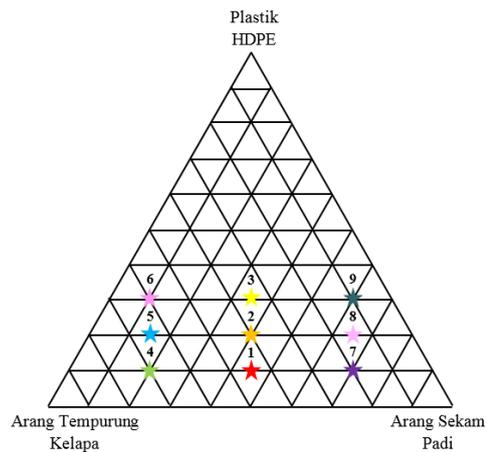
Gambar 16B. Pengaruh Komposisi Bahan Baku secara Teoritis terhadap *Volatile Matter* Briket Campuran Plastik LDPE

Gambar 15A., Gambar 15B., Gambar 16A., dan Gambar 16B. juga menunjukkan kadar zat terbang briket dengan campuran plastik HDPE (*High Density Polyethylene*) lebih rendah dari briket dengan campuran plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*). Hal tersebut karena kadar zat terbang plastik HDPE lebih rendah dari plastik LDPE. Rantai hidrokarbon plastik HDPE lebih pendek dibandingkan LDPE sehingga molekul LDPE lebih banyak menguap saat pembakaran.

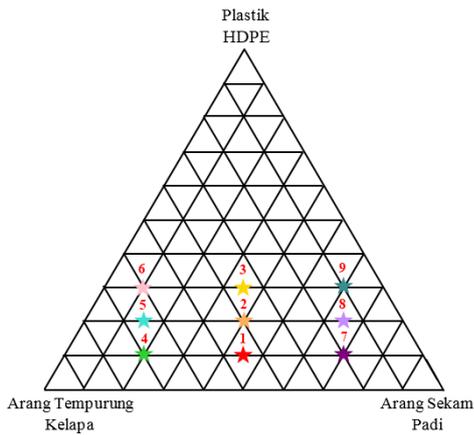
Kadar zat terbang tertinggi diperoleh dari briket dengan komposisi 6 (30% *low density polyethylene*, 60% arang tempurung kelapa, 10% arang sekam padi). Kadar zat terbang paling rendah diperoleh dari briket dengan komposisi 7 (10% *high density polyethylene*, 20% arang tempurung kelapa, 70% arang sekam padi). Seluruh sampel belum memenuhi standar *volatile matter* menurut SNI yaitu maksimal 15% karena hasil perhitungan teoritis kadar *volatile matter* briket hasil berkisar 21,181%-49,155%.

Pengaruh Komposisi Bahan Baku terhadap Kadar Karbon Terikat (Fixed Carbon) Briket Campuran Polyethylene, Tempurung Kelapa, dan Sekam Padi

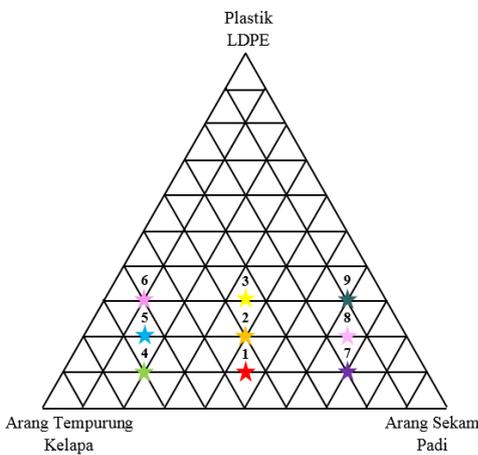
Kadar karbon terikat yang dimiliki oleh tempurung kelapa lebih tinggi dari sekam padi, sehingga arang tempurung kelapa memiliki kadar karbon terikat yang lebih tinggi dibandingkan arang sekam padi. Hal tersebut karena tingginya kandungan lignin dalam arang tempurung kelapa sehingga pada kondisi temperatur di atas 500°C, semakin banyak karbon dihasilkan dari reaksi penguraian lignin.



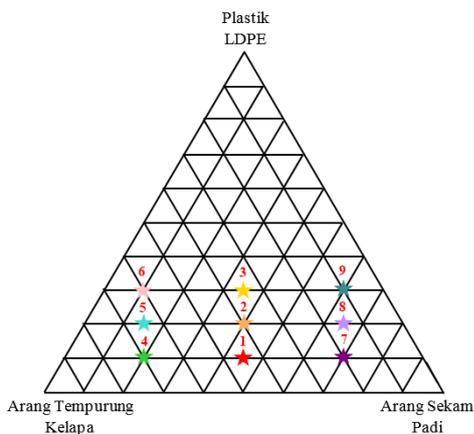
Gambar 17A. Pengaruh Komposisi Bahan Baku terhadap *Fixed Carbon* Briket Campuran Plastik HDPE



Gambar 17B. Pengaruh Komposisi Bahan Baku secara Teoritis terhadap *Fixed Carbon* Briket Campuran Plastik HDPE



Gambar 18A. Pengaruh Komposisi Bahan Baku terhadap *Fixed Carbon* Briket Campuran Plastik LDPE



Gambar 18B. Pengaruh Komposisi Bahan Baku secara Teoritis terhadap *Fixed Carbon* Briket Campuran Plastik LDPE

Gambar 17A., Gambar 17B., Gambar 18A., dan Gambar 18B. menunjukkan bahwa briket dengan komposisi arang tempurung kelapa lebih banyak memiliki kadar karbon terikat paling tinggi sedangkan briket dengan komposisi arang sekam padi lebih banyak memiliki kadar karbon terikat yang paling rendah. Plastik *polyethylene* mengandung kadar karbon terikat yang rendah yaitu $\leq 0,1\%$, sehingga semakin besar persentase komposisi plastik maka semakin rendah kadar karbon terikat briket seperti terlihat pada Gambar 17A., Gambar 17B., Gambar 18A., dan Gambar 18B.

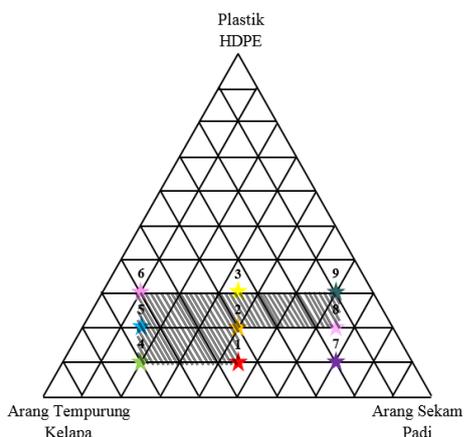
Kadar karbon terikat briket dengan campuran plastik HDPE (*High Density Polyethylene*) lebih rendah dari briket dengan campuran plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*) sebagaimana terlihat pada Gambar 17A., Gambar 17B., Gambar 18A., dan Gambar 18B. Hal tersebut karena kadar karbon terikat yang dimiliki oleh plastik HDPE lebih rendah dari kadar karbon terikat yang dimiliki oleh plastik LDPE. Perbedaan *fixed carbon* pada masing-masing plastik karena plastik LDPE memiliki rantai karbon yang lebih panjang, sehingga jumlah karbon yang dimiliki plastik LDPE lebih banyak dibandingkan plastik HDPE.

Kadar karbon terikat tertinggi diperoleh dari briket dengan komposisi 4 (10% *low density polyethylene*, 70% arang tempurung kelapa, 20% arang sekam padi). Kadar karbon terikat (*fixed carbon*) paling rendah diperoleh dari briket dengan komposisi 9 (30% *high density polyethylene*, 10% arang tempurung kelapa, 60% arang sekam padi). Seluruh sampel briket hasil belum memenuhi standar *fixed carbon* menurut SNI yaitu minimal 77%, karena kadar *fixed carbon* hasil perhitungan teoritis berkisar 28,067%-56,63%.

Pengaruh Komposisi Bahan Baku terhadap Nilai Kalor Briket Campuran Polyethylene, Tempurung Kelapa, dan Sekam Padi

Nilai kalor dipengaruhi oleh komposisi campuran bahan baku briket. Nilai kalor tempurung kelapa lebih tinggi daripada sekam padi, sehingga arang tempurung kelapa memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dibandingkan dengan arang sekam padi. Hal tersebut karena arang tempurung kelapa mengandung senyawa lignin lebih besar dibandingkan arang sekam padi, sehingga semakin banyak juga lignin yang terkonversi menjadi arang. Menurut hasil analisa pada Tabel 2 arang tempurung kelapa memiliki nilai kalor sebesar 5.118,01-5.728,75 cal/g, sedangkan arang sekam padi memiliki nilai kalor sebesar 3.524,63-3.683,45 cal/g. Oleh karena itu, briket dengan komposisi arang tempurung kelapa lebih banyak memiliki nilai kalor lebih tinggi dari briket dengan komposisi arang sekam

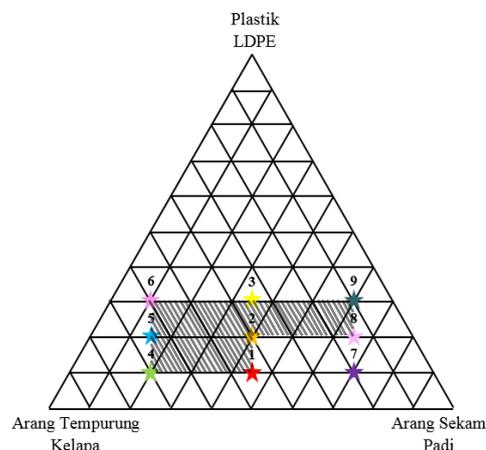
padi lebih banyak seperti terlihat pada Gambar 19A., Gambar 19B., Gambar 20A., dan Gambar 20B.



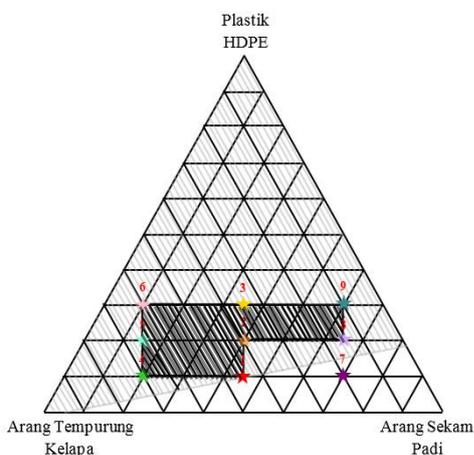
Gambar 19A. Pengaruh Komposisi Bahan Baku terhadap Nilai Kalor Briket Campuran Plastik HDPE

Plastik *polyethylene* memiliki nilai kalor yang tinggi berkisar antara 5.000-13.000 cal/g (Subramanian, 2000). Hal ini karena plastik merupakan produk dari petroleum atau gas alam sehingga memiliki kandungan energi yang sangat tinggi dibandingkan biomassa lainnya. Semakin besar persentase plastik maka semakin tinggi nilai kalor briket hasil seperti pada Gambar 19A., Gambar 19B., Gambar 20A., dan Gambar 20B.

lebih rendah dari plastik LDPE. Nilai kalor HDPE sebesar 11.207 cal/g, sedangkan nilai kalor LDPE yaitu 12.318,4 cal/g (Damanhuri, E., 2010). Perbedaan nilai kalor HDPE dan LDPE dipengaruhi kadar karbon pada kedua jenis plastik tersebut. Semakin tinggi jumlah karbon maka semakin tinggi nilai kalor. Plastik LDPE memiliki kadar karbon yang lebih tinggi dari plastik HDPE. Nilai kalor tertinggi diperoleh dari briket komposisi 6 (30% *low density polyethylene*, 60% arang tempurung kelapa, 10% arang sekam padi) dan nilai kalor rendah pada briket komposisi 7 (10% *high density polyethylene*, 20% arang tempurung kelapa, 70% arang sekam padi).

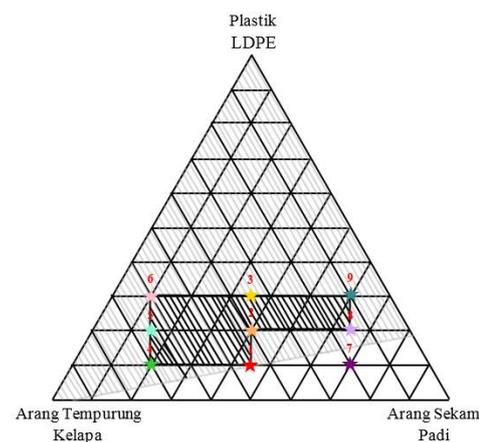


Gambar 20A. Pengaruh Komposisi Bahan Baku terhadap Nilai Kalor Briket Campuran Plastik LDPE



Gambar 19B. Pengaruh Komposisi Bahan Baku secara Teoritis terhadap Nilai Kalor Briket Campuran Plastik HDPE

Gambar 19A., Gambar 19B., Gambar 20A., dan Gambar 20B. juga menunjukkan nilai kalor briket dengan campuran plastik HDPE memiliki nilai kalor yang lebih rendah dari briket dengan campuran plastik LDPE. Hal tersebut karena nilai kalor plastik HDPE



Gambar 20B. Pengaruh Komposisi Bahan Baku secara Teoritis terhadap Nilai Kalor Briket Campuran Plastik LDPE

Seluruh sampel briket memiliki karakteristik masing-masing dalam segi nilai proksimat dan nilai kalornya. Sampel briket pada penelitian ini belum ada yang memenuhi semua batas maksimal atau minimal

aspek-aspek menurut SNI 01-6235-2000 terutama nilai *volatile matter* dan *fixed carbon* karena penggunaan bahan baku plastik yang memang *volatile matter*-nya cukup tinggi sehingga nilai *fixed carbon* tidak terlalu tinggi. Briket yang memiliki karakteristik terbaik dengan memenuhi beberapa criteria menurut SNI 01-6235-2000 yaitu briket campuran plastik LDPE pada komposisi 5 (20% *polyethylene*: 65% arang tempurung kelapa: 15% arang sekam padi) dan temperatur karbonisasi 600°C dengan kadar air 5,97% (batas maksimal 8%), *volatile matter* 35,39% (batas maksimal 15%), kadar abu 7,98% (batas maksimal 8%), *fixed carbon* 50,66% (batas minimal 77%), dan nilai kalor yaitu 7419,48 cal/gr (batas minimal 5000 cal/gr).

KESIMPULAN

Berdasarkan pada hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

- 1) Semakin tinggi temperatur karbonisasi, maka briket yang dihasilkan memiliki nilai kalor, kadar karbon, dan kadar abu yang semakin tinggi, dengan kadar air dan kadar zat terbang yang semakin rendah.
- 2) Komposisi arang tempurung kelapa meningkatkan kadar air, *volatile matter*, dan *fixed carbon* briket hasil secara signifikan. Komposisi arang sekam padi meningkatkan kadar abu briket hasil secara signifikan. Komposisi plastik *polyethylene* meningkatkan nilai kalor briket hasil secara signifikan.
- 3) Jenis plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*) menghasilkan briket dengan nilai kalor, nilai *volatile matter* dan *fixed carbon* yang tinggi, kadar air dan kadar abu yang rendah dibandingkan jenis plastik HDPE (*High Density Polyethylene*).

DAFTAR PUSTAKA

- Angraini, R S. 2008. *Eko-briket dari Komposit Sampah Plastik High Density Polyethylene (HDPE) dan Arang Sampah Kebun*. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS.
- Anggun, T., Faisol A., dan Nurzeni, F. 2014. *Pembuatan Briket dari Campuran Limbah Plastik LDPE, Tempurung Kelapa dan Cangkang Sawit*. Jurnal Teknik Kimia. Vol. 20 (2): 45-54.
- Bahri, S. 2007. *Pemanfaatan Limbah Industri Pengolahan Kayu untuk Pembuatan Briket Arang dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan di Nangroe Aceh Darussalam*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Budi, E. 2011. *Tinjauan Proses Pembentukan dan Penggunaan Arang Tempurung Kelapa sebagai Bahan Bakar*. Jurnal Penelitian Sains. Vol 14(4): 25-28.
- Erikson, Sinurat. 2011. *Studi Pemanfaatan Briket Kulit Jambu Mente dan Tongkol Jagung sebagai Bahan Bakar Alternatif*. Makasar: Universitas Hasanudin.
- Hendra, D. 1999. *Bahan Baku Pembuatan Arang dan Briket Arang*. Bogor: Pusat Litbang Hasil Hutan dan Sosial Ekonomi Kehutanan.
- Hendra, D. dan Darmawan, S. 2000. *Pembuatan Briket Arang dari Serbuk Gergajian Kayu dengan Penambahan Tempurung Kelapa*. Bulletin Penelitian Hasil Hutan. Vol. 18(1): 1-9.
- Hendra, D. dan Winarni I. 2003. *Sifat Fisis dan Kimia Briket Arang Campuran Limbah Kayu Gergajian dan Sabetan Kayu*. Jurnal Penelitian Hasil Hutan. Vol. 21(3): 211-226.
- Houston, D. F. 1972. *Rice Chemistry and Technology*. Minnesota: Chemist Inc St. Paul.
- Jambeck, R. 2015. *Plastik Waste Inputs from Land into The Ocean*. Georgia: University of Georgia.
- Johansyah, A, Kusdiyanti, E, dan Prihastanti, E. 2014. *Pengaruh Plastik Pengemas Low Density Polyethylene (LDPE), High Density Polyethylene (HDPE) dan Polipropilen (PP) terhadap Penundaan Kematangan Buah Tomat (Lycopersicon esculentum.Mill)*. Buletin Anatomi dan Fisiologi. Vol 22(1): 46-57.
- Kindriani, N. W., Retno D., Rezy P. R., dan Tieka K. 2012. *Briket Arang Kulit Kacang Tanah dengan Proses Karbonisasi*. Jurnal Teknik Kimia. Vol. 6(2): 70-73.
- Kumar. 2010. *Thermodynamic and Kinetic Studies of Cadmium Adsorption from Aqueous Solution onto Rice Husk*. Brazilian Journal of Chemical Engineering. Vol. 27(2): 347-355.
- Lubis, K. 2008. *Transformasi Mikroporike Mesopori Cangkang Kelapa Sawit terhadap Nilai Kalor Bakar Briket Arang Cangkang Kelapa Sawit*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Maryono, Suding, dan Rachmawati. 2013. *Pembuatan dan Analisis Mutu Briket Arang Tempurung Kelapa Ditinjau dari Kadar Kanji*. Jurnal Chemica. Vol. 14(1): 74-83.
- Phuong, H. T. dan Md. Azhar Uddin. 2009. *Development of Technologies for Utilization of Agricultural and Forestry Wastes: Preparation of Biochar from Rice Residues*. Japan: Okayama University.

- Purba, W. S., Pramudya, A. S., dan Riska A. 2017. *Statistik Lingkungan Hidup Indonesia*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Subramanian, P. M. 2000. *Plastiks Recycling and Waste Management in The US*. Resources, Conservation, and Recycling. Vol. 28(3-4): 253-263.
- Suhardiyono. 1995. *Tanaman Kelapa*. Yogyakarta: Kanisius.
- Widowati, Tri. 2003. *Pembuatan Arang Aktif dari Serbuk Gergaji Kayu Mahoni dan Uji Kualitas*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.