



REPUBLIK INDONESIA
KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA

SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan : EC00202038171, 7 Oktober 2020

Pencipta

Nama : **Dr. Ninis Hadi Haryanti, Dra, MS**

Alamat : Komp. Buncit Indah IV No. 105 RT 007 RW 001 Pemurus Baru Banjarmasin Selatan 70249, Banjarmasin, Kalimantan Selatan, 70249

Kewarganegaraan : Indonesia

Pemegang Hak Cipta

Nama : **LPPM Universitas Lambung Mangkurat (LPPM ULM)**

Alamat : Jl Brigjen H. Hasan Basry, Kampus ULM Banjarmasin, Kal-Sel, Banjarmasin, Kalimantan Selatan, 70123

Kewarganegaraan : Indonesia

Jenis Ciptaan : **Buku**

Judul Ciptaan : **Buku "PEMANFAATAN ABU BATUBARA SEBAGAI MATERIAL CAMPURAN BRIKET".**

Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia : 10 Mei 2019, di Jakarta

Jangka waktu perlindungan : Berlaku selama 50 (lima puluh) tahun sejak Ciptaan tersebut pertama kali dilakukan Pengumuman.

Nomor pencatatan : 000207333

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.

Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.



a.n. MENTERI HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA
DIREKTUR JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL

Dr. Freddy Harris, S.H., LL.M., ACCS.
NIP. 196611181994031001

Pemanfaatan Abu Batubara

Sebagai Material Campuran Briket

Ninis Hadi Haryanti
Suryajaya
Henry Wardhana



Universitas Lambung Mangkurat

PEMANFAATAN ABU BATUBARA SEBAGAI MATERIAL CAMPURAN BRIKET

*Ninis Hadi Haryanti
Suryajaya
Henry Wardhana*



PEMANFAATAN ABU BATUBARA SEBAGAI
MATERIAL CAMPURAN BRIKET

Ninis Hadi Haryanti
Suryajaya
Henry Wardhana

Editor, Sadang Husain

Diterbitkan oleh:

Lambung Mangkurat University Press, 2019 d/a
Pusat Pengelolaan Jurnal dan Penerbitan ULM
Lantai 2 Gedung Perpustakaan Pusat ULM
Jl. Hasan Basri, Kayutangi, Banjarmasin, 70123
Telp/Fax. 0511-3305195
ANGGOTA APPTI (004.035.1.03.2018)

Hak cipta dilindungi oleh Undang-undang.

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari
Penerbit, kecuali untuk kutipan singkat demi penelitian ilmiah atau resensi.

x + 68 hlm, 15,5 x 23 cm
Cetakan pertama, Desember 2019

ISBN : 978-623-7533-02-3

PRAKATA

Abu dasar batubara seringkali masih mengandung karbon yang cukup tinggi. Pada limbah abu dasar mempunyai ukuran butir yang halus sehingga tidak memungkinkan untuk dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar lagi secara langsung walaupun nilai kalorinya tinggi. Untuk itu dilakukan upaya pemanfaatan limbah abu batubara sebagai bahan dasar briket. Selanjutnya untuk meningkatkan nilai kalori briket yang dibuat, maka dilakukan pencampuran dengan bahan lain yang mempunyai nilai kalori lebih tinggi. Disamping itu juga untuk menaikkan nilai tambah dari abu batubara.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulisan buku ini dan juga kepada teman sejawat yang telah membaca seluruhnya sehingga terhindar dari kesalahan yang prinsipal.

Akhirnya segala kritik dan saran demi perbaikan isi buku ini sangat diharapkan.

Banjarmasin, November 2019

Penulis

KATAPENGANTAR

Buku teks **Pemanfaatan Abu Batubara Sebagai Material Campuran Briket** ini membahas tentang briket dengan memanfaatkan limbah yang ada ,yaitu limbah abu batubara dan arang kayu alaban. Abu batubara berupa abu dasar dan abu terbang.Pada bagian awal diuraikan tentang abu dasar dan abu terbang batubara serta arang kayu alaban. Disamping itu juga dijelaskan tentang karakteristiknya. Sementara karakteristik dan morfologi briket juga dibahas dalam buku ini. Data karakteristik dan morfologi unsur merupakan data hasil penelitian yang sudah dilakukan.

Buku teks ini diharapkan sebagai bahan referensi untuk pembuatan briket dengan memanfaatkan limbah abu batubara dan arang kayu alaban. Disamping itu juga dengan bahan limbah yang lainnya. Semoga buku ini dapat menjadikan bahan bacaan bagi yang memerlukannya.Editor menyampaikan apresiasi kepada penulis atas terbitnya buku teks ini.

Banjarbaru, Desember 2019

Editor, Sadang Husain

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
BAB II ABU TERBANG BATUBARA	5
2.1 Karakteristik Abu Terbang	5
2.2 Proses pembentukan abu terbang	8
2.3 Sifat-sifat abu terbang	10
2.3.1 Sifat Fisik	10
2.3.2 Sifat Kimia	10
2.4 Pemanfaatan abu terbang	12
BAB III ABU DASAR BATUBARA DAN PEMANFAATANNYA	15
3.1 Karakteristik Abu Dasar Batubara	15
3.2 Pemanfaatan Abu Dasar Batubara Sebagai Bahan Briket	17
BAB IV DAMPAK LINGKUNGAN ABU BATUBARA	27
BAB V ARANG KAYU ALABAN	31
BAB VI ABU BATUBARA dan ARANG KAYU ALABAN SEBAGAI BAHAN BRIKET	33
6.1 Kadar Air, Kadar Abu dan Nilai Kalori	33
6.2 Komposisi Unsur dan Morfologi	34

BAB VII KARAKTERISTIK BRIKET	37
7.1 Karakteristik Briket	37
7.2 Kadar Air (%)	39
7.3 Kadar Abu (%)	42
7.4 Kadar Volatile (%)	46
7.5 Nilai Kalori (kal/gr)	49
7.6 Densitas	52
7.7 Porositas (%)	56
BAB VIII MORFOLOGI BRIKET	61
Daftar Pustaka	65

SINOPSIS

Semakin terbatasnya jumlah bahan bakar fosil menyebabkan kebutuhan untuk mencari dan mengembangkan sumber-sumber energi baru dan terbarukan. Briket merupakan solusi yang efektif dan efisien sebagai sumber energi baru terbarukan. Briket mempunyai beberapa keuntungan antara lain kering, kerapatan tinggi, dan bentuk yang seragam sehingga tempat penyimpanan menjadi efisien.

Pohon alaban merupakan tanaman yang banyak tumbuh di Kalimantan Selatan. Pohon alaban diketahui memiliki kandungan karbon yang cukup tinggi sehingga biasa dibuat menjadi arang dan diekspor. Pecahan arang atau yang tidak sempurna bentuknya menjadi limbah dari industri arang alaban di Desa Ranggung yang belum pernah dimanfaatkan. Selain itu abu batubara juga memiliki kandungan karbon yang cukup tinggi sehingga jika dicampur dengan arang alaban diharapkan dapat menghasilkan briket dengan nilai kalori yang cukup tinggi pula. Briket dengan bahan campuran dari limbah industri arang Alaban dan abu batubara ini juga membantu pemecahan permasalahan lingkungan di Kalimantan.

Buku ini berisi informasi untuk memanfaatkan limbah industri arang alaban dan limbah abu batubara yang berupa abu dasar dan abu terbang sebagai bahan briket. Nilai ekonomis dari briket lebih banyak terletak pada faktor *cost reduction*. Beberapa hal yang menguntungkan dari penggunaan briket yaitu besarnya potensi biomassa di Indonesia yang merupakan sumber bahan baku, untuk memproduksinya tidak membutuhkan investasi dan teknologi yang tinggi serta merupakan sumber energi terbarukan/hijau, tidak banyak menimbulkan dampak negatif lingkungan baik tanah, air dan udara, dapat dikerjakan sendiri oleh masyarakat maupun industri / unit usaha.

Buku ini diharapkan akan memperkaya pengetahuan mahasiswa dalam bidang briket serta menjadi bahan rujukan untuk penelitian selanjutnya dalam rangka pemanfaatan limbah di Kalimantan Selatan.

Banjarmasin, Desember 2019

Penulis

BAB I

PENDAHULUAN

Batubara banyak digunakan oleh industri dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) sebagai bahan bakar boiler untuk menghasilkan kukus (*steam*) sebagai media pemanas atau pembangkit listrik. PLTU merupakan sektor yang paling banyak menggunakan batubara. Dari pembakaran batubara dihasilkan sekitar 5% limbah padat yang berupa abu terbang dan abu dasar (*fly ash* dan *bottom ash*). Type pembakaran dry bottom boiler pada PLTU akan dihasilkan abu dasar lebih kurang 4 – 5 juta ton/tahun (Mekar, 2017).

Komposisi abu batubara yang dihasilkan terdiri dari 10 - 20 % abu dasar, sedang sisanya sekitar 80 - 90 % berupa abu terbang. Abu terbang adalah limbah batubara yang sangat halus, terbawa keluar dari tungku pembakaran bersama gas buangan yang lain. Abu terbang adalah partikel halus yang merupakan endapan dari tumpukan bubuk hasil pembakaran batubara yang dikumpulkan dengan alat elektro presipitator (Edy B, 2007).

Menurut asisten teknik operasional PLTU Asam-asam (2013), tumpukan limbah abu batubara hasil pembakaran dua pembangkit PLTU Asam-asam, Kabupaten Tanah Laut mencapai 130.000 ton. Jumlah ini akan terus bertambah mengingat produksi tiap hari abu batubara mencapai 60 ton dari penggunaan 4.400 ton batubara untuk pembangkit unit 1 dan unit 2. Terlebih pada saat ini PLN wilayah Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah tersebut mulai mengoperasikan PLTU unit 3 dan unit 4 yang berkapasitas 130 megawatt, dengan jumlah limbah abu terbang yang dihasilkan 60 ton tiap hari. Jumlah limbah abu terbang dari PLTU unit 1 sampai dengan unit 4 tersebut adalah 120 ton per hari atau 3.600 ton per bulan atau 43.200 ton per tahun. Jika limbah abu terbang ini tidak ditangani akan menimbulkan masalah pencemaran lingkungan.

Pemanfaatan limbah abu terbang tersebut tentunya sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 101 tahun 2014 sebagai perubahan dari PP nomor 18 tahun 1999 tentang Pengelolaan

Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun serta Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 02 tahun 2008 tentang Pemanfaatan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3). Pemanfaatan limbah B3 adalah kegiatan penggunaan kembali (*reuse*) dan/atau daur ulang (*recycle*) dan/atau perolehan kembali (*recovery*) yang bertujuan untuk mengubah limbah B3 menjadi produk yang dapat digunakan dan harus juga aman bagi lingkungan (PerMen. LH No. 2/2008). Disamping itu dengan pemanfaatan limbah B3 sekaligus dapat mengurangi jumlah limbah B3, penghematan sumber daya alam dan meminimisasi potensi dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Abu terbang telah banyak digunakan di banyak negara dan tidak menyebabkan problem kesehatan pada masyarakat (Liu, 2007).

Pemanfaatan limbah abu terbang yang telah dilakukan adalah : (a). Sebagai campuran semen pada pembuatan bendungan, tanggul air, dermaga dan konstruksi jalan raya. (b). Sebagai material tahan api yang ringan dan ubin yang tahan terhadap temperatur yang tinggi. (c). Sebagai material penguat pada aluminium *metal matrix composite* (MMC) yang bertujuan meningkatkan kekuatan dan menjadikannya lebih ringan. Komposit yang dihasilkan ini telah banyak digunakan dalam industri otomotif dan penerbangan. Selain itu digunakan sebagai material pengisi seperti pada aspal, plastik dan produk karet. (d). Digunakan dalam perawatan air dan sebagai pengikat tumpahan minyak dan zat kimia di perairan.

Komponen utama dari limbah abu terbang batubara yang berasal dari pembangkit listrik adalah Silika (SiO_2), Alumina (Al_2O_3), dan Besi Oksida (Fe_2O_3), sisanya adalah Karbon, Kalsium, Magnesium, dan Belerang. Limbah abu terbang biasanya banyak dimanfaatkan dalam perusahaan industri karena abu terbang ini mempunyai sifat pozolanik (sifat seperti semen, memiliki perilaku mengikat mineral lain), sedangkan untuk abu dasar sangat sedikit pemanfaatannya dan biasanya digunakan sebagai material pengisi (Aziz dan Ardha, 2006). Berbagai penelitian mengenai pemanfaatan limbah abu terbang batubara sedang dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomisnya serta mengurangi dampak buruknya terhadap lingkungan. Pada saat ini pada umumnya abu terbang batubara digunakan dalam pabrik semen sebagai satu diantara bahan campuran pembuat beton.

Abu terbang termasuk dalam kategori limbah yang mempunyai potensi tinggi untuk digunakan dalam konstruksi. Abu terbang dapat digunakan sebagai mineral filler karena ukuran partikel yang sangat lembut, sehingga dapat berfungsi sebagai pengisi rongga dan sebagai pengikat antar agregat (Setiawan, 2005). Bahan campuran substitusi semen dan abu terbang kini banyak dibutuhkan. Hal ini disebabkan bahan campuran semen yang berasal dari abu bekas pembakaran batubara mempunyai keunggulan daya lekat yang kuat karena mengandung silika dan alumina dengan kadar kapur yang rendah. Komposisi abu terbang dalam campuran pembuatan bahan bangunan dipakai sekitar 20% (Pelaihari, 2007).

Abu terbang dimanfaatkan sebagai pengganti semen Portland, batu bata, beton ringan, material konstruksi jalan, material pekerjaan tanah (Wardani, 2008). Selain itu abu terbang juga dimanfaatkan sebagai bahan baku keramik, refraktori, bahan penggosok (polisher) filler aspal, bahan baku semen aditif dalam pengolahan limbah, adsorben (Acosta, 2009), filler di aluminium alloy (Sulardjaka, 2010) dan pozzolan di beton (Aggarwal, 2010). Menurut Agus D Darmawan (2008), pemanfaatan limbah batubara yang berupa abu terbang dapat digunakan untuk membuat bahan bangunan. Dengan campuran abu batubara yang merupakan limbah PLTU, ternyata berhasil dibuat batako dengan cara sederhana. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan batako limbah abu batubara dengan perbandingan 60:40 (68.98 kg/cm²) lebih tinggi dari batu bata (50.45 kg/cm²).

BAB II

ABU TERBANG BATUBARA

2.1 Karakteristik Abu Terbang

Menurut SNI 03-6414-2002, abu terbang adalah limbah padat dalam butiran halus hasil dari proses pembakaran di dalam furnace pada PLTU yang kemudian terbawa keluar oleh sisa-sisa pembakaran serta di tangkap dengan menggunakan elektrostatic precipitator. Abu terbang merupakan material oksida anorganik berwarna abu-abu kehitaman yang mengandung silika dan alumina aktif karena telah melalui proses pembakaran pada suhu tinggi. Partikel-partikel abu terbang umumnya berbentuk bulat, karena partikel tersebut memadat selama tersuspensi di dalam gas-gas buangan. Abu terbang yang terkumpul pada presipitator elektrostatis biasanya mempunyai ukuran (0.074 – 0.005) mm, terutama terdiri dari silikon dioksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3) dan besi oksida (Fe_2O_3). Jadi abu terbang adalah limbah hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozolanic.

Berdasarkan SNI 03-6414-2002 dan ASTM C-618, abu terbang sebagai bahan pozolanic adalah:

- a. Bahan yang mengandung senyawa silika atau silika dan alumina
- b. Secara independen sangat sedikit atau tidak mempunyai kemampuan mengikat (non-cementitious)
- c. Dalam bentuk yang sangat halus dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida (dengan kelembaban yang cukup dan dalam suhu kamar) untuk membentuk suatu bahan yang mempunyai sifat mengikat (cementitious).

Menurut laporan teknik PT PLN (Persero), di Indonesia produksi limbah abu terbang dan abu dasar dari PLTU mencapai 2 juta ton pada tahun 2006, dan meningkat menjadi 3,3 juta ton pada tahun 2009. Khusus untuk PLTU Suralaya, sejak tahun 2000 hingga 2006 terdapat akumulasi jumlah abu sebanyak 219.000 ton per tahun. Produksi abu terbang batubara di dunia pada tahun 2000 berjumlah 349 milyar ton. Produksi

abu terbang dari pembangkit listrik di Indonesia terus meningkat, pada tahun 2000 jumlahnya mencapai 1,66 milyar ton dan mencapai 2 milyar ton pada tahun 2006. Menurut data Kementerian Lingkungan Hidup 2006, limbah abu terbang dari batubara yang dihasilkan mencapai 52,2 ton/hari, sedangkan limbah abu dasar mencapai 5,8 ton/hari.

Menurut asisten teknik operasional PLTU Asam-asam (2013), tumpukan limbah abu batubara hasil pembakaran dua pembangkit PLTU Asam-asam, Kabupaten Tanah Laut mencapai 130.000 ton. Jumlah ini akan terus bertambah mengingat produksi tiap hari abu batubara mencapai 60 ton dari penggunaan 4.400 ton batubara untuk pembangkit unit 1 dan unit 2. Terlebih pada saat ini PLN wilayah Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah tersebut mulai mengoperasikan PLTU unit 3 dan unit 4, dengan jumlah limbah abu terbang yang dihasilkan 60 ton tiap hari. Jumlah limbah abu terbang dari PLTU unit 1 sampai dengan unit 4 tersebut adalah 120 ton per hari atau 3.600 ton per bulan atau 43.200 ton per tahun.

Limbah abu terbang PLTU Asam-asam seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1 berikut ini.



Gambar 2.1 Limbah Abu Terbang PLTU Asam-asam

Penyumbang terbesar produksi abu terbang batubara adalah sektor pembangkit listrik. Jika limbah abu ini tidak ditangani akan menimbulkan masalah pencemaran lingkungan. Satu diantara kemungkinan

penanganannya adalah dengan memanfaatkan abu terbang ini untuk bahan baku pembuatan bata ringan.

Faktor-faktor utama yang mempengaruhi dalam kandungan mineral abu terbang dari batubara adalah: (1). komposisi kimia batubara, (2). proses pembakaran batubara, (3). bahan tambahan yang digunakan termasuk bahan tambahan minyak untuk stabilisasi nyala api dan bahan tambahan untuk pengendalian korosi. Senyawa penyusun abu terbang sebenarnya sangat ditentukan oleh mineral pengotor bawaan yang terdapat pada batubara itu sendiri yang disebut dengan inheren mineral matter. Mineral pengotor yang terdapat dalam batubara dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu:

- 1). mineral matter: pada dasarnya mineral-mineral ini terendapkan di tempat tersebut bersamaan dengan saat proses pembentukan peat.
- 2). extraneous mineral matter: pada prinsipnya mineral-mineral pengotor ini terakumulasi pada cekungan setelah proses pembentukan lapisan peat tersebut selesai.

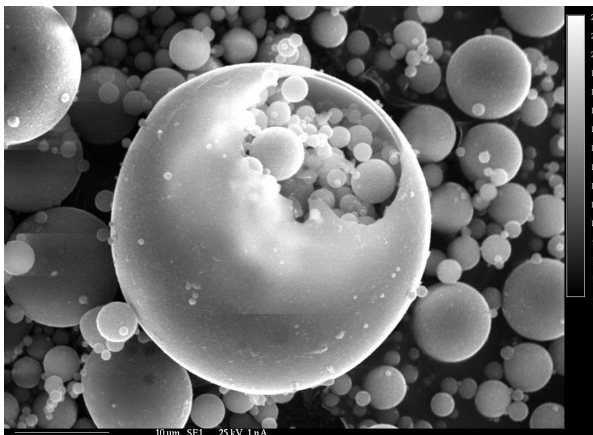
Dari sejumlah abu yang dihasilkan dalam proses pembakaran batubara, maka sebanyak 55% - 85% berupa abu terbang dan sisanya berupa abu dasar. Sedangkan pada PLTU Suralaya dari sejumlah abu yang dihasilkan hampir 90% berupa abu terbang. Kedua jenis abu ini memiliki perbedaan karakteristik serta pemanfaatannya. Biasanya abu terbang banyak dimanfaatkan dalam perusahaan industri karena abu terbang ini mempunyai sifat pozzolanik, sedangkan abu dasar sangat sedikit pemanfaatannya dan biasanya digunakan sebagai material pengisi (Aziz, 2006).

Abu batubara bersifat pozzolan, yaitu bahan yang mengandung senyawa silika atau silika dan alumina. Pada dasarnya abu batubara tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen, tetapi karena ukurannya yang halus serta dengan adanya air, maka oksida silika yang terkandung dalam abu batubara akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen, sehingga akan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat. Abu batubara dapat digunakan pada beton sebagai material terpisah atau sebagai bahan dalam campuran semen dengan tujuan untuk memperbaiki sifat-sifat beton.

Adapun karakteristik abu terbang adalah:

- a. Dari segi gradasinya, jumlah prosentase yang lolos dari saringan no. 200 (0,074 mm) berkisar antara 60% sampai 90%.
- b. Warna dari abu terbang dapat bervariasi dari abu-abu sampai hitam tergantung dari jumlah kandungan karbonnya, semakin terang semakin rendah kandungan karbonnya.
- c. Abu terbang bersifat tahan air.
- d. Komponen utama abu terbang adalah silikon (Si), aluminium (Al), besi (Fe) dan kalsium (Ca) dengan variasi kandungan karbon.

Abu terbang pada umumnya terdiri dari partikel solid yang berbentuk bulat, dan sebagian adalah partikel bulat berongga serta partikel bulat yang berisi partikel-partikel bulat lain yang lebih kecil. Foto SEM abu terbang batubara seperti ditunjukkan pada Gambar berikut.



Gambar 2.2 Abu Terbang Batubara (Emmanuel, 2004)

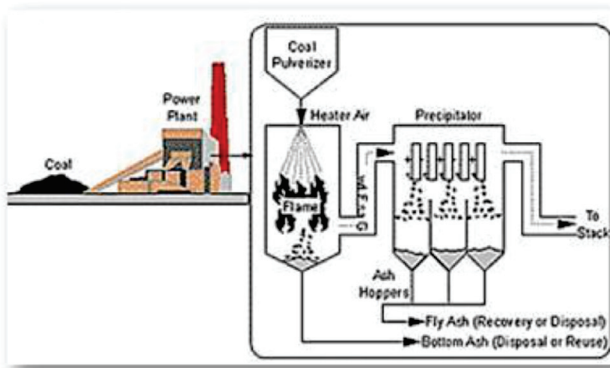
2.2 Proses pembentukan abu terbang

Sistem pembakaran batubara umumnya terbagi 2 yakni sistem unggun terfluidakan (*fluidized bed system*) dan sistem unggun tetap (*fixed bed system* atau *grate system*). Disamping itu terdapat sistem ke 3 yakni *spouted bed system* atau yang dikenal dengan unggun pancar. Sistem unggun terfluidakan adalah sistem dimana udara ditiup dari bawah menggunakan blower sehingga benda padat di atasnya berkelakuan mirip fluida. Teknik fluidisasi dalam pembakaran batubara adalah teknik yang paling efisien dalam menghasilkan energi. Pasir yang berlaku sebagai

medium pemanas dipanaskan terlebih dahulu. Pemanasan biasanya dilakukan dengan minyak bakar. Setelah suhu pasir mencapai suhu bakar batubara (300°C), maka diumpankanlah batubara. Sistem ini menghasilkan abu terbang dan abu yang turun di bawah alat. Teknologi ini biasanya digunakan di PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap). Komposisi abu terbang dan abu dasar yang terbentuk dalam perbandingan berat adalah (80-90) % berbanding (10-20) %.

Sistem unggun tetap adalah teknik pembakaran dimana batubara berada di atas *conveyor* yang berjalan atau *grate*. Sistem ini kurang efisien karena batubara yang terbakar tidak sempurna, sehingga masih ada karbon yang tersisa. Abu yang terbentuk terutama abu dasar masih memiliki kandungan kalori sekitar 3000 kkal/kg. Teknologi ini banyak digunakan pada industri tekstil sebagai pembangkit uap (*steam generator*). Komposisi abu terbang dan abu dasar yang terbentuk dalam perbandingan berat adalah: (15-25) % berbanding (75-25) %. Abu terbang merupakan produk sisa dari pembakaran batubara yang dipisahkan dari saluran pembuangan gas batubara pada suatu *power plant* menggunakan *precipitator*.

Gambar 2.3 menunjukkan proses terbentuknya abu terbang mulai dari batu bara hingga menjadi abu terbang dan proses terbentuknya *by-products* di dalam suatu *power plant*.



Gambar 2.3 Electrostatic Precipitator (www.fhwa.dot.gov, 2012)

2.3 Sifat-sifat abu terbang

Abu terbang mempunyai beberapa sifat yang menguntungkan dalam rangka untuk menunjang pemanfaatannya, yaitu:

2.3.1 Sifat Fisik

Abu terbang merupakan material yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara pada alat pembangkit listrik, sehingga semua sifat-sifatnya juga ditentukan oleh komposisi dan sifat mineral-mineral pengotor dalam batubara serta proses pembakarannya. Pada proses pembakaran batubara ini titik leleh abu batubara lebih tinggi dari suhu pembakarannya, sehingga menghasilkan abu yang memiliki tekstur butiran yang sangat halus. Abu terbang batubara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Abu terbang umumnya terdiri dari partikel solid yang berbentuk bulat, dan sebagian adalah partikel bulat berongga serta partikel bulat yang berisi partikel-partikel bulat lain yang lebih kecil.

Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batubara bituminus lebih kecil dari 0,075 mm. Kerapatan abu terbang berkisar antara 2100 sampai 3000 kg/m³ dan luas area spesifiknya antara 170 sampai 1000 m²/kg. Specific Gravity (SG) abu terbang bervariasi, ada beberapa lembaga yang memberikan rentang nilai Specific Gravity, rentang terbesar tersebut adalah antara 1,6 – 3,1. Pada umumnya Specific Gravity material abu terbang berkisar antara 1,9 – 2,55. Adapun sifat-sifat fisiknya antara lain: a). warna: abu-abu keputihan, b). ukuran butir: sangat halus yaitu sekitar 88%.

2.3.2 Sifat Kimia

Komponen utama abu terbang batubara yang berasal dari pembangkit listrik adalah silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃), besi oksida (Fe₂O₃), dan kalsium oksida (CaO), sisanya adalah karbon, magnesium, dan belerang. Sifat kimia abu terbang batubara dipengaruhi oleh jenis batubara yang dibakar dan teknik penyimpanan serta penanganannya. Pembakaran batubara lignit dan sub-bituminus menghasilkan abu terbang dengan kalsium dan magnesium oksida lebih banyak dari pada batubara bituminus. Disamping itu memiliki kandungan silika, alumina, dan karbon yang lebih sedikit dari pada bituminus.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Abu Terbang Batubara

Komponen	Bituminous (%)	Sub-bituminous (%)	Lignite (%)
SiO ₂	(20 - 60)	(40 - 60)	(15 - 45)
Al ₂ O ₃	(5 - 35)	(20 - 30)	(10 - 25)
Fe ₂ O ₃	(10 - 40)	(4 - 10)	(4 - 15)
CaO	(1 - 12)	(5 - 30)	(15 - 40)
MgO	(0 - 5)	(1 - 6)	(3 - 10)
SO ₃	(0 - 4)	(0 - 2)	(0 - 10)
Na ₂ O	(0 - 4)	(0 - 2)	(0 - 6)
K ₂ O	(0 - 3)	(0 - 4)	(0 - 4)
LOI	(0 - 15)	(0 - 3)	(0 - 5)

Sumber: Wardani, Sri Prabandiyani Retno, 2008.

Kandungan karbon dalam abu terbang diukur dengan menggunakan *Loss Of Ignition Method* (LOI), yaitu suatu keadaan hilangnya potensi nyala dari abu terbang batubara. Abu terbang batubara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batubara bituminous lebih kecil dari 0,075 mm. Sedangkan ukuran partikel rata-rata abu terbang batubara jenis sub-bituminous 0,01mm – 0,015 mm, luas permukaannya 1-2 m²/g, massa jenis (*specific gravity*) 2,2 – 2,4 dan bentuk partikel *mostly spherical*, yaitu sebagian besar berbentuk seperti bola, sehingga menghasilkan kelecakan (*workability*) yang lebih baik (Nugroho, 2007).

Penggolongan abu terbang pada umumnya dilakukan dengan memperhatikan kadar senyawa kimiawi (SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃), kadar kalsium oksida (CaO), dan kadar karbon. Kandungan karbon berpengaruh pada Loss on Ignition, yang ditetapkan LOI tidak boleh lebih dari 6% atau 10%. Menurut ASTM C618 abu terbang dibagi menjadi dua kelas yaitu abu terbang kelas F dan kelas C.

Perbedaan utama dari kedua kelas abu tersebut adalah banyaknya kalsium, silika, aluminium dan kadar besi di abu tersebut. Walaupun abu terbang kelas F dan kelas C sangat ketat untuk digunakan yang memenuhi spesifikasi tersebut, namun istilah yang lebih umum digunakan adalah berdasarkan asal produksi batubara atau kadar CaO. Yang penting diketahui, bahwa tidak semua abu terbang dapat memenuhi persyaratan

ASTM C618, kecuali pada aplikasi untuk beton, persyaratan tersebut harus dipenuhi.

Abu terbang kelas F.

Abu terbang yang mengandung kapur rendah atau CaO lebih kecil dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran batubara anthracite atau bituminous.

Kadar $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) > 70\%$.

Kadar CaO $< 10\%$ (ASTM 20%).

Kadar karbon (C) berkisar antara 5% - 10%.

Abu terbang kelas F disebut juga *low-calcium fly ash*, yang tidak mempunyai sifat cementitious dan hanya bersifat pozolanic. Sifat pozolanic memiliki perilaku mengikat mineral lain sehingga menjadi semakin keras dalam jangka waktu tertentu. Untuk mendapatkan sifat cementitious harus diberi penambahan *quick lime*, *hydrated lime*, atau semen.

Abu terbang kelas C.

Abu terbang yang mengandung CaO di atas 10% yang dihasilkan dari pembakaran batubara lignite atau sub-bituminous (batubara muda).

Kadar $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) > 50\%$.

Kadar CaO $\geq 10\%$ (ASTM 20%).

Kadar karbon (C) berkisar 2%.

Abu terbang kelas C disebut juga *high calcium fly ash*.

Karena kandungan CaO yang cukup tinggi, abu terbang kelas C mempunyai sifat cementitious selain juga sifat pozolan. Sifat cementitious tersebut, jika terkena air atau kelembaban akan berhidrasi dan mengeras dalam waktu sekitar 45 menit, sifat ini timbul tanpa penambahan kapur (Mulyono, 2005).

2.4 Pemanfaatan abu terbang

Pemanfaatan abu terbang tentunya sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 101 tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun serta Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 02 tahun 2008 tentang Pemanfaatan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. Berbagai penelitian

mengenai pemanfaatan abu terbang batubara sedang dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomisnya serta mengurangi dampak buruknya terhadap lingkungan. Keberadaan abu terbang yang semula masih dianggap sebagai polutan, sekarang sudah mengalami pergeseran fungsi. Abu terbang banyak diteliti baik sifat fisik maupun kimiawi untuk dapat dimanfaatkan keberadaannya. Pada saat ini umumnya abu terbang batubara banyak digunakan dalam pabrik semen sebagai salah satu bahan campuran pembuat beton.

Abu terbang termasuk dalam kategori limbah yang mempunyai potensi tinggi untuk digunakan dalam konstruksi. Abu terbang dapat digunakan sebagai mineral filler karena ukuran partikel yang sangat lembut, sehingga dapat berfungsi sebagai pengisi rongga dan sebagai pengikat antar agregat (Setiawan, 2005). Bahan campuran substitusi semen abu terbang pada saat ini banyak dibutuhkan. Selain itu abu terbang digunakan sebagai bahan tambahan dalam komposisi material pembuatan batako, conblock, paving block, bata pejal, panel dinding, beton casting dan batako serta ready mix (concrete beton). Komposisi abu terbang dalam campuran pembuatan bahan bangunan dipakai sekitar 20% (Pelaihari, 2007). Abu terbang dimanfaatkan sebagai pengganti semen Portland, batu bata, beton ringan, material konstruksi jalan, material pekerjaan tanah (Wardhani, 2008). Selain itu abu terbang juga dimanfaatkan sebagai bahan baku keramik, refraktori, bahan penggosok (polisher) filler aspal, bahan baku semen aditif dalam pengolahan limbah, adsorben (Acosta, 2009), filler di aluminium alloy (Sulardjaka, 2010) dan pozzolan di beton (Aggarwal, 2010).

Dengan semakin meningkatnya volume limbah batubara, hal ini akan menjadi masalah lingkungan yang besar. Berdasarkan observasi di lapangan, hamparan limbah batubara di PLTU Asam-asam akan direklamasi untuk masa yang akan datang. Keseluruhan uji hayati contoh abu batubara dari PLTU Asam asam terhadap kutu air, ikan mas, dan mencit memberikan hasil bahwa bahan-bahan uji tersebut relatif tidak berbahaya bagi makhluk hidup (Khaerunisa, 2006). Sejalan dengan perkembangan pembangunan di Kalimantan Selatan, kebutuhan bahan bangunan khususnya bata ringan juga semakin meningkat. Sementara itu, limbah batubara yang dibuang oleh PLTU Asam-asam sebenarnya mempunyai potensi digunakan untuk campuran bahan bangunan tersebut.

Berdasarkan hasil penelitian Djumari (2011), penambahan abu terbang dengan persentase tertentu dari berat semen ternyata dapat meningkatkan kuat tekan batako. Peningkatan kuat tekan ini terjadi pada persentase 10% dengan kuat tekan 16,35 kg/cm²; persentase 20% dengan kuat tekan 17,10 kg/cm²; persentase 30% dengan kuat tekan 19,59 kg/cm²; persentase 40% dengan kuat tekan 17,16 kg/cm²; persentase 70% dengan kuat tekan 9,80 kg/cm². Hasil penelitian Michael (2012), menunjukkan bahwa pengaruh penambahan *fly ash* dengan kadar 30% dapat memberikan hasil yang lebih baik dan ekonomis dibandingkan dengan bata ringan standar tanpa *fly ash*.

Haryanti dkk (2014) melakukan penelitian tentang uji *fly ash* sebagai bahan pembuatan bata ringan menyebutkan bahwa komposisi campuran *fly ash* yang biasa digunakan dalam pembuatan bahan bangunan adalah sekitar 20%. Hasil yang didapatkan adalah komposisi kimia limbah abu terbang PLTU Asam asam Kalimantan Selatan yaitu $Al_2O_3:SiO_2 = 5,7\%:74,2\%$ atau nilai $Al_2O_3/SiO_2 = 0,076819$, yang berarti kadar alumina sangat kecil dibandingkan dengan silikanya. Dari hasil tersebut terlihat bahwa *fly ash* yang digunakan termasuk dalam kategori *fly ash* tipe F (ACI *Manual of Concrete Practice* 1993 Part 1 226.3R-3), dengan kadar $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ lebih dari 70% dan sesuai dengan syarat SNI 03-2460-1991.

Dari beberapa penelitian diatas, ada beberapa unsur dalam abu terbang baik dari segi kimia maupun fisik yang jika dikombinasikan dengan semen, air, pasir dan agregat akan memberikan efek yang baik pada beton. Setiap abu terbang mempunyai karakteristik dan kualitas yang berbeda. Pembentukan karakteristik abu terbang tersebut dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya adalah asal batubara yang digunakan, pengolahan batubara, pembakaran batubara, dan pengolahan abu terbang itu sendiri. Berbagai penelitian mengenai pemanfaatan abu terbang batubara yang sedang dilakukan pada saat ini dengan tujuan untuk meningkatkan nilai ekonomisnya serta mengurangi dampak buruknya terhadap lingkungan.

BAB III

ABU DASAR BATUBARA DAN PEMANFAATANNYA

Batubara dalam PLTU menghasilkan limbah abu terbang dan abu dasar. Abu dasar adalah abu hasil pembakaran batu bara yang memiliki masa lebih berat dibandingkan dengan abu terbang sehingga abu dasar langsung turun menuju bagian bawah boiler setelah terjadi pembakaran batu bara, sedangkan abu terbang merupakan abu yang ringan sehingga ikut terbawa ke dalam aliran gas (flue gas) yang akan dialirkan menuju *stack*. Limbah abu terbang sudah banyak dimanfaatkan kembali, antara lain untuk campuran bahan baku semen karena sifatnya yang mudah padat dan keras, sedangkan abu dasar tidak dimanfaatkan kembali. Saat ini, pemanfaatan limbah abu dasar lebih banyak digunakan pada bahan pengganti bata atau *paving block*.

3.1 Karakteristik Abu Dasar Batubara

Penentuan unsur pada limbah padat abu dasar dan abu terbang batubara secara kualitatif dan kuantitatif merupakan langkah awal untuk mengevaluasi dampak terhadap lingkungan terkait dengan risiko kontaminasi lingkungan dan biologis (Gunawan, 2015).

Komponen pembentuk limbah abu batubara berdasarkan analisis proksimat terdiri dari: air lembab (*Moisture* = M), abu (*Ash* = A), materi mudah menguap (*Volatil Matter* = VM), karbon tertambat (*Fixed Carbon* = FC). Komponen volatil 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 SO yang terdapat pada batubara.

Abu batubara yang merupakan limbah dari proses pembangkit tenaga listrik tersebut dapat berupa abu terbang dan abu dasar. Abu tersebut kemudian dipindahkan ke lokasi penimbunan abu dan terakumulasi di lokasi tersebut dalam jumlah yang sangat banyak. Dengan bertambahnya jumlah abu batubara, maka perlu dilakukan usaha untuk memanfaatkan

limbah padat tersebut. Abu batubara sebagai limbah abu padat hasil proses pembakaran terdiri dari 80% abu terbang dan 20% abu dasar.

Secara mineralogi abu batubara yang tersusun dalam fasa amorf, kristalin dan memiliki daya rekat dengan komposisi kimia utama SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , dan komposisi pendukung CaO , NaO dan Fe_2O_3 . Abu batubara mengandung $\text{SiO}_2 = 58,75\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 25,82\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 5,30\%$, $\text{CaO} = 4,66\%$, alkali = $1,36\%$, $\text{Mg} = 3,30\%$. Beberapa logam berat yang terkandung dalam abu batubara seperti tembaga (Cu), timbal (Pb), seng (Zn), kadmium (Cd), chrom (Cr) (Gunawan, 2015).

Abu dasar memiliki warna gelap, dengan ukuran butiran 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 SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , dan MgO dengan mineral tambahan mullite ($\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$) dan magnite (Fe_3O_4). Abu dasar masih memiliki nilai kalori 3000 kkal/kg (Slamet, 2016). Kandungan yang terdapat pada abu dasar batubara dapat dilihat pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Karakteristik Abu Dasar

Parameter	Nilai	Satuan
Nilai Kalor	610	kal/gr
Kadar Air	2,0	%
Kadar Abu	84	%

(Sumber: Anetiesia, 2014).

Abu dasar merupakan limbah berupa abu yang memiliki massa yang lebih tinggi dari abu terbang. Abu dasar adalah bahan buangan dari proses pembakaran batubara pada pembangkit tenaga listrik yang mempunyai ukuran partikel lebih besar dan lebih berat dari pada abu terbang, sehingga abu dasar akan jatuh pada dasar tungku pembakaran (*boiler*) dan terkumpul pada penampung debu (*ash hopper*) lalu dikeluarkan dari tungku dengan cara disemprot dengan air untuk kemudian dibuang atau dipakai sebagai bahan tambahan pada perkerasan jalan (Anetiesia, 2014).

Abu dasar dikategorikan menjadi *dry bottom ash* dan *wet bottom ash/boiler slag* berdasarkan jenis tungkunya yaitu *dry bottom boiler* yang menghasilkan *dry bottom ash* dan *slag-tap boiler* serta *cyclone boiler*

yang menghasilkan *wet bottom ash (boiler slag)*. Sifat dari abu dasar sangat bervariasi karena dipengaruhi oleh jenis batubara dan sistem pembakarannya (Syamsuddin, 2015). Abu dasar dapat dikategorikan ke dalam *light coal*, tergolong produk terbaru bahan bakar padat berbasis batubara. Dapat langsung digunakan karena telah mengalami proses *thermal upgrading* pada suhu 200°C.

3.2 Pemanfaatan Abu Dasar Batubara Sebagai Bahan Briket

Abu dasar masih memiliki nilai kandungan karbon yang bisa dimanfaatkan kembali dengan ditingkatkan nilai panasnya dengan dicampur dengan biomassa (Gunawan, 2015). Penelitian menunjukkan bahwa abu dasar 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.

Tabel 3.2 Standar kualitas batubara sebagai bahan baku briket dan bahan bakar padat berbasis batubara

Jenis briket batubara/bahan padat berbasis batu bara	Nilai kalor (kal/gram)
Briket batubara tanpa karbonisasi dan briket bio-briket	Min. 5100
Briket batubara terkarbonisasi dan <i>light coal</i>	Min. 3500

(Sumber : Permen ESDM No. 047 tahun 2006).

Briket adalah bahan bakar alternatif yang menyerupai arang tetapi terbuat (tersusun) dari bahan kayu dan non kayu. Banyak bahan-bahan yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan briket, contohnya sekam padi, jerami, tempurung kelapa, serbuk gergaji, dan lain-lain. (Patria, 2015).

Briket merupakan arang (satu diantara jenis bahan bakar) yang dibuat dari aneka macam hayati atau biomassa, contohnya kayu, daun, ranting, rerumputan, jerami padi, kertas, atau limbah-limbah pertanian

lainnya yang dapat dikarbonisasi. Briket adalah gumpalan-gumpalan atau batangan-batangan yang terbuat dari bioarang (bahan lunak). Briket sebenarnya termasuk bahan lunak yang dengan proses tertentu diolah menjadi bahan arang keras dengan bentuk tertentu. Kualitas briket ini tidak kalah bagus dari bahan bakar jenis arang lainnya. (Selpiana, 2014).

Briket yang paling umum digunakan adalah briket batu bara, briket arang, briket gambut, dan briket biomassa. Bahan biomassa yang dapat digunakan untuk pembuatan briket berasal dari;

1. Limbah pengolahan kayu seperti; *logging residues, bark, sawdusk, shavings, waste timber*.
2. Limbah pertanian seperti; jerami, sekam padi, ampas tebu, daun kering, tongkol jagung.
3. Limbah bahan berserat seperti; serat kapas, goni, sabut kelapa.
4. Limbah pengolahan pangan seperti kulit kacang-kacangan, biji-bijian, kulit-kulitan.
5. Selulosa seperti; limbah kertas, karton.

Faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik dan kualitas briket adalah berat jenis bahan bakar atau berat jenis serbuk arang, temperatur karbonisasi, kehalusan serbuk, dan tekanan (P) pencetakan. Selain itu, pencampuran formula dengan briket juga berpengaruh terhadap sifat briket. Briket yang baik adalah briket yang permukaannya halus dan tidak meninggalkan noda hitam di tangan (Selpiana, 2014). Selain itu, sebagai bahan bakar, briket juga harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

- a. Mudah dinyalakan
- b. Tidak mengeluarkan asap
- c. Emisi gas hasil pembakaran tidak mengandung racun
- d. Kedap air dan hasil pembakaran tidak berjamur bila disimpan pada waktu lama
- e. Menunjukkan upaya laju pembakaran (waktu, laju pembakaran, dan temperatur pembakaran) yang baik.

Kecepatan pembakaran dipengaruhi oleh struktur bahan, kandungan karbon terikat dan tingkat kepadatan bahan. Jika briket memiliki kandungan senyawa *volatile* (zat yang mudah menguap) yang tinggi, maka briket akan mudah terbakar dengan kecepatan pembakaran tinggi (Jamilatun, 2008).

Briket kayu untuk bahan baku kayu, kulit keras dan batok kelapatelah memiliki standar yaitu SNI (Standar Nasional Indonesia) no. SNI 01-6235-2000 dengan syarat mutu meliputi kadar air: maksimal 8%; bagian yanghilang pada pemanasan 950°C : maksimal 15%; kadar abu : maksimal 8%;kalori (atas dasar berat kering) : minimal 5000 kal/g (Julian 2016). Baku Mutu Briket dapat dilihat pada **Tabel 3.3**.

Tabel 3.3 SNI 01-6235-2000 tentang Mutu Briket Kayu

Sifat Arang Briket	Syarat
Kadar Air	Maks. 8%
Bagian yang hilang pada pemanasan	Maks. 15%
Kadar Abu	Maks. 8%
Nilai Kalor	Min. 5000 kal/g

(Sumber : Badan Standarisasi Nasional).

Briket ini dapat dimanfaatkan dengan teknologi sederhana, panas (nyala api) yang dihasilkan cukup besar, lama dan juga cukup aman. Briket ini cocok digunakan oleh pedagang, atau para pengusaha yang memerlukan pembakaran yang terus menerus dalam jangka waktu yang cukup lama.

Ditinjau dari segi polusi udara, briket ini relatif lebih aman dibandingkan dengan bahan bakar dari batubara ataupun minyak tanah. Bahan bakar minyak tanah ataupun batubara akan menghasilkan CO₂ yang berlebihan di atmosfer. Kelebihan CO₂ di atmosfer bumi ini akan menimbulkan terjadinya pencemaran udara seperti terjadinya hujan asam atau rusaknya lapisan ozon yang dapat membahayakan kelestarian semua makhluk di muka bumi ini.

Berdasarkan kenyataan tersebut, maka jelaslah penggunaan briket sebagai sumber energi mempunyai prospek yang cukup cerah dimasa mendatang, serta merupakan alternatif yang cukup baik sebagai sumber energi sekaligus turut mendukung upaya pelestarian lingkungan (Selpiana, 2014).

Briket memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan arang biasa (konvensional), antara lain:

1. Panas yang dihasilkan oleh briket relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kayu biasa dan nilai kalor yang dihasilkan dapat mencapai 6.000 kalori.
2. Briket bila dibakar tidak menimbulkan asap ataupun bau, sehingga untuk masyarakat yang ekonomi lemah yang tinggal di kota-kota dengan ventilasi perumahannya kurang memadai, sangat praktis untuk menggunakan briket.
3. Setelah briket terbakar (menjadi bara) tidak perlu dilakukan pengipasan atau diberi udara.
4. Teknologi pembuatan briket sederhana dan tidak memerlukan bahan kimia lain kecuali yang terdapat dalam bahan briket itu sendiri.
5. Peralatan yang digunakan juga cukup sederhana, cukup dengan alat yang dibentuk sendiri.

Proses pembriketan adalah proses pengolahan yang mengalami perlakuan penggerusan bahan baku, pencampuran, pencetakan dan pengeringan pada kondisi yang telah ditentukan, sehingga diperoleh briket yang memiliki bentuk, ukuran fisik, dan sifat kimia tertentu. Tujuan pembriketan adalah agar meningkatkan kualitas bahan sebagai bahan bakar, mempermudah dalam penanganan dan transportasi serta mengurangi kehilangan bahan dalam bentuk debu pada proses pengangkutan. Pemilihan proses pembriketan tentunya harus mengacu pada segmen pasar agar dicapai nilai ekonomi, teknis dan lingkungan yang optimal.

Proses karbonisasi adalah proses pembakaran tidak sempurna dari bahan-bahan organik dengan jumlah oksigen yang sangat terbatas, yang menghasilkan arang serta menyebabkan penguraian senyawa organik yang menyusun struktur bahan membentuk uap air, methanol, uap-uap asam asetat dan hidrokarbon (Selpiana, 2014).

Proses karbonisasi dibagi menjadi tiga tahap sebagai berikut :

- a. Penguapan air, kemudian penguraian selulosa menjadi destilat yang sebagian besar mengandung asam-asam dan metanol.
- b. Penguraian beberapa selulosa secara intensif hingga menghasilkan gas serta sedikit air.

- c. Penguraian senyawa-senyawa lignin sehingga menghasilkan lebih banyak tar yang akan bertambah jumlahnya pada waktu yang lama dan suhu tinggi.

Menurut Selpiana (2014) beberapa tipe/bentuk briket yang umum dikenal, antara lain: bantal (*oval*), sarang tawon (*honey comb*), silinder (*cylinder*), telur (*egg*), dan lain-lain. Adapun keuntungan dari bentuk briket adalah sebagai berikut:

- a. Ukuran bisa disesuaikan dengan kebutuhan.
- b. Porositas bisa diatur agar memudahkan pembakaran.
- c. Mudah dipakai sebagai bahan bakar.

Secara umum ada beberapa spesifikasi briket yang dibutuhkan oleh konsumen adalah sebagai berikut :

- a. Daya tahan briket.
- b. Bentuk dan ukuran yang sesuai untuk penggunaannya.
- c. Bersih (tidak berasap), terutama untuk sektor rumah tangga.
- d. Bebas gas-gas berbahaya.
- e. Sifat yang sesuai dengan kebutuhan (kemudahan dibakar, efisiensi energi, pembakaran yang stabil).

Beberapa faktor yang perlu diperhatikan di dalam pembuatan briket antara lain :

- a. Bahan baku

Briket dapat dibuat dari bermacam-macam bahan baku, seperti tempurung kelapa, bongkol jagung, serbuk gergaji, dll. Senyawa utama yang harus terdapat didalam bahan baku adalah selulosa. Semakin besar kandungan selulosa semakin baik kualitas briket.

- b. Bahan pengikat

Untuk merekatkan partikel-partikel zat dalam bahan baku pada proses pembuatan briket maka diperlukan zat pengikat sehingga dihasilkan briket yang menyatu. Menurut Selpiana (2014), pemilihan bahan pengikat dapat dibagi sebagai berikut :

- 1) Berdasarkan sifat / bahan baku perekatan briket

Beberapa karakteristik bahan baku perekatan untuk pembuatan briket adalah sebagai berikut:

- a) Memiliki gaya *kohesi* yang baik bila dicampur dengan semikokas atau batu bara.
- b) Mudah terbakar dan tidak berasap.
- c) Mudah didapat dalam jumlah banyak dan murah harganya.
- d) Tidak mengeluarkan bau, tidak beracun dan tidak berbahaya.

2) Berdasarkan jenis

Jenis bahan baku yang umum dipakai sebagai pengikat untuk pembuatan briket, yaitu pengikat anorganik dapat menjaga ketahanan briket selama proses pembakaran sehingga dasar permeabilitas bahan bakar tidak terganggu. Pengikat ini memiliki kelemahan yaitu adanya tambahan abu yang berasal dari bahan pengikat sehingga dapat menghambat pembakaran dan menurunkan nilai kalor. Contoh dari pengikat ini adalah lempung, semen, dan natrium silikat.

Pengikat organik menghasilkan abu yang relatif sedikit setelah pembakaran briket dan umumnya merupakan bahan perekat yang efektif. Contoh dari pengikat organik diantaranya kanji, tar, amilum, molase dan parafin.

Pembuatan briket dengan menggunakan bahan perekat akan lebih baik hasilnya jika dibandingkan tanpa perekat. Disamping itu dapat meningkatkan nilai kalor dari briket dan kekuatan briket dari tekanan luar (tidak mudah pecah). Perekat yang umum digunakan adalah tepung tapioka atau aci. Tapioka berfungsi sebagai bahan pengikat atau merekatkan partikel-partikel zat dalam bahan baku pada proses pembriketan, sehingga dihasilkan briket yang kompak. Karakterisasi dari tepung tapioka yaitu memiliki gaya kohesi yang baik, mudah terbakar dan tidak berasap, mudah diperoleh dalam jumlah banyak, murah harganya, tidak mengeluarkan bau, tidak beracun dan tidak berbahaya (Sholichah, 2011). Kandungan yang terdapat pada tepung tapioka dapat dilihat pada **Tabel 3.4.**

Tabel 3.4 Komposisi Kimia Tepung Tapioka

Komponen	Nilai (%)
Kadar Air	8-9
Kadar Abu	0,1-0,8
Protein	0,3-1,0
Lemak	0,1-0,4
Serat Kasar	81-89

(Sumber: Astini, 2014).

Secara umum pembuatan briket terdiri dari tahap penggerusan, pencampuran, pencetakan, pengeringan dan pengepakan.

1. Penggerusan adalah menggerus bahan baku briket untuk mendapatkan ukuran tertentu. Alat yang dipergunakan ialah *crusher*.
2. Pencampuran adalah mencampur bahan baku briket pada komposisi tertentu untuk mendapatkan adonan yang merata atau homogen. Alat yang dipergunakan adalah *mixer*, *freet mill*, *horizontal kneader* dan *combining blender*.
3. Pencetakan adalah membentuk adonan briket untuk mendapatkan bentuk tertentu. Alat yang biasa digunakan ialah *Briquetting Machine*.
4. Pengeringan merupakan proses mengeringkan briket dengan menggunakan udara panas pada temperatur tertentu untuk menurunkan kandungan air briket.
5. Pengepakan merupakan proses pengemasan produk briket sesuai dengan spesifikasi kualitas dan kuantitas yang telah ditentukan.

3.3 Kualitas Briket

Adapun parameter kualitas briket yang akan mempengaruhi pemanfaatannya antara lain:

1. Kandungan Air

Kadar air ditentukan dengan metode gravimetri. Penentuan kadar air dianalisis berdasarkan perbedaan penimbangan berat briket sebelum dipanaskan dan sesudah dipanaskan dalam oven dengan suhu lebih dari 100°C selama dua jam (Astini, 2014).

Kadar air briket berpengaruh terhadap nilai kalor. Semakin sedikit kadar air dalam briket, maka semakin tinggi nilai kalornya. Seperti

penelitian yang dilakukan oleh Gandhi (2010) yaitu semakin tinggi komposisi perekat maka nilai kalornya semakin rendah dan kadar airnya yang dihasilkan semakin tinggi pula, tetapi berat jenis dan kepadatan energi yang dihasilkan akan semakin rendah. Kadar air briket dapat dihitung dengan cara:

$$\% \text{ Kadar Air} = x100\% \dots\dots\dots (3.1)$$

Keterangan:

b = massa sampel sebelum dioven (gr)

c = massa sampel setelah dioven (gr)

2. Kandungan Abu

Semua briket mempunyai kandungan zat anorganik yang dapat ditentukan jumlahnya sebagai berat yang tinggal apabila briket dibakar secara sempurna. Zat yang tertinggal ini disebut abu. Abu pada briket berasal dari pasir, *clay* dan bermacam-macam zat mineral lainnya. Kandungan abu yang tinggi pada briket sangat tidak menguntungkan karena akan membentuk kerak.

Abu dalam hal ini merupakan bagian yang tersisa dari hasil pembakaran briket. Satu diantara penyusun abu adalah silika, pengaruhnya kurang baik terhadap nilai kalor briket yang dihasilkan. Kadar abu briket dapat dihitung dengan cara:

$$\% \text{ Kadar Abu} = x 100\% \dots\dots\dots(3.2)$$

Keterangan:

c = massa abu (gr)

a = massa sampel sebelum pengabuan (gr)

3. Kandungan Zat Terbang

Zat terbang terdiri dari gas-gas yang mudah terbakar seperti hidrogen, karbon monoksida (CO), dan metana (CH₄), tetapi kadang-kadang terdapat juga gas-gas yang tidak terbakar seperti karbondioksida, CO₂ dan air, H₂O. *Volatile matter* adalah bagian dari briket dimana akan berubah menjadi *volatile matter* (produk) bila briket tersebut dipanaskan tanpa udara pada suhu lebih kurang 950°C. Untuk kadar *volatile matter* ±40 % pada pembakaran akan memperoleh nyala yang panjang dan akan memberikan asap yang cukup banyak. Sedangkan untuk kadar *volatile*

matter yang rendah antara 15-25% lebih disenangi dalam pemakaian karena asap yang dihasilkan sedikit.

4. Nilai Kalor

Nilai kalor dinyatakan sebagai *heating value*, adalah suatu parameter yang sangat penting dari suatu briket. *Net calorific value* biasanya sekitar 93-97% dari *gross value* dan tergantung dari kandungan *inherent moisture* serta kandungan hidrogen dalam briket. Semakin besar nilai kalor maka kecepatan pembakaran semakin lambat. Nilai kalor dari briket dapat diketahui menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Nilai Kalor Briket} = \dots\dots\dots(3.3)$$

keterangan :

Q = kalor yang diterima air (kJ)

m_b = massa bahan bakar (kg)

BAB IV

DAMPAK LINGKUNGAN ABU BATUBARA

Menurut Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 101 tahun 2014 sebagai perubahan dari PP No. 18 tahun 1999 juncto PP No. 85 tahun 1999 abu terbang digolongkan sebagai limbah B-3 (bahan berbahaya dan beracun). Bahan berbahaya dan beracun (B3) adalah sisa suatu usaha dan atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya beracun yang karena sifat dan atau konsentrasinya dan atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan atau merusakkan lingkungan hidup, dan atau dapat membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lain. Berdasarkan lampiran PP No. 101 tahun 2014, pada tabel 4 tentang Daftar Limbah B3 dari Sumber Spesifik Khusus, disebutkan bahwa jenis limbah B3 abu terbang dengan kode B 409, sumber limbah berasal dari proses pembakaran batubara pada fasilitas PLTU, boiler dan/atau tungku industri termasuk dalam kategori bahaya 2.

Penjelasan atas PP No. 101 tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun menyebutkan bahwa pengelolaan limbah B3 bertujuan untuk mencegah dan menanggulangi pencemaran dan atau kerusakan lingkungan hidup yang diakibatkan oleh limbah B3 serta melakukan pemulihan kualitas lingkungan yang dapat tercemar sehingga sesuai fungsinya kembali. Pasal 3 menyebutkan bahwa setiap orang yang melakukan usaha dan atau kegiatan yang menghasilkan limbah B3, dilarang membuang limbah B3 yang dihasilkannya itu secara langsung kedalam media lingkungan hidup, tanpa pengolahan terlebih dahulu.

Pemanfaatan limbah B3 adalah kegiatan penggunaan kembali (*reuse*) dan/atau daur ulang (*recycle*) dan/atau perolehan kembali (*recovery*) yang bertujuan untuk mengubah limbah B3 menjadi produk yang dapat digunakan dan harus juga aman bagi lingkungan (Penjelasan PP No. 101 tahun 2014, PerMen. LH No. 2/2008). Disamping itu dengan pemanfaatan limbah B3 sekaligus dapat mengurangi jumlah limbah B3, penghematan sumber daya alam dan meminimisasi potensi dampak

negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. *Reuse* adalah penggunaan kembali limbah B3 dengan tujuan yang sama tanpa melalui proses tambahan secara fisika, kimia, biologi, dan/atau secara termal. *Recycle* adalah mendaur ulang komponen-komponen yang bermanfaat melalui proses tambahan secara fisika, kimia, biologi, dan/atau secara termal yang menghasilkan produk yang sama atau produk yang berbeda. *Recovery* adalah perolehan kembali komponen-komponen yang bermanfaat secara fisika, kimia, biologi, dan/atau secara termal. Skala prioritas pemanfaatan limbah B3 dimulai dari pemanfaatan secara *reuse*, kemudian dengan cara *recycle* dan terakhir dengan cara *recovery*.

Definisi limbah adalah produk buangan yang telah terpakai. Limbah ini bisa berasal dari pabrik, pertambangan, pertanian, medis, laboratorium, dan lainnya. Sedangkan jenis limbah bisa merupakan bahan beracun dan berbahaya (B3) maupun limbah non B3. Limbah yang mengandung B3 ini tentunya harus mendapat perhatian khusus karena secara langsung maupun tak langsung dapat mencemari, merusak, termasuk membahayakan bagi lingkungan hidup, kesehatan dan kelangsungan hidup manusia maupun makhluk hidup lain. Tingkat bahaya ini dapat diketahui dari material limbah berdasarkan sifat (misal air raksa/Hg), konsentrasi (misalnya tembaga/Cu) ataupun jumlahnya (misal fenol, arsen).

Karakteristik limbah adalah: mudah meledak (misal : bahan peledak), mudah terbakar (misal: bahan bakar, solvent), bersifat reaktif (misal: bahan-bahan oksidator), berbahaya (misal logam berat), menyebabkan infeksi (misal :bakteri /limbah rumah sakit), bersifat korosif (misal : asam kuat), bersifat iritatif (misal : basa kuat), beracun (misal : HCN), bahan radioaktif (misal : Uranium, plutonium, dan lainnya).

Pada pasal 54 PP No. 101 tahun 2014 tentang pemanfaatan limbah B3, meliputi: pemanfaatan limbah B3 sebagai substitusi bahan baku, pemanfaatan limbah B3 sebagai substitusi sumber energi, pemanfaatan limbah B3 sebagai bahan baku, dan pemanfaatan limbah B3 sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Pemanfaatan limbah tersebut dilakukan dengan mempertimbangkan: ketersediaan teknologi, standar produk jika hasil pemanfaatan limbah B3 berupa produk, dan standar lingkungan hidup atau baku mutu lingkungan hidup.

Menurut *the U.S. Environmental Protection Agency* (EPA) – abu terbang diklasifikasikan sebagai limbah “*non-hazardous.*” dan abu terbang tidak menyebabkan pencemaran pada air. Abu terbang telah banyak digunakan di banyak negara dan tidak menyebabkan problem kesehatan pada masyarakat (Liu, 2007). Keseluruhan uji hayati contoh abu batubara dari PLTU Asam asam terhadap kutu air, ikan mas, dan mencit memberikan hasil bahwa bahan-bahan uji tersebut relatif tidak berbahaya bagi makhluk hidup. (Khaerunisa, 2006).

BAB V

ARANG KAYU ALABAN

Pohon Alaban mempunyai ciri umum yaitu berukuran sedang hingga besar dan dapat mencapai tinggi hingga 40 m, diameternya dapat mencapai 130 cm, beralur dalam dan jelas, kayunya padat dan berwarna keputihan. Kadar air rata-rata kulit kayu laban tua adalah 21,1515 % dan kadar air kulit kayu muda laban adalah 16,3656 %. Besarnya kadar air kayu yang terdapat pada pangkal disebabkan air yang terdapat pada ujung batang diserap terlebih dahulu daripada bagian yang lebih rendah hal ini disebabkan oleh kemampuan atau daya hisap daun ketika berlangsung proses transpirasi (penguapan) pada permukaan sel daun. Pohon alaban umumnya banyak ditemukan di daerah terutama di habitat yang lebih terbuka, hutan sekunder dan di tepi sungai.

Pohon alaban memiliki kayu yang sangat kuat dan tahan lama, bahkan dalam kontak dengan air atau tanah. Kepadatan kayu adalah 800-950 kg/m³. Pada kadar air 15 %, termasuk kayu yang keras dan tahan lama. Kayu alaban ini termasuk dalam kelas awet I yang dapat bertahan delapan tahun walaupun selalu berinteraksi dengan air. Kayu ini pun tahan terhadap serangan oleh rayap. Kayu ini termasuk dalam kelas kuat I yang memiliki berat jenis kering udara maksimum 1,02 gr/cm³, minimum 0,74 gr/cm³ dan berat jenis kering udara rata-rata 0,88 gr/cm³ serta kukuh lentur dan tekanan mutlaknya yang tinggi dibandingkan jenis kayu lain (Nurlyanto, 2010).

Besarnya kadar air kayu yang terdapat pada pangkal disebabkan air yang terdapat pada ujung batang diserap terlebih dahulu dari pada bagian yang lebih rendah hal ini disebabkan oleh kemampuan atau daya hisap daun ketika berlangsung proses transpirasi (penguapan) pada permukaan sel daun. Ekologi *Vitex pubescens Vahl* umumnya banyak ditemukan di daerah terutama di habitat yang lebih terbuka, hutan sekunder dan di tepi sungai. Habitat pohon Alaban ini adalah hutan di dataran rendah sampai ketinggian 2000 m di permukaan laut. Alaban (*Vitex pubescens Vahl*) tumbuh baik pada tanah berkapur dengan tekstur mulai lempung hingga

pasir. Dijumpai di daerah dengan musim basah dan kering yang nyata. Pada musim kemarau pohon laban menggugurkan daunnya.

Keberadaan kayu yang biasa digunakan sebagai bahan baku pembuatan briket arang secara umum semakin berkurang karena semakin berkurang pula luasan hutan alam. Hal tersebut mendorong berbagai elemen disiplin ilmu untuk mencari bahan baku alternatif dalam pembuatannya. Alternatif yang dapat dimanfaatkan untuk menggantikan kayu sebagai bahan pembuatan briker adalah dengan memanfaatkan limbah arang kayu alaban yang ada di PT. Citra Prima Utama Banjarbaru, Kalimantan Selatan. Dari proses seleksi kualitas arang kayu ekspor dihasilkan limbah yang jumlahnya berkisar 6 ton perhari (Mahdie, 2010). Limbah tersebut berupa serbuk hingga ukuran serpihan yang tidak dimanfaatkan. Satu diantara jenis kayu yang dapat dijadikan untuk bahan baku briket arang adalah kayu alaban (Nurlyanto, 2010). Daerah penyebarannya adalah Sumatera, Jawa, Kalimantan, Bali, Lombok dan Sulawesi.

Arang kayu alaban mempunyai beberapa kelebihan, yaitu kualitas yang dimiliki nya menyamai arang briket dan tidak mengeluarkan asap (Kahariyadi, 2015). Dalam pembuatan briket, arang kayu alaban dapat dicampurkan dengan *bottom ash*. Keunggulan arang kayu alaban dibandingkan arang lainnya yaitu api dari arang menyala rata dan sempurna, asapnya tidak beterbangan dan dapat meningkatkan kualitas rasa makanan (Nurlyanto, 2010). Briket arang dari kayu alaban dapat dibuat dengan mencampurkan limbah abu dari pembakaran batubara.

BAB VI

ABU BATUBARA dan ARANG KAYU ALABAN SEBAGAI BAHAN BRIKET

Sebelum abu batubara dan arang kayu alaban digunakan sebagai bahan pembuatan briket, dilakukan uji pendahuluan terhadap bahan-bahan tersebut. Hal tersebut dilakukan sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan perbandingan komposisi bahan yang digunakan. Densitas arang kayu alaban adalah $2,71 \text{ g/cm}^3$, abu dasar adalah $4,06 \text{ g/cm}^3$ dan abu terbang adalah $2,95 \text{ g/cm}^3$.

Hasil Karakterisasi yang meliputi Kadar Air, Kadar Abu, Nilai Kalori, Komposisi Unsur dan Morfologi dari Abu Dasar dan Abu Terbang Batubara serta Arang Kayu Alaban sebelum digunakan sebagai bahan pembuatan briket dibahas pada bagian berikut.

6.1 Kadar Air, Kadar Abu dan Nilai Kalori

Hasil uji preparasi (uji pendahuluan) Kadar Air, Kadar Abu dan Nilai Kalori untuk Arang Kayu Alaban, Abu Dasar dan Abu Terbang Batubara sebagai berikut:

Tabel 6.1 Hasil Uji Pendahuluan Kadar Air, Kadar Abu dan Nilai Kalori

Sampel	Kadar Air (%)			Kadar Abu (%)			Nilai Kalori (kal/gr)		
	Arang Kayu Alaban	Abu Dasar Batubara	Abu Terbang Batubara	Arang Kayu Alaban	Abu Dasar Batubara	Abu Terbang Batubara	Arang Kayu Alaban	Abu Dasar Batubara	Abu Terbang Batubara
S.1	4,29	1,72	0,87	35,7	81,7	88,72	6838,1	361,4	-
S.2	4,19	1,64	0,85	44,5	82,0	82,55	6872,1	387,0	-
S.3	4,20	1,56	1,02	45,6	82,4	97,85	6789,2	420,1	-
Rerata	4,22	1,64	0,91	41,93	82,03	89,69	6833,1	389,5	-

Sumber: Hasil Uji di lab. Material FMIPA Unlam dan lab. ESDM Banjarbaru

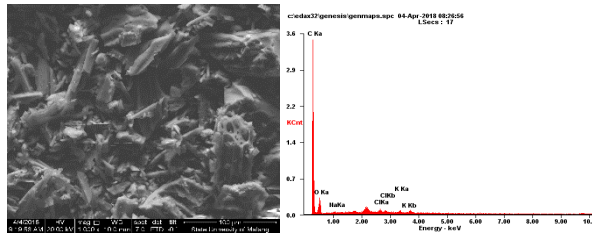
Dari hasil uji pendahuluan didapatkan rerata kadar air 4,22% untuk arang kayu alaban, 1,64% untuk abu dasar dan 0,91% untuk abu terbang. Sedangkan, standar SNI untuk nilai kadar air yang digunakan dalam pembuatan briket 8% (SNI No. 01 – 6235 – 2000). Sehingga dari hasil uji pendahuluan yang dilakukan diharapkan arang kayu alaban, abu dasar dan abu terbang dapat digunakan sebagai bahan campuran dalam pembuatan briket dengan kadar air 8% (SNI No. 01 – 6235 – 2000).

Dari Tabel 6.1, dapat dilihat bahwa dari hasil uji pendahuluan didapatkan rerata kadar abu untuk arang kayu alaban, abu dasar dan abu terbang adalah 41,93%, 82,03% dan 89,69%. Standar SNI untuk nilai kadar abu yang digunakan dalam pembuatan briket adalah 8% (SNI No. 01 – 6235 – 2000), sehingga dari hasil uji pendahuluan yang dilakukan diharapkan arang kayu alaban, abu dasar dan abu terbang dapat digunakan sebagai bahan campuran dalam pembuatan briket dengan kadar abu 8% (SNI No. 01 – 6235 – 2000). Persentase kadar abu yang tinggi pada abu batubara akan menjadikan pertimbangan pada saat menentukan komposisi campuran pembuatan briket.

Pengujian nilai kalori pada penelitian ini menggunakan metode *Bomb Calorimetri*. Hasil uji preparasi (uji pendahuluan) Nilai Kalori untuk Arang Kayu Alaban, Abu Dasar dan Abu Terbang Batubara dapat dilihat di Tabel 6.1. Rerata Nilai Kalori yang didapatkan adalah 6833,1 kal/gr untuk arang kayu alaban dan 389,5 kal/gr untuk abu dasar sedangkan untuk abu terbang batubara nilai kalorinya tidak terbaca. Standar SNI untuk nilai kalori yang digunakan dalam pembuatan briket haruslah 5000 kal/gr (SNI No. 01 – 6235 – 2000). Jika merujuk pada Peraturan Menteri ESDM No. 047 tahun 2006, nilai kalori minimal adalah 3500 kal/gram. Dengan demikian dari hasil uji pendahuluan yang dilakukan diharapkan arang kayu alaban, abu dasar dan abu terbang dapat digunakan sebagai bahan campuran dalam pembuatan briket dengan nilai kalor 5000 kal/gr (SNI No. 01 – 6235 – 2000).

6.2 Komposisi Unsur dan Morfologi

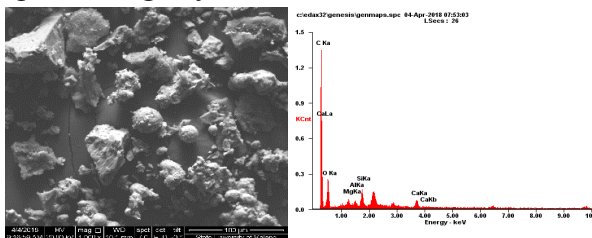
Pengujian Komposisi Unsur dan Morfologi dengan menggunakan SEM-EDX. Hasil uji preparasi (uji pendahuluan) Komposisi Unsur dan Morfologi untuk Arang Kayu Alaban, Abu Dasar dan Abu Terbang Batubara sebagai berikut:



No	Elemen	Wt (%)			
		Sampel a	Sampel b	Sampel c	Rerata
1.	C	81,20	74,64	74,24	76,69
2.	O	17,14	21,80	23,51	20,82
3.	Na	0,40	0	0	0,13
4.	Cl	0,74	0,90	0,96	0,87
5.	K	0,51	0,77	0,65	0,64
6.	Ca	0	0,78	0,64	0,47
7.	Si	0	1,12	0	0,37
8.	Matrix	correction			

Gambar 6.1. Hasil uji SEM-EDX Arang Kayu Alaban

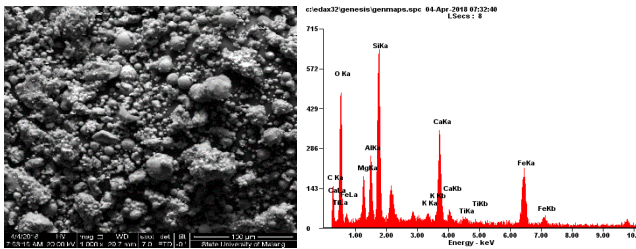
Pada Gambar 6.1 hasil uji SEM-EDX dapat dilihat bentuk morfologi dari arang kayu alaban yang berbentuk meruncing kecil dan besar dan jarak antar partikel nya rapat. Ada beberapa bagian yang menggumpal dan ada beberapa bagian yang memiliki rongga/kosong. Dari hasil analisis EDX, di dapatkan rerata unsur-unsur yang terkandung pada arang kayu alaban yaitu C = 76,69%; O = 20,82%; Na = 0,13%, Cl = 0,87%; K = 0,64%; Ca = 0,47%; Si = 0,37%. Dari hasil uji tersebut persentase unsur yang terbesar pada arang kayu alaban adalah C sebesar 76,69%.



No	Elemen	Wt (%)			
		Sampel a	Sampel b	Sampel c	Rerata
1.	C	66,51	15,85	43,25	41,87
2.	O	26,82	40,84	30,73	32,80
3.	Mg	1,19	0,58	2,07	1,28
4.	Al	0,96	0,57	2,40	1,31
5.	Si	2,45	35,90	8,69	15,68
6.	Ca	2,07	2,01	4,31	2,80
7.	Fe	0	4,25	8,39	4,21
8.	K	0	0	0,16	0,05
9.	Matrix	correction			

Gambar 6.2. Hasil uji SEM-EDX Abu Dasar Batubara

Pada Gambar 6.2 hasil uji SEM-EDX dapat dilihat bentuk morfologi dari abu dasar yang berbentuk bulatan-bulatan cukup besar dan jarak antar partikel cukup berjauhan. Dari hasil analisis EDX, di dapatkan rerata unsur-unsur yang terkandung pada abu dasar batubara yaitu C = 41,87%; O = 32,80%; Mg = 1,28%; Al = 1,31%; Si = 15,68%; Ca = 2,80%; Fe = 4,21%; K= 0,05%. Dari hasil uji tersebut persentase unsur yang terbesar pada abu dasar batubara adalah C sebesar 41,87%.



No	Elemen	Wt (%)			
		Sampel a	Sampel b	Sampel c	Rerata
1.	C	20,71	15,13	12,67	16,17
2.	O	32,94	34,28	33,83	33,68
3.	Mg	3,31	4,03	4,35	3,90
4.	Al	5,05	6,23	6,22	5,83
5.	Si	12,37	12,31	12,30	12,33
6.	K	0,68	0,17	0,80	0,75
7.	Ca	8,62	8,70	9,49	8,94
8.	Ti	0,61	0,64	0,72	0,66
9.	Fe	15,71	17,91	19,62	17,75
10.	Matrix	Correction			

Gambar 6.3. Hasil uji SEM-EDX Abu Terbang Batubara

Pada Gambar 6.3 hasil uji SEM-EDX dapat dilihat bentuk morfologi dari abu terbang yang berbentuk bulat besar dan bulat kecil, lebih kecil dari abu dasar. Bentuk bulat kecil terlihat lebih dominan daripada bentuk bulat besar. Disamping itu jarak antar partikel lebih rapat dari pada abu dasar. Dari hasil analisis EDX, di dapatkan rerata unsur-unsur yang terkandung pada abu terbang batubara yaitu C = 16,17%; O = 33,68%; Mg = 3,90%; Al = 5,83%; Si = 12,33%; K = 0,75%; Ca = 8,94%; Ti = 0,66%; Fe = 17,75%. Dari hasil uji tersebut persentase unsur yang terbesar adalah O sebesar 33,68%, Fe sebesar 17,75 %, C sebesar 16,17%. Persentase unsur C yang rendah pada abu terbang batubara akan menjadikan pertimbangan pada saat menentukan komposisi campuran pembuatan briket.

BAB VII

KARAKTERISTIK BRIKET

Pengujian karakteristik briket yang dilakukan yaitu uji kimia yang meliputi kadar air, kadar abu, kadar volatile (zat terbang) dan nilai kalori, dengan menggunakan acuan SNI 06-3730-1995. Disamping itu juga dilakukan uji fisik meliputi uji densitas dan uji porositas. Pengujian dilakukan pada variasi komposisi arang kayu alaban dan abu dasar serta abu terbang batubara. Komposisi bahan perekat lem kanji (tepung tapioka) adalah 5% dari berat total briket.

Tepung tapioka dipilih karena merupakan perekat yang efektif, daya serap yang bagus terhadap air dan tidak mengganggu kesehatan. Disamping itu menurut perbandingan dengan beberapa jenis perekat, tepung tapioka ini memiliki beberapa keunggulan. Keunggulan dari tepung tapioka dibanding jenis perekat yang lain adalah nilai karbonnya paling tinggi serta dari kandungan abunya tepung tapioka memiliki kadar abu yang paling rendah (Nodali, 2010).

Arang kayu alaban dan tepung tapioka jika dicampurkan maka akan menghasilkan nilai karbon yang tinggi. Ditinjau dari kandungan unsurnya, kedua bahan ini memiliki keunggulan dari kadar karbon yang tinggi. Kadar karbon tepung tapioka sebesar 85,20%, arang kayu alaban sebesar 76,69%, abu dasar sebesar 41,87%, sedangkan kadar karbon abu terbang yang paling rendah hanya 16,17%, sehingga dalam pembuatan briket ini komposisi abu terbang dibatasi hanya sampai 20%. Menurut Sudarja (2009) menyatakan bahwa semakin besar kadar karbon yang terdapat pada bahan dasar pembuatan briket maka nilai kalor yang dihasilkan oleh briket nya juga semakin besar.

7.1 Karakteristik Briket

Karakteristik briket dengan komposisi campuran arang kayu alaban dan abu dasar batubara seperti pada Tabel 7.1 berikut.

Tabel 7.1 Karakteristik Briket Campuran Arang Kayu Alaban dan Abu Dasar Batubara

Komposisi Campuran	Sampel	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Kadar Volatile (%)	Nilai Kalor (Kal/g)
100% : 0	S.1	3,79	0,33	39,74	6620,8
	S.2	4,03	0,41	37,11	6619,4
	S.3	3,91	0,41	37,09	6623
Rerata		3,91	0,38	37,98	6621,07
90% : 10%	S.1	4,00	8,96	36,52	5872,1
	S.2	3,64	8,33	36,19	5869,3
	S.3	4,66	7,68	36,28	5873,2
Rerata		4,10	8,32	36,33	5871,53
80% : 20%	S.1	2,80	18,25	34,11	5393,8
	S.2	2,77	18,20	32,53	5391,1
	S.3	3,28	18,38	34,73	5397,2
Rerata		2,95	18,28	33,79	5349,03
70% : 30%	S.1	3,70	26,66	32,68	4765,6
	S.2	4,00	26,70	34,29	4734,1
	S.3	3,90	26,64	34,04	4749,1
Rerata		3,86	26,67	33,67	4749,60

Sumber: Hasil Uji di lab. Material FMIPA Unlam dan lab. ESDM Banjarbaru

Sedangkan karakterisasi briket dengan komposisi campuran arang kayu alaban dan abu terbang batubara seperti pada Tabel 7.2 berikut.

Tabel 7.2 Karakteristik Briket Campuran Arang Kayu Alaban dan Abu Terbang Batubara

Komposisi Campuran	Sampel	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Kadar Volatile (%)	Nilai Kalor (kal/g)
100:0	S1	3,788	0,33	39,736	6620,8
	S2	4,028	0,409	37,110	6619,4
	S3	3,908	0,409	37,088	6623
Rerata		3,908	0,383	37,978	6621,067
90:10	S1	4,588	8,978	47,524	5846
	S2	4,269	7,545	47,624	5871
	S3	4,058	8,029	44,192	5859,2
Rerata		4,305	8,184	46,447	5858,733
80:20	S1	3,937	17,374	34,019	5283,8
	S2	3,018	17,436	33,307	5273,5
	S3	4,926	17,354	33,100	5294,5
Rerata		3,960	17,388	33,475	5283,933

Sumber: Hasil Uji di lab. Material FMIPA Unlam dan lab. ESDM Banjarbaru

7.2 Kadar Air (%)

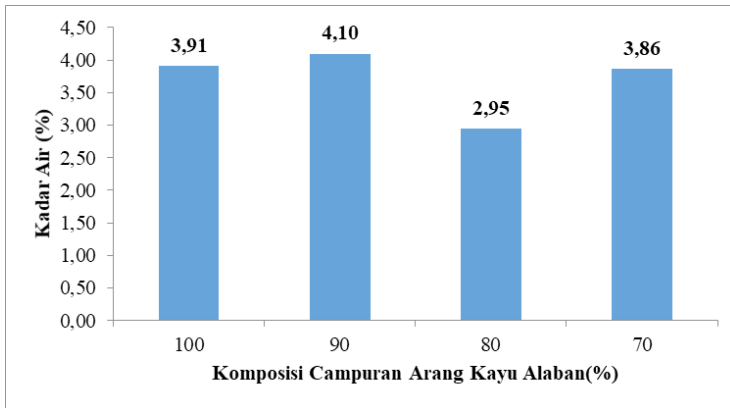
Kadar air merupakan banyak air yang terkandung dalam briket. Menurut Putri, E.R (2017) sifat dari briket yang memiliki campuran arang yaitu higroskopis (mudah menyerap air dari sekelilingnya) yang tinggi. Tujuan dari pengujian kadar air ini adalah untuk mengetahui sifat higroskopis dari suatu briket. Kadar air berpengaruh terhadap nilai kalori yang dihasilkan. Pada kadar air yang tinggi akan menyulitkan dalam penyalaaan, menimbulkan asap dan menyebabkan nilai kalori yang dihasilkan berkurang.

Hasil uji kadar air yang dilakukan pada biobriket campuran arang kayu alaban dan abu dasar batubara seperti pada Tabel 7.3 berikut.

Tabel 7.3 Hasil Uji Kadar Air Briket Campuran Arang Kayu Alaban dan Abu Dasar Batubara

Sampel (S)	Variasi Komposisi Arang Kayu Alaban dan Abu Dasar			
	100 : 0	90 : 10	80 : 20	70 : 30
S 1	3,788	3,998	2,797	3,697
S 2	4,028	3,637	2,768	3,998
S 3	3,908	4,656	3,277	3,898
Rerata Kadar Air (%)	3,908	4,097	2,947	3,864

Dapat dilihat pada Tabel 7.3, rerata kadar air briket adalah (2,947 – 4,097) %. Rerata kandungan kadar air seluruh sampel briket Campuran Arang Kayu Alaban dan Abu Dasar Batubara masih memenuhi standar dari SNI, yaitu nilai Standar Mutu Briket Arang Kayu (SNI No. 01-6235-2000) untuk kadar air briket ≤ 8 %.



Gambar 7.1 Rerata Kadar Air Briket Dengan Komposisi Campuran Arang Kayu Alaban dan Abu Dasar Batubara

Pada Gambar 7.1 menjelaskan tentang rerata kadar air pada briket dengan komposisi campuran arang kayu alaban dan abu dasar batubara (100:0)%, (90:10)%, (80:20)% dan (70:30)%. Jika dilihat dari hasil uji pendahuluan, kadar air 4,22% untuk arang kayu alaban dan 1,64% untuk abu dasar. Dari Gambar 7.1 tersebut dapat dilihat bahwa kadar air pada briket terjadi ketidakstabilan. Hal ini diduga disebabkan adanya ketidak

homogenan pencampuran sampel yang dilakukan. Walaupun demikian dapat disimpulkan bahwa kadar air biobriket yang dihasilkan memenuhi SNI yaitu 8%.

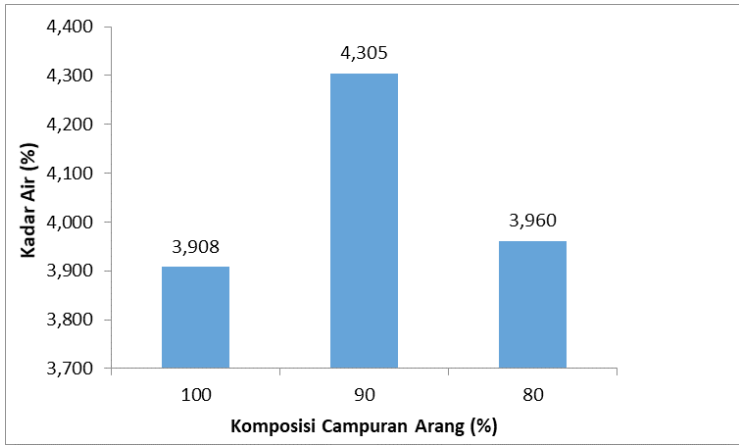
Pada penelitian yang dilakukan oleh anestesia dkk (2015) dengan menggunakan campuran arang tempurung kelapa dan abu dasar didapatkan kadar air yang paling tinggi pada briket dengan campuran 100% arang tempurung kelapa dan paling rendah pada briket dengan campuran 100% abu dasar. Pada penelitian tersebut dapat dilihat juga bahwa semakin banyak kadar abu dasar yang digunakan maka kadar air nya semakin sedikit.

Hasil uji kadar air yang dilakukan pada briket campuran arang kayu alaban dan abu terbang batubara seperti pada Tabel 7.4 berikut.

Tabel 7.4 Hasil Uji Kadar Air Briket Campuran Arang Kayu Alaban dan Abu Terbang Batubara

Variasi Komposisi Arang Kayu Alaban dan Abu Terbang	Sampel S1	Sampel S2	Sampel S3	Rerata Kadar Air (%)
100 : 0	3,788	4,028	3,908	3,908
90 : 10	4,588	4,269	4,058	4,305
80 : 20	3,937	3,018	4,926	3,960

Dapat dilihat pada Tabel 7.4 bahwa rerata kadar air briket adalah (3,908 – 4,305) %. Rerata kandungan kadar air seluruh sampel briket Campuran Arang Kayu Alaban dan Abu Terbang Batubara masih memenuhi standar dari SNI, yaitu nilai Standar Mutu Briket Arang Kayu (SNI No. 01-6235-2000) untuk kadar air briket ≤ 8 %. Hasil uji pendahuluan kadar air untuk abu terbang adalah 0,91%.



Gambar 7.2 Rerata Kadar Air Briket Komposisi Campuran Arang Kayu Alaban dan Abu Terbang Batubara

Dapat dilihat pada Gambar 7.2 bahwa kadar air pada sampel briket dengan komposisi arang kayu alaban 100% terlihat paling rendah dibandingkan sampel dengan arang kayu alaban yang dicampur dengan abu terbang. Hal ini karena arang kayu memiliki ukuran partikel kecil, sehingga terbentuk suatu ikatan yang solid dan kemampuan menyerap air yang rendah. Pada sampel yang dicampur dengan 10% abu terbang kadar air meningkat, kemudian menurun lagi pada sampel yang dicampur dengan 20% abu terbang. Perbedaan kadar air antara masing-masing perlakuan ini diduga disebabkan oleh faktor udara, suhu, kelembaban serta homogenitas ketika pembuatan biobriket. Semakin banyak komposisi abu terbang yang dicampur dengan arang kayu alaban, maka kadar airnya akan semakin rendah.

Biobriket yang dihasilkan sudah sesuai dengan yang diharapkan karena memiliki nilai kadar air yang cukup rendah. Kadar air akan mempengaruhi mudah tidaknya biobriket tersebut untuk dibakar. Semakin tinggi kadar air maka briket akan semakin sulit dibakar, sehingga nilai kalori yang dihasilkan juga akan semakin rendah.

7.3 Kadar Abu (%)

Kadar abu merupakan zat anorganik yang tertinggal akibat pembakaran briket secara sempurna. Semakin banyak kadar abu yang

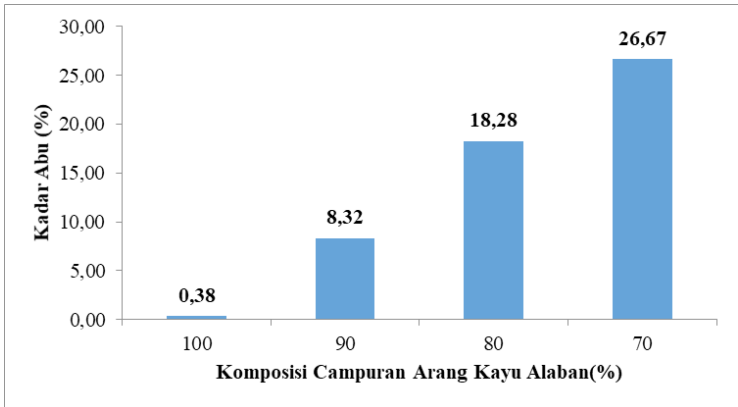
didapat maka nilai kalori yang dimiliki oleh briket akan semakin kecil nilainya dan hal ini akan mengakibatkan briket akan sulit menyala.

Hasil uji kadar abu yang dilakukan pada briket campuran arang kayu alaban dan abu dasar batubara seperti pada Tabel 7.5 berikut.

Tabel 7.5 Hasil Uji Kadar Abu Briket Campuran Arang Kayu Alaban dan Abu Dasar Batubara

Sampel (S)	Variasi Komposisi Arang Kayu Alaban dan Abu Dasar			
	100 : 0	90 : 10	80 : 20	70 : 30
S 1	0,330	8,958	18,253	26,664
S 2	0,409	8,330	18,197	26,701
S 3	0,409	7,681	18,381	26,637
Rerata Kadar Abu (%)	0,383	8,323	18,277	26,667

Dapat dilihat pada Tabel 7.5, rerata kadar abu briket adalah (0,383 – 26,667) %. Rerata kandungan kadar abu pada sampel briket komposisi arang kayu alaban 100% serta komposisi campuran abu dasar 10% masih memenuhi standar SNI, yaitu nilai Standar Mutu Briket Arang Kayu (SNI No. 01-6235-2000) untuk kadar abu briket $\leq 8\%$. Briket dengan komposisi campuran abu dasar 20% dan 30% mempunyai kadar abu yang melebihi standar mutu SNI.



Gambar 7.3 Rerata Kadar Abu Briket Dengan Komposisi Campuran Arang Kayu Alaban dan Abu Dasar Batubara

Gambar 7.3 menjelaskan tentang rerata kadar abu pada briket dengan komposisi campuran arang kayu alaban dan abu dasar batubara (100:0)%, (90:10)%, (80:20)% dan (70:30)%. Pada Gambar 7.3 dapat dilihat bahwa semakin banyak komposisi campuran abu dasar yang digunakan maka semakin tinggi kadar abu briket yang dihasilkan. Hal ini dapat dilihat dari hasil uji pendahuluan kadar abu pada abu dasar sangat tinggi, yaitu 82,07%.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Anetiesia (2014) dengan menggunakan campuran arang tempurung kelapa dan abu dasar didapatkan kadar abu yang paling tinggi adalah briket dengan campuran 100% abu dasar dan yang paling rendah adalah briket dengan campuran 100% arang tempurung kelapa. Pada penelitan tersebut terlihat bahwa semakin banyak kadar abu dasar batubara yang digunakan pada briket maka kadar abu yang didapat akan semakin besar.

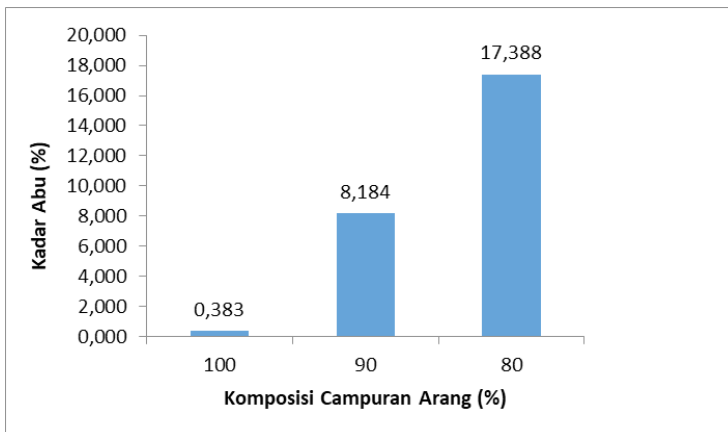
Berdasarkan hasil uji tersebut, jadi kadar abu yang memenuhi SNI adalah hanya briket dengan variasi komposisi arang kayu alaban dan abu dasar batubara 100 : 0 dan 90 : 10 saja.

Hasil uji kadar abu yang dilakukan pada biobriket campuran arang kayu alaban dan abu terbang batubara seperti pada Tabel 7.6 berikut.

Tabel 7.6 Hasil Uji Kadar Abu Briket Campuran Arang Kayu Alaban dan Abu Terbang Batubara

Variasi Komposisi Arang Kayu Alaban dan Abu Terbang	Sampel S1	Sampel S2	Sampel S3	Rerata Kadar Abu (%)
100 : 0	0,33	0,409	0,409	0,383
90 : 10	8,978	7,545	8,029	8,184
80 : 20	17,374	17,436	17,354	17,388

Dapat dilihat pada Tabel 7.6, rerata kadar abu briket adalah (0,382 – 17,387) %. Rerata kandungan kadar abu pada sampel briket komposisi arang kayu alaban 100% serta campuran abu terbang 10% masih memenuhi standar SNI, yaitu nilai Standar Mutu Briket Arang Kayu (SNI No. 01-6235-2000) untuk kadar abu briket $\leq 8\%$. Biobriket dengan komposisi campuran abu terbang 20% melebihi standar mutu SNI dengan hasil rerata kadar abu 17,3877 %. Penambahan komposisi campuran abu terbang menyebabkan semakin tinggi kadar abu biobriket yang dihasilkan. Hal ini disebabkan abu terbang merupakan limbah abu hasil dari sisa pembakaran batubara. Pemanfaatan abu terbang sebagai bahan campuran pembuatan biobriket masih dapat dilakukan hanya dengan campuran komposisi sebanyak 10%.



Gambar 7.4 Rerata Kadar Abu Briket Dengan Komposisi Campuran Arang Kayu Alaban dan Abu Terbang Batubara

Dapat dilihat pada Gambar 7.4 bahwa kadar abu pada briket dengan komposisi arang kayu alaban 100% terlihat paling rendah dibandingkan dengan arang kayu alaban yang dicampur abu terbang. Pada sampel briket dengan komposisi campuran abu terbang 20% kadar abu meningkat, tetapi menurun pada sampel dengan komposisi campuran 10% abu terbang. Semakin banyak komposisi campuran abu terbang dalam pembuatan biobriket, maka kadar abunya akan semakin meningkat.

Kandungan abu yang rendah dapat berpengaruh pada kualitas dari briket yang dihasilkan. Dari hasil penelitian didapatkan hasil bahwa semakin bertambahnya komposisi campuran abu terbang, maka kadar abunya juga semakin meningkat. Kadar abu merupakan persentase dari zat-zat yang tersisa dari proses pembakaran dan sudah tidak memiliki unsur karbon. Semakin tinggi kadar abu briket maka kualitas briket akan semakin rendah, karena kandungan abu yang tinggi dapat menurunkan nilai kalori dari briket.

7.4 Kadar Volatile (%)

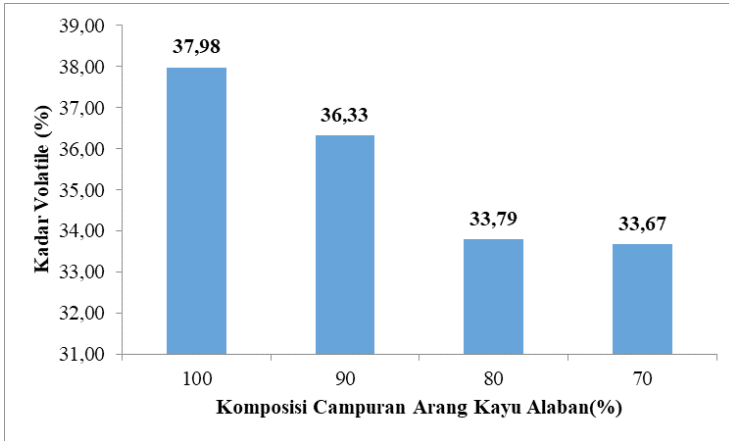
Volatile matter atau kadar volatile adalah bagian dari briket yang akan berubah menjadi zat yang terbang atau menguap (produk) bila briket tersebut dipanaskan tanpa udara pada suhu lebih kurang 950°C (Brades & Tobing, 2008). Kadar *volatile* adalah zat yang dapat menguap sebagai hasil dekomposisi senyawa-senyawa yang masih terdapat di dalam briket arang selain air, karbon terikat dan abu.

Hasil uji kadar volatile atau zat menguap yang dilakukan pada briket campuran arang kayu alaban dan abu dasar batubara seperti pada Tabel 7.7 berikut.

Tabel 7.7 Hasil Uji Kadar Volatile Briket Campuran Arang Kayu Alaban dan Abu Dasar Batubara

Sampel (S)	Variasi Komposisi Arang Kayu Alaban dan Abu Dasar			
	100 : 0	90 : 10	80 : 20	70 : 30
S 1	39,736	36,519	34,112	32,677
S 2	37,110	36,189	32,525	34,285
S 3	37,088	36,284	34,731	34,039
Rerata Kadar Volatile (%)	37,978	36,331	33,789	33,667

Dapat dilihat pada Tabel 7.7 bahwa rerata kadar *volatile* briket adalah (33,667 – 37,978) %. Rerata kandungan kadar *volatile* (zat menguap) pada semua sampel briket campuran arang kayu alaban dan abu dasar batubara tidak memenuhi (melebihi) standar SNI, nilai Standar Mutu Briket Arang Kayu (SNI No. 01-6235-2000) untuk kadar *volatile* briket yaitu $\leq 15\%$.



Gambar 7.5 Rerata Kadar Volatile Briket Dengan Komposisi Campuran Arang Kayu Alaban dan Abu Dasar Batubara

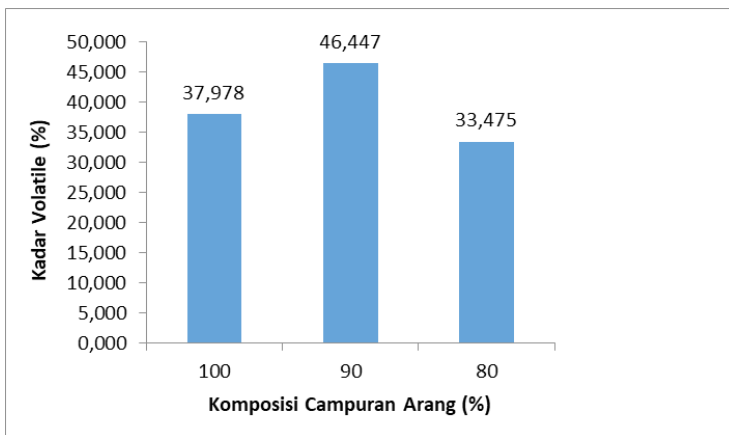
Gambar 7.5 menjelaskan tentang kadar *volatile* (zat menguap) pada briket dengan menggunakan komposisi campuran arang kayu alaban dan abu dasar batubara (100:0)%, (90:10)%, (80:20)% dan (70:30)%. Pada Gambar 7.5 dapat dilihat bahwa semakin banyak komposisi campuran abu dasar yang digunakan pada pembuatan biobriket, maka semakin kecil kadar *volatile* pada biobriket yang dihasilkan. Dari hasil uji pendahuluan kadar *volatile* yang ada pada abu dasar bernilai 13,299%.

Hasil uji kadar *volatile* (zat menguap) yang dilakukan pada briket campuran arang kayu alaban dan abu terbang batubara seperti pada Tabel 7.8 berikut.

Tabel 7.8 Hasil Uji Kadar Volatile Briket Campuran Arang Kayu Alaban dan Abu Terbang Batubara

Variasi Komposisi Arang Kayu Alaban dan Abu Terbang	Sampel S1	Sampel S2	Sampel S3	Rerata Kadar Volatile (%)
100 : 0	39,736	37,110	37,088	37,978
90 : 10	47,524	47,624	44,192	46,447
80 : 20	34,019	33,307	33,100	33,475

Dapat dilihat pada Tabel 7.8 bahwa rerata kadar volatile briket adalah (33,475 – 46,446) %. Rerata kandungan kadar volatile pada semua sampel briket melebihi standar SNI, nilai Standar Mutu Briket Arang Kayu (SNI No. 01-6235-2000) untuk kadar volatile briket yaitu $\leq 15\%$. Sedangkan hasil rata-rata yang didapat pada sampel tersebut yaitu berkisar (33,4754 – 46,4486)%. Hal ini diduga karena masih adanya kadar air yang tersisa sehingga menyebabkan kadar volatile nya juga masih sangat tinggi.



Gambar 7.6 Rerata Kadar Volatile Briket Dengan Komposisi Campuran Arang Kayu Alaban dan Abu Terbang Batubara

Dapat dilihat pada Gambar 7.6 bahwa kadar volatile pada sampel briket dengan komposisi campuran 80% arang kayu alaban dengan 20% abu terbang terlihat paling rendah dibandingkan sampel lainnya. Pada sampel briket dengan komposisi campuran 10% abu terbang kadar volatile nya semakin tinggi. Hal ini sesuai dengan uji pendahuluan yang telah dilakukan.

Kadar volatile ini akan mempengaruhi banyaknya asap yang dihasilkan dan kemudahan briket untuk dinyalakan. Semakin besar kadar volatile maka semakin mudah briket menyala namun asap yang dihasilkan juga akan bertambah banyak. Semakin besar suhu dan waktu pengarangan maka semakin banyak zat menguap yang terbang sehingga pada saat pengujian kadar zat menguap akan diperoleh kadar zat menguap yang rendah.

Kandungan kadar volatile atau zat menguap yang tinggi di dalam biobriket akan menimbulkan asap yang lebih banyak pada saat briket dinyalakan, hal ini disebabkan adanya reaksi antara karbon monoksida (CO). Dari hasil yang didapatkan semakin banyak penambahan campuran abu terbang maka kadar volatile yang didapat semakin rendah.

7.5 Nilai Kalori (kal/g)

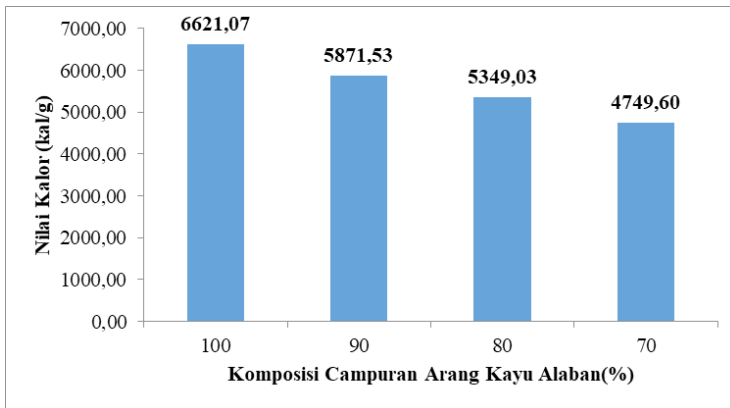
Nilai kalori merupakan banyaknya kalor atau panas yang dapat dilepaskan oleh setiap kilogram briket jika dibakar sempurna. Nilai kalori sangat menentukan kualitas briket. Semakin tinggi nilai kalori, maka semakin baik pula kualitas briket yang dihasilkan.

Hasil uji nilai kalori yang dilakukan pada biobriket campuran arang kayu alaban dan abu dasar batubara seperti pada Tabel 7.9 berikut.

Tabel 7.9 Hasil Uji Nilai Kalori Briket Campuran Arang Kayu Alaban dan Abu Dasar Batubara

Sampel (S)	Variasi Komposisi Arang Kayu Alaban dan Abu Dasar			
	100 : 0	90 : 10	80 : 20	70 : 30
S 1	6620,8	5872,1	5393,8	4765,6
S 2	6619,4	5869,3	5391,1	4734,1
S 3	6623,0	5873,2	5397,2	4749,1
Rerata Nilai Kalori (kal/g)	6621,067	5871,533	5349,033	4749,600

Dapat dilihat pada Tabel 7.9 bahwa rerata nilai kalori briket adalah (4749,600 – 6621,067) kal/g. Rerata hasil uji nilai kalori pada seluruh sampel briket Campuran Arang Kayu Alaban dan Abu Dasar Batubara memenuhi standar dari SNI, dengan nilai Standar Mutu Briket Arang Kayu (SNI No. 01-6235-2000) untuk nilai kalor briket yaitu ≤ 5000 kal/g.



Gambar 7.7 Rerata Nilai Kalori Briket Dengan Komposisi Campuran Arang Kayu Alaban dan Abu Dasar Batubara

Gambar 7.7 menjelaskan tentang nilai kalori pada briket dengan komposisi campuran (100:0)%, (90:10)%, (80:20)% dan (70:30)%. Semakin banyak komposisi arang kayu alaban yang digunakan maka semakin besar nilai kalori pada briket, dari hasil uji pendahuluan nilai kalori yang pada arang kayu alaban bernilai 6833,133 kal/g. Disamping itu dapat dilihat bahwa semakin banyak komposisi campuran abu dasar

yang digunakan maka nilai kalori yang didapat semakin kecil. Dari hasil uji pendahuluan nilai kalori abu dasar adalah 389,5 kal/g. Dari Gambar 7.7 dapat dilihat bahwa briket dengan variasi komposisi campuran arang kayu alaban dan abu dasar batubara (70:30)% tidak memenuhi syarat standar SNI karena nilai kalori yang didapat 5.000 kal/g.

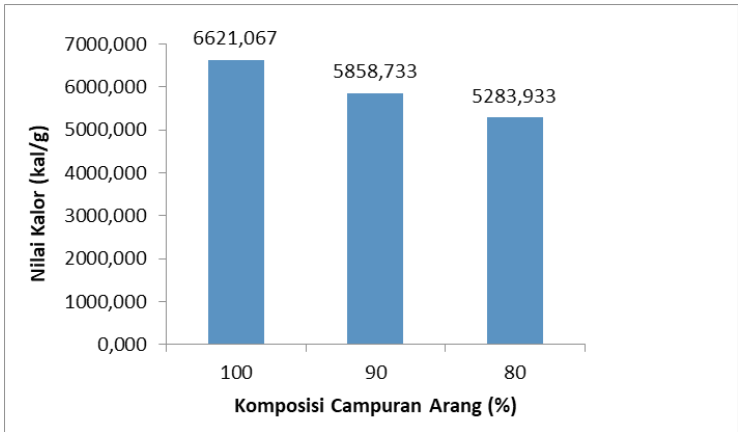
Pada penelitian yang dilakukan oleh Anetiesia (2015) dengan menggunakan campuran arang tempurung kepala dan *bottom ash* didapatkan nilai kalori paling tinggi pada briket campuran 100% arang tempurung kelapa dan paling rendah pada briket dengan campuran 100% abu dasar. Pada penelitian biobriket yang dilakukan dapat dilihat bahwa semakin banyak abu dasar yang digunakan maka nilai kalori yang didapatkan semakin kecil. Disamping itu semakin kecil nilai kalori yang didapatkan juga disebabkan kadar abu yang didapat cukup besar dan mengakibatkan pembakaran tidak terjadi secara sempurna.

Hasil uji nilai kalori yang dilakukan pada briket campuran arang kayu alaban dan abu terbang batubara seperti pada Tabel 7.10 berikut.

Tabel 7.10 Hasil Uji Nilai Kalori Briket Campuran Arang Kayu Alaban dan Abu Terbang Batubara

Variasi Komposisi Arang Kayu Alaban dan Abu Terbang	Sampel S1	Sampel S2	Sampel S3	Rerata Nilai Kalori (kal/g)
100 : 0	6620,8	6619,4	6623,0	6621,067
90 : 10	5846,0	5871,0	5859,2	5858,733
80 : 20	5283,8	5273,5	5294,5	5283,933

Dapat dilihat pada Tabel 7.10 bahwa rerata nilai kalori briket adalah (5283,933 – 6621,067) kal/g. Rerata hasil uji nilai kalori pada seluruh sampel briket campuran arang kayu alaban dan abu terbang batubara memenuhi standar dari SNI, dengan nilai Standar Mutu Briket Arang Kayu (SNI No. 01-6235-2000) untuk nilai kalor briket yaitu ≤ 5000 kal/g.



Gambar 7.8 Rerata Nilai Kalori Briket Dengan Komposisi Campuran Arang Kayu Alaban dan Abu Terbang Batubara

Dapat dilihat pada Gambar 7.8, pada sampel briket menggunakan komposisi campuran 100% arang kayu alaban didapatkan nilai kalor yang paling tinggi. Sementara briket dengan komposisi campuran 20% abu terbang didapatkan nilai kalor yang paling rendah. Dengan demikian semakin banyak penambahan komposisi campuran abu terbang pada pembuatan briket, maka nilai kalor semakin rendah. Hal ini sesuai dengan uji pendahuluan yang telah dilakukan bahwa nilai kalor abu terbang lebih kecil dibanding arang kayu. Kualitas briket arang ditentukan dengan tingginya nilai kalor, semakin tinggi nilai kalor briket maka semakin baik kualitas briket.

7.6 Densitas

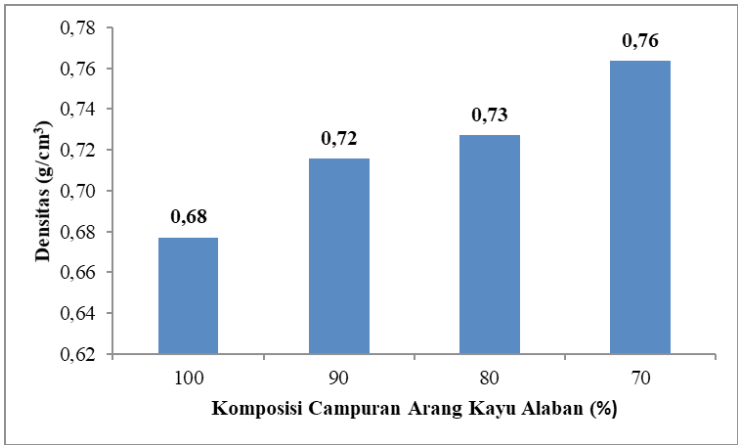
Densitas atau kerapatan merupakan perbandingan antara berat dengan volume briket. Besar kecilnya kerapatan dipengaruhi oleh ukuran dan kehomogenan penyusun briket tersebut.

Hasil uji pendahuluan densitas untuk arang kayu alaban adalah 2,71 g/cm³ dan untuk abu dasar batubara adalah 4,06 g/cm³, sedangkan untuk abu terbang batubara adalah 2,95 g/cm³. Nilai densitas abu batubara lebih besar dari pada nilai densitas arang kayu alaban. Nilai densitas biobriket campuran arang kayu alaban dan abu dasar batubara seperti pada Tabel 7.11 berikut.

Tabel 7.11 Hasil Uji Densitas Briket Campuran Arang Kayu Alaban dan Abu Dasar Batubara

Komposisi Arang Kayu Alaban : Abu Dasar	Sampel	Massa (g)	Tebal (cm)	Volume (cm ³)	Densitas (g/cm ³)	Densitas dalam SI (kg/m ³)
100% : 0%	S1	32,93	2,50	49,06	0,67	671,24
	S2	32,53	2,40	47,10	0,69	690,72
	S3	32,73	2,50	49,06	0,67	667,02
	S4	32,72	2,50	49,06	0,67	666,83
	S5	32,49	2,40	47,10	0,69	689,81
Rerata					0,68	677,13
90% : 10%	S1	34,62	2,40	47,10	0,74	735,02
	S2	33,87	2,40	47,10	0,72	719,10
	S3	34,02	2,40	47,10	0,72	722,25
	S4	33,27	2,50	49,06	0,68	678,07
	S5	34,12	2,40	47,10	0,72	724,50
Rerata					0,72	715,79
80% : 20%	S1	33,72	2,40	47,10	0,72	715,87
	S2	33,71	2,40	47,10	0,72	715,66
	S3	33,67	2,30	45,14	0,75	745,87
	S4	33,70	2,40	47,10	0,72	715,54
	S5	33,52	2,30	45,14	0,74	742,63
Rerata					0,73	727,11
70% : 30%	S1	35,14	2,40	47,10	0,75	746,07
	S2	33,10	2,20	43,18	0,77	766,58
	S3	31,63	2,10	41,21	0,77	767,46
	S4	34,80	2,20	43,18	0,81	806,03
	S5	33,00	2,30	45,14	0,73	731,09
Rerata					0,76	763,45

Dapat dilihat pada Tabel 7.11 bahwa rerata nilai densitas biobriket campuran arang kayu alaban dan abu dasar batubara adalah (0,68 – 0,76) g/cm³.



Gambar 7.9 Rerata Nilai Densitas Briket Dengan Komposisi Campuran Arang Kayu Alaban dan Abu Dasar Batubara

Pada Gambar 7.9 terlihat bahwa densitas yang paling rendah adalah briket 100%:0% dengan nilai 0,68 g/cm³ dan yang paling tinggi adalah briket 70%:30% dengan nilai 0,76 g/cm³. Dari hasil perhitungan densitas dapat dilihat bahwa semakin banyak kadar abu dasar batubara yang digunakan maka semakin tinggi nilai densitas yang diperoleh. Hal tersebut dikarenakan massa jenis dari arang kayu alaban adalah 2,71 g/cm³ lebih rendah dibandingkan abu dasar batubara yang nilai massa jenisnya 4,06 g/cm³.

Hasil uji densitas yang dilakukan pada briket campuran arang kayu alaban dan abu terbang batubara seperti pada Tabel 7.12 berikut.

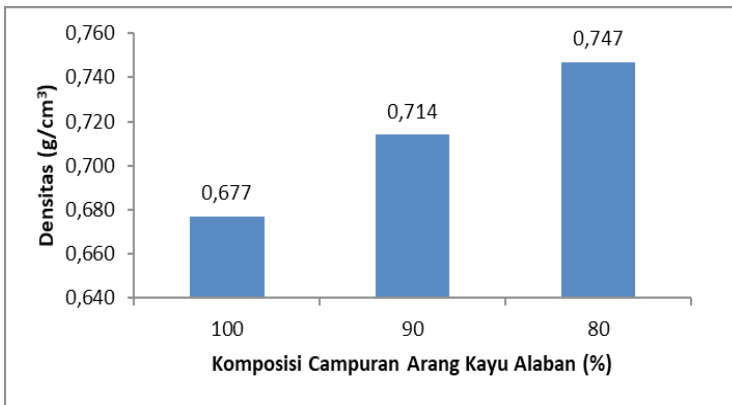
Tabel 7.12 Hasil Uji Densitas Briket Campuran Arang Kayu Alaban dan Abu Terbang Batubara

Sampel (100:0)	Massa (g)	Tebal (cm)	Volume (cm ³)	Densitas (g/cm ³)	Densitas (SI) (kg/m ³)
S1	32,933	2,5	49,063	0,671	671,243
S2	32,533	2,4	47,100	0,691	690,720
S3	32,726	2,5	49,063	0,667	667,024
S4	32,717	2,5	49,063	0,667	666,832
S5	32,490	2,4	47,100	0,690	689,807
Rerata				0,677	677,125

Sampel (90:10)	Massa (g)	Tebal (cm)	Volume (cm ³)	Densitas (g/cm ³)	Densitas (SI) (kg/m ³)
S1	34,691	2,5	49,063	0,707	707,060
S2	34,903	2,5	49,063	0,711	711,383
S3	34,212	2,4	47,100	0,726	726,359
S4	33,899	2,4	47,100	0,720	719,728
S5	34,784	2,5	49,063	0,709	708,970
Rerata				0,714	714,7

Sampel (80:20)	Massa (g)	Tebal (cm)	Volume (cm ³)	Densitas (g/cm ³)	Densitas (SI) (kg/m ³)
S1	34,240	2,4	47,100	0,727	726,964
S2	34,022	2,3	45,138	0,753	753,724
S3	30,175	2,1	41,213	0,732	732,169
S4	33,316	2,2	43,175	0,772	771,655
S5	34,008	2,3	45,138	0,753	753,418
Rerata				0,747	747,586

Dapat dilihat pada Tabel 7.12 bahwa rerata nilai densitas briket campuran arang kayu alaban dan abu terbang batubara adalah (0,677 – 0,747) g/cm³.



Gambar 7.10 Rerata Nilai Densitas Briket Dengan Komposisi Campuran Arang Kayu Alaban dan Abu Terbang Batubara

Hasil Gambar 7.10 menunjukkan bahwa rerata nilai densitas paling tinggi didapat pada briket dengan campuran abu terbang 20% yaitu 0,747 g/cm³, dan paling rendah didapat pada briket komposisi arang kayu alaban

100% yaitu 0,677 g/cm³. Rendahnya nilai densitas dari arang diduga karena adanya pengaruh tekanan dan beda jenis bahan. Rongga dalam briket arang akan semakin banyak dan akan diisi oleh air atau udara sehingga kerapatannya akan semakin kecil. Sedangkan tingginya nilai densitas dengan penambahan abu terbang diduga karena tingginya nilai densitas dari abu terbang itu sendiri, sesuai dengan uji pendahuluan yang telah dilakukan. Hal ini menyebabkan semakin banyaknya penambahan abu terbang maka nilai densitas akan semakin tinggi. Menurut Jamilatun (2008) semakin tinggi nilai kerapatan (*density*) briket maka semakin lambat laju pembakaran yang terjadi. Semakin tinggi nilai densitas maka semakin kecil pori dari briket tersebut.

7.7 Porositas (%)

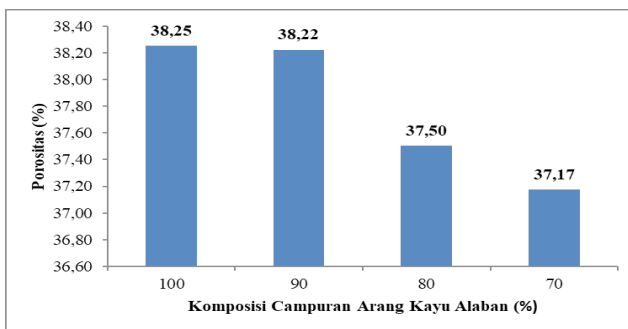
Porositas adalah nilai kepadatan dari suatu benda. Semakin padat benda tersebut, maka akan memiliki nilai porositas yang kecil (Ridha, 2016). Uji porositas dilakukan pada biobriket komposisi campuran arang kayu alaban dan abu dasar serta abu terbang batubara. Porositas biobriket komposisi campuran arang kayu alaban dan abu dasar seperti pada Tabel 7.13 berikut.

Tabel 7.13 Hasil Uji Porositas Briket Dengan Campuran Arang Kayu Alaban dan Abu Dasar Batubara

Komposisi Arang Kayu Alaban : Abu Dasar	Sampel	Berat Kering (g)	Berat Basah (g)	Porositas (%)
100% : 0%	S1	32,93	45,16	37,13
	S2	32,53	45,26	39,14
	S3	32,72	45,23	38,22
	S4	32,71	45,13	37,96
	S5	32,48	45,09	38,80
Rerata				38,25

Komposisi Arang Kayu Alaban : Abu Dasar	Sampel	Berat Kering (g)	Berat Basah (g)	Porositas (%)
90% : 10%	S1	34,61	47,22	36,40
	S2	33,86	46,29	36,67
	S3	34,01	47,19	38,75
	S4	33,26	46,24	39,00
	S5	34,12	47,87	40,29
	Rerata			
80% : 20%	S1	33,71	46,32	37,38
	S2	33,70	46,18	37,01
	S3	33,66	46,29	37,52
	S4	33,70	46,30	37,39
	S5	33,52	46,33	38,21
	Rerata			
70% : 30%	S1	35,14	47,98	36,55
	S2	33,09	46,12	39,36
	S3	31,62	42,37	33,97
	S4	34,80	47,17	35,55
	S5	33,00	46,34	40,45
	Rerata			

Dari Tabel 7.13, nilai porositas biobriket dengan komposisi campuran arang kayu alaban dan abu dasar batubara, yaitu (37,17 – 38,25) %.



Gambar 7.11 Porositas Briket Dengan Komposisi Campuran Arang Kayu Alaban dan Abu Dasar Batubara

Dapat dilihat pada Gambar 7.11 bahwa hasil uji porositas briket dengan komposisi campuran abu dasar 30% mempunyai nilai porositas paling rendah, dan nilai porositas paling tinggi didapat pada briket dengan komposisi campuran arang kayu alaban 100%. Apabila nilai densitas yang diperoleh besar maka nilai porositas yang diperoleh kecil. Dilihat dari hasil perhitungan porositas bahwa semakin banyak komposisi abu dasar batubara yang digunakan maka porositas semakin kecil.

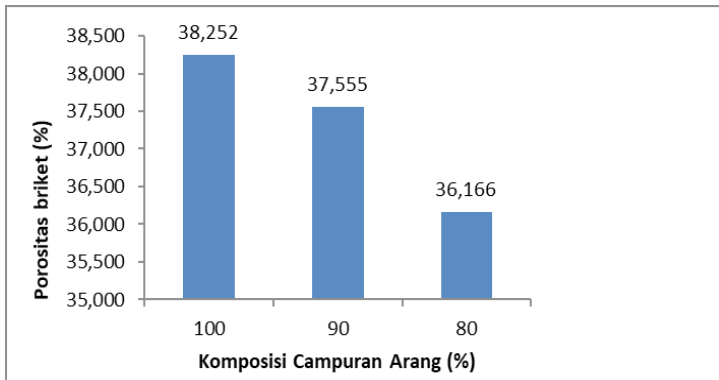
Porositas briket komposisi campuran arang kayu alaban dan abu terbang seperti pada Tabel 7.14 berikut.

Tabel 7.14 Hasil Uji Porositas Briket Dengan Campuran Arang Kayu Alaban dan Abu Terbang Batubara

Sampel (100:0)	Berat Basah (g)	Berat Kering (g)	Porositas (%)
S1	45,162	32,933	37,132
S2	45,266	32,533	39,138
S3	45,235	32,726	38,224
S4	45,137	32,717	37,963
S5	45,097	32,490	38,802
Rerata			38,252
Sampel (90:10)	Berat Basah (g)	Berat Kering (g)	Porositas (%)
S1	46,889	34,240	36,942
S2	47,131	34,022	38,533
S3	41,032	30,175	35,980
S4	46,033	33,316	38,171
S5	46,981	34,008	38,148
Rerata			37,555
Sampel (80:20)	Berat Basah (g)	Berat Kering (g)	Porositas (%)
S1	47,082	34,691	35,719
S2	47,243	34,903	35,358
S3	47,228	34,212	38,047
S4	46,198	33,899	36,279
S5	47,108	34,784	35,428
Rerata			36,166

Dari Tabel 7.14, nilai Porositas briket dengan komposisi campuran arang kayu alaban dan abu terbang batubara, yaitu (36.166 – 38,252) %.

Dari Tabel 7.13 dan 7.14, dapat dilihat bahwa hasil uji porositas pada sampel briket terlihat cukup signifikan, tidak jauh perbedaan hasil yang didapat dari ke 5 sampel briket. Nilai porositas biobriket yang didapat terlihat cukup tinggi.



Gambar 7.12 Porositas Briket Dengan Komposisi Campuran Arang Kayu Alaban dan Abu Terbang Batubara

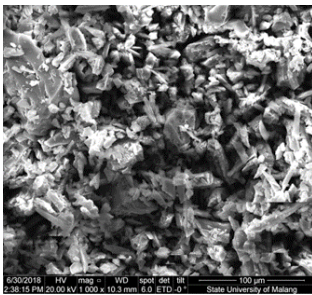
Dapat dilihat pada Gambar 7.12 bahwa hasil uji porositas briket dengan komposisi campuran abu terbang 20% mempunyai nilai porositas paling rendah, yaitu 36,166%. Nilai porositas paling tinggi didapat pada biobriket dengan komposisi arang kayu alaban 100% yaitu 38,252%. Dengan demikian, semakin banyak penambahan komposisi campuran abu terbang, maka semakin rendah nilai porositasnya.

Menurut Jamilatun (2008) semakin besar nilai densitas maka porositas yang didapat akan semakin kecil. Hal ini sesuai dengan nilai densitas yang didapatkan pada penelitian ini berbanding terbalik dengan porositas. Semakin banyak penambahan abu terbang, maka pori nya semakin kecil atau semakin berkurang dan kerapatannya semakin tinggi.

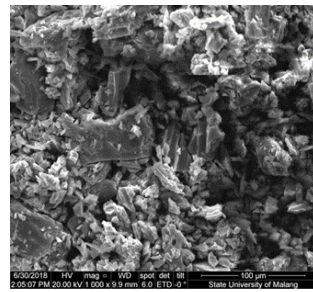
BAB VIII

MORFOLOGI BRIKET

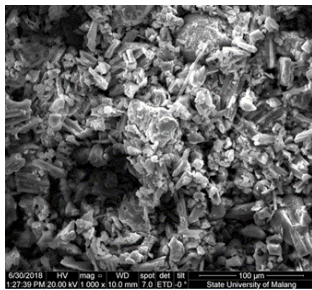
Pengujian Morfologi briket dengan menggunakan SEM. Hasil uji Morfologi untuk komposisi Arang Kayu Alaban, Abu Dasar dan Abu Terbang Batubara sebagai berikut.



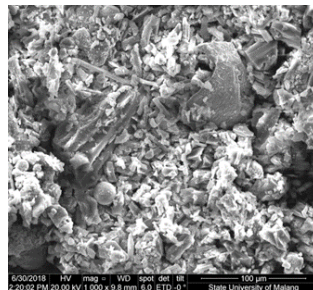
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 8.1 Hasil uji SEM Arang Kayu Alaban : Abu Dasar Batubara (a) 100% : 0%, (b) 90% : 10%, (c) 80% : 20% dan (d) 70% : 30%

Pada Gambar 8.1, terlihat morfologi briket dengan komposisi arang kayu alaban dan abu dasar batubara yang bervariasi. Pada Gambar 8.1 (a) dengan komposisi 100% arang kayu alaban, terlihat bahwa hanya

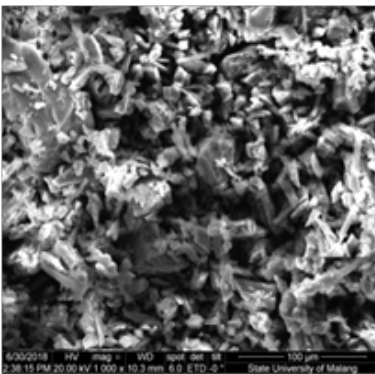
terdapat morfologi kayu alaban. Selain itu juga dapat dilihat terdapat porositas atau rongga antar partikel dari briket yang cukup besar.

Pada Gambar 8.1 (b) merupakan morfologi briket dengan komposisi arang kayu alaban 90% : abu dasar 10%, terlihat bahwa campuran antara arang kayu alaban dan abu dasar sudah homogen dan porositas dari briket mulai mengecil karena tertutupi oleh butiran dari abu dasar, bentuk bulat adalah morfologi dari abu dasar.

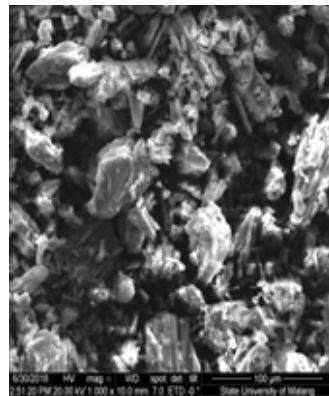
Pada Gambar 8.1 (c) merupakan morfologi briket dengan komposisi arang kayu alaban 80% : abu dasar 20%, terlihat bahwa campuran antara arang kayu alaban dan abu dasar sudah homogen dan porositas dari biobriket mengecil dibandingkan dengan biobriket 90%:10% karena tertutupi oleh butiran dari abu dasar yang lebih banyak.

Sedangkan pada Gambar 8.1 (d) merupakan morfologi briket dengan komposisi arang kayu alaban 70%: abu dasar 30%, terlihat bahwa campuran antara arang kayu alaban dan abu dasar sudah homogen dan porositas dari briket semakin mengecil karena tertutupi oleh butiran dari abu dasar yang lebih banyak. Dari semua hasil uji SEM, terlihat bahwa semakin banyak komposisi campuran abu dasar yang digunakan maka porositasnya semakin kecil juga.

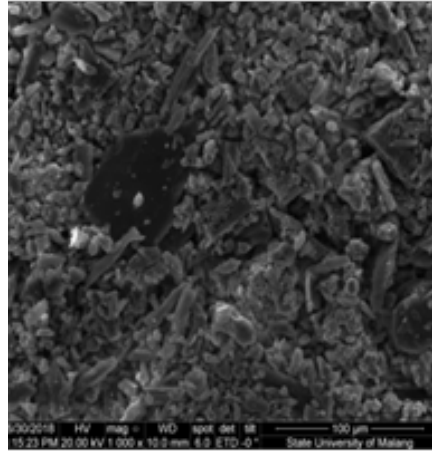
Hasil uji morfologi untuk briket dari campuran Arang Kayu Alaban dan Abu Terbang sebagai berikut:



(a)



(b)



(c)

Gambar 8.2 Hasil uji SEM Arang Kayu Alaban : Abu Terbang Batubara (a) 100% : 0%, (b) 90% : 10%, (c) 80% : 20%

Dari Gambar 8.2 terlihat hasil Uji SEM dalam bentuk morfologi briket dengan komposisi arang kayu alaban dan abu terbang batubara yang bervariasi. Gambar 8.1 (a) adalah morfologi dari sampel briket komposisi arang kayu alaban 100% tanpa penambahan abu terbang, terlihat bahwa sampel memiliki pori atau rongga paling besar. Hal ini sesuai dengan hasil densitas yang didapatkan bahwa sampel ini memiliki nilai kerapatan paling kecil sehingga memiliki pori yang besar, nilai porositas yang didapatkan untuk sampel arang kayu alaban 100% paling besar.

Gambar 8.2 (b) adalah morfologi dari sampel briket komposisi arang kayu alaban 90% dengan penambahan abu terbang 10%, terlihat porinya juga masih ada. Namun terlihat lebih sedikit jika dibandingkan dengan Gambar (a) dan sampel juga terlihat sudah tercampur cukup homogen antara arang kayu alaban dengan abu terbang.

Gambar 8.2 (c) adalah morfologi dari sampel briket komposisi arang kayu alaban 80% dengan penambahan abu terbang 20%, terlihat sampel ini paling menyatu dan rongganya terlihat lebih kecil dibanding sampel lainnya. Sesuai dengan hasil uji densitas yang didapatkan bahwa sampel dengan penambahan abu terbang 20% nilai kerapatannya paling tinggi dibandingkan sampel lain, sehingga porinya juga semakin kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- Acosta, Dafi. 2009. Pemanfaatan Fly Ash (Abu Terbang) Dari Pembakaran Batubara Pada PLTU Suralaya Sebagai Bahan Baku Pembuatan Refraktori Cor.
- Aggarwal, Vanita dkk. 2010. Concrete Durability Through High Volume Fly Ash Concrete (HVFC) a Literature review. *International Journal of Engineering Science and Techgies* vol 2.
- Agus Dwi Darmawan. 2008. Abu Penyerap Limbah, *Jurnal Sain dan Teknologi*, Jakarta.
- Anetiesia, S.E., Syafrudin & B. Zaman. 2015. Pembuatan Briket dari Bottom Ash dan Arang Tempurung Kelapa Sebagai Sumber Energi Alternatif. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Astini, Nur. 2014. Pemanfaatan Limbah Cangkang Biji Karet (Hevea Brasiliansis Muell.Arg) sebagai Briket Arang. Tugas Akhir Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat. Banjarbaru.
- Aziz, Muchtar, Ngurah Ardha. 2006. Karakterisasi abu terbang PLTU Suralaya dan evaluasinya untuk refraktori cor. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, no.36, Tahun 14, Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara. ISSN 0854-7890.
- Brades, A. C & Tobing, F. S. 2008. Pembuatan Briket Arang Dari Eceng Gondok (*Eichornia Crasipess Solm.*) dengan Sagu Sebagai Pengikat.
<http://brades.multiply.com/journal>.
- Djumari. 2011. Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) Sebagai Bahan Campuran Pembuatan Batako Ditinjau Dari Kuat Tekan dan Serapan Air. Thesis. Universitas Negeri Semarang.
- Edy B., 2007: Fly Ash - Bottom Ash dan Pemanfaatannya, <http://b3.menlh.go.id/3r/artikel.php>.

- Emmanuel, Gikunoo, 2004, “Effect of Fly Ash Particles on the Mechanical Properties and Microstructure of Aluminium Casting Alloy A535”, University of Saskatchewan Saskatoon, Saskatchewan Canada.
- Gandhi, A. 2010. Pengaruh Variasi Jumlah Campuran Perekat Terhadap Karakteristik Briket Tongkol Jagung. *Profesional*. 8(1): 1-11.
- Gunawan, Budi dan Sugeng Slamet. 2015. Pembuatan Briket dari Limbah Bottom ash PLTU dengan Biomassa Cangkang Kopi. *Jurnal SIMETRIS*, Vol 6 No 2 November 2015. ISSN: 2252-4983.
- Haryanti, N.H 2014. Limbah Fly Ash (Abu Terbang) Batubara PLTU Asam-asam Sebagai Bahan Campuran Bata Ringan. *Prosiding Nasional ISSN: 1411- 4771 Simposium Fisika Nasional XXVII (SFN 2014) Universitas Udayana Bali*.
- Jamilatun, S. 2008. Sifat-sifat Penyalaan dan Pembakaran Briket Biomassa, Briket Batu bara dan Arang Kayu. *Jurnal Rekayasa Proses Vol. 2 No.2 Teknik Kimia Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta*.
- Julian, Ridho Tri. 2016. Pemanfaatan Limbah Cangkang Biji Karet Menjadi Briket Sebagai Bahan Bakar Alternatif Dengan BahanPerekat Amilum. *Skripsi/Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia. Politeknik Negeri Sriwijaya. Palembang*.
- Kahariyadi, A., D. Setyawati, Nurhaida, F. Diba & E. Roslinda. 2015. Kualitas Arang Briket Berdasarkan Persentase Arang Batang Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis* Jacq) dan Arang Kayu Alaban (*Vitex Pubescens* Vahl). *Jurnal Hutan Lestari*. 3: 561 – 568.
- Khaerunnisa, H., Hadijah, N. R. and Damayanti, R. 2006 “Uji toksisitas akut LD50 bahan abu terbang dan *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 38(14), pp. 9–18.
- Liu, H., Burkett, H., and Haynes, K. 2007. Improving Freezing and Twaving Properties of Fly Ash Bricks.
- Mahdie, M.F. 2010. Briket Arang Dari Limbah Arang PT. Citra Prima Utama Banjarbaru. *Jurnal Hutan Tropis*. 29: 1-8.

- Michael. A.K, Andre. R.W., Handoko S. 2012. Pengaruh Penambahan Fly Ash Terhadap Kuat Tekan dan Tarik Perekat Bata Ringan. Universitas Kristen Petra. Surabaya.
- Mulyono, T. 2005. Teknologi Beton. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Nodali, N. 2010. Uji Komposisi Bahan Pembuat Briket Bioarang Tempurung Kelapa dan Serbuk Kayu Terhadap Mutu yang Dihasilkan. Skripsi S1. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Nugraha, P dan Antoni. 2007. Teknologi beton, dari material, pembuatan, ke beton kinerja tinggi. Penerbit Andi Yogyakarta dan LPPM Universitas Kristen Petra.
- Nurlyanto, A. 2010. Perbandingan Keuntungan Industri Arang Dengan Menggunakan Bahan Baku Jenis Alaban (*Vitek pubescens Vahl*) dan Akasia (*Acacia auriculiformis A. Cunn. Ex Benth.*) di Desa Ranggung Kecamatan Takisung Kabupaten Tanah Laut Provinsi Kalimantan Selatan. Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru.
- Patria, Diyoeshy Rizqi *et al.* 2015. Pembuatan Briket dari Campuran Tempurung dan Cangkang Biji Karet dengan Batu bara Peringkat Rendah. Jurnal Teknik Kimia No. 1 Vol. 21 Januari 2015. Universitas Sriwijaya.
- Pelaihari, 2007, Flay Ash sebagai Substitusi Semen, Puslitbang Teknologi Mineral dalam Batubara.
- PerMen. LH No. 2/2008
- Peraturan Pemerintah (PP) No. 101 tahun 2014 sebagai perubahan atas PP No 85. tahun 1999 tentang perubahan atas PP tahun 1999 Tentang Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3).
- Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral. 2006. Pedoman Pembuatan dan Pemanfaatan Briket Batubara dan Bahan Bakar Padat Berbasis Batubara. Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
- Ridha, M. & Darminto. 2016. Analisis Densitas, Porositas, dan Struktur Mikro Batu Apung Lombok dengan Variasi Lokasi menggunakan Metode Archimedes dan Software Image-J. Jurnal Fisika dan Aplikasinya. 12: 2460 – 4682.

- Rr. Mekar Ageng Kinasti; Djoko Nugroho Notodisuryo. 2017. Pemanfaatan Limbah Pembakaran Batubara (Bottom Ash) Pada PLTU Suralaya Sebagai media Tanam Dalam Upaya Mengurangi Pencemaran Lingkungan. Jurnal Kilat Vol. 6 No.2, Oktober 2017.
- Selpiana, et al. 2014. Pengaruh Temperatur dan Komposisi pada Pembuatan Bibriket dari Cangkang Biji Karet dan Plastik Polietilen. Seminas Nasional Added Value of Energy Resources (AVoER) Ke-6. Palembang.
- Setiawan, Bambang. 2005. Kebijakan Umum Pemanfaatan Batu Bara dan Rancangan Undang - undang Mineral dan Batu Bara. Jakarta.
- Sholichah et al. 2011. Studi Banding Penggunaan Pelarut Air dan Asap Cair Terhadap Mutu Briket Tongkol Jagung. Prosiding SNaPP2011 Sains, Teknologi, dan Kesehatan. ISSN: 2089-3582.
- Slamet, Sugeng dan Budi Gunawan. 2016. Briket Campuran Bottom ash Batu Bara Limbah PLTU dan Biomassa melalui Proses Karbonisasi sebagai Sumber Energi Alternatif Terbarukan. Prosiding SNATIF Ke-3 Tahun 2016. ISBN: 978-602-1180-33-4.
- Sudarja. 2009. Analisis Rekayasa dan Karakterisasi Briket Bahan Bakar dari Limbah Serat Kenaf. Jurnal Ilmiah Semesta Teknika. 12: 92 – 98.
- Sulardjaka dkk. 2010. Wear Resisistance of Carbothermally Reduced of Fly Ash Reinforced Aluminium Composite. International Journal of Mechanical and Mechatronic Engineering IJMME-IJENS vol:10 No:06.
- Syamsuddin, Ristinah *et al.* 2015. Pengaruh Campuran Kadar Bottom ash dan Lama Perendaman Air Laut terhadap Kuat Tekan, Lendutan, Kapasitas Lentur, Kuat Geser dan Pola Retak Balok. Jurnal Rekayasa Sipil Volume 9, No. 1--205 ISSN 1978-5658.
- Wardani, Sri Prabandiyani Retno. 2008. Pemanfaatan limbah batubara (Fly Ash) untuk stabilisasi tanah maupun keperluan teknik sipil lainnya dalam mengurangi pencemaran lingkungan. Jurnal: Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

www.fhwa.dot.gov, 2012

Pemanfaatan Abu Batubara

Sebagai Material Campuran Briket



Penerbit:
Universitas Lambung Mangkurat
Jalan H. Hasan Basry Kayutangi Banjarmasin
Telp/Fax.(0511) 3304914