

PEMANFAATAN SEKAM PADI SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF

(UTILIZATION OF RICE HUSK AS AN ALTERNATIVE FUEL)

Muhammad Nuzul¹⁾

Abstrak: Penelitian ini bertujuan (1) mengevaluasi bentuk briket yang sesuai digunakan untuk kompor, (2) mengevaluasi temperatur dan waktu pemanasan, dan laju konsumsi bahan bakar kompor menggunakan bentuk briket yang sesuai, dan (3) menentukan efisiensi terbaik, konsumsi spesifik dan rasio pengurangan daya kompor untuk bentuk briket yang sesuai. Pengujian pembakaran briket dilakukan dengan tiga desain kompor memasak berbeda, yaitu kompor Beehive (Nepal), Tara (India) dan kompor Arang Thailand (Thailand) menggunakan metode pengujian mendidihkan air untuk simulasi cara memasak sebenarnya. Dari tiga bentuk briket yang diuji yaitu sarang tawon, silinder pejal dan silinder berlubang, bentuk sarang tawon yang paling sesuai digunakan untuk kompor dan dapat memenuhi tujuan memasak, sementara kedua bentuk lainnya, tidak dapat memenuhi tujuan memasak sesuai yang diharapkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada pengoperasian normal, temperatur dan waktu mendidihkan air, dan laju konsumsi bahan bakar briket sarang tawon, ternyata kompor Beehive menggunakan laju pembakaran bahan bakar rata-rata yang terkecil, yaitu 6,8 g/menit, tetapi dengan waktu rata-rata mendidihkan 3 kg air yang paling lama, yaitu 59 menit, diikuti oleh kompor Tara 10 g/menit, dengan waktu 36 menit, dan kompor Arang Thailand 12 g/menit dengan waktu 34 menit. Dari tinjauan efisiensi kompor, konsumsi spesifik, dan rasio *turndown* (pengurangan daya kompor), kompor Tara lebih efisien dan lebih hemat bahan bakar dibandingkan kompor Beehive dan Arang Thailand. Efisiensi terbaik yang dicapai oleh kompor Tara adalah 30,5%, konsumsi spesifik rata-rata 119,5 $\text{g}_{\text{bb}}/\text{ltr}_{\text{air}}$, dan rasio *turndown* 3,9, sementara kompor Beehive dengan efisiensi terbaik 27%, konsumsi spesifik rata-rata 130,6 $\text{g}_{\text{bb}}/\text{ltr}_{\text{air}}$, dan rasio *turndown* 2,6. Kompor Arang Thailand dengan efisiensi terbaik 26,5%, konsumsi spesifik rata-rata 131 $\text{g}_{\text{bb}}/\text{ltr}_{\text{air}}$, dan rasio *turndown* 4,3.

Kata kunci: briket, arang, sekam, padi, kompor.

I. PENDAHULUAN

Selama ini Indonesia dikenal sebagai salah satu negara OPEC, organisasi penghasil minyak dunia. Akan tetapi, sejak tahun 2003, Indonesia telah berubah menjadi negara pengimpor minyak. Pada tahun 2005, konsumsi energi Indonesia sekitar 700 setara barel minyak (SBM) per tahun. Dari jumlah tersebut, sekitar 57% energi berasal dari minyak bumi, 24% gas, 13% batubara, dan sisanya dari tenaga air,

¹ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

panas bumi, dan sebagainya (Prawiroadmodjo dan Armando, 2005). Dengan kata lain, minyak bumi masih mendominasi pasokan energi nasional.

Akibat dampak krisis ekonomi yang berkepanjangan, kondisi tersebut di atas berubah secara drastis ketika subsidi BBM mulai dikurangi secara bertahap. Beberapa lapisan masyarakat, bukan hanya masyarakat kelas bawah melainkan juga masyarakat kelas menengah dan industri rumah tangga, mulai merasakan beban dengan dihilangkannya subsidi BBM.

Salah satu alternatif untuk mengatasi mahalnya harga bahan bakar minyak (BBM) yaitu melalui pemanfaatan limbah biomassa. Salah satu dari produk pertanian yang menghasilkan limbah biomassa adalah sekam padi. Limbah tersebut dapat diolah menjadi briket biomassa untuk bahan bakar.

Sebagai daerah pertanian, di Sulawesi Selatan terdapat industri penggilingan padi yang menghasilkan limbah sekam padi dalam jumlah yang cukup besar. Sekam padi sebagai limbah penggilingan padi jumlahnya sekitar 20–23% dari gabah (Nugraha dan Setiawaty, 2006). Jika produksi gabah kering giling di Sulawesi Selatan 3.390.397 ton (Pusat Data dan Informasi Pertanian, 2006), maka jumlah sekam padi yang dihasilkan lebih dari 678.080 ton. Melihat potensi yang besar pada sekam dari jumlah tersebut, maka sangat mungkin menjadikan sekam sebagai bahan bakar alternatif menggantikan energi kayu atau bahan bakar minyak tanah untuk rumah tangga.

Penelitian tentang pemanfaatan sekam sebagai bahan bakar alternatif pada dasarnya sudah dilakukan. Dalam penelitiannya, Rahmat (2006) membuat briket berbentuk silinder berlubang dari sekam padi yang dirangkan lebih dahulu, dan sebuah kompor dengan nama Komsekar yang dijadikan sebagai alat uji. Komsekar yang berbahan bakar briket dari sekam padi kemudian dibandingkan dengan kompor lainnya yang berbahan bakar gas (elpiji) dan minyak tanah. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa briket sekam dapat dijadikan sebagai bahan bakar alternatif tanpa memberikan informasi lebih lanjut tentang efisiensi atau konsumsi spesifik dari masing-masing kompor uji. Penelitian lainnya juga dilakukan oleh Nugraha dan Setiawati (2006), membahas proses pembuatan briket dari sekam padi, akan tetapi penelitian ini lebih ditujukan pada peluang agrobisnis dari bahan bakar briket sekam padi. Penelitian lainnya yang penting, yaitu penelitian yang telah dilakukan oleh Assureira (2002) yang juga meneliti tentang pemanfaatan sekam padi sebagai bahan bakar alternatif untuk energi rumah tangga. Penelitian ini mengevaluasi sekam padi dengan membuat dan menguji briket sekam padi pada kompor yang memanfaatkan briket sekam padi sebagai bahan bakarnya. Briket sekam padi dibuat dalam bentuk silinder dengan diameter dan tinggi yang seragam dengan memvariasikan komposisi bahan pengikat. Penelitian ini menyimpulkan bahwa komposisi bahan pengikat dapat mempengaruhi nilai kalor dari briket sekam padi dan efisiensi kompor yang dapat dicapai sekitar 20%. Adapun penelitian sekam padi sebagai bahan bakar alternatif lainnya kebanyakan hanya membahas dari sisi ekonomi dan metode produksi briket sekam padi.

Beberapa penelitian di atas menunjukkan bahwa briket arang sekam padi dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif untuk rumah tangga, tetapi penelitian tentang bentuk briket yang dimanfaatkan pada jenis kompor tertentu belum pernah dilakukan. Pemanfaatan briket sekam padi sebagai energi rumah tangga berhubungan erat dengan kompor sebagai alat pembakarannya. Menurut FAO (1993), salah satu faktor yang mempengaruhi pembakaran biomassa di dalam kompor adalah bentuk dari bahan bakar yang menentukan laju penetrasi panas ke beban memasak, jika bahan biomassa dibakar sehingga diperoleh efisiensi kompor yang baik. Dengan memvariasikan bentuk bahan bakar briket sekam padi, maka dapat ditentukan bentuk briket sekam padi yang sesuai digunakan pada jenis kompor tertentu pada efisiensi terbaiknya. Sehingga hasilnya diharapkan dapat memberikan kontribusi berarti bagi masyarakat Indonesia pada umumnya dan Sulawesi Selatan pada khususnya.

Penelitian ini difokuskan pada briket arang sekam padi dengan bentuk sarang tawon, silinder berlubang, dan silinder pejal densifikasi menggunakan cetakan tangan. Campuran bahan pengikat untuk pembuatan briket dari tanah liat/lempung dengan persentase volume 20%. Kompor sebagai alat pembakaran briket yang digunakan dipilih secara acak dari tiga jenis, yaitu Beehive, Tara, dan Arang Thailand. Ketiga jenis kompor yang dipilih tersebut adalah kompor yang umum digunakan untuk memasak di negara asalnya.

Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi bentuk briket yang sesuai digunakan kompor, mengevaluasi temperatur dan waktu pemanasan, dan laju konsumsi bahan bakar kompor menggunakan bentuk briket yang sesuai, dan menentukan efisiensi terbaik dan konsumsi spesifik kompor untuk bentuk briket yang sesuai. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi yang berarti bagi masyarakat umum dalam memanfaatkan sekam padi sebagai bahan bakar alternatif dan sebagai sumber informasi dalam memilih kompor yang sesuai untuk bahan bakar briket arang sekam.

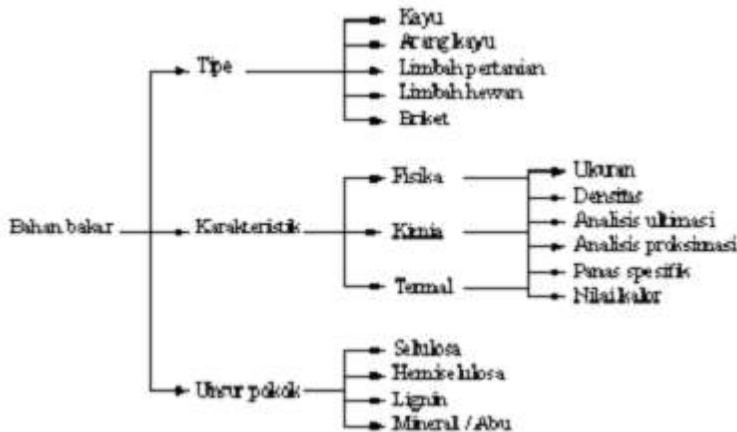
Komposisi Biomassa

Biomassa adalah istilah yang digunakan yang ditujukan untuk semua jenis biomassa dalam bentuk padatan untuk digunakan sebagai bahan bakar, khususnya bahan bakar kayu, arang, kotoran hewan, limbah pertanian dan padatan yang dapat mengalami biodegradasi. Biomassa merupakan sumber bahan bakar utama untuk memasak rumah tangga dan beberapa aplikasi pedesaan di negara-negara berkembang. Menurut FAO (1993), biomassa adalah produk reaksi fotosintesis dari karbon monoksida dan air. Reaksi tersebut terdiri dari tiga elemen dasar yaitu karbon, oksigen dan hidrogen yang muncul dalam suatu bentuk polimerik makroskopik kompleks. Bentuk tersebut adalah:

- Selulosa ($C_6H_{10}O_5$)_x,
- Hemiselulosa ($C_5H_8O_4$)_y dan
- Lignin ($C_9H_{10}O_3(CH_3O)_{0,9-0,7}$)_z.

Komposisi dari unsur pokok tersebut bervariasi terhadap spesies tumbuhan. Dalam hal kayu, sebagai contoh menurut Shafizadeh dan De Groot kayu berkulit keras

umumnya mengandung sekitar 43% selulosa, 35% hemiselulosa dan 22% lignin, sementara kayu berkulit lunak mengandung sekitar 43% selulosa, 28% hemiselulosa dan 29% lignin. 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 dinyatakan dengan rumus empirik $CH_{1,44}O_{0,66}$. Dengan beberapa pengecualian, biasanya abu dianggap sebagai komponen minor di dalam biomassa (FAO, 1993).



Gambar 1. Sifat-sifat Biomassa (FAO, 1993)

Kalor pembakaran bahan bakar dasar biomassa bergantung pada persentase dari ketiga unsur pokoknya. Lignin memiliki nilai yang tertinggi (26,63 MJ/kg), sementara holoselulosa (selulosa dan hemiselulosa) nilainya sebesar 17,46 MJ/kg. 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 hidrogen terhadap nilai kalornya. Dengan demikian, nilai pemanasan kayu bergantung pada jumlah karbonnya dan unsur pokok resin (kandungan moisturennya konstan). Karakteristik pembakaran dan pirolisis biomassa kaya bergantung pada perbandingan relatif dari unsur pokoknya, yaitu selulosa, hemiselulosa, lignin dan dalam beberapa hal abunya. Karakteristik psiko-kimia unsur-unsur pokok tersebut yang pengaruhnya penting di dalam karakteristik pembakaran ditunjukkan dalam Gambar 1.

Sekam Padi

Sekam padi adalah produk penggilingan padi. Sekam padi dihasilkan setelah padi melewati alat pengupas kulit ari dan dibawa ke sisi luar gilingan melalui sebuah aspirator. Jumlah sekam padi yang dihasilkan gilingan padi bergantung pada kapasitas

penggilingan. Gilingan dengan kapasitas yang besar biasanya menghasilkan sekam dalam jumlah yang sangat besar per satuan jam. Sekam bisa utuh atau hancur, bergantung pada jenis pengupas sekam yang digunakan. Satu kilogram padi dapat menghasilkan sekitar 200 gram sekam. Nilai tersebut sekitar 20% dari berat padi dan bisa bervariasi beberapa persen, bergantung pada jenis padi. Oleh sebab itu, gilingan padi akan mampu memproduksi 200 kg sekam per jam untuk 1 ton padi per jam. Untuk operasi 10 jam per hari, total 2 ton sekam dapat diproduksi.

Menurut Belonio (2005), beberapa laporan menunjukkan bahwa sekam padi yang melewati gilingan memiliki kandungan moisture 10 sampai 16% dan nilai tersebut bisa bertambah ke sekitar 20% di dalam kondisi yang lembab. Densitas bulk sekam yang dipadatkan dan tidak dipadatkan sekitar 100 sampai dengan 120 kg/m³. Kandungan energinya sekitar 3000 kkal/kg, dan jika terbakar habis, menghasilkan sekitar 15 sampai 21% abu yang hampir 90%-nya adalah silika.

Selain dijadikan sebagai sumber energi karena kadar selulosanya cukup tinggi, sekam juga dimanfaatkan sebagai bahan baku industri kimia terutama karena kandungan zat kimia furfuralnya dan sebagai bahan baku industri bahan bangunan terutama karena kandungan silika (SiO₂) yang dapat digunakan untuk campuran pada pembuatan semen portland, bahan isolasi, *husk-board* dan campuran pada industri bata merah (Rahmat, 2006).

A. BAHAN BAKAR 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 dihasilkan dari bahan-bahan organik melalui pemadatan, pengarangan, karbonisasi lengkap atau gabungan ketiga proses tersebut (UNHCR, 2002). Pada dasarnya bahan bakar briket berbentuk balok padat yang dibuat dari limbah pertanian (sekam padi) atau serbuk gergaji. Tetapi, sebagaimana yang disebutkan dalam definisi di atas, briket muncul dalam beberapa jenis yaitu:

- (a) Briket densifikasi adalah bahan bakar berbentuk balok yang dihasilkan dengan hanya memadatkan biomassa, biasanya tumbuh-tumbuhan atau residu pertanian, yang dicampur dengan bahan pengikat seperti tetes gula atau resin. Bahan mentah yang cocok termasuk gula tebu kantong, sekam kopi, sekam padi atau serbuk gergaji. Nilai energi bahan tersebut sekitar 16 MJ/kg, setara dengan nilai energi kayu bakar kering.
- (b) Briket yang diarangkan adalah bahan bakar berbentuk balok yang dihasilkan melalui proses pemadatan tanpa bahan pengikat pada tekanan yang jauh lebih tinggi dari tekanan standar briket yang didensifikasi. Tekanan yang tinggi (dan disertai temperatur tinggi) memecahkan struktur bahan briket dan membentuk permukaan luar yang keras mengikat briket. Briket yang diarangkan terbuat dari sekam padi terbukti memuaskan secara teknis.
- (c) Briket arang adalah bahan bakar palet dengan kandungan energi lebih tinggi yang dihasilkan dari bahan-bahan yang dikarbonasi sebelum memadatkannya, atau

dipadatkan lebih dahulu kemudian dikarbonisasi. Nilai energi yang dapat dicapai hingga 30 MJ/kg. Nilai tersebut membuat briket ini sama dengan arang kayu biasa dalam kualitas pembakaran. Briket arang sebenarnya sedikit lebih baik dari kayu bakar, karena kandungan energinya dan waktu bakarnya yang lebih lama.

Menurut Assureira (2002), proses dari 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 tinggi. Selain itu dapat menggunakan proses basah. Proses basah menghasilkan briket arang. Proses basah memungkinkan penggunaan alat dengan tekanan yang lebih rendah, tetapi dengan menggunakan bahan pengikat.

Arang sekam dihaluskan menjadi butiran halus di dalam gilingan, kemudian bahan pengikat tanah liat dengan jumlah menurut volume sekitar 20% (Vest, 2006) dan air dicampurkan dengan serbuk arang hingga membentuk pasta. Kemudian dimasukkan ke dalam cetakan dan ditekan. Selanjutnya, briket dikeringkan untuk mengurangi humiditasnya. Hal tersebut dapat dilakukan dengan menjemur briket di bawah sinar matahari atau di dalam alat pengering listrik.

Pengarangan Briket

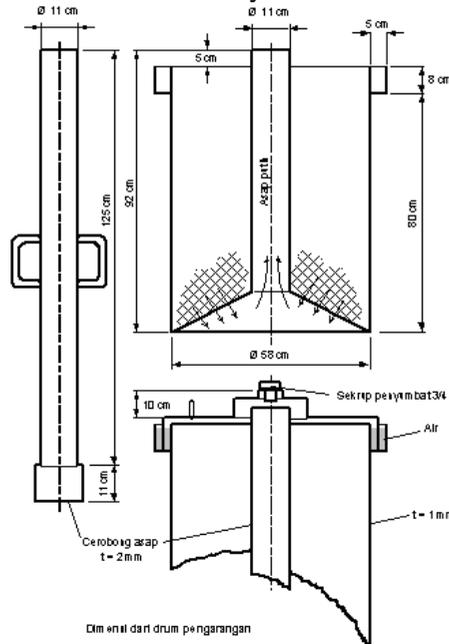
Secara prinsip, briket yang dibuat dari berbagai jenis biomassa dapat dijadikan sebagai bahan bakar tanpa karbonisasi/pengarangan lanjut. Akan tetapi, pembakaran untuk jenis briket tersebut memiliki beberapa kelemahan, sebagai contoh:

- Mengurangi sifat-sifat penyalaan dan pembakaran
- Menambah bangkitan asap
- Nilai kalor rendah
- Tidak stabil dalam kondisi lembab.

Oleh sebab itu, disarankan menambahkan langkah pengarangan untuk memproduksi jenis briket arang. Potongan-potongan bahan organik berukuran besar sampai kecil dalam jumlah sedikit seperti potongan kayu, ranting pohon atau sebelum briket dibuat dapat dikarbonasi di dalam kiln arang tradisional atau ruang bakar dapur. Gambar 2 memperlihatkan sebuah kiln arang tradisional dari pelat logam atau drum. Desain tersebut adalah salah satu desain yang sangat menarik dari kiln pengarangan sekam padi berskala kecil yang digunakan di Nepal.

Drum pengarangan adalah drum logam 220 liter dengan ketebalan pelat 1–2 mm yang dilengkapi saluran yang berukuran 5 cm untuk ketinggian sil air 8 cm mengelilingi lingkaran bagian atasnya. Di dalam drum ditempatkan kerucut berlubang yang dilengkapi dengan cerobong asap (kerucut memiliki sekitar 200 lubang yang berukuran 1/2 inci). Tebal logam kerucut dan cerobong asap adalah sekitar 2 mm. Penutup drum membentuk sil air. Drum dan komponennya dilindungi terhadap karat. Drum itu sendiri beratnya sekitar 40 kg. Desain ini dapat dipindahkan oleh satu orang dan memiliki masa pakai lebih dari tiga tahun untuk penggunaan kontinu. 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).



Gambar 2. Kiln Arang Tradisional (Nienhuys, 2003)

Pengisian drum 220 liter dengan bahan biomassa kering dan proses pembakaran setelahnya membutuhkan waktu sekitar dua jam, sementara untuk pendinginan drum (satu *batch*) juga membutuhkan waktu sekitar dua jam. Total produksi satu harian dengan demikian terdiri dari dua siklus dan dapat menghasilkan total sekitar 300 – 350 liter arang curah.

Konstruksi berbentuk kubah digunakan di India untuk membuat arang dari biomassa kayu. Akan tetapi, pembuatan arang dari produk limbah pertanian tampaknya tidak memberikan hasil yang baik di dalam kubah tersebut, sehingga tidak disarankan oleh *Centre for Energy and Environment* (CEE) (Nienhuys, 2003).



(a) Arang Thailand

(b) Beehive

(c) Tara

Gambar 3. Kompor Briket

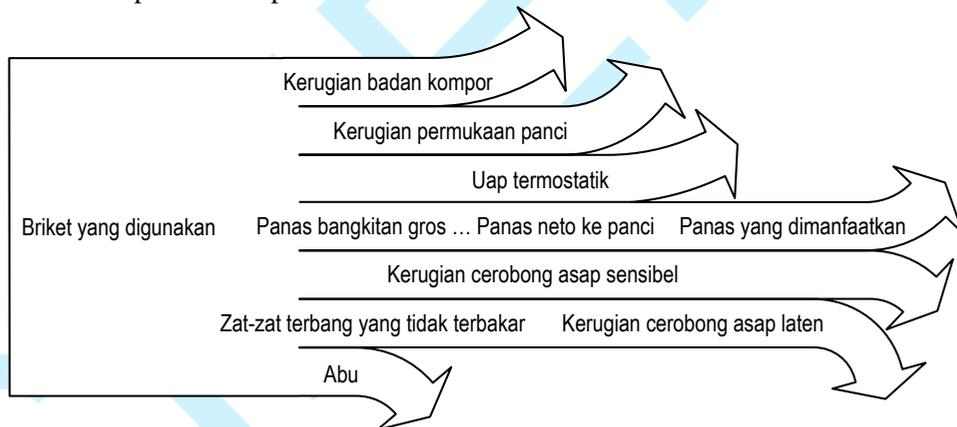
Proses apapun yang digunakan untuk medium pengarang limbah pertanian yang berukuran kecil, bahan yang telah dirangkan selanjutnya mengalami proses pembuatan briket (*briquetting*) sehingga dibutuhkan bahan pengikat yang sesuai.

Kompor Briket

Briket arang tidak dapat dibakar secara efisien di dalam kompor pembakaran kayu konvensional karena sifat-sifat pembakaran briket berbeda dengan kayu. Oleh sebab itu, kompor pembakaran briket membutuhkan desain dan usaha pembuatan. Beberapa tungku telah didesain dan dikembangkan oleh beberapa peneliti, yang sebagiannya hanya dengan mengubah desain tungku yang telah ada.

Kriteria desain adalah hal yang penting untuk memperbaiki performansi kompor, dan menjadi solusi desain yang ada untuk membuat kompor yang memenuhi kriteria performansi. Salah satu dari desain yang memenuhi kriteria performansi adalah kompor Arang Thailand yang telah diadopsi dan dimasyarakatkan di beberapa daerah di Jawa Tengah (www.tungku.or.id, 2006).

Desain kompor lainnya menggunakan bahan bakar briket sekam padi yaitu kompor Beehive yang digunakan di Nepal, dan kompor Tara yang digunakan di India. Ketiga desain kompor tersebut (Gambar 3) dijadikan sebagai alat uji pembakaran briket sekam padi dalam penelitian ini.



Gambar 4. Diagram Aliran Energi pada Sebuah Kompor (Peter, 2003)

Efisiensi dan Daya

Ada berbagai cara melihat performansi kompor dan mengukur efisiensinya. Metode umum yang digunakan adalah dengan membandingkan energi yang masuk ke dalam kompor dengan energi yang terbuang dari kompor tersebut, untuk menentukan persentase pemanfaatan panas. Konsep efisiensi yang umum adalah menghitung energi yang terbuang dalam evaporasi. Setelah makanan mencapai titik didihnya,

jumlah panas tambahan yang diserap relatif kecil. Dalam hal memasak air, panci hanya membutuhkan cukup panas untuk mencapai temperatur didih dan selebihnya adalah panas lebihan.

Dalam Gambar 4 diperlihatkan diagram aliran energi yang umum untuk kompor memasak dengan pembakaran bahan bakar biomassa. Panas berguna terserap ke dalam makanan, tetapi kerugian panas menyangkut:

- Pembakaran biomassa tidak terjadi secara sempurna
- Kerugian panas dari badan kompor ke sekelilingnya
- Kerugian panas dari permukaan panci (termasuk tutup panci)
- Kerugian panas melalui cerobong (jika ada)
- Uap termostatik yang keluar dari panci akibat daya kompor berlebihan

Efisiensi total kompor memasak dapat diukur dalam pengujian mendidihkan air dengan memanaskan kompor pada daya tinggi, atau dengan memanaskannya pada tahapan daya terkontrol di mana uap yang dibangkitkan mensimulasikan panas yang diserap.

Persamaan efisiensi termal kompor dapat dinyatakan dengan lebih detail:

$$\eta_{stove} = \frac{\dot{Q}_u}{\dot{Q}_{stove}} \quad (1)$$

Panas yang diserap ke dalam masakan yang dimasak (dalam pengujian mendidihkan air, panas diserap ke dalam air Q_w) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q_w = c_{pw} \cdot m_w \cdot (T_B - T_S) + m_{evap} \cdot h_{fg} \quad (2)$$

dimana c_{pw} (4,18 kJ/kg·K) adalah panas spesifik air, m_w adalah massa air yang dididihkan, T_B adalah temperatur didih air, T_S adalah temperatur air pada awal (mulai), m_{evap} adalah massa air yang diuapkan dan h_{fg} (2260 kJ/kg) adalah entalpi penguapan air.

Energi di dalam bahan bakar briket dinyatakan dengan:

$$Q_{briket} = m_{bk} \cdot HV \quad (3)$$

dimana m_{bk} adalah massa briket yang dikonsumsi dan HV adalah nilai kalor briket yang dikonsumsi.

Di samping efisiensi kompor memasak, daya output kompor adalah variabel yang berguna. Daya rata-rata kompor sebagai daya kompor yang dinyatakan dengan

$$\dot{Q}_{stove} = \frac{Q_{briket}}{\Delta t} \quad (4)$$

Dengan demikian, daya memasak/ berguna rata-rata sebagai daya pemanasan yang dipindahkan ke air dapat dinyatakan dengan:

$$\dot{Q}_u = \frac{Q_w}{\Delta t} \quad (5)$$

dengan Δt adalah waktu untuk mencapai temperatur didih air.

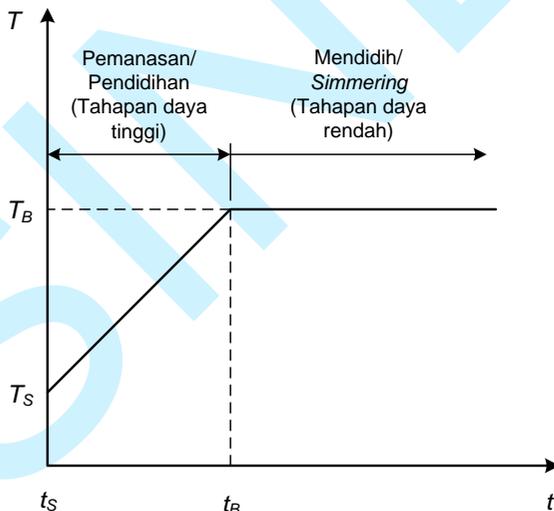
Pengujian Mendidihkan Air

Pengujian mendidihkan air adalah pengujian laboratorium yang digunakan untuk membandingkan performansi dari dua atau beberapa kompor dalam kondisi terkontrol yang sama, atau kompor yang sama dalam kondisi yang berbeda (FAO, 1993). Pengujian ini adalah simulasi cara memasak sebenarnya dengan mendidihkan air. Jumlah air yang diketahui beratnya dipanaskan pada sebuah kompor. Volume air yang dievaporasikan setelah seluruh bahan bakar terbakar ditentukan. Efisiensi kompor dihitung dengan menggunakan Persamaan (1).

Untuk simulasi proses pendidihan aktual dalam proses memasak yang terdiri dari pemanasan dan mendidih (*simmering*), pengujian mendidihkan air dimodifikasi.

Dalam metode yang dimodifikasi, total periode pengujian dibagi menjadi dua bagian, yaitu tahapan untuk daya tinggi (periode pemanasan atau mendidihkan) dan tahapan daya rendah (periode mendidih) (Gambar 5). Memasak dikatakan baik menurut metode ini jika massa air tertentu dapat dididihkan secara cepat selama tahapan daya tinggi dan jumlah bahan bakar yang digunakan sedikit selama tahapan daya rendah. Performansi dari kompor yang berbeda dievaluasi dengan mengestimasi efisiensi termal, konsumsi spesifik dan daya output kompor selama tahapan daya tinggi. Selama tahapan daya rendah, pengukuran efisiensi tidak dilakukan, hanya daya output kompor dan konsumsi spesifik yang diukur. Konsumsi spesifik dalam tahapan daya rendah ini didefinisikan sebagai jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menjaga air dengan massa tertentu pada titik didihnya selama periode waktu tertentu. Dalam tahap memasak, konsumsi spesifik dapat dinyatakan melalui persamaan:

$$SC = \frac{\text{Massa bahan bakar yang dikonsumsi}}{\text{Massa bahan makanan yang dimasak}} \quad (6)$$



Keterangan :

- T : Temperatur
- t : Waktu
- T_B : Temperatur didih air
- T_S : Temperatur awal air
- t_S : Waktu awal
- t_B : Waktu mendidih

Gambar 5. Deskripsi Pengujian Mendidihkan Air

Untuk menarik kesimpulan yang realistis dalam pengujian mendidihkan air, konsumsi spesifik dan rasio pengurangan daya (*turndown*) ditentukan.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di laboratorium Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang. Proses pembuatan kiln arang sekam, cetakan dan kompor briket arang sekam padi dalam tiga bentuk dan tiga macam kompor uji dilaksanakan pada Bengkel Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang. Pengujian sifat-sifat fisik dan kimia briket arang sekam dilakukan di Laboratorium PT. Sucofindo Makassar.

Penelitian dilakukan dengan tahapan-tahapan pembuatan kiln arang, cetakan tangan dan kompor untuk pengujian. Kemudian, pembuatan briket arang sekam padi dilakukan dengan urutan pengarangan dan agitasi tanah liat dalam bak air selama semalaman, proses penghalusan arang curah, pencampuran arang halus dan tanah liat lembut dari hasil agitasi, pencetakan briket, dan penjemuran selama 2 – 3 hari. Pengujian sifat-sifat fisik dan kimia dilakukan dengan metode analisis proksimasi untuk mengetahui *moisture content*, *fixed carbon*, *volatile matter*, *ash*, densitas bulk briket, dan nilai kalor briket arang sekam padi.

Pengujian pembakaran briket dilakukan di dalam tiga kompor uji, yaitu Beehive, Tara, dan Arang Thailand untuk mengetahui bentuk briket yang sesuai digunakan di dalam kompor briket tersebut dan untuk mengevaluasi performansi masing-masing kompor uji dengan metode pengujian mendidihkan air yang dimodifikasi.

Hasil analisis masing-masing indikator performansi kompor kemudian dibandingkan untuk mengetahui perbedaan dari indikator performansi, yang selanjutnya disimpulkan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengarangan sekam padi di dalam kiln arang dengan satu proses pengarangan lengkap (pengarangan dan penghalusan), yaitu 100 liter sekam segar menghasilkan 25 liter arang halus, atau dalam perbandingan volume proses konversinya adalah 4 : 1 (sekam segar : arang halus). Briket yang dihasilkan terdiri dari tiga bentuk sesuai dengan bentuk yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu bentuk sarang tawon, silinder berlubang, dan silinder pejal. Dimensi utama (diameter dan tinggi) rata-rata masing-masing briket yang diamati setelah pengeringan adalah sebagai berikut:

- Sarang tawon: $D_o = 130$ mm, $D_i = 13$ mm, $h = 95$ mm, $m_{rata-rata} = 687$ gram.
- Silinder berlubang: $D_o = 130$ mm, $D_i = 57$ mm, $h = 95$ mm, $m_{rata-rata} = 718$ gram.
- Silinder pejal: $D = 58$ mm, $h = 70$ mm, $m_{rata-rata} = 149$ gram.

Tabel 1. Analisis proksimasi dan nilai kalor briket arang sekam

Analisis proksimasi (%)					Nilai kalor HHV (kJ/kg)	Densitas Bulk (kg/m ³)	Sumber
Bahan	Moisture Content	Volatile Matter	Fixed Carbon	Ash			
Briket Sarang Tawon	4,86	9,77	25,57	59,80	9644	745	*
Arang Biomassa	8,86	17,97	69,72	12,31	26.040	-	**
Briket Sarang Tawon	2,27	18,63	49,27	32,1	18.730	-	**
Briket Sekam Padi	6,0	57,5	12,7	20,6	11.700	522	***
Briket Serbuk Gergaji	7,9	75,1	15,7	1,3	18.800	483	***
Briket Sekam Padi	7,14	49,96	10,11	39,93	10.960	-	****
Briket Jerami Tebu	6,03	49,15	8,91	41,94	17.870	-	****
Briket Ampas Tebu	5,48	56,53	4,65	38,82	13.850	-	****
Briket Sekam Padi	9,95	55,54	14,99	19,52	8280	803	*****

Keterangan:

*: Penelitian ini.

** : Shrestha, 2006

***: Bhattacharya dkk, 2006

****: Martirena, 2002

*****: Assureira, 2002

Uji laboratorium biasanya digunakan untuk mengkaji sifat dan kualitas bahan bakar. Untuk mengetahui kualitas briket sekam padi yang dihasilkan, standarisasi briket biomassa digunakan sebagai pembandingan. Akan tetapi, standarisasi mutu briket biomassa belum tersedia atau terorganisasi seperti standarisasi bahan bakar padat lainnya, sehingga digunakan hasil penelitan lainnya sebagai pembandingan kualitas briket yang dihasilkan.

Briket sekam padi yang dibandingkan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh peneliti lainnya dalam Tabel 1. Tampak bahwa kandungan moisture briket sekam padi yang dihasilkan dalam penelitian ini di bawah 10%, dan *fixed carbon* cukup rendah karena kualitas bahan arang sekam padi. Kandungan abu tinggi, umumnya karena campuran tanah lempung dan abu yang dihasilkan oleh pembakaran briket sekam padi itu sendiri.

Tabel 2. Perbandingan biaya briket arang sekam padi dengan minyak tanah dan LPG (sementara)

Biaya	Briket Arang Sekam Padi	Minyak Tanah	LPG
Kompor	Rp. 50.000 – Rp. 150.000	Rp. 150.000 – Rp. 300.000	Rp. 300.000 – Rp. 500.000
Bahan bakar menurut berat	Rp. 1.746,72/kg	Rp. 8.000/ltr	Rp. 6.667/kg*
Bahan bakar untuk satu bulan	Rp. 52.401,6/bln	Rp. 240.000/bln	Rp. 200.010/bln
Rupiah per MJ energi yang dihasilkan	Rp. 181,12 /MJ	Rp. 220,57/MJ	Rp. 135,37/MJ
Nilai kalor	9.644 kJ/kg	36.270 kJ/ltr **	49.250 kJ/kg ***
Nilai kalor per Rp.	5,52 kJ/Rp.	4,53 kJ/Rp.	7,39 kJ/Rp.

Keterangan:

* Asumsi 1 tabung LPG 12 kg, harga Rp 80.000

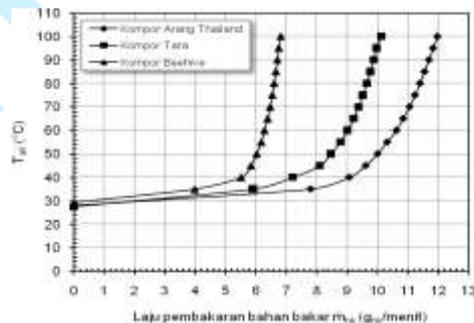
** Belonio, 2005

*** Shrestha, 2006

Nilai kalor, HHV briket sekam padi penelitian ini sedikit lebih rendah dari nilai kalor dari penelitian lainnya, kecuali yang dilakukan oleh Assureira, 2002 (dengan komposisi bentonit 20% dan tepung kanji 10%). Lebih rendahnya nilai kalor sebagian besar dipengaruhi oleh kandungan dari *volatile matter* dan *fixed carbon* yang rendah, walaupun densitas briket yang dihasilkan nilainya cukup tinggi. Hal tersebut juga terlihat dari hasil Assureira, 2002.

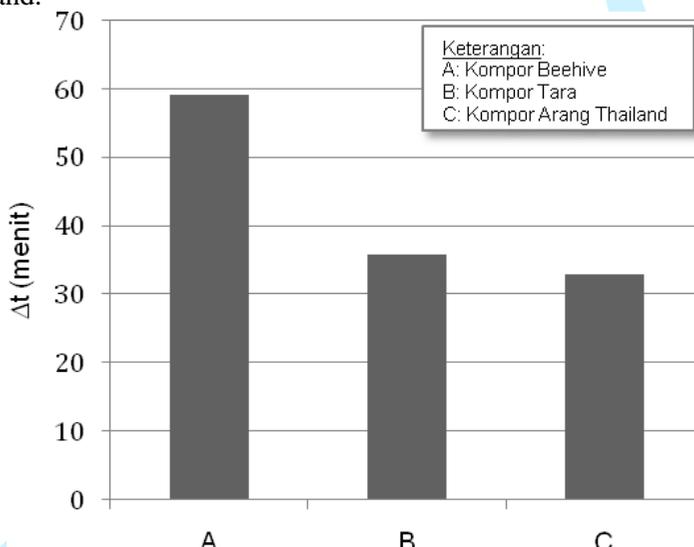
Briket arang sekam padi berpotensi dijadikan sebagai aktivitas yang dapat memberikan tambahan pendapatan dan hanya memerlukan buruh lepas, sekam padi curah, dan tanah liat/lempung untuk memulai produksinya. Produksi briket arang sekam padi dapat diawali dari industri rumah tangga. Industri rumah tangga pedesaan dengan empat kiln pengarangan dan dua cetakan tangan dan biaya pengangkutan sekam padi dan tanah liat Rp 7.360.000 dan dengan menggunakan empat orang buruh lepas dapat dihasilkan sekitar 6000 briket arang sekam padi per bulan, dengan massa rata-rata 687 g. Dengan harga jual Rp 1.200 per briket, diperoleh pendapatan sebesar Rp 7.200.000 per bulan dan didapatkan keuntungan neto sebesar Rp 960.000. Perbandingan biaya sementara diberikan dalam Tabel 2, yang membandingkan biaya dengan menggunakan briket dan dengan biaya menggunakan minyak tanah dan LPG sebagai bahan bakar. Dari biaya energi tersebut, briket arang sekam padi layak dijadikan sebagai bahan bakar alternatif menggantikan minyak tanah.

Pembakaran tiga bentuk briket di dalam tiga kompor uji menunjukkan bahwa bentuk briket sarang tawon yang paling sesuai digunakan dalam ketiga jenis kompor uji, karena bentuknya yang memenuhi faktor yang mempengaruhi nyala briket pada saat dibakar yaitu suplai aliran udara, abu yang terbentuk dan posisi briket di dalam kompor, sehingga pembakarannya lebih optimal. Sementara pembakaran bentuk silinder pejal dan silinder berlubang terhalang oleh ketebalan bentuknya dan tidak tersedia lubang-lubang untuk aliran udara yang memudahkan suplai oksigen dari udara untuk pembakaran.



Gambar 6. Profil Temperatur dan Laju Pembakaran Bahan Bakar Briket Seluruh Pengujian Memanaskan 3 Kg Air untuk Briket Sarang Tawon dalam Tiga Kompor

Gambar 6 memperlihatkan hubungan laju konsumsi briket sarang tawon dan perubahan temperatur air pada saat dibakar di dalam ketiga jenis kompor memasak untuk seluruh pengujian memanaskan 3 kg air. Dalam gambar tersebut tampak bahwa profil temperatur air terhadap laju pembakaran briket memiliki kecenderungan yang sama. Pada awal air dipanasi dibutuhkan lebih banyak briket untuk menaikkan temperatur air, hingga mencapai temperatur 50°C. Setelah melewati temperatur tersebut, peningkatan dari laju pembakaran briket mendekati linier hingga temperatur didih tercapai. Untuk mencapai temperatur didih yang sama dalam ketiga jenis kompor yang digunakan sebagai tempat untuk pembakaran briket, dibutuhkan laju konsumsi bahan bakar terkecil di dalam kompor Beehive, kemudian kompor Tara dan Arang Thailand.



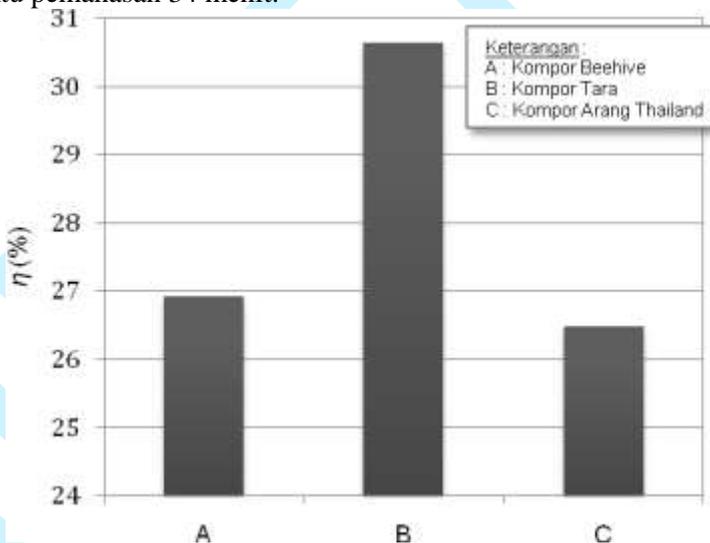
Gambar 7. Perbandingan Waktu Rata-rata Mendidihkan 3 Kg Air untuk Tiga Kompor Model Briket Sarang Tawon

Laju konsumsi briket yang lebih besar atau kecil dalam Gambar 6 berhubungan dengan laju penyerapan energi panas ke beban memasak. Untuk mendidihkan 3 kg air lebih cepat dibutuhkan jumlah bahan bakar yang lebih banyak, yang dengan demikian energi panas yang diberikan ke beban memasak oleh bahan bakar juga lebih besar, sehingga mempercepat naiknya temperatur air. Dalam Gambar 6 hal tersebut tampak pada ketiga kompor, dengan laju konsumsi terkecil terjadi di dalam kompor Beehive, tetapi membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mendidihkan air. Laju konsumsi bahan bakar terbesar terjadi di dalam kompor Arang Thailand, sehingga lebih cepat mendidihkan air. Hal ini dapat dilihat dalam Gambar 7 yang menunjukkan perbandingan waktu rata-rata mendidihkan 3 kg air untuk briket sarang tawon dengan perbedaan yang signifikan antara kompor Beehive dan kedua kompor lainnya dari uji-*t*. Dalam gambar tersebut tampak bahwa kompor Beehive memerlukan waktu yang

lebih lama untuk mendidihkan 3 kg air dari kedua kompor lainnya, seperti yang disebutkan sebelumnya.

Perbedaan laju konsumsi bahan bakar ditentukan oleh suplai udara pembakaran ke dalam kompor. Suplai udara pembakaran yang mengalir secara bebas/alamiah, sangat ditentukan oleh desain dari kompor. Desain kompor dengan saluran masukan udara pembakaran primer dan sekunder dengan bukaan yang lebih besar, tetapi dengan ukuran yang dapat meminimumkan kerugian perpindahan panas dapat memberikan suplai udara yang optimal untuk pembakaran. Ukuran saluran masukan udara pembakaran kompor Beehive lebih kecil dibandingkan kedua kompor lainnya, sehingga suplai udara untuk pembakaran juga lebih kecil yang dengan demikian laju pembakaran bahan bakar dalam kompor tersebut lebih kecil.

Desain dari ketiga kompor merupakan kompor yang telah ditingkatkan/diperbaiki, yang bentuknya mengikuti kriteria desain kompor yang telah ditingkatkan. Akan tetapi dari perbandingan profil temperatur dan waktu mendidihkan air, dan laju konsumsi bahan bakar, ternyata kompor Beehive menggunakan laju konsumsi bahan bakar rata-rata terkecil, yaitu 6,8 g/menit, tetapi dengan waktu rata-rata mendidihkan 3 kg air yang paling lama, yaitu 59 menit, diikuti oleh kompor Tara 10 g/menit, waktu pemanasan 36 menit, dan kompor Arang Thailand 12 g/menit dengan waktu pemanasan 34 menit.



Gambar 8. Perbandingan Efisiensi Kompor Rata-rata Memanaskan 3 Kg Air untuk Briket Sarang Tawon

Gambar 8 memperlihatkan perbandingan efisiensi termal rata-rata ketiga kompor yang diuji untuk memanaskan 3 kg air. Tampak dalam gambar tersebut bahwa Kompor Tara memiliki efisiensi termal tertinggi 30,5%, diikuti kompor Beehive, 27% dan kompor Arang Thailand 26,5%. Lebih banyak energi dalam bentuk briket yang

digunakan untuk mencapai hasil yang sama untuk menaikkan temperatur air, yang mempengaruhi efisiensi kompor. Kompor Tara memiliki massa dan volume yang lebih kecil untuk dipanasi, bersama dinding ruang bakar yang berisolasi udara/gas.

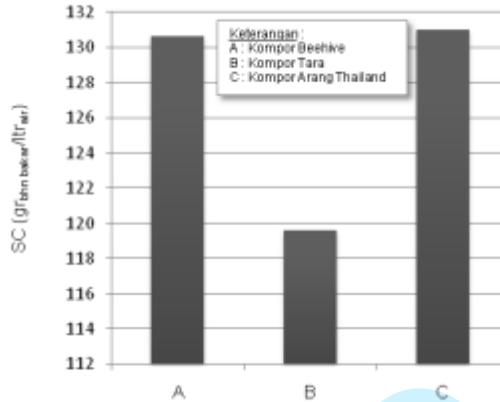
Tabel 3. Sifat-sifat bahan kompor

Sifat-sifat	Satuan	Baja (bukan paduan)	Tanah Lempung	Udara (kering)
Densitas	kg/m ³	7900	559	1,29
Konduktivitas panas spesifik	W/m · K	47 – 58	0,69	0,0245
Kapasitas panas spesifik	kJ/kg · K	0,45	0,12	1,005

Sumber: Peter, 2006

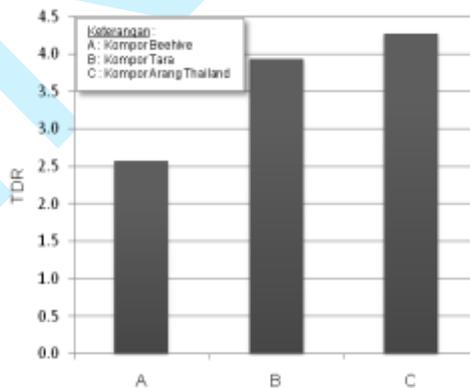
Dalam sifat-sifat termal bahan kompor (Tabel 3), terdapat perbedaan besar densitas dan panas spesifik, yang menguntungkan untuk bahan kompor tanah lempung. Kapasitas panas spesifik tanah lempung yang bersifat mengisolasi tiga kali lebih kecil dari baja. Berarti sedikit panas yang diperlukan untuk memanaskan 1 kg bahan tanah lempung 1 K. Efek utama yang menguntungkan dan merugikan dalam kompor tanah lempung adalah sifatnya yang lambat karena tanah liat mempertahankan atau menyimpan panas. Kompor tanah lempung mempunyai massa dan volume yang lebih besar karena tanah lempung harus dipanaskan pada awal prosedur pengujian. Energi ini dalam bentuk panas adalah kerugian dalam proses pemanasan air di dalam panci. Hal inilah yang membuat kompor Tara memiliki efisiensi termal yang lebih besar dari kedua kompor lainnya (kompor Beehive dan Arang Thailand), karena kedua kompor lainnya dibuat dari kombinasi bahan logam dan tanah lempung (kompor Beehive) dan tanah lempung (kompor Arang Thailand).

Salah satu target utama yang penting dipenuhi oleh kompor adalah penurunan konsumsi spesifik. Konsumsi spesifik adalah pendekatan yang baik untuk membandingkan kompor dalam pengujian mendidihkan air. Konsumsi spesifik menunjukkan input energi bahan bakar yang dikonsumsi dari tahapan pendidihan dan *simmering* versi output air yang diuapkan yang dihasilkan. Nilai dari pengujian khususnya konsumsi spesifik bisa lebih tinggi dalam kondisi nyata rumah tangga karena terbatasnya fleksibilitas dinamik atau kurangnya kontrol kompor selama proses memasak. Jika dihubungkan dengan efisiensi termal, ketiga kompor model memiliki perbedaan konsumsi spesifik rata-rata. Perbandingan konsumsi spesifik rata-rata ketiga kompor dalam Gambar 9, menunjukkan bahwa kompor Tara memiliki konsumsi spesifik rata-rata untuk seluruh pengujian yang terkecil, yaitu 119,5 g_{bb}/ltr_{air}, diikuti oleh kompor Beehive 130,6 g_{bb}/ltr_{air} dan kompor Arang Thailand 131 g_{bb}/ltr_{air}. Perbandingan tersebut menunjukkan bahwa kompor Tara lebih hemat jika dipakai untuk keperluan memasak, sementara kedua kompor lainnya memiliki nilai konsumsi spesifik hampir sama.



Gambar 9. Perbandingan Konsumsi Spesifik Rata-rata Memanaskan 3 Kg Air untuk Briket Sarang Tawon

Jika ditinjau dari daya yang diperlukan untuk mempertahankan air pada temperatur didih yang tampak dari rasio *turndown* (pengurangan daya kompor) rata-rata dalam Gambar 10, kompor Arang Thailand memiliki nilai terbesar yaitu 4,3, diikuti kompor Tara 3,9 dan kompor Beehive 2,6. Dari indikator rasio *turndown* menunjukkan kompor Arang Thailand menggunakan daya output yang lebih kecil dibandingkan kedua kompor lainnya. Akan tetapi, nilai yang dicapai oleh kompor Tara juga cukup tinggi, yang berarti penggunaan daya kompor dalam tahapan *simmering* untuk mempertahankan air pada temperatur didihnya kecil jika dibandingkan kompor Beehive. Walaupun nilai TDR rata-rata untuk kompor Arang Thailand yang tertinggi dari kedua kompor lainnya, tetapi konsumsinya menunjukkan kompor ini lebih boros digunakan dalam memasak, dan juga didukung efisiensi kompor yang rendah.



Gambar 10. Perbandingan Rasio Pengurangan Daya (*turndown*) Rata-rata untuk Briket Sarang Tawon

Dengan demikian, dari tinjauan efisiensi termal, konsumsi spesifik, rasio pengurangan daya kompor (*turndown*), kompor Tara lebih efisien dan lebih hemat dari kedua kompor lainnya.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari tiga bentuk briket yang diuji yaitu sarang tawon, silinder pejal dan silinder berlubang, bentuk sarang tawon yang paling sesuai digunakan untuk kompor dan dapat memenuhi tujuan memasak, sementara kedua bentuk lainnya, tidak dapat memenuhi tujuan memasak sesuai yang diharapkan.
2. Dari tinjauan temperatur dan waktu mendidihkan air, dan laju konsumsi bahan bakar briket sarang tawon, ternyata kompor Beehive menggunakan laju konsumsi bahan bakar rata-rata terkecil, yaitu 6,8 g/menit, tetapi dengan waktu rata-rata mendidihkan 3 kg air yang paling lama, yaitu 59 menit, diikuti oleh kompor Tara 10 g/menit, dengan waktu 36 menit, dan kompor Arang Thailand 12 g/menit dengan waktu 34 menit.
3. Dari tinjauan efisiensi kompor, konsumsi spesifik, dan rasio pengurangan daya kompor (*turndown*), kompor Tara lebih efisien dan lebih hemat bahan bakar dibandingkan kompor Beehive dan Arang Thailand. Efisiensi terbaik yang dicapai kompor Tara adalah 30,5%, konsumsi spesifik rata-rata 119,5 g_{bb}/ltr_{air}, dan nilai rasio *turndown* 3,9, sementara kompor Beehive dengan efisiensi terbaik 27%, konsumsi spesifik rata-rata sebesar 130,6 g_{bb}/ltr_{air}, dan rasio *turndown* 2,6. Kompor Arang Thailand dengan efisiensi terbaik 26,5%, konsumsi spesifik rata-rata 131 g_{bb}/ltr_{air}, dan rasio *turndown* 4,3.

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 30 Agustus 2006).
- Bailis, Rob, Damon Ogle dan Dean Till. 2004. *Stove Performance Test Draft*. (http://ceihd.berkeley.edu/heh.stove_perf_eval.htm, diakses 30 Agustus 2006).
- Berkowitz, Nobert. 1997. *Fossil Hydrocarbons: Chemistry and Technology*. Elsevier Science & Technology Books. United States.
- 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 16 September 2006).

- Belonio, Alexis T. 2005. *Rice Husk Gas Stove Handbook*. Appropriate Technology Center. Department of Agricultural Engineering and Environmental Management, College of Agriculture, Central Philippine University, Iloilo City. Philippines.
- 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.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1993. *Improved Solid Biomass Burning Cookstoves. A Development Manual*. (<http://ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/RWEDP/acrobat/fd44.pdf>, diakses 30 Agustus 2006).
- Hines, William W., Montgomery, Douglas C. 1990. *Probabilita dan Statistik dalam Ilmu Rekayasa dan Manajemen*, Edisi kedua, Penerjemah: Rudiansyah. UI-Press. Jakarta.
- Martirena, Fernando. 2003. Holey Sawdust Briquettes. (<http://www.ecosur.org>, diakses 30 Agustus 2006)
- Nienhuys, Ing. Sjoerd. 2003. *The Beehive Charcoal Briquette Stove in the Khumbu Region, Nepal*. (<http://www.repp.org/discussiongroups/resources/stoves/Nienhuys/Beehive%20Stove.pdf>, diakses 30 Agustus 2006)
- 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 20 Agustus 2006).
- Pellet Atlas. 2009. English Handbook for Wood Pellet Combustion. (<http://www.pelletsatlas.info>, diakses 29 Oktober 2009).
- Prawiroadmodjo, Suryo W. dan Rochim Armando. 2005. *Membuat Kompor tanpa BBM*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Peter, Marco. 2006. Efficiency Test for a Biomass Cooking Stove. (http://www.probec.org/docs/Thesis_Marco_Peter.pdf, diakses 20 Agustus 2006)
- Pusat Data dan Informasi Pertanian. 2006. Data Tahunan Tanaman Pangan dan Holtikultura (Online). (<http://database.deptan.go.id/bdspweb/f4-free-frame.asp>, diakses 20 Agustus 2006).

- 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 20 Agustus 2006).
- Shrestha, Krishna Raj. 2006. Glow Vol. 37: *Beehive Briquette—A Reliable Alternative Fuel*, hal. 12–15. The Asia Regional Cookstove Program (ARECOP). Yogyakarta.
- 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/E019E03.PDF, diakses 30 Agustus 2006).