

# RANCANG BANGUN KOMPOR GAS BERBAHAN BAKAR SEKAM PADI SISTEM KONTINU DENGAN MENGGUNAKAN UDARA PEMBAKARAN ALAMIAH

Apollo, Muhammad Nuzul, La Ode Musa, dan Herman Nauwir<sup>1)</sup>

**Abstrak:** Penelitian ini bertujuan untuk (1) menghasilkan kompor sekam padi dengan aliran udara pembakaran alamiah yang dapat dioperasikan secara kontinu dan hasil pembakaran yang cukup bersih. (2) menentukan performansi kompor dengan aliran udara pembakaran alamiah. Penerapan kompor sekam padi dengan aliran udara alamiah juga diharapkan dapat mengurangi kebergantungan masyarakat khususnya masyarakat desa terhadap bahan bakar minyak, dan secara bertahap tidak lagi menjadikan minyak tanah sebagai bahan bakar utama dalam memasak. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kemiringan corong bahan bakar terhadap bidang horizontal agar pengeluaran hasil pembakaran bisa secara kontinu adalah 60°. Dimensi utama rakitan kompor yang dihasilkan dalam ukuran tinggi, lebar, dan panjang adalah 420 mm × 448 mm × 448 mm. Kompor dapat beroperasi dengan pengeluaran arang hasil pembakaran secara kontinu tanpa mengganggu operasi dari kompor, sehingga kompor layak digunakan sebagai kompor memasak dalam rumah tangga. Parameter performansi kompor hasil pengujian mendidihkan air sebanyak 3 kg menunjukkan bahwa waktu strat-up kompor cukup yang singkat sebesar 23 detik, laju konsumsi bahan bakar 1,166 gr/det, konsumsi spesifik kompor sebesar 0,310 kgbb/kgbm, efisiensi termal sebesar 7,54%, dan daya yang digunakan untuk memasak 1106,6 W. Parameter performansi konsumsi spesifik menunjukkan kompor alamiah lebih boros, dan efisiensi termal yang cukup kecil menunjukkan besarnya kerugian panas secara konveksi yang terjadi pada kompor. Performansi kompor dapat diperbaiki dengan mendesain kembali bagian pelindung panas dan ruang pembakaran bahan bakar untuk mengurangi kerugian panas. Pembakaran yang lebih bersih dapat diperoleh dengan menambahkan sebuah steam injector ke dalam desain kompor.

**Kata Kunci:** Biomassa, kompor, gasifikasi, sekam.

## I. PENDAHULUAN

Krisis energi dunia yang berakibat pada melonjaknya harga bahan bakar minyak (BBM) hingga 200% pada pertengahan tahun 2005 berdampak pada biaya hidup yang semakin mahal. Masalah kemiskinan, degradasi lingkungan, dan ancaman krisis energi merupakan tugas utama yang perlu segera diselesaikan. Ancaman krisis energi hanya dapat dihadapi dengan memperkuat ketahanan energi nasional. Seperti

---

<sup>1)</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

yang tertuang dalam Peraturan Presiden No. 5 tahun 2006, pemerintah mencanangkan untuk memproduksi bahan bakar yang berasal dari berbagai sumber. Menurunnya proporsi minyak bumi dikompensasi dengan meningkatkan penggunaan batu bara dari 14,10% pada tahun 2003 menjadi 33% pada tahun 2025. Demikian pula dengan penggunaan sumber energi lain, termasuk biomassa, yang ditargetkan meningkat dari 0,20% pada tahun 2003 menjadi 7% pada tahun 2025 (BPS dalam Kurniawan dan Santoso, 2009).

Peningkatan penggunaan biomassa yang ditargetkan oleh Pemerintah pada tahun 2025 dapat dicapai melalui pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi. Pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi dapat diterapkan di daerah-daerah yang berpotensi memberikan kontribusi terhadap produk-produk biomassa limbah. Sulawesi Selatan sebagai salah satu daerah pertanian di Indonesia terdapat cukup banyak sumber energi yang belum termanfaatkan secara optimal dari salah satu biomassa limbah seperti sekam padi yang merupakan residu hasil pertanian. Produksi padi di Sulawesi Selatan pada tahun 2008 sekitar 3,87 juta ton gabah kering giling (BPS Provinsi Sulawesi Selatan, 2008). Dari proses penggilingan padi biasanya diperoleh sekam sekitar 20-30% dari bobot gabah kering (Handiki, 2001), sehingga terdapat sekitar 0,774–1,161 juta ton sekam padi di Sulawesi Selatan pada tahun tersebut dan akan terus meningkat pada tahun berikutnya. Sekam dengan jumlah yang tinggi tersebut dapat menimbulkan problem lingkungan jika tidak dimanfaatkan.

Penelitian tentang pemanfaatan sekam padi sebagai sumber energi beberapa telah dilakukan di Indonesia. Sebagian dari penelitian yang telah dilakukan tersebut memanfaatkan sekam padi sebagai sumber energi dengan membentuknya menjadi briket arang sekam melalui proses karbonisasi dan pemadatan seperti yang dilakukan oleh Handiki (2001). Tetapi, pemanfaatan sekam padi sebagai sumber energi, khususnya dalam rumah tangga belum banyak diterapkan oleh masyarakat. Alasannya, karena briket memerlukan proses tambahan yang membutuhkan biaya untuk pemanfaatannya. Penelitian lainnya dengan membakar langsung sekam padi melalui proses gasifikasi dengan menggunakan aliran udara paksa yang dihasilkan oleh *fan* seperti dilakukan Musa, dkk (2009). Pemanfaatan langsung sekam padi melalui proses gasifikasi dapat diterima oleh masyarakat, karena dengan cara tersebut dapat dihasilkan nyala api berwarna kebiru-biruan yang mirip gas propana atau LPG. Tetapi, kendala lain yang muncul dari masyarakat adalah karena kompor (*gasifier*) yang dihasilkan menggunakan *fan* yang membutuhkan listrik dalam pengoperasiannya, sehingga tidak dapat diterapkan di daerah-daerah yang belum teraliri listrik.

Pada daerah-daerah yang belum teraliri listrik, kompor dengan aliran udara alamiah, menjadi pertimbangan karena kompor seperti itu memberikan pilihan dan fleksibilitas yang memungkinkan penggunaanya dapat secara terus-menerus menggunakan biomassa secara langsung (Mukunda dkk, 2010) seperti sekam padi. Untuk dapat menghasilkan panas dan nyala yang bersih, kompor sekam padi dibuat sedemikian rupa sehingga terbentuk suatu aliran udara secara alamiah, yang

meningkatkan jumlah aliran oksigen melewati bahan bakar yang menyala. Bentuk kompor yang lebih sederhana menggunakan sejumlah kecil kayu atau sampah untuk membantu nyala api (Thorburn, 1982). Di samping diperoleh nyala api yang bersih, perbaikan nyala atau kualitas pembakaran di dalam kompor dapat dicapai dengan menginjeksikan uap ke dalam sekam padi yang terbakar (Belonio, 2010).

Umumnya semua residu halus memerlukan pencampuran bahan bakar dengan udara yang tepat. Dalam residu padat, udara tidak bisa mencapai bagian tengah tumpukan residu, pembaraan terjadi, bersama dengan banyak asap. Suatu cara harus dilakukan untuk membakar asap ini sebelum meninggalkan kompor. Jika residu terlalu menyebar, maka tidak praktis untuk membakarnya, tetapi pendekatan lain memungkinkan bahan bakar untuk mengalir ke bawah, bercampur dengan udara dalam perbandingan yang tepat. Karena itu, penelitian ini akan melihat penggunaan sekam padi dengan pembakaran langsung di dalam kompor aliran udara alamiah. Pemanfaatan langsung sekam padi secara lebih efisien dengan menggunakan kompor yang sesuai memungkinkan penggunaan sekam padi sebagai sumber energi memasak rumah tangga yang lebih aman, bersih dan murah.

Penelitian pemanfaatan sumber energi alternatif sekam padi di pedesaan ini bertujuan: (1) Mendesain kompor sekam padi dengan aliran udara pembakaran alamiah yang dapat dioperasikan secara kontinu dan menghasilkan pembakaran yang cukup bersih, dan (2) Menentukan performansi kompor dengan aliran udara pembakaran alamiah.

Kompor ini diharapkan dapat menjadi salah satu alternatif kompor sekam, dan sedikit banyak dapat memberikan jalan keluar dalam mengatasi permasalahan lingkungan Penerapan kompor sekam padi dengan aliran udara alamiah juga diharapkan dapat mengurangi kebergantungan masyarakat khususnya masyarakat desa terhadap bahan bakar minyak, dan secara bertahap tidak lagi menjadikan minyak tanah sebagai bahan bakar utama dalam memasak. Udara dapur menjadi lebih bersih jika digunakan untuk aktivitas memasak, karena asap dapur yang jauh lebih sedikit dibandingkan dengan pemakaian dapur tradisional, sehingga akan meningkatkan mutu kesehatan lingkungan di sekitar mereka.

## **A. Sekam Padi**

Sekam padi merupakan produk sampingan dari penggilingan padi. Sekam padi dihasilkan setelah dilewatkan melalui alat pemisah kulit (husker) dan dibuang ke luar penggilingan melalui aspirator. Jumlah sekam padi yang dihasilkan dalam penggilingan padi bergantung pada kapasitas instalasi penggilingan. Kapasitas instalasi penggilingan yang besar biasanya menghasilkan banyak sekam padi per jam. Sekam padi bisa utuh atau hancur, bergantung pada jenis husker yang digunakan. Untuk digunakan sebagai bahan bakar, sekam padi utuh lebih baik digunakan agar dicapai gasifikasi yang tepat.

Satu kilogram padi dapat menghasilkan sekitar 200 gram sekam padi. Ini adalah sekitar 20% dari bobot padi dan bisa bervariasi beberapa persen, bergantung pada jenis padi. Oleh karena itu, 1 ton padi per jam penggilingan padi mampu menghasilkan 200 kg sekam padi per jam. Untuk operasi panjang sehari-harian 10 jam, total 2 ton sekam padi dapat dihasilkan.

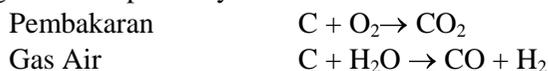
Beberapa laporan menunjukkan bahwa sekam padi yang meninggalkan penggilingan memiliki kandungan moisture 10 sampai 16% dan bisa bertambah sebesar 20% dalam kondisi lembab. Densitas curah sekam padi yang dipadatkan dan tidak dipadatkan sekitar 100 sampai 120 kg/m<sup>3</sup>. Kandungan energinya sekitar 3000 kkal/kg, jika dibakar secara sempurna, menghasilkan sekitar 15 sampai 21% abu yang hampir 90% adalah silika. Untuk membakar sekam padi secara sempurna, diperlukan 4,7 kg udara per kilogram sekam padi. Dengan membakarnya menggunakan hanya 30 sampai 40% atau rasio ekuivalensi 0,3 sampai 0,4 dari udara yang diperlukan untuk pembakaran akan menggasifikasi sekam padi, yang menghasilkan gas yang mudah terbakar berwarna kebiru-biruan. Gas yang dihasilkan dari kompor gasifikasi memiliki kandungan energi sekitar 3,4 sampai 4,8 MJ/m<sup>3</sup>. Setelah gasifikasi, persentase arang yang tersisa adalah sekitar 32% dari total volume sekam padi yang sebelumnya digunakan (Beagle, Juliano dalam Belonio, 2005).

## B. Prinsip Gasifikasi Sekam Padi

Gasifikasi sekam padi adalah proses pengubahan bahan bakar sekam padi menjadi karbon monoksida yang mudah terbakar melalui reaksi termokimia oksigen di dalam udara dan karbon yang tersedia di dalam bahan sekam selama pembakaran. Dalam pembakaran sempurna bahan bakar, prosesnya terjadi disertai udara lebih. Di sisi lain, dalam proses gasifikasi, prosesnya terjadi disertai karbon lebih. Untuk menggasifikasi sekam padi, sekitar 30 sampai 40% udara stoikiometrik (4,7 kg udara per kg sekam padi) diperlukan (Kaupp dalam Belonio, 2005).

Gasifikasi sekam padi dilakukan di dalam sebuah ruang yang tertutup dari udara, yang dikenal sebagai reaktor. Jumlah udara terbatas dimasukkan oleh sebuah fan ke dalam kolom bahan bakar untuk mengubah sekam padi menjadi arang yang kaya karbon agar melalui reaksi termokimia akan menghasilkan gas karbon monoksida, hidrogen, dan metana, yang mudah terbakar, jika dibakar. Gasifikasi dengan cara ini menggunakan aliran udara paksa yang disebabkan oleh sebuah fan. Gasifikasi juga dapat dilakukan dengan aliran udara alamiah tanpa menggunakan fan. Cara ini terjadi hampir di dalam semua kompor memasak domestik di seluruh dunia (Mukunda dkk, 2010).

Pada dasarnya, gas yang dihasilkan selama gasifikasi terdiri dari karbon monoksida, hidrogen, metana, karbon dioksida, dan uap air. Kimia gasifikasi dan reaksi gas selama prosesnya diilustrasikan di bawah ini.





Karbon monoksida, hidrogen, dan metana adalah gas yang mudah terbakar sementara karbon dioksida dan uap air tidak. Beberapa laporan menegaskan bahwa terdapat gas nitrogen dalam jumlah yang kecil selama gasifikasi sekam padi.

Tabel 1 memberikan persentase komposisi gas yang didapatkan oleh Kaupp untuk gasifier sekam padi pada temperatur gasifier 1000°C, rasio ekuivalensi 0,3 dan kandungan moisture bahan bakar sekam padi 10 sampai 40%. Seperti yang ditunjukkan, persentase komposisi CO bervariasi dari 15 sampai 26,1% sementara untuk H<sub>2</sub> bervariasi dari 20,6 sampai 21,2%. Semakin tinggi kandungan moisture sekam padi, semakin rendah persentase CO-nya, dan semakin tinggi persentase komposisi H<sub>2</sub>. Karena gasifier beroperasi pada temperatur yang sangat tinggi (1000°C), persentase gas metana yang tersedia selama gasifikasi adalah nol.

Tabel 1. Jenis dan persentase komposisi gas yang dihasilkan dari gasifier gasifikasi sekam padi pada temperatur 1000°C dan pada rasio ekuivalensi 0,3.

Gas	% Komposisi*
Karbon monoksida, CO	26,1 – 15,0
Hidrogen, H <sub>2</sub>	20,6 – 21,2
Metana, CH <sub>4</sub>	0
Karbon dioksida, CO <sub>2</sub>	6,6 – 10,3
Air, H <sub>2</sub> O	8,6 – 24,0

\*Kandungan moisture sekam padi 10 sampai 40%

Sumber: Belonio, 2005

Tabel 2. Komposisi dan gas yang dihasilkan dari gasifier sekam padi pada temperatur 1000°C dan pada kandungan moisture sekam padi 30%.

Gas	% Komposisi*
Karbon monoksida, CO	18,6 – 8,6
Hidrogen, H <sub>2</sub>	21,5 – 8,7
Metana, CH <sub>4</sub>	0
Karbon dioksida, CO <sub>2</sub>	9,5 – 12,6
Air, H <sub>2</sub> O	18,0 – 21,1

\*Rasio ekuivalensi 0,3 sampai 0,6

Sumber: Belonio, 2005

Di sisi lain, penambahan rasio ekuivalensi dari 0,3 ke 0,6 untuk kandungan moisture sekam padi 30% dan temperatur 1000°C, persentase gas bervariasi. Seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 2, persentase CO bervariasi dari 18,6 sampai 8,6% sementara untuk H<sub>2</sub> bervariasi dari 8,7 sampai 21,5%. Penambahan rasio ekuivalensi selama gasifikasi menurunkan persentase komposisi gas CO dan H<sub>2</sub>. Dengan demikian

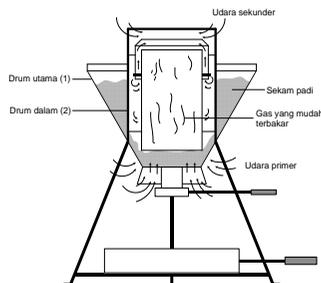
dapat disimpulkan bahwa dalam desain sebuah gasifier sekam padi, semakin rendah rasio ekuivalensi dan kandungan moisture bahan bakar sekam padi, semakin baik kualitas gas CO dan H<sub>2</sub> yang diperoleh. Metana (CH<sub>4</sub>) hanya dapat dicapai jika gasifier beroperasi pada temperatur yang lebih rendah sekitar 400 sampai 500°C (Belonio, 2005).

Penggunaan campuran uap dan udara sebagai medium gasifikasi telah diteliti oleh beberapa peneliti. Oksigen di dalam udara membantu menyediakan energi yang diperlukan karena sifat eksotermik dari biomassa yang terbakar. Temperatur yang tinggi membantu dalam proses devolatilisasi biomassa untuk menghasilkan berbagai gas. Uap bereaksi dengan karbon monoksida untuk menghasilkan hidrogen dan karbon dioksida. Reaksi perubahan gas yang utama di dalam sistem gasifikasi uap adalah reaksi perubahan gas air. Jika dibandingkan dengan gasifikasi udara, gasifikasi uap menghasilkan gas produser dengan kandungan energi yang lebih tinggi.

### C. Kompor Sekam Padi dengan Aliran Udara Alamiah

Kompor sekam dengan aliran udara alamiah membakar sekam padi dalam dua tahapan. Jika partikel sekam dipanasi, maka pertama-tama yang terbang uap air, yang jelas tidak terbakar. Jika temperatur sekam bertambah, zat-zat hidrokarbon dibuang dalam bentuk gas. Ini disebut pirolisis. Gas tersebut akan langsung terbakar, walaupun jika gas tidak terbakar sempurna, karena kekurangan oksigen, sebagian dari gas terkondensasi menjadi tetesan yang muncul sebagai asap putih. Gas kemudian bercampur dengan udara sekunder dan terbakar sempurna. Pembakaran dipisahkan waktu dan ruang pada pirolisis bahan bakar sekam, dan ini dipercaya menjadi salah satu faktor utama yang menghasilkan pembakaran yang bersih (Andreatta, 2007).

Setelah gas-gas hidrokarbon dibuang, yang tersisa disebut arang, yang mendekati karbon murni. Arang juga dapat dibakar, dicampur dengan oksigen membentuk karbon monoksida, yang terbakar membentuk karbon dioksida. Proses yang mengubah arang menjadi karbon monoksida secara tepat disebut menggasifikasi, karena berbeda dengan pirolisis. Kompor sekam dengan aliran udara alamiah mungkin lebih tepat disebut kompor gasifikasi karena menggasifikasi seluruh sekam padi.



Gambar 1. Kompor sekam padi dengan aliran udara alamiah

Ada beberapa cara untuk membakar sekam padi. Salah satunya adalah dengan membuat sekam padi bergerak melalui sebuah bentuk corong yang menyebabkan aliran yang lambat secara kontinu. Bentuk corong digunakan dengan tujuan agar kompor dapat dioperasikan secara kontinu seperti dalam Gambar 1. Bentuk corong memiliki kemiringan tertentu agar sekam padi dapat bergerak menuruni ruang pembakaran. Kemiringan bentuk corong ditentukan oleh sudut geming dari sekam padi. Daerah sudut geming sekam padi adalah 35 sampai 50° yang bergantung pada kandungan moisture. Oleh karena itu, bentuk corong dengan sudut dinding yang lebih curam diperlukan jika sekam harus mengalir secara gravitasi (IRRI, 2010).

Pengoperasian kompor sekam dengan aliran udara alamiah dilakukan dengan menuangkan sekam padi di antara drum utama (1) dan drum dalam (2). Sekam padi dinyalakan, dan pembakaran dapat diatur oleh pengguna. Proses pembakaran dapat dipadamkan setiap saat dengan mengangkat drum bagian dalam (2). Ketika sekam padi terbakar, berbagai gas dan uap yang disebut “asap” bergerak keluar dari bahan bakar sekam dan kemudian asap terbakar. Telah diketahui bahwa pembakaran sekam padi lebih bersih jika udara bercampur dengan baik dengan gas yang mudah terbakar saja, bukannya pembakaran yang terjadi di dalam zona ketika sekam padi masih ada (Anderson dkk, 2007). Karena itu, disediakan lubang-lubang untuk udara pembakaran primer dan sekunder yang diperlukan, agar gasifikasi sekam padi tercapai.

Efisiensi termal dan daya kompor ditentukan dengan menggunakan pengujian mendidihkan air. Efisiensi termal kompor dihitung dengan rumus berikut:

$$\eta = \frac{m_{w,i} c_{pw} (T_d - T_i) + m_{w,e} h_{fg}}{m_f \cdot HV} \quad (1)$$

dengan  $m_{w,i}$  = massa awal air di dalam panci memasak, kg

$c_{pw}$  = panas spesifik air, kJ/kg·K

$m_{w,e}$  = massa air yang diuapkan, kg

$T_d$  = temperatur air mendidih, °C

$T_i$  = temperatur awal air di dalam panci, °C

$h_{fg}$  = panas laten penguapan pada temperatur didih air, kJ/kg

$HV$  = nilai kalor bahan bakar

Di bawah ini beberapa parameter penting yang diperlukan untuk memperhitungkan output daya kompor.

Laju konsumsi bahan bakar,  $\dot{m}_f$ . Ini adalah jumlah bahan bakar sekam padi yang digunakan dalam pengoperasian kompor dibagi dengan waktu operasi. Ini dihitung dengan rumus,

$$\dot{m}_f = \frac{\text{Massa bahan bakar sekam padi yang digunakan (kg)}}{\text{Waktu operasi (jam)}} \quad (2)$$

Input daya,  $P_i$ . Ini adalah jumlah energi yang diberikan ke kompor berdasarkan jumlah bahan bakar yang dikonsumsi. Ini dihitung dengan menggunakan rumus,

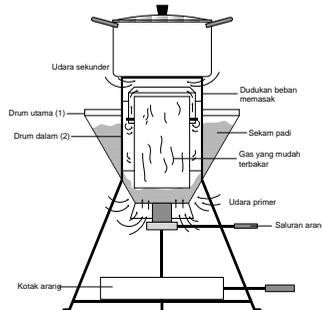
$$P_i = \dot{m}_f \cdot HV \quad (3)$$

Output daya,  $P_o$ . Ini adalah jumlah energi yang dibebaskan oleh kompor untuk memasak. Ini dihitung dengan menggunakan rumus,

$$P_o = \eta \cdot P_i \quad (4)$$

## II. METODE PENELITIAN

Kompor sekam padi dengan aliran udara alamiah terdiri dari bentuk corong (drum utama), drum dalam (*burner* dan kedudukan panci), saluran arang, dan penampung arang seperti yang diilustrasikan dalam Gambar 2. Drum utama berbentuk corong tempat memasukkan bahan bakar dan dibakar dengan jumlah udara terbatas.



Gambar 2. Instalasi pengujian kompor sekam padi

Sekam padi digunakan sebagai bahan bakar dalam melakukan percobaan untuk mengukur efisiensi termal kompor. Sekam padi dituangkan di antara drum utama dan drum bagian dalam. Sekam padi dinyalakan dari bagian atas drum bagian dalam atau melalui bagian bawah garangan (*grate*) dengan bantuan bahan yang mudah terbakar seperti sobekan kertas. Lapisan sekam padi yang telah terbakar dan menjadi arang jatuh ke bawah melalui garangan (*grate*) atau dengan membuka saluran arang, sekam yang belum terbakar bergerak menuruni drum utama secara gravitasi akibat kemiringannya. Sekam padi terbakar akan menyebabkan variasi temperatur di sekitar bagian kompor. Karena variasi temperatur yang disebabkan oleh pembakaran kompor, udara primer akan terisap memasuki *burner* secara alamiah melalui lubang-lubang yang telah disediakan pada bagian sisi drum utama dan bagian bawah drum bagian dalam. Gas yang mudah terbakar yang dihasilkan oleh pembakaran masih kekurangan oksigen untuk menghasilkan pembakaran sempurna. Pada bagian atas *burner* udara sekunder bergerak secara alamiah melalui bentuk celah di bagian atas burner dan celah terbuka pada bagian bawah beban memasak. Untuk kontinuitas pengoperasian, arang hasil pembakaran dikeluarkan secara kontinu dan bahan bakar dapat ditambahkan secara kontinu.

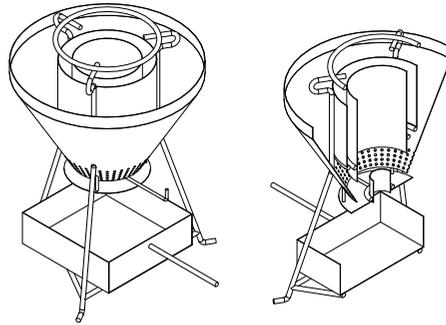
## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### **A. Rancang Bangun Kompor Alamiah**

Rancang bangun kompor sekam padi dengan aliran udara alamiah dalam penelitian ini dibuat berbentuk corong pada bagian utamanya. Bagian utama kompor adalah tempat memuat bahan bakar sekam padi yang didesain berbentuk corong, agar bahan bakar sekam padi dapat mengalir turun ke ruang pembakaran. Tempat memuat bahan bakar merupakan bagian terpenting pada kompor ini, sehingga untuk membuat operasi kompor berjalan secara kontinu, corong memiliki kemiringan tertentu agar sekam padi dapat bergerak menuruni ruang pembakaran. Kemiringan bentuk corong ditentukan oleh sudut geming dari sekam padi. Daerah sudut geming sekam padi adalah 35 sampai 50° yang bergantung pada kandungan moisture. Oleh karena itu, bentuk corong dengan sudut dinding yang lebih curam diperlukan jika sekam harus mengalir secara gravitasi (IRRI, 2010). Dengan demikian, kemiringan bentuk corong yang digunakan untuk bagian utama tempat memuat bahan bakar adalah sebesar 60° terhadap bidang horizontal.

Bagian terpenting lainnya dalam rancang bangun kompor sekam padi dengan udara alamiah ini adalah bagian pengeluaran bahan bakar yang telah terbakar. Bagian pengeluaran bahan bakar ini penting diperhatikan agar kompor dapat dioperasikan secara kontinu, bukan hanya untuk sekali muat bahan bakar melainkan juga dapat dimuat lebih lanjut jika jumlah bahan bakar di dalam corong bahan bakar mulai berkurang. Pengeluaran bahan bakar didesain memiliki komponen tuas penggeser bahan bakar untuk membuang bahan bakar yang telah terpakai ke kotak arang/abu. Tuas digerakkan secara memutar yang menyebabkan bahan bakar yang telah terbakar terbuang, dan ruang yang ditempati oleh bahan bakar yang telah dibuang sebelumnya, diisi oleh bahan bakar segar yang berada di atasnya oleh kemiringan corong dan akibat gravitasi. Tuas penggeser ini memudahkan pengeluaran bahan bakar yang telah terbakar dan dapat mempertahankan operasi kompor secara kontinu.

Udara pembakaran dengan aliran udara alamiah sulit dikontrol dan diprediksi jumlahnya untuk memenuhi kebutuhan udara pembakaran di dalam ruang bakar. Oleh sebab itu, pada bagian penting dari kompor yang telah disebutkan di atas, dibuat lubang-lubang di sekitar ruang pembakaran, agar udara dapat mengalir secara alamiah masuk ke dalam ruang pembakaran.



Gambar 3. Kompor sekam padi dengan aliran udara alamiah hasil rancang bangun

Komponen lainnya yang terdapat pada kompor dibuat untuk melengkapi fungsi dari kompor. Hasil rancang bangun kompor dalam penelitian ini menghasilkan kompor alamiah. Hasil rancang bangun kompor dalam penelitian ini ditunjukkan dalam Gambar 3. Dimensi utama tinggi, lebar dan panjang setelah kompor dirakit adalah 420 mm × 448 mm × 448 mm.

### B. Pengujian Kompor Alamiah

Rancang bangun dalam penelitian ini menghasilkan kompor dengan aliran udara pembakaran alamiah. Kompor diuji untuk mengetahui performansinya. Performansi kompor diukur dalam efisiensi termal, laju penggunaan bahan bakar, dan konsumsi spesifik. Pembakaran pada kompor diuji dengan mengamati secara visual api yang dihasilkan dari kompor. Pengujian dari kompor dilakukan dengan metode mendidihkan air. Pengujian kompor dilakukan sebanyak 10 kali agar variasi data yang diperoleh dapat diperkecil, lalu data tersebut dirata-ratakan.



Gambar 4. Pembakaran pada saat kompor dioperasikan

Sebelum melakukan pengujian untuk mendapatkan data performansi, pertama-tama diuji kelayakan pengoperasian kontinu dari kompor dan hasil pembakaran dengan mengamati nyala api secara visual. Pengujian kelayakan pengoperasian yang kontinu dilakukan untuk memastikan bahwa kompor hasil rancang bangun penelitian ini beroperasi sesuai fungsinya. Pembakaran yang terjadi dalam pengoperasian kompor menunjukkan pirolisis terjadi pada bagian bawah ruang bakar. Dengan terjadinya

pirolisis pada pembakaran berarti gasifikasi terjadi karena oksigen yang digunakan dalam pembakaran tidak cukup untuk menghasilkan pembakaran sempurna. Sebagai indikasi bahwa pirolisis terjadi dalam pengujian kompor, hasil pembakaran yang dihasilkan berupa arang sekam padi dan bukan abu sekam. Pengamatan nyala api secara visual yang dilakukan untuk melihat hasil pembakaran yang terjadi pada kompor menunjukkan bahwa pembakaran terjadi pada kompor hasil rancang bangun ini cukup bersih dan hampir tidak menghasilkan asap. Gambar 4 menunjukkan pembakaran pada kompor saat dioperasikan. Dalam gambar tersebut dapat dilihat bahwa api masih berwarna kuning bercampur merah dan hampir tidak tampak asap dari nyala api. Warna api yang masih berwarna kuning bercampur merah tidak berarti pembakaran yang terjadi pada kompor tidak baik, tetapi udara pembakaran sekunder yang diperoleh dengan hanya mengandalkan aliran udara alamiah tidak cukup memperoleh pasokan untuk membuat nyala api kompor berwarna kebiru-biruan untuk pembakaran sempurna sebagaimana yang menjadi indikasi secara umum pembakaran yang lebih baik. Tetapi, walaupun demikian hasil pengujian dengan nyala api yang ditunjukkan dalam gambar di atas sudah cukup baik dan bersih, karena asap yang keluar dari nyala api hampir tidak terlihat. Dengan demikian, desain kompor yang dibuat telah memenuhi fungsinya sebagai kompor yang baik dan dapat dioperasikan secara kontinu.

Data dari hasil pengujian dengan metode mendidihkan air digunakan untuk mendapatkan efisiensi termal, laju penggunaan bahan bakar, dan konsumsi spesifik sebagai ukuran performansi kompor. Untuk mendapatkan hasil rata-rata dari variabel performansi, pertama-tama data hasil percobaan dihitung. Perhitungan untuk mendapatkan laju penggunaan bahan bakar diperoleh dengan persamaan berikut:

$$\dot{m}_f = \frac{m_f}{\Delta t}$$

dengan,  $\dot{m}_f$  = laju konsumsi bahan bakar (kg/det)

$m_f$  = massa bahan bakar (kg)

$\Delta t$  = waktu operasi/interval waktu untuk mendidihkan air (detik)

Efisiensi termal kompor dihitung dengan menggunakan persamaan,

$$\eta = \frac{m_{w,i} c_{pw} (T_d - T_i) + m_{w,e} h_{fg}}{m_f \cdot HV}$$

dengan  $m_{w,i}$  = massa awal air di dalam panci memasak, kg

$c_{pw}$  = panas spesifik air, kJ/kg·K (4,186 kJ/kg·K)

$m_{w,e}$  = massa air yang diuapkan, kg

$T_d$  = temperatur air mendidih, °C

$T_i$  = temperatur awal air di dalam panci, °C

$h_{fg}$  = panas laten penguapan pada temperatur didih air, kJ/kg

$HV$  = nilai kalor bahan bakar sekam padi, kJ/kg

Konsumsi spesifik dihitung dengan persamaan,

$$SC = \frac{m_f}{m_w}$$

dengan,  $SC$  = konsumsi spesifik ( $\text{kg}_{\text{bb}}/\text{kg}_{\text{bm}}$ )

$m_f$  = massa bahan bakar (kg)

$m_w$  = massa bahan makanan (air) (kg)

Input daya,  $P_i$ . Ini adalah jumlah energi yang diberikan ke kompor berdasarkan jumlah bahan bakar yang dikonsumsi. Ini dihitung dengan menggunakan rumus,

$$P_i = \dot{m}_f \cdot HV$$

Output daya,  $P_o$ . Ini adalah jumlah energi yang dibebaskan oleh kompor untuk memasak. Ini dihitung dengan menggunakan rumus,

$$P_o = \eta \cdot P_i$$

Tabel 3. Hasil pengujian dan perhitungan parameter performansi kompor

	PERCOBAAN									
	I		II		III		IV		V	
	$T$ (°C)	$t$ (detik)								
31	0	31	0	30	0	29	0	29	0	
35	79	35	67	35	80	35	74	35	84	
40	118	40	190	40	127	40	153	40	188	
45	160	45	210	45	196	45	213	45	270	
50	194	50	265	50	206	50	258	50	324	
55	244	55	329	55	229	55	311	55	386	
60	291	60	373	60	267	60	358	60	449	
65	345	65	444	65	309	65	415	65	502	
70	415	70	529	70	369	70	487	70	578	
75	473	75	591	75	385	75	574	75	628	
80	533	80	651	80	452	80	608	80	704	
85	645	85	703	85	475	85	676	85	767	
90	785	90	823	90	529	90	731	90	816	
95	867	95	943	95	587	95	791	95	866	
100	896	100	972	100	626	100	827	100	940	
$t_s$ (detik)	28		27		18		20		36	
$m_f$ (gr)	1128		957		856		939		976	
$m_w$ (gr)	3000		3000		3000		3000		3000	
$\dot{m}_f$ (gr/det)	1.259		0.985		1.367		1.135		1.038	
$SC$ ( $\text{kg}_{\text{bb}}/\text{kg}_{\text{bm}}$ )	0.376		0.319		0.285		0.313		0.325	
$P_i$ (W)	15809.6		12364.2		17172.0		14258.7		13038.9	
$\eta$ (%)	6.12		7.21		8.18		7.56		7.27	
$P_o$ (W)	967.1		891.5		1404.2		1078.1		948.5	

Lanjutan Tabel 3...

	PERCOBAAN									
	VI		VII		VIII		IX		X	
	$T$ (°C)	$t$ (detik)								
30	0	30	0	30	0	30	0	30	0	
35	66	35	81	35	80	35	73	35	75	
40	160	40	129	40	137	40	113	40	114	
45	222	45	173	45	170	45	203	45	208	
50	283	50	208	50	213	50	236	50	240	
55	402	55	261	55	253	55	256	55	260	
60	414	60	317	60	310	60	306	60	319	
65	465	65	345	65	312	65	356	65	373	
70	534	70	383	70	410	70	405	70	411	
75	601	75	428	75	464	75	457	75	450	
80	686	80	453	80	504	80	485	80	474	
85	772	85	521	85	575	85	526	85	517	
90	875	90	588	90	633	90	568	90	553	
95	942	95	596	95	702	95	625	95	618	
100	995	100	705	100	743	100	679	100	670	
$t_s$ (detik)	26	17	17	17	17	17	17	17	20	
$m_f$ (gr)	1148	794	877	877	877	811	811	811	819	
$m_w$ (gr)	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	
$\dot{m}_f$ (gr/det)	1.154	1.126	1.180	1.180	1.180	1.194	1.194	1.194	1.222	
$SC$ (kg <sub>bb</sub> /kg <sub>bm</sub> )	0.383	0.265	0.292	0.292	0.292	0.270	0.270	0.270	0.273	
$P_i$ (W)	14489.0	14143.3	14822.8	14822.8	14822.8	14999.3	14999.3	14999.3	15350.7	
$\eta$ (%)	6.10	8.56	7.75	7.75	7.75	8.38	8.38	8.38	8.30	
$P_o$ (W)	883.5	1211.3	1149.3	1149.3	1149.3	1257.6	1257.6	1257.6	1274.5	

Keterangan:

$t_s$  = waktu start-up

$m_f$  = massa bahan bakar

$m_w$  = massa bahan makanan/air

$\dot{m}_f$  = laju konsumsi bahan bakar

$SC$  = konsumsi spesifik

$\eta$  = efisiensi termal kompor

$P_i$  = input daya kompor (W)

$P_o$  = output daya kompor (W)

Panas spesifik air rata-rata,  $c_{pw} = 4,186$  kJ/kg

Nilai kalor bahan bakar sekam padi,  $HV = 3000$  kkal/kg (Belonio, 2005)

Data hasil pengujian kompor sekam padi dengan aliran udara alamiah ini diberikan dalam Tabel 3. Sebagai contoh perhitungan untuk mendapatkan laju konsumsi bahan bakar, efisiensi termal kompor dan konsumsi spesifik, digunakan data Percobaan II dari lampiran berikut ini:

- Waktu *start-up*,  $t_s = 27$  detik
- Temperatur awal air,  $T_i = 31^\circ\text{C}$
- Temperatur air mendidih,  $T_d = 100^\circ\text{C}$
- Massa air yang dididihkan,  $m_w = 3000$  gr
- Waktu untuk mendidihkan air,  $\Delta t = 972$  detik
- Massa bahan bakar sekam padi yang digunakan,  $m_f = 957$  gr
- Panas spesifik air,  $c_{pw} = 4,186$  kJ/kg·K
- Nilai kalor bahan bakar sekam padi,  $HV = 3000$  kkal/kg (Belonio, 2005) atau  $HV = 12558$  kJ/kg (konversi 1 kkal = 4,186 kJ).

Laju konsumsi bahan bakar diperoleh,

$$\dot{m}_f = \frac{m_f}{\Delta t} = \frac{957 \text{ gr}}{972 \text{ det}} = 0,985 \text{ gr/det}$$

Konsumsi spesifik diperoleh,

$$SC = \frac{m_f}{m_w} = \frac{957 \text{ gr}}{3000 \text{ gr}} = 0,319 \text{ gr}_{\text{bb}}/\text{gr}_{\text{bm}} (= 0,319 \text{ kg}_{\text{bb}}/\text{kg}_{\text{bm}})$$

Efisiensi termal kompor,

$$\eta = \frac{m_w \cdot c_{pw} (T_d - T_i) + m_w \cdot e \cdot h_{fg}}{m_f \cdot HV}$$

$$\eta = \frac{3 \text{ kg} \cdot 4,186 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \cdot (100 - 31)^\circ\text{C}}{0,957 \text{ kg} \cdot 12588 \text{ kJ/kg}} = 0,0721$$

$$\eta = 0,0721 \times 100\% = 7,21\%$$

Input daya,

$$P_i = \dot{m}_f \cdot HV$$

$$P_i = 0,985 \text{ gr/det} \cdot 12558 \text{ kJ/kg} \left| \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} \right| \left| \frac{1000 \text{ J}}{\text{kJ}} \right| = 12364,2 \text{ W}$$

Output daya,

$$P_o = \eta \cdot P_i$$

$$P_o = 0,0721 \cdot 12364,2 \text{ W} = 891,5 \text{ W}$$

Hasil parameter performansi yang telah dihitung dengan cara di atas, kemudian dirata-ratakan dalam tabel berikut:

Tabel 4. Parameter performansi rata-rata kompor sekam padi dengan udara alamiah.

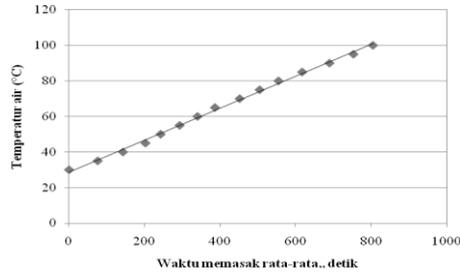
Parameter performansi kompor	Nilai
Waktu <i>start-up</i> , $t_s$ (detik)	22,6
Laju konsumsi bahan bakar, $\dot{m}_f$ (gr/det)	1,166

135 *Apollo, Muhammad Nuzul, La Ode Musa, Herman Nauwir, Rancang Bangun Kompos Gas Berbahan Bakar Sekam Padi Sistem Kontinu dengan Menggunakan Udara Pembakaran Alamiah*

Konsumsi spesifik, $SC(kg_{bb}/kg_{bm})$	0,310
Input daya, $P_i$ (W)	14644,9
Efisiensi termal, $\eta$ (%)	7,54
Output daya, $P_o$ (W)	1106,6

Hasil dalam Tabel 4 menunjukkan bahwa waktu *start-up* yaitu waktu yang diperlukan untuk memicu pembakaran sampai kompor siap dibebani, cukup singkat. Waktu *start-up* rata-rata yang diperlukan hanya 23 detik, yang menunjukkan bahwa kompor sangat mudah dinyalakan dalam penggunaannya. Sementara laju konsumsi bahan bakar adalah 1,166 gr/det (= 4,2 kg/jam) merupakan nilai yang cukup besar. Tetapi, menilai kompor hanya dari laju konsumsi bahan bakarnya adalah kurang tepat. Parameter lainnya yang digunakan untuk menilai kompor yang tepat adalah konsumsi spesifik. Konsumsi spesifik rata-rata dari kompor adalah 0,31  $kg_{bb}/kg_{bm}$ . Nilai konsumsi spesifik menunjukkan bahwa untuk memasak makanan sebanyak 1 kg diperlukan bahan bakar sekam padi sebanyak 0,31 kg. Kompor ini belum dapat disebut boros atau hemat bahan bakar dalam memasak, karena data pembandingan konsumsi spesifik belum ada.

Parameter performansi lainnya yang penting dari kompor adalah efisiensi termal kompor. Efisiensi termal rata-rata kompor alamiah dari hasil pengujian adalah 7,54%. Nilai ini menunjukkan pemanfaatan energi bahan bakar sekam ke beban memasak hanya sebesar 7,54%. Nilai yang cukup rendah ini dipengaruhi oleh faktor memasak. Kompor yang digunakan untuk memasak, jika digunakan di daerah terbuka dan tertutup dapat mempengaruhi efisiensi termal. Percobaan kompor dilakukan di daerah terbuka dengan kecepatan angin yang cukup besar. Kecepatan angin yang cukup besar menyebabkan kerugian panas yang tinggi. Kerugian panas terbesar hilang secara konveksi, yang menyebabkan efisiensi termal kompor jatuh. Hal itu dapat dilihat dari perubahan temperatur beban memasak naik cukup lambat. Perubahan temperatur beban memasak terhadap waktu rata-rata memasak pengujian ini dalam Gambar 5 terlihat lebih landai. Bentuk grafik yang lebih landai tersebut menunjukkan bahwa waktu yang diperlukan untuk menaikkan temperatur air lebih besar, yang menunjukkan secara tidak langsung bahwa laju panas yang diterima oleh beban kecil. Kenyataan ini didukung oleh parameter kompor lainnya, yaitu daya output rata-rata yang diterima oleh beban memasak sebesar 1106,6 W dari daya input rata-ratanya 14644,9 W atau yang hilang secara konveksi 92%. Oleh sebab itu, kompor ini tampak kurang efisien dan memerlukan perbaikan dalam desain untuk meningkatkan efisiensi termalnya.



Gambar 5. Grafik perubahan temperatur air terhadap waktu rata-rata memasak.

Perbandingan performansi kompor alamiah hasil rancang bangun (kode \*) dengan kompor sekam padi dengan udara alamiah lainnya ditunjukkan dalam Tabel 5. Sumber data dengan kode *b* dalam tabel tersebut adalah kompor sekam padi dengan udara alamiah komersial yang diteliti oleh Belonio (2006). Sementara sumber dengan kode *a* adalah kompor sekam padi dengan udara alamiah yang diteliti oleh Aprovecho Research Center (2005). Perbandingan parameter performansi menunjukkan bahwa efisiensi termal kompor terbaik adalah 26% (sumber *a*). Kompor sekam padi alamiah hasil rancang bangun tampak memiliki efisiensi termal jauh di bawah kompor lainnya. Demikian pula konsumsi spesifik kompor alamiah hasil rancang bangun ini lebih besar, yang berarti boros penggunaan bahan bakar. Kedua parameter performansi konsumsi spesifik dan efisiensi termal menunjukkan bahwa hasil rancang bangun kurang efisien dan boros bahan bakar. Indikasi ini telah diuraikan sebelumnya.

Tabel 5. Perbandingan performansi kompor sekam padi dengan udara alamiah.

Parameter performansi kompor	Nilai	Sumber
Laju konsumsi bahan bakar, $\dot{m}_f$ (kg/jam)	4,2	*
	-	a
Konsumsi spesifik, $SC(g_{rbb}/l_{tr_{bm}})$	32,4	b
	310	*
Efisiensi termal, $\eta$ (%)	85,2	a
	-	b
Output daya, $P_o$ (W)	7,54	*
	26	a
Output daya, $P_o$ (W)	21	b
	1106,6	*
	2879	a
	-	b

\*Kompor sekam padi dengan aliran udara alamiah hasil rancang bangun.

<sup>a</sup>Aprovecho Research Center. 2005

<sup>b</sup>Belonio, 2006.

Dengan demikian, untuk mencapai performansi yang lebih baik, kompor memerlukan perbaikan. Perbaikan dilakukan pada desain pelindung panas dan ruang pembakaran kompor, dengan tujuan meminimalisasi kerugian panas dan meningkatkan penyerapan panas ke beban, sehingga efisiensi termal kompor dan konsumsi spesifik kompor bisa menjadi lebih baik.

## IV. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Rancang bangun kompor sekam padi dengan udara alamiah dan pengujiannya telah dilakukan. Hasil rancang bangun dan pengujian performansi yang telah dilakukan disimpulkan sebagai berikut:

1. Kemiringan corong bahan bakar terhadap bidang horizontal sebagai dasar rancang bangun kompor alamiah ini agar dapat beroperasi secara kontinu adalah  $60^\circ$ . Dimensi utama rakitan kompor yang dihasilkan dalam ukuran tinggi, lebar, dan panjang adalah  $420 \text{ mm} \times 448 \text{ mm} \times 448 \text{ mm}$ . Kompor dapat beroperasi dengan pengeluaran arang hasil pembakaran secara kontinu tanpa mengganggu operasi dari kompor, sehingga kompor layak digunakan sebagai kompor memasak dalam rumah tangga.
2. Parameter performansi kompor yang diperoleh dari hasil pengujian mendidihkan air sebanyak 3 kg menunjukkan bahwa waktu *strat-up* kompor cukup yang singkat sebesar 23 detik, laju konsumsi bahan bakar 1,166 gr/det, konsumsi spesifik kompor sebesar  $0,310 \text{ kg}_{\text{bb}}/\text{kg}_{\text{bm}}$ , efisiensi termal sebesar 7,54%, dan daya yang digunakan untuk memasak 1106,6 W. Parameter performansi konsumsi spesifik menunjukkan kompor alamiah lebih boros, dan efisiensi termal yang cukup kecil menunjukkan besarnya kerugian panas secara konveksi yang terjadi pada kompor.

### B. Saran-Saran

Performansi untuk desain kompor sekam padi dengan aliran udara alamiah yang baik dalam kenyataannya agak sulit didapatkan. Faktor yang paling menentukan untuk mendapatkan performansi yang baik adalah bentuk dari kompor. Walaupun, kompor dalam penelitian ini telah didesain dengan baik, tetapi dari sisi performansi masih terlihat kekurangan dalam desainnya. Oleh sebab itu, saran-saran yang perlu diperhatikan untuk pengoperasian dan penelitian berikutnya adalah sebagai berikut:

1. Hindari memasak di daerah terbuka dengan kecepatan angin yang cukup besar. Ruang tertutup dengan aliran udara alamiah yang cukup baik adalah tempat memasak yang sangat ideal untuk kompor ini.
2. Untuk memperbaiki performansi kompor, bagian pelindung panas dan ruang pembakaran bahan bakar perlu perbaikan untuk mengurangi kerugian panas.
3. Pembakaran yang lebih bersih dapat diperoleh dengan menambahkan *steaminjector* ke dalam desain kompor.

Saran lainnya yang tidak menjadi saran utama adalah penggunaan bahan pelat yang lebih tebal dalam pembuatan kompor dan perbaikan dalam metode produksinya.

## V. DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, Paul S. dkk. 2007. “*Micro-Gasification: What it is and why it works*”, Boiling point, No. 53, 2007, pp 35 – 37.
- Andreatta, Dale. 2007. “*A Report on Some Experiments with the Top-Lit Up Draft (TLUD) Stove*”, Presented at the ETHOS 2007 Conference, Kirkland, Washington, January 27, 2007.
- Aprovecho Research Center. 2005. Stove Performance Report, Mayon Rice Hull Stove. Hazelton Rd. Cottage Grove.
- 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.
- Belonio, Alexis T. 2006. *RiceHuskQuasi Gasifier Stove With Center-In Steam Injector For Small-Scale Processing Industry*. Philippines: Central Philippine University Iloilo City.
- BPS Provinsi Sulawesi Selatan. 2008. “*Produksi Padi, Jagung dan Kedelai di Provinsi Sulawesi Selatan (Angka Tetap 2006-2007 dan Angka Ramalan II 2008)*”, Berita Resmi Statistik Provinsi Sulawesi Selatan No. 29/07/73/Th. I, 1 Juli 2008.
- Handiki, Tri Guna. 2001. “*Sekam Padi Sebagai Sumber Energi Alternatif dalam Rumah Tangga Petani*”. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian.
- IRRI. 2010. “*Properties of Rice Husk and Rice Straw*”, <http://www.knowledgebank.irri.org/rkb/index.php/rice-milling/contributions-and-references-milling/further-information-byproducts/husk-and-straw-properties>. [11 November 2010]
- Kurniawan, Yahya, dan Santoso, H. 2009. “*Listrik sebagai Ko-Produk Potensial Pabrik Gula*”, Jurnal Litbang Pertanian, 28(1). Hal. 23 – 28.

139 Apollo, Muhammad Nuzul, La Ode Musa, Herman Nauwir, *Rancang Bangun Kompos Gas Berbahan Bakar Sekam Padi Sistem Kontinu dengan Menggunakan Udara Pembakaran Alamiah*

Mukunda, H. S. dkk. 2010. “*Gasifier stoves—science, technology and field outreach*”, *Current Science*, Vol. 98, No. 5, pp 627 – 638.

Musa, La Ode .dkk. 2009. “ Rancang Bangun Kompor Gas Berbahan Bakar Sekam Padi Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Thorburn, Craig. 1982. *Rice Husk as a Fuel*. Bandung: PT Tekton Books