

STUDI KEMUNGKINAN PEMAKAIAN SEKAM DAN JERAMI PADI SEBAGAI BAHAN BAKAR BRIKET UNTUK KETEL UAP DI RSUP DR. WAHIDIN SUDIROHUSODO MAKASSAR

David Mangallo¹⁾, Duma Hasan²⁾

Abstract: This study aims to: (1) make briquettes from rice husk and straw with some mixture proportions, (2) determine the heating value (HHV) and the compressive strength of the produced briquettes (3) determine the physical properties of the produced briquettes through the proximate analysis and determine the best briquettes mixture, and (4) know the possibility of using rice husk and straw as briquette fuel for steam boilers. The produced briquettes contained 85% of rice husk charcoal and straw, and adhesive substance consisting of clay (10%) and strach (5%). The briquettes were made with five mixture proportions with an average mass ratio of 260 gramsduce briquettes briquette type E as the best. The examination of heating value reveals that the higher the percentage of staw in the mixture, the lower the briquette heating value will be; while the testing of compressive strength reveals that the higher the percentage of straw in the mixture, the higher the briquette compressive strength will be. Based on the proximate analysis, it is found that generally the produced briquettes have fulfilled the briquette standard quality. The results of calculations analysis reveal that there is a possibility to use briquettes made of rice husks and straw as steam boilers the ratio between the fuel mass flow rate and vapor mass flow rate is 0.231.

Keywords: briquettes, wasp nests, boilers

I. PENDAHULUAN

Krisis bahan bakar minyak yang terjadi saat ini sangat berdampak pada semua sektor kehidupan manusia. Hal ini karena luasnya penggunaan bahan bakar minyak ini dalam menunjang aktivitas kehidupan manusia. Krisis bahan bakar minyak ini disebabkan oleh semakin menipisnya persediaan bahan bakar minyak yang terkandung dalam perut bumi. Untuk mengatasi krisis bahan bakar minyak, maka dilakukan upaya-upaya yang dapat menghemat atau mengurangi penggunaan bahan bakar minyak.

¹ Staf Pengajar Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Cendrawasih Jayapura Papua

² Staf Pengajar Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Penggunaan energi biomassa sebagai sumber energi alternatif terus dikembangkan mengingat cadangan BBM Indonesia semakin menipis. Begitupun dengan cadangan batubara Indonesia yang mencapai 39 miliar ton dengan pemakaian 75 – 150 juta ton pertahun diperkirakan hanya cukup untuk kebutuhan 100 tahun. Jika tidak segera ditemukan sumber energi alternatif, Indonesia akan mengalami krisis energi yang parah.

Pemanfaatan sekam dan jerami padi di Provinsi Sulawesi Selatan sebagai sumber energi alternatif sangat memungkinkan. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Sulawesi Selatan, produksi gabah kering giling tahun 2007 sebesar 3,64 juta ton, tahun 2008 sebesar 4,08 juta ton, tahun 2009 berdasarkan angka ramalan sebesar 4,18 juta ton. Apabila limbah yang dihasilkan dari tanaman padi yang berupa sekam dan jerami padi dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif maka akan sangat membantu dalam mengatasi terjadinya krisis BBM di masa mendatang.

Penelitian ini akan memanfaatkan sekam dan jerami padi melalui proses pengarangan yang kemudian dibuat dalam bentuk briket dengan memvariasikan campuran dari sekam dan jerami padi. Briket sekam dan jerami padi akan dibuat dalam bentuk silinder berlubang (sarang tawon) yang memiliki 19 buah lubang dimana akan digunakan cetakan briket dengan ketebalan 6,5 cm dan diameter 11 cm. Sebagai bahan pengikat untuk membentuk briket digunakan tanah liat (lempung) sebanyak 10 % dan tepung kanji seberat 5 % dari berat briket. Briket dari sekam dan jerami padi yang dibuat akan digunakan sebagai bahan bakar ketel untuk menghasilkan uap.

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana proses pembuatan dan bentuk fisik briket sekam dan jerami padi pada berbagai perbandingan campuran ?
2. Bagaimana nilai kalor (HHV) dan kekuatan tekan briket sekam dan jerami padi pada berbagai perbandingan campuran ?
3. Bagaimana sifat-sifat fisik briket yang dihasilkan melalui analisis proksimasi?
4. Bagaimana kemungkinan pemakaian sekam dan jerami padi sebagai bahan bakar briket untuk ketel uap ?

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengarangan sekam dan jerami padi dilakukan pada kiln arang yang terbuat dari drum berkapasitas 220 liter dengan ketebalan 2 mm yang dilengkapi dengan sil air.
2. Pembuatan briket arang sekam dan jerami padi dilakukan dengan menggunakan cetakan tangan berbentuk sarang tawon yang memiliki 19 buah lubang dengan tebal (tinggi) 65 mm dan diameter 110 mm.
3. Variasi campuran sekam dan jerami padi ada 5 macam dengan perbandingan menurut berat yaitu: 100 % sekam : 0 % jerami, 30 % sekam : 70 % jerami,

15 *David Mangallo, Duma Hasan, Studi Kemungkinan Pemakaian Sekam dan Jerami Padi sebagai Bahan Bakar Briket untuk Ketel Uap di RSUP Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar*

50 % sekam : 50 % jerami, 70 % sekam : 30 % jerami, dan 0 % sekam : 100 % jerami.

4. Bahan perekat yang digunakan adalah tanah liat/lempung sebanyak 10 % dan tepung kanji 5 % menurut ukuran berat.
5. Analisis perhitungan tidak memperhitungkan konstruksi sistem pembakaran pada dapur (furnace) dan ketel

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat briket dari sekam dan jerami padi dengan beberapa perbandingan campuran.
2. Menentukan nilai kalor (HHV) dan kekuatan tekan briket yang dihasilkan.
3. Menentukan sifat-sifat fisik briket yang dihasilkan melalui analisis proksimasi serta menentukan jenis campuran briket yang terbaik.
4. Mengetahui kemungkinan pemakaian sekam dan jerami padi sebagai bahan bakar briket untuk ketel uap

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang berarti bagi masyarakat secara umum dalam memanfaatkan limbah sekam dan jerami padi sebagai bahan bakar alternatif khususnya untuk pembangkit uap pada ketel dengan kapasitas kecil.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Konsep Konservasi Energi

Program konservasi energi nasional diharapkan dapat mengurangi laju konsumsi bahan bakar konvensional khususnya minyak pada industri, sektor jasa dan pelayanan, rumah tangga, dengan berbagai cara penghematan energi tanpa mengurangi produksi dan produktifitas. Konservasi energi didefinisikan berbeda-beda oleh setiap pihak atau pemerintah yang menerapkan kebijaksanaan ini. Definisi konservasi energi sesuai dengan Kepres 43/1991, tentang pelaksanaan konservasi energi adalah kegiatan pemanfaatan energi secara efisien dan rasional tanpa mengurangi penggunaan energi yang memang diperlukan untuk menunjang pembangunan.

Sebagai salah satu langkah kebijaksanaan energi nasional, konservasi energi merupakan suatu langkah keharusan. Pemerintah telah menetapkan suatu kebijaksanaan yang pada dasarnya bertujuan untuk memelihara kelestarian sumber daya alam yang berupa sumber energi dengan memanfaatkannya secara efisien, rasional, dan bijaksana untuk mencapai keseimbangan antara pembangunan, pemerataan, dan pelestarian lingkungan hidup.

Untuk mencapai tujuan konservasi energi pemerintah mengupayakan pencapaian beberapa sasaran pokok. Pertama adalah tercapainya pencapaian sumber daya energi secara bijaksana. Artinya bahwa pembangunan energi harus berdasarkan azas manfaat (produktif) dan menghindarkan pemakaian yang tidak

benar-benar diperlukan (konsumtif). Kedua adalah peningkatan efisiensi energi nasional yang diharapkan dapat terwujud antara lain melalui penurunan intensitas pemakaian energi di seluruh sektor kegiatan. Ketiga adalah dengan konservasi energi diharapkan dapat ditingkatkannya nilai tambah secara nasional setiap unit energi yang digunakan. Artinya sedapat mungkin diupayakan menekan laju konsumsi energi dalam negeri, tetapi harus meningkatkan laju nilai tambah sektor-sektor kegiatan ekonomi seperti industri, pertambangan, pertanian, serta sektor lainnya

B. Biomassa

Biomassa didefinisikan sebagai material tanaman, tumbuh-tumbuhan, atau sisa hasil pertanian yang digunakan sebagai bahan bakar atau sumber bahan bakar. Menurut Silalahi (2000), biomassa adalah campuran organik yang kompleks, biasanya terdiri dari karbohidrat, protein, lemak, dan beberapa mineral lain yang jumlahnya sedikit seperti sodium, fosfor, kayu, dan besi. Biomassa merupakan salah satu jenis sumber energi yang termasuk cukup potensial di Indonesia sebagai negara agraris. Potensi alam Indonesia sangat mendukung pemanfaatan sumber energi biomassa. Sampai saat ini konsumsi energi biomassa di Indonesia cukup besar terutama bila dihitung dari potensi yang dikandungnya.

Sumber energi biomassa telah lama dikenal dan digunakan untuk memenuhi kebutuhan dasar rumah tangga. Pada dasarnya biomassa terdiri atas tiga komponen utama, yaitu: cellulosa, hemicellulosa, dan lignin. Struktur dan variasi jumlah masing-masing komponen tersebut dalam suatu jenis biomassa menyebabkan perbedaan kualitas biomassa tersebut sebagai bahan bakar.

Biomassa terdiri dari tiga elemen utama, yaitu karbon, oksigen dan hidrogen dengan perbandingan yang mendekati sekitar 50 % C, 6 % H dan 44 % O pada basis bebas moisture dan abu. Secara umum dapat dinyatakan dengan rumus empirik $CH_{1,44}O_{0,66}$. Dengan beberapa pengecualian, biasanya abu dianggap sebagai komponen minor di dalam biomassa (FAO, 1993).

Kandungan moisture dari biomassa dalam bentuk alamiah, bervariasi dari 50% (pada basis kering) untuk spesies kayu berkulit keras yang sangat tebal yang tumbuh di daerah gersang sampai beberapa persen untuk kayu yang sangat ringan yang tumbuh di daerah rawa atau basah. Di dalam prakteknya, pertama-tama biomassa dikeringkan ke suatu tingkat yang seimbang dengan lingkungan kerja

Oleh sebab itu, kayu dengan persentase lignin terbesar memiliki nilai kalor pembakaran yang tertinggi. Jenis pohon jarum (fir dan cemara) dan beberapa spesies kayu lainnya yang mengandung zat resin dalam jumlah yang besar memiliki nilai kalor yang jauh lebih besar dari lignin. Perbandingan hidrogen dan oksigen di dalam selulosa sama dengan yang terdapat di dalam molekul air, sehingga tidak ada kontribusi dari hidrogen terhadap nilai kalornya.

C. Potensi Sekam dan Jerami Padi

Sulawesi Selatan merupakan daerah penghasil tanaman pangan terbesar di kawasan timur Indonesia. Predikat sebagai lumbung padi nasional mengukuhkan posisi Sulawesi Selatan sebagai produsen tanaman pangan yang cukup potensial. Selain padi sebagai komoditas tanaman pangan andalan, tanaman pangan lainnya yang dihasilkan Sulawesi Selatan adalah Jagung, ubi kayu, ubi jalar dan kacang-kacangan.

Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS), produksi tanaman padi Provinsi Sulawesi Selatan tahun 2009 adalah sebagai berikut:

- Angka Tetap (ATAP) tahun 2007, produksi padi Provinsi Sulawesi Selatan sebesar 3,64 juta ton Gabah Kering Giling (GKG), yang terdiri dari padi sawah 3,62 juta ton dan padi ladang 0,02 juta ton.
- Angka Tetap (ATAP) tahun 2008, produksi padi Provinsi Sulawesi Selatan sebesar 4,08 juta ton Gabah Kering Giling (GKG), yang terdiri dari padi sawah 4,06 juta ton dan padi ladang 0,02 juta ton.
- Angka Ramalan II (ARAM II) 2009 produksi padi pada tahun 2009 Provinsi Sulawesi Selatan diperkirakan sebesar 4,18 juta ton Gabah Kering Giling (GKG), yang terdiri dari padi sawah 4,11 juta ton dan padi ladang 0,03 juta ton.

Jika dibandingkan antara ATAP 2007 dan ATAP 2008 produksi padi Provinsi Sulawesi Selatan mengalami peningkatan sebesar 448,22 ribu ton GKG (naik 12,33 %). Peningkatan produksi padi disebabkan oleh meningkatnya luas panen sebesar 65,57 ribu hektar (8,51 %) dan juga produktivitas sedikit mengalami peningkatan sebesar 1,67 kwintal/hektar (3,54 %). Sedangkan pada tahun 2009 (ARAM II) diperkirakan produksi padi meningkat lagi sebesar 56,14 ribu ton (1,37 %) jika dibandingkan dengan ATAP tahun 2008.

Provinsi Sulawesi Selatan merupakan lumbung padi nasional sehingga keberadaan sekam dan padi pada setiap kabupaten di daerah tidak dapat diragukan lagi. Keberadaan sekam padi di daerah ini merupakan potensi yang cukup besar untuk dimanfaatkan. Dari 100 kilogram tanaman padi terdiri atas 55,6 kg jerami dan 44,4 kg gabah. Gabah tersebut mengandung 8,9 kg sekam (20 %), 3,6 kg katul (8 %), 28,9 kg beras (65 %), dan yang susut 3 kg (7 %). (Hasibu dkk, 1995)

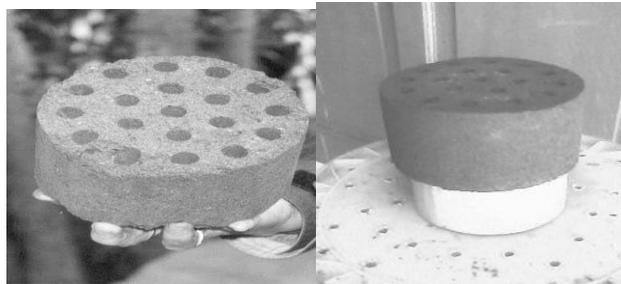
D. Pembuatan Briket

Salah satu cara untuk mengubah limbah bebas menjadi limbah yang kaya energi ke dalam bentuk yang mudah digunakan adalah dengan memadatkannya menjadi bahan bakar briket. Bahan bakar briket didefinisikan sebagai bahan bakar palet yang dihasilkan dari bahan-bahan organik melalui pemadatan, pengarangangan eksternal, karbonisasi lengkap atau gabungan dari ketiga proses tersebut (UNHCR, 2002).

Menurut Assureira (2002), proses pembuatan briket dapat menggunakan proses kering atau proses basah untuk menekan sekam padi ke dalam bentuk-bentuk yang berbeda. Briket yang dihasilkan dalam proses kering adalah briket densifikasi. Proses kering membutuhkan tekanan yang tinggi dan tanpa menggunakan bahan pengikat. Proses tersebut mahal dan disarankan hanya untuk tingkat produksi yang tinggi. Selain itu dapat menggunakan proses basah. Proses basah menghasilkan briket arang. Proses basah memungkinkan digunakannya alat dengan tekanan yang lebih rendah, tetapi dengan menggunakan bahan pengikat.

Arang sekam dihaluskan menjadi butiran halus di dalam gilingan, kemudian bahan pengikat dan air dicampur dengan serbuk arang hingga membentuk pasta. Kemudian dimasukkan ke dalam cetakan dan ditekan. Selanjutnya, briket dikeringkan untuk mengurangi humiditasnya. Hal ini dapat dilakukan dengan menjemur briket di bawah sinar matahari atau di dalam alat pengering listrik.

Campuran briket arang terdiri dari arang sekam yang telah dihaluskan dengan bahan pengikat dari tanah liat, bentonite atau pati kanji. Menurut Vest (2006), biomassa dalam ukuran partikel halus dapat dicampur tanah liat dengan jumlah menurut volume sekitar 20%. Penggunaan bahan pengikat memungkinkan digunakannya tekanan yang lebih rendah. Briket dapat dibuat dalam jumlah sedikit,



Gambar 1. Bentuk briket sarang tawon

Bentuk dari briket ada beberapa macam (yang diadopsi dari bentuk briket batubara) bergantung pada bentuk cetakannya, yaitu silinder, kubus, segi empat, segi delapan, dst. Untuk briket berukuran besar yang dapat memberikan pemanasan yang lebih lama yaitu bentuk sarang tawon. Briket berukuran besar seperti bentuk silinder atau sarang tawon dibuat berlubang-lubang supaya udara dapat dilewatkan melalui briket sehingga lebih mudah dibakar. Briket bentuk sarang tawon dapat dilihat dalam gambar 1.

1. Proses Karbonisasi

Proses karbonisasi atau pengarangan adalah proses mengubah bahan baku asal menjadi karbon berwarna hitam melalui pembakaran dalam ruang

tertutup dengan udara yang terbatas atau seminimal mungkin. Proses karbonisasi biasanya dilakukan dengan memasukkan bahan organik ke dalam lubang atau ruangan yang dindingnya tertutup, seperti di dalam tanah atau tangki yang terbuat dari pelat baja. Setelah dimasukkan, bahan organik tersebut disulut dengan api hingga terbakar. Dalam proses pengarangan ini perlu dikontrol agar bahan yang dibakar tidak menjadi abu, tetapi menjadi arang yang di dalamnya masih terdapat energi sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar.

Lamanya pengarangan ditentukan oleh jumlah atau volume bahan organik, ukuran parsial bahan, kerapatan bahan, tingkat kekeringan bahan, jumlah oksigen yang masuk dan asap yang keluar dari ruang pembakaran. Sebagai gambaran, arang sekam padi lebih cepat dan lebih mudah dibuat dari pada arang serbuk gergaji kayu. Hal ini disebabkan jumlah ruang pori pada sekam padi lebih banyak bila dibandingkan dengan serbuk gergaji kayu sehingga pertukaran gas yang terjadi di dalam ruang pembakaran lebih leluasa.



Gambar 2. (a) Kiln arang tradisional (Nienhuys, 2003).

Lamanya pengarangan ditentukan oleh jumlah atau volume bahan organik, ukuran parsial bahan, kerapatan bahan, tingkat kekeringan bahan, jumlah oksigen yang masuk dan asap yang keluar dari ruang pembakaran. Sebagai gambaran, arang sekam padi lebih cepat dan lebih mudah dibuat dari pada arang serbuk gergaji kayu. Hal ini disebabkan jumlah ruang pori pada sekam padi lebih banyak bila dibandingkan dengan serbuk gergaji kayu sehingga pertukaran gas yang terjadi di dalam ruang pembakaran lebih leluasa.

Metode karbonisasi meliputi teknik yang paling sederhana hingga yang paling canggih. Tentu saja metode pengarangan yang dipilih disesuaikan dengan kemampuan dan kondisi keuangan. Gambar 2 (a) memperlihatkan kiln arang tradisional dari pelat logam atau drum. Desain tersebut adalah salah satu desain yang sangat menarik dari kiln arang sekam padi berskala kecil yang digunakan di Nepal. Drum yang berkapasitas lebih kecil (100 liter dan lebih ringan) telah

diuji, tetapi menghasilkan output yang tidak bermanfaat karena *batch*-nya terlalu sedikit (Nienhuys, 2003).

2. Pencetakan Briket

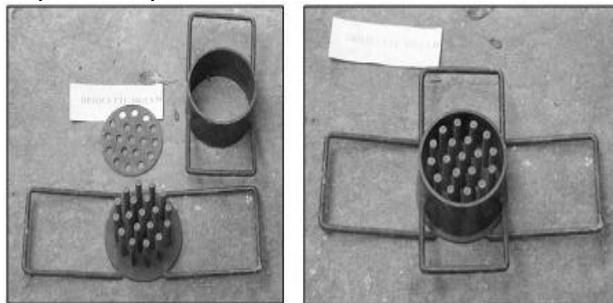
Pencetakan arang bertujuan untuk memperoleh bentuk yang seragam dan memudahkan dalam pengemasan serta penggunaannya. Dengan kata lain, pencetakan arang akan memperbaiki penampilan dan mengangkat nilai jualnya di pasaran. Pencetakan arang menjadi briket dapat dilakukan dengan menggunakan alat pencetak sederhana, alat pencetak hidrolik, atau mesin pencetak otomatis.

Bentuk briket yang dihasilkan dari pencetakan tersebut bermacam-macam, tergantung dari bentuk cetakan yang digunakan seperti bentuk silinder, bentuk kubus, bentuk persegi panjang, bentuk piramid, dan seterusnya.

Menurut Vest (2006), teknik pembuatan briket dapat dibagi menjadi:

- Pematatan bertekanan tinggi
- Pematatan bertekanan sedang dengan bantuan alat pemanas
- Pematatan bertekanan rendah dengan bahan pengikat.

Pematatan bertekanan tinggi dan sedang biasanya tidak menggunakan bahan pengikat. Proses pembuatannya umumnya menggunakan teknologi *screw press* atau *piston press*. Teknologi lainnya kurang terpakai di negara berkembang karena biaya investasi dan pengeluarannya tinggi, misalnya *roller press* untuk memproduksi palet atau briket.



Gambar 3. (a). Cetakan briket bentuk sarang tawon (Nienhuys, 2003)

Pematatan bertekanan tinggi dan sedang biasanya tidak menggunakan bahan pengikat. Proses pembuatannya umumnya menggunakan teknologi *screw press* atau *piston press*. Teknologi lainnya kurang terpakai di negara berkembang karena biaya investasi dan pengeluarannya tinggi, misalnya *roller press* untuk memproduksi palet atau briket.

Pembuatan briket bertekanan rendah membutuhkan bahan pengikat untuk membantu terbentuknya ikatan antara partikel-partikel biomassa. Selama proses pematatannya, briket yang terbentuk belum memiliki kekuatan

yang besar. Hanya setelah pengeringan, briket akan menghasilkan kekuatan dan stabilitas yang diinginkan.

Pembuatan briket bertekanan rendah membutuhkan bahan pengikat untuk membantu terbentuknya ikatan antara partikel-partikel biomassa. Selama proses pematangannya, briket yang terbentuk belum memiliki kekuatan yang besar. Hanya setelah pengeringan, briket akan menghasilkan kekuatan dan stabilitas yang diinginkan.

Salah satu metode pemadatan dalam pembuatan briket dari biomassa adalah menggunakan cetakan tangan. Cetakan tangan adalah alat yang paling sederhana untuk membentuk briket dalam jumlah sedikit. Bentuk cetakan untuk bentuk briket seperti bentuk silinder berlubang atau silinder pejal lebih mudah dibuat dibandingkan dengan cetakan dengan bentuk sarang tawon.



Gambar 3. (b). Cetakan briket dalam penelitian

Salah satu cara pembuatan briket dengan cetakan tangan yang menarik seperti yang digunakan di Nepal untuk memproduksi briket tipe sarang tawon berskala kecil. Cetakan tangan terdiri dari tiga bagian dan dibuat dari pelat baja dan besi beton.

Berdasarkan gambar tersebut maka dibuat cetakan briket sarang tawon seperti dalam gambar berikut. oleh pandai besi lokal seperti yang ditunjukkan di dalam gambar 3 (a).

E. Karakteristik Pembakaran

Pembakaran adalah reaksi yang cepat antara bahan bakar dan udara. Proses ini merupakan pelepasan energi termal dari bahan bakar. Energi termal ini dilepaskan selama reaksi pembakaran dimana oksigen bereaksi dengan konstituen kimia dari bahan bakar untuk memproduksi karbondioksida (CO_2) dan air serta zat-zat lain yang terkandung dalam gas hasil pembakaran melalui pelepasan panas.

Umumnya bahan bakar padat seperti biomassa jika dipanaskan sampai temperatur tertentu, maka volatile mulai dilepaskan dan pada temperatur tertentu pula mulai terjadi pengapian/menyala dan selanjutnya bahan bakar tersebut terbakar. Kandungan volatile memegang peranan penting dari bahan bakar padat, dalam hal kemampuan menyala (ignitability) dan kemampuan terbakar (combustibility). Pembakaran dari produk pirolisis biomassa, khususnya arang dan volatile terjadi dalam dua bentuk yaitu pembakaran nyala (flaming combustion) dan pembakaran membara (glowing combustion).

Proses lain yang terjadi dalam pembakaran secara simultan adalah difusi udara ke dalam pancaran gas melalui beda tekanan parsial dari konstituen. Difusi udara ke dalam volatile yang tidak terbakar pada temperatur tinggi terjadi dalam pembakaran volatil.

Karakteristik pembakaran dari bahan bakar padat sangat tergantung dari jenis bahan bakarnya dan hal ini mengakibatkan pengaruh langsung terhadap sifat-sifat pembakarannya. Hal ini dapat dilihat dari hasil eksperimen dengan mengacu kepada rasio massa yang berevolusi terhadap massa mula-mula sewaktu pembakaran terjadi.

Ada dua metode untuk menganalisis bahan bakar padat yaitu proximate analysis (analisis proksimasi) dan ultimate analysis (analisis ultimasi). Analisis ultimasi menganalisis seluruh elemen komponen bahan bakar dan analisis proksimasi menganalisis hanya fixed carbon(karbon tetap), volatile matter (zat terbang/mudah menguap), moisture (kadar air), dan ash (kadar abu). Analisis ultimasi menentukan berbagai macam kandungan kimia unsur-unsur seperti karbon, hidrogen, oksigen, sulfur, dll. Analisis ini berguna dalam penentuan jumlah udara yang diperlukan untuk pembakaran dan volum serta komposisi gas pembakaran. Informasi ini diperlukan untuk perhitungan suhu nyala dan perancangan saluran gas buang dan lain-lain (Sudrajat, R 1983).

Faktor-faktor yang mempengaruhi pembakaran bahan bakar padat antara lain:

1) Densitas (kerapatan)

Densitas didefinisikan sebagai perbandingan massa bahan bakar terhadap volume bahan bakar.

2) Nilai kalor

Nilai kalor merupakan ukuran panas atau energi yang dihasilkan., dan diukur sebagai nilai kalor kotor (gross calorific value) atau nilai kalor netto (nett calorific value).

Densitas didefinisikan sebagai perbandingan massa bahan bakar terhadap volume bahan bakar

Untuk mengetahui nilai kalor pada suatu bahan bakar dapat menggunakan beberapa metode antara lain uji kalor di Laboratorium dengan menggunakan bom kalorimeter atau dengan menggunakan rumus Dulong dan Petit:

23 David Mangallo, Duma Hasan, *Studi Kemungkinan Pemakaian Sekam dan Jerami Padi sebagai Bahan Bakar Briket untuk Ketel Uap di RSUP Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar*

$$\text{HHV} = 33,950\text{C} + 144,200(\text{H}_2 - \text{O}_2/8) + 9,400\text{S} \text{ (kJ/kg)..(1)}$$

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 2400 (\text{H}_2\text{O} + 9\text{H}_2) \quad (\text{kJ/kg}) \dots\dots\dots(2)$$

dimana:

- C = komposisi karbon dalam bahan bakar
- H₂ = komposisi hidrogen dalam bahan bakar
- O₂ = komposisi oksigen dalam bahan bakar
- S = komposisi sulfur dalam bahan bakar
- H₂O = komposisi air dalam bahan bakar

3) Volatile matter (zat terbang)

Volatile matter (VM) atau sering disebut dengan zat terbang, berpengaruh terhadap pembakaran briket. Semakin banyak kandungan volatile matter pada biobriket maka biobriket semakin mudah untuk terbakar dan menyala (Samsul, M., 2004)

4) Moisture (kadar air)

Kadar air ini merupakan kandungan air pada bahan bakar padat. Semakin besar kadar air yang terdapat pada bahan bakar padat maka nilai kalornya semakin kecil, begitu juga sebaliknya.

5) Ash (kadar abu)

Abu merupakan kotoran yang tidak akan terbakar. Kandungannya berkisar antara 5% hingga 40%. Kadar abu ini mempengaruhi efisiensi pembakaran.

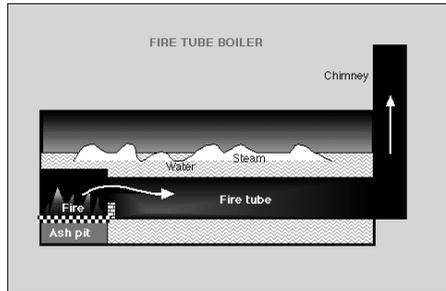
F. Ketel

Ketel adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau uap air. Air panas atau uap pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Jika air dididihkan sampai menjadi uap, volumenya akan meningkat sekitar 1,600 kali.

Sistem ketel terdiri dari: sistem air umpan, sistem uap dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk ketel secara otomatis sesuai dengan kebutuhan uap. Berbagai kran disediakan untuk keperluan perawatan dan perbaikan. Sistem uap mengumpulkan dan mengontrol produksi uap dalam ketel. Uap dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna. Pada keseluruhan sistem, tekanan steam diatur menggunakan kran dan dipantau dengan alat pemantau tekanan. Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang diperlukan pada sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada sistem.

Pada dasarnya ketel uap terbagi atas dua golongan besar, yaitu ketel pipa api dan ketel pipa air. Pada ketel pipa api, gas panas melewati pipa-pipa dan air umpan ketel ada di dalam shell untuk diubah menjadi uap. Ketel pipa api biasanya digunakan untuk kapasitas uap yang relatif kecil dengan tekanan uap rendah sampai sedang. Sebagai pedoman, ketel pipa api kompetitif untuk kecepatan uap sampai 12.000 kg/jam dengan tekanan sampai 18 kg/cm². Ketel

pipa api dapat menggunakan bahan bakar minyak bakar, gas atau bahan bakar padat dalam operasinya. Untuk alasan ekonomis, sebagian besar ketel pipa api dikonstruksi sebagai “paket” ketel (dirakit oleh pabrik) untuk semua bahan bakar.

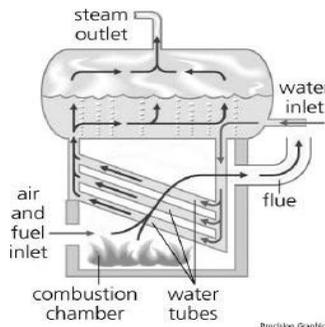


Gambar 4. Ketel pipa api

Ketel pipa api biasa juga disebut dengan ketel tangki. Sesuai dengan namanya, ketel ini berupa tangki silindris yang dipasang horizontal atau vertikal. Air mengisi sebagian dari volume ketel, kira-kira 0,75 volume total ketel sehingga di bagian atas terdapat ruang uap.

Di dalam tangki air menjadi uap dan memisahkan diri dari air. Jadi tangki berfungsi sebagai penampung air, sebagai penguap, dan sebagai pemisah uap dari air. Karena berfungsi sebagai penguap, maka sebagian badan ketel merupakan bidang pemanas yang meneruskan panas dari api atau gas asap ke air. Jenis ketel ini dapat dilihat pada gambar 4.

Pada ketel pipa air, air umpan ketel mengalir melalui pipa-pipa masuk ke dalam drum. Air yang tersirkulasi dipanaskan oleh gas pembakar membentuk uap pada daerah uap dalam drum. Ketel ini dipilih jika kebutuhan uap dan tekanan uap sangat tinggi seperti pada kasus ketel untuk pembangkit tenaga. Ketel pipa air yang sangat modern dirancang dengan kapasitas steam antara 4.500 – 12.000 kg/jam, dengan tekanan sangat tinggi. Banyak ketel pipa air yang dikonstruksi secara paket jika digunakan bahan bakar minyak bakar dan gas.



Gambar 5. Ketel pipa air

Efisiensi termis ketel didefinisikan sebagai persen energi (panas) masuk yang digunakan secara efektif pada steam yang dihasilkan. Efisiensi termis ketel diperoleh dari fluida kerja (air dan uap) dibandingkan dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar ketel. Metode ini dikenal juga sebagai ‘metode input-output’ karena kenyataan bahwa metode ini hanya memerlukan keluaran/output (uap) dan panas masuk/input (bahan bakar) untuk evaluasi efisiensi.

Panas atau kalor yang dibutuhkan untuk menguapkan air di dalam ketel berasal dari bahan bakar yang merupakan kalor input menggunakan persamaan:

$$\text{Kalor input } (Q_{in}) = \dot{m}_{bb} \text{ HHV} \dots\dots\dots(3)$$

Sedang kalor yang dihasilkan dari proses penguapan air di dalam ketel yang merupakan kalor output menggunakan persamaan:

$$\text{Kalor output } (Q_{out}) = \dot{m}_g (h_g - h_f) \dots\dots\dots (4)$$

dimana:

- Q_{in} = Kalor input (kJ/s)
- Q_{out} = Kalor output (kJ/s)
- \dot{m}_g = Jumlah uap yang dihasilkan perdetik (kg/s)
- \dot{m}_{bb} = Jumlah bahan bakar yang digunakan perdetik (kg/s)
- h_g = Entalpi uap air jenuh (kJ/kg)
- h_f = Entalpi air umpan (kJ/kg)
- HHV = Nilai kalor atas bahan bakar (kJ/kg)

Efisiensi ini dapat dievaluasi dengan menggunakan rumus:

$$\text{Efisiensi Ketel } (\eta) = \frac{\text{Panas keluar}}{\text{Panas masuk}} \times 100 \%$$

$$\text{Efisiensi Ketel } (\eta) = \frac{\dot{m}_g \times (h_g - h_f)}{\dot{m}_{bb} \times \text{HHV}} \times 100 \% \dots\dots\dots(5)$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Arang Sekam dan Jerami Padi

Pembuatan arang sekam dan jerami padi dilakukan dalam kiln pengarang seperti yang ditunjukkan dalam gambar 7. Kiln pengarang yang terbuat dari drum dapat mengarangkan sekam ataupun jerami padi yang sudah dicacah terlebih dahulu sebanyak 4 sak/karung pupuk berkapasitas 100 kg (sekitar 200 liter sekam segar). Proses pengarangan sekam padi segar menjadi arang curah dari hasil pengamatan membutuhkan waktu sekitar 2 sampai 3 jam untuk pengoperasian di luar ruangan.

Dalam proses pembuatan arang sekam padi dengan menggunakan kiln arang terjadi penyusutan volume sebesar 50 % dari volume awal sekam padi yang diarangkan. Jika volume awal sekam yang diarangkan 200 liter, maka

hasil arang curah yang diperoleh setelah proses pengarangan adalah sekitar 100 liter. Arang curah yang dihasilkan selanjutnya dihaluskan untuk memperoleh butiran arang sekam lebih halus. Setelah dihaluskan selanjutnya diayak untuk memperoleh ukuran butiran yang seragam agar lebih mudah diikat dengan bahan pengikat. Dalam proses penghalusan ini terjadi penyusutan volume sekitar 50% yaitu jika volume awal arang curah sekam yang digunakan 100 liter, maka akan dihasilkan arang halus sekitar 50 liter bubuk arang sekam.

Sedangkan dalam proses pembuatan arang dari jerami padi yang telah dicacah terlebih dahulu dengan menggunakan kiln arang terjadi penyusutan volume sebesar 75 %. Jika volume awal jerami yang diarangkan 200 liter, maka hasil arang curah yang diperoleh setelah proses pengarangan adalah sekitar 50 liter. Dalam proses penghalusan terjadi penyusutan volume sekitar 50% yaitu jika volume awal arang curah sekam yang digunakan 50 liter, maka akan dihasilkan



Gambar 7. Proses pengarangan dalam kiln pengarang

Proses pembuatan 200 liter sekam dengan menggunakan kiln arang menjadi arang curah dari hasil pengamatan membutuhkan waktu sekitar 3 jam. Sedangkan untuk pembuatan 200 liter jerami yang telah dicacah terlebih dahulu membutuhkan waktu sekitar 2 jam.

2. Pembuatan Briket Arang Sekam dan Jerami Padi

Briket arang sekam dan jerami padi dibuat dengan 5 macam perbandingan campuran menggunakan cetakan tangan berbentuk sarang tawon.



Gambar 8. Cetakan briket bentuk sarang tawon

Dimensi utama dari cetakan sarang tawon yang digunakan yaitu:

- Diameter luar (D_o) = 110 mm
- Diameter dalam/lubang (D_i) = 10 mm
- Jumlah lubang (n) = 19 buah
- Tinggi (t) = 65 mm

Pembuatan briket arang dilakukan dengan mencampur bubuk arang dengan tanah lempung yang telah diayak dengan ayakan mesh 70 (0,02 mm). Perbandingan campuran bubuk arang dengan perekat adalah 85 % : 15 %. Campuran bubuk arang dan tanah lempung kemudian diaduk hingga merata dalam wadah pencampur. Setelah itu disiram dengan lem kanji yang telah dibuat dan diaduk hingga merata.



Gambar 9. Bentuk briket hasil penelitian

Proses pencampuran ini akan menghasilkan campuran bahan briket dalam keadaan basah. Campuran bahan briket basah kemudian dianginkan sampai bentuk campuran mendekati pasta yang selanjutnya dicetak dengan menggunakan cetakan tangan bentuk sarang tawon seperti yang ditunjukkan dalam gambar 9. Briket yang telah dicetak kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari sampai kering.

3. Sifat-Sifat Fisik Briket Arang Sekam dan Jerami

Untuk mengetahui kualitas briket sekam dan jerami padi yang dihasilkan, maka digunakan pembandingan standardisasi briket biomassa yang terdapat dalam lampiran 4 halaman 71.

Seperti halnya batubara, maka terdapat dua metode untuk menganalisis briket yang dihasilkan yaitu: analisis ultimasi dan analisis proksimasi. Analisis ultimasi menganalisis seluruh elemen komponen briket dan analisis proksimasi menganalisis hanya fixed carbon, bahan yang mudah menguap (volatile matter), kadar air (moisture content), dan kadar abu (ash). Analisis ultimasi harus dilakukan di laboratorium dengan peralatan yang lengkap oleh ahli kimia yang terampil, sedangkan analisis proksimasi dapat dilakukan dengan peralatan yang sederhana.

Sebagai acuan dalam melihat sifat-sifat fisik briket arang sekam dan jerami padi dilakukan pengujian analisis proksimasi dan pengujian kekuatan tekan briket yang dihasilkan.

a) Pengujian analisis proksimasi dan nilai kalor

Berdasarkan hasil pengujian analisis proksimasi diperoleh nilai-nilai kadar air (moisture), kadar abu (ash), zat terbang (volatile matter), karbon tetap (fixed carbon), dan nilai kalor atas (high heating value) masing-masing briket sebagai berikut:

1) Moisture (kadar air)

Moisture (kadar air) yang terkandung dalam setiap jenis perbandingan campuran briket yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

- Briket dengan perbandingan campuran A : 4,64 %
- Briket dengan perbandingan campuran B : 3,46 %
- Briket dengan perbandingan campuran C : 4,66%
- Briket dengan perbandingan campuran D : 3,15 %
- Briket dengan perbandingan campuran E : 4,20 %

2) Ash (kadar abu)

Ash (kadar abu) yang terkandung dalam setiap jenis perbandingan campuran briket yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

- Briket dengan perbandingan campuran A : 48,31 %
- Briket dengan perbandingan campuran B : 48,12 %
- Briket dengan perbandingan campuran C : 45,05 %
- Briket dengan perbandingan campuran D : 45,30 %
- Briket dengan perbandingan campuran E : 44,80 %

3) Volatile Matter (zat terbang)

Volatile Matter (zat terbang) yang terkandung dalam setiap jenis perbandingan campuran briket yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

- Briket dengan perbandingan campuran A : 20,64 %
- Briket dengan perbandingan campuran B : 21,86 %
- Briket dengan perbandingan campuran C : 21,87 %
- Briket dengan perbandingan campuran D : 24,16 %
- Briket dengan perbandingan campuran E : 19,11 %

4) Fixed Carbon (karbon tetap)

Fixed Carbon (karbon tetap) yang terkandung dalam setiap jenis perbandingan campuran briket yang dihasilkan diperoleh dengan menggunakan persamaan:

29 David Mangallo, Duma Hasan, Studi Kemungkinan Pemakaian Sekam dan Jerami Padi sebagai Bahan Bakar Briket untuk Ketel Uap di RSUP Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar

$$FC = 100 \% - (\% \text{ Moisture} + \% \text{ Ash} + \% \text{ Volatile Matter})$$

Sebagai contoh perhitungan digunakan briket dengan perbandingan campuran C (30 % sekam : 70 % jerami) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} FC &= 100 \% - (\% \text{ Moisture} + \% \text{ Ash} + \% \text{ V M}) \\ &= 100 \% - (4,66 \% + 45,05 \% + 21,87 \%) \\ &= 28,42 \% \end{aligned}$$

Sehingga Fixed Carbon (karbon tetap) yang terkandung dalam setiap perbandingan campuran briket yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

- Briket dengan perbandingan campuran A : 26,41 %
- Briket dengan perbandingan campuran B : 26,56 %
- Briket dengan perbandingan campuran C : 28,42 %
- Briket dengan perbandingan campuran D : 27,37 %
- Briket dengan perbandingan campuran E : 31,89 %

5) High Heating Value (nilai kalor)

Nilai kalor yang terkandung dalam setiap perbandingan campuran briket yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

- Briket dengan perbandingan campuran A : 3681,3462 cal/gr
- Briket dengan perbandingan campuran B : 2879,2302 cal/gr
- Briket dengan perbandingan campuran C : 2967,3660 cal/gr
- Briket dengan perbandingan campuran D : 3139,5048 cal/gr
- Briket dengan perbandingan campuran E : 3289,2706 cal/gr

b) Pengujian Kekuatan Tekan

Pengujian kekuatan tekan dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan. Sebagai contoh perhitungan digunakan briket dengan perbandingan campuran A yang memiliki massa 289,22 gram.

Tekanan maksimum yang dapat diterima oleh briket diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$P_{\max} = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (6)$$

dimana:

- F = Gaya tekan (kN)
- A = Luas bidang tekan (cm²)

Sehingga:

$$\begin{aligned} P_{\max} &= \frac{F}{A} = \frac{1,350}{80,070} = 0,01686 \frac{kN}{cm^2} \\ &= 165,399 \text{ gr/cm}^2 \end{aligned}$$

dimana:

- A adalah luas total penampang briket
- Luas penampang luar briket dengan diameter 11 cm

$$A_o = \pi r^2 \\ = 94,985 \text{ cm}^2$$

Luas lubang briket dengan diameter 1 cm (A_i)

$$A_i = \pi r^2 \\ = 0,785 \text{ cm}^2$$

Terdapat 19 buah lubang maka luas seluruh lubang briket

$$A_i = 19 \times 0,785 \\ = 14,915 \text{ cm}^2$$

Jadi luas total briket

$$A = A_o - A_i \\ = 80,070 \text{ cm}^2$$

c) Pengujian analisis ultimasi

Pengukuran kandungan unsur karbon, nitrogen, sulfur, hidrogen, dan oksigen dilakukan dengan pengujian analisis ultimasi. Hasil pengujian analisis ultimasi untuk briket sekam dan jerami padi untuk perbandingan campuran 70 % sekam : 30 % jerami adalah sebagai berikut:

- Karbon (C) = 35,19 % berat
- Hidrogen (H_2) = 2,47 % berat
- Nitrogen (N_2) = 0,32 % berat
- Oksigen (O_2) = 12,90 % berat
- Sulfur (S) = 0,12 % berat

4. Kemungkinan Penggunaan Briket Sekam dan Jerami Padi Pada Ketel Uap

a) Data Spesifikasi Ketel

Type	: 600 EL
Max Working Pressure	: 1050 kPa
Hidrostatic test Pressure	: 1575 kPa
Date of test	: 31 – 10 – 1992
Max Working Temperature	: 186 °C
Serial Numbe IM	: 06/XE.37/221
Designed 1797 – 1986 UASS	: 1
Nominal Water Capacity	: 2,078 kL
DT Approval Number	: 366 RI/KU/1991
DT Registered Number	

Dari hasil pengujian analisis ultimasi dan proksimasi bahan bakar briket sekam dan jerami padi diperoleh:

C	= 35,19 %
H_2	= 2,47 %

31 David Mangallo, Duma Hasan, Studi Kemungkinan Pemakaian Sekam dan Jerami Padi sebagai Bahan Bakar Briket untuk Ketel Uap di RSUP Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar

$$\begin{aligned}
 N_2 &= 0,32 \% \\
 S &= 0,12 \% \\
 O_2 &= 12,90 \% \\
 M &= 4,20 \% \\
 \underline{A} &= 44,80 \% \\
 &= 100 \% \\
 HHV &= 3289,27 \text{ kcal/kg} \\
 &= 3289,27 \text{ kcal/kg} \times 4,1886 \text{ kJ/kcal} \\
 &= 13777,44 \text{ kJ/kg} \\
 &= 5920,686 \text{ BTU/lb}
 \end{aligned}$$

b) Perhitungan Kesetimbangan Energi

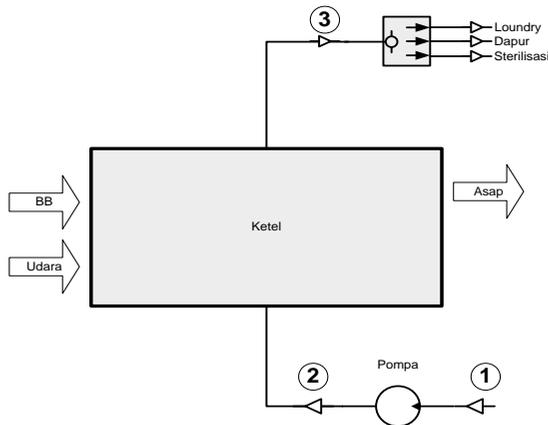
Energi yang disuplai dari hasil pembakaran bahan bakar sama dengan energi yang diserap oleh air sampai terbentuknya uap di dalam ketel, yaitu: Energi yang diabsorpsi untuk mengubah air baku dari sumber air menjadi air jenuh di dalam ketel (Q_{abs}) adalah:

$$\begin{aligned}
 Q_{abs} &= \dot{m}_s \cdot \Delta h \\
 Q_{abs} &= 0,144 \text{ kg/s} \times (2779,5 - 113,12) \text{ kJ/kg} \\
 &= 383,96 \text{ kJ/s} \\
 &= 0,384 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

Energi yang disuplai dari hasil pembakaran bahan bakar adalah:

$$Q_{in} = \dot{m}_f \cdot LHV \dots\dots\dots (7)$$

$$Q_{input} = Q_{abs} + Q_{Loses} \dots\dots\dots (8)$$



Gambar 10. Skema instalasi ketel

Untuk mendapatkan laju aliran massa uap (\dot{m}_f) yang dibutuhkan maka terlebih dahulu dihitung efisiensi berdasarkan persentase kerugian yang terjadi pada ketel.

Effisiensi ketel dapat dihitung dengan metode langsung maupun metode tidak langsung. Dalam perhitungan ini akan digunakan metode tidak langsung yang juga dikenal dengan metode kehilangan panas. Efisiensi dapat dihitung dengan mengurangkan bagian kehilangan panas dari 100 sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi ketel } (\eta) = 100 - (i + ii + iii + iv + v + vi + vii) \dots\dots\dots (9)$$

Menghitung kebutuhan udara teoritis ($U_{d_{th}}$)

$$U_{d_{th}} = [(11,43 \times C) + \{34,5 \times (H_2 - O_2/8)\} + (4,32 \times S)]$$

$$U_{d_{th}} = [(11,43 \times 0,3519) + \{34,5 \times (0,0247 - 0,1290/8)\} + (4,32 \times 0,0012)]$$

$$= 4,347872 \text{ kg udara/kg bahan bakar}$$

Menghitung persen udara berlebih yang dipasok (EA)

$$EA = (O_2 \times 100)/(21 - O_2)$$

$$= (12,90 \times 100)/(21 - 12,90)$$

$$= 159 \%$$

Menghitung massa udara sebenarnya yang dipasok/kg bahan bakar (AAS)

$$\text{AAS/kg bahan bakar} = [1 + EA/100] \times \text{Udara Teoritis}$$

$$(AAS) = [1 + 159/100] \times 4,347872$$

$$= 2,59 \times 4,347872$$

$$= 11,26 \text{ kg udara/kg bahan bakar}$$

Menghitung seluruh kehilangan panas

Persentase kehilangan panas yang terjadi meliputi:

i. Persentase kehilangan panas karena gas kering cerobong

$$= \frac{m \times C_p \times (T_f - T_a) \times 100}{\text{HHV bahan bakar}}$$

dimana:

$$m = \text{massa CO}_2 + \text{massa SO}_2 + \text{massa N}_2 + \text{massa O}_2$$

$$m = \frac{0,3519 \times 44}{12} + \frac{0,0012 \times 64}{32} + \frac{11,26 \times 77}{100} + \frac{(0,1290 \times 32)}{100}$$

$$m = 12,20 \text{ kg / kg bahan bakar}$$

sehingga persentase kehilangan panas karena gas kering cerobong adalah:

$$= \frac{12,20 \times 0,23 \times (140 - 27)}{3289,27} \times 100 \%$$

$$= 9,64 \%$$

ii. Persentase kehilangan panas karena penguapan kadar air karena adanya H_2 dalam bahan bakar

$$\frac{9 \times H_2 \{584 + 0,45 (T_f - T_a)\}}{\text{HHV bahan bakar}}$$

dimana H_2 adalah persentase H_2 dalam bahan bakar
Sehingga persentase kehilangan panas adalah:

$$\frac{9 \times 2,47 \{584 + 0,45(160 - 27)\}}{3289,27} = 4,35 \%$$

iii. Persentase kehilangan panas karena kadar air dalam udara
AAS x kelembaban x $0,45 \times (T_f - T_a) \times 100$

$$\frac{\text{HHV bahan bakar} \times 11,26 \times 0,018 \times 0,45 \times (160 - 27) \times 100}{3289,27} = 0,37 \%$$

iv. Persentase kehilangan panas karena radiasi dan kehilangan lain yang tidak terhitung.

Untuk boiler kecil diperkirakan kehilangan mencapai 2 %

Menghitung efisiensi ketel

Efisiensi ketel (n) = $100 - (i + ii + iii + iv + v + vi + vii)$

i. Kehilangan panas karena gas buang kering 9,64 %

ii. Kehilangan panas karena penguapan air yang terbentuk karena adanya H_2 dalam bahan bakar : 4,35 %

iii. Kehilangan panas karena kadar air dalam udara : 0,37 %

iv. Kehilangan panas karena radiasi dan kehilangan lain yang tidak terhitung: 2 %

Sehingga efisiensi ketel adalah:

$$\begin{aligned} \eta &= 100 - [9,64 + 4,35 + 0,37 + 2] \\ &= 100 - 16,36 \\ &= 83,64 \% \end{aligned}$$

Perhitungan energi bahan bakar

Laju aliran massa bahan bakar yang dibutuhkan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\eta = \frac{Q_{abs}}{\dot{m}_f \cdot HHV} \dots\dots\dots(10)$$

Sehingga laju aliran massa bahan bakar adalah:

$$\dot{m}_f = \frac{Q_{abs}}{\eta \cdot HHV}$$

$$\dot{m}_f = \frac{383,96 \frac{kJ}{s}}{0,8364 \times 13777,44 \frac{kJ}{kg}}$$

$$= 0,0333 \text{ kg/s}$$

Perbandingan laju aliran massa bahan bakar dengan laju aliran massa uap adalah:

$$\frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_s} = \frac{0,0333 \frac{kg}{s}}{0,144 \frac{kg}{s}} = 0,231$$

Luas permukaan pipa yang terpanasi adalah:

$$A_{tot} = n \cdot \pi \cdot d \cdot L$$

dimana:

- n = jumlah pipa
= 93 buah
- d = diameter silinder pipa api
= 68 mm
- L= Panjang silinder pipa api
= 1700 mm

maka:

$$A_{tot} = 93 \cdot \pi \cdot 0,068 \cdot 1,2$$

$$= 23,82 \text{ m}^2$$

Sehingga beban pemanasan:

$$Q_{out} = A_{tot} \cdot h$$

$$h = \frac{Q_{out}}{A_{tot}}$$

$$= \frac{0,388 \text{ MW}}{23,82 \text{ m}^2}$$

$$= 0,0163 \text{ MW/m}^2$$

$$= 16,3 \text{ W/m}^2$$

Beban ketel spesifik (Le)

$$Le = \frac{\dot{m}_s}{A_{tot}}$$

$$= \frac{0,144 \frac{kg}{s}}{23,82 \text{ m}^2}$$

35 David Mangallo, Duma Hasan, Studi Kemungkinan Pemakaian Sekam dan Jerami Padi sebagai Bahan Bakar Briket untuk Ketel Uap di RSUP Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar

$$= 0,006 \text{ kg uap/m}^2 \cdot \text{s}$$

Sebagai perbandingan penggunaan bahan bakar briket untuk ketel maka diambil data-data konsumsi bahan bakar batubara berdasarkan referensi dari hasil penelitian sebelumnya, antara lain:

- Bernadus Beny, 2002.

Laju aliran massa bahan bakar pada BTG Tonasa, $\dot{m}_f = 11,52 \text{ t/h}$.

Laju aliran massa uap yang dibangkitkan,

$$\dot{m}_s = 27 \text{ kg/s } (=97,2 \text{ t/h})$$

Nilai kalor atas, HHV = 11.234,35 Btu/lb

$$= 26.129,97 \text{ kJ/kg}$$

Sehingga:

$$\frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_s} = \frac{11,52 \text{ t/h}}{97,2 \text{ t/h}} = 0,1185$$

- Pembangkit Uap BTG PT. Makassar Tene

Laju aliran massa bahan bakar, $\dot{m}_f = 12,346 \text{ t/h}$.

Laju aliran massa uap yang dibangkitkan,

$$\dot{m}_s = 75 \text{ t/h}$$

Nilai kalor atas, HHV = 8.000 Btu/lb

$$= 18.608 \text{ kJ/kg}$$

Sehingga:

$$\frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_s} = \frac{12,346 \text{ t/h}}{75 \text{ t/h}} = 0,1646$$

- Pither Palamba, 2011.

Laju aliran massa bahan bakar pada PLTU 2 Papua, $\dot{m}_f = 11,484 \text{ t/h}$.

Laju aliran massa uap yang dibangkitkan,

$$\dot{m}_s = 53,484 \text{ t/h}$$

Nilai kalor atas, HHV = 4000 kCal/kg

$$= 16.736 \text{ kJ/kg}$$

Sehingga:

$$\frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_s} = \frac{11,484 \text{ t/h}}{53,454 \text{ t/h}} = 0,2148$$

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembuatan briket sekam dan jerami padi yang selanjutnya dilakukan pengujian, perhitungan, dan analisis data, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Pembuatan briket dengan menggunakan limbah sekam dan jerami padi melalui proses pengarang dalam kiln pengarang menghasilkan briket dengan 5 macam perbandingan campuran dengan massa rata-rata berkisar antara 228,71 gr sampai 288,79 gr.
2. Hasil pengujian nilai kalor dan pengujian kekuatan tekan meunjukkan bahwa:
 - semakin besar persentase campuran jerami akan semakin menaikkan nilai kalor briket campuran sekam dan jerami yang dihasilkan.
 - semakin besar persentase campuran jerami akan semakin menaikkan kekuatan tekan dan kerapatan briket campuran sekam dan jerami yang dihasilkan.
3. Hasil pengujian analisis proksimasi menghasilkan bahwa pengaruh penambahan persentase campuran jerami terhadap komposisi briket yaitu:
 - Penambahan persentase campuran jerami tidak berpengaruh terhadap kadar air briket yang dihasilkan karena kadar air hanya bergantung dari proses pengeringan briket. Kadar air tertinggi sebesar 4,64 % dihasilkan oleh briket campuran A dan kadar air terendah sebesar 3,15 % dihasilkan oleh briket campuran D.
 - Penambahan persentase campuran jerami akan menurunkan persentase kadar abu dari briket yang dihasilkan. Kadar abu tertinggi sebesar 48,31 % dihasilkan oleh briket campuran A dan kadar abu terendah sebesar 44,80 % dihasilkan oleh briket campuran E.
 - Penambahan persentase campuran jerami tidak berpengaruh terhadap kadar volatile matter briket yang dihasilkan. Kadar volatile matter tertinggi sebesar 21,87 % dihasilkan oleh briket campuran C dan kadar air terendah sebesar 19,11 % dihasilkan oleh briket campuran E.
 - Penambahan persentase campuran jerami akan menaikkan kadar fixed carbon briket yang dihasilkan. Kadar fixed carbon tertinggi sebesar 31,89 % dihasilkan oleh briket campuran E dan kadar air terendah sebesar 26,41 % dihasilkan oleh briket campuran A.
 - Dari hasil pengujian kekuatan tekan dan analisis proksimasi terlihat bahwa jenis campuran briket yang terbaik adalah jenis campuran E (70 % sekam : 30 % jerami) dengan alasan bahwa briket ini memiliki kekuatan tekan tertinggi (140,896 kg/cm²), kadar ash terendah (44,80 %), serta fixed carbon tertinggi (31,89 %).
4. Pemakaian briket sekam dan jerami padi sebagai bahan bakar ketel dimungkinkan dengan perbandingan laju aliran massa bahan bakar terhadap laju alir massa uap adalah sebesar 0,231.

B. Saran

Perlunya mempertimbangkan ukuran lubang yang berdiameter kecil pada bagian tengah untuk briket biomassa dengan bahan pengikat tanah

37 David Mangallo, Duma Hasan, *Studi Kemungkinan Pemakaian Sekam dan Jerami Padi sebagai Bahan Bakar Briket untuk Ketel Uap di RSUP Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar*

lempung, khususnya dari jenis biomassa yang memiliki kandungan abu yang tinggi seperti sekam padi.

Perlunya mempertimbangkan metode pengarangan yang lebih baik untuk material yang mudah menjadi abu.

Untuk hasil yang optimal, penelitian menyangkut hubungan variasi pencampuran tanah lempung yang optimal dan kekuatan briket masih perlu dilakukan.

V. DAFTAR PUSTAKA

Assureira, Estela. 2002. Rice Husk. *An Alternatif Fuel in Peru*. (http://www.itdg.org/html/energy/docs48/bp48_pp35-36.pdf, diakses 21 Juli 2009).

Bhattacharya, S.C., dkk. A Study on Improved Institutional Biomass Stove. (http://www.retsasia.ait.ac.th/Publications/A_STUDY_ON_IMPROVED_INSTITUTIONAL_BIOMASS_STOVES.pdf, diakses 21 Juli 2009).

Chaney, J. et. al. 2009. An Experimental Study of The Combustion Characteristics of Low-Density Biomass Briquette. Proceedings of the European Combustion Meeting.

Djokosetyardjo, M. J., 1999, Ketel Uap, Edisi keempat, PT Pradnya Paramita, Jakarta.

Faxälv, Olle, dan Nyström, Olof. 2007. *Biomass Briquettes in Malawi*, Degree Project Department of Management and Engineering, LIU-IEI-TEK-A-07/00129-SE, Minor Field Study, MFS-report nr 103, ISSN 1400-3562. Linköping University Institute of Technology.

Grover, P.D., dan Mishra, S.K. 1996. Biomass Briquetting: Technology and Practices. Bangkok: Food and Agriculture Organization of The United Nations

Keputusan Menteri Sumber Daya Mineral, 2006, *Pedoman Pembuatan Briket Batubara dan Bahan Bakar Padat Berbasis Batubara untuk Industri Kecil dan Rumah Tangga*

Kitto, J. B. And S. C. Stultz, 2005, *Steam, Its Generation and Use*, 41st Ed, The Babcock and Wilcox Company

- Kurniawan, Oswan, and marsono, 2008, *Superkarbon bahan alternatif pengganti minyak tanah dan gas*, peneba swadaya, Jakarta
- Martirena, Fernando. 2003. Holey Sawdust Briquettes. (<http://www.ecosur.org>, diakses 14 Agustus 2009)
- Nugraha, Sigit dan Jetty Setiawaty. 2006. *Peluang Agribisnis Arang Sekam*. Jurnal Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Volume 28 Nomor 2, 2006 (Online). (<http://www.pustaka-deptan.go.id>, diakses 7 April 2010)
- Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia. UNEP, diakses 11 Mei 2011
- Pellet Atlas. 2009. English Handbook for Wood Pellet Combustion. (<http://www.pelletsatlas.info>, diakses 7 April 2010)
- Pusat Data dan Informasi Pertanian. 2009. Data Tahunan Tanaman Pangan dan Holtikultura (Online). (<http://database.deptan.go.id/bdspweb/f4-free-frame.asp>, diakses 7 April 2010).
- Rahmat, Ridwan. 2006. *Giliran Sekam untuk Bahan Bakar Alternatif*. Jurnal Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Volume 28 Nomor 2, 2006 (Online). (<http://www.pustaka-deptan.go.id>, diakses 7 April 2010)
- Shrestha, Krishna Raj. 2006. Glow Vol. 37: *Beehive Briquette—A Reliable Alternative Fuel*, hal. 12–15. The Asia Regional Cookstove Program (ARECOP). Yogyakarta.
- Sule, Djamur, 2005, *Pembuatan Briket tanpa Asap dan Takberbau dari Batubara Halus dengan Sekam Padi dan Molas*, Departemen Teknik Pertambangan ITB, Bandung
- United Nations High Commissioner for Refugees (UNHCR). 2002. *Cooking Options in Refugee Situations*. A Handbook of Experiences in Energy Conservation and Alternative Fuels. UNHCR. Geneva.
- Vest, Heino, Dr.-Ing. 2006. Small Scale Briquetting and Carbonisation of Organic Residues for Fuel. (http://sleekfreak.ath.cx:81/3wdev/GATE_DL/ENV/E019E_03.PDF, diakses 7 April 2010)