

UJI KINERJA KOMPOR MINYAK NABATI TIPE TEKAN (PROTOS 2)
Performance Test of Plant Oil Pressurized Cooking Stove (PROTOS 2)

Oleh :

Bambang Prastowo¹, Sri Mulato², Abi Dwi Hastomo³, Elita R. Widjaya⁴

- 1) Peneliti Utama pada Pusat Penelitian Perkebunan, Bogor
- 2) Peneliti Utama pada Pusat Penelitian Kopi dan Kakao, Jember
- 3) Peneliti Madya pada Balai Penelitian Tembakau dan Tanaman Serat, Malang
- 4) Perekayasa Muda pada Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian, Serpong

ABSTRAK

Uji kinerja kompor tekan kapasitas 2,5 kW berbahan bakar minyak nabati telah dilakukan. Kompor ini diuji dengan bahan bakar minyak jarak mentah (CJO) dan minyak sawit mentah (CPO). Rata-rata efisiensi panas kompor dengan bahan bakar CJO dan CPO berturut-turut 45,5% dan 49,7%. Nilai efisiensi ini lebih tinggi dari kompor minyak tanah tipe sumbu (38%), tetapi sedikit lebih rendah dari kompor LPG (55%). Rata-rata konsumsi CJO adalah 223 g/jam, sedangkan CPO 249 g/jam. Residu spesifik CJO pada vaporizer bervariasi antara 7,5-9,9 mg/g, sedangkan residu spesifik CPO bervariasi antara 8,6-11,5 mg/g.

ABSTRACT

Testing of the performance of a 2,5 kW plant oil pressurized stove was conducted. The stove was fueled with crude jatropha curcas oil (CJO) and crude palm oil (CPO). The performance studied was thermal efficiency, oil consumption and specific oil residue. The average thermal efficiencies of the stove fueled with CJO and CPO were 45,5% and 49,7% respectively. The thermal efficiency of the plant oil stove is higher than kerosene wick stove (38%) but it is still lower than LPG stove (55%). Average crude jatropha oil consumption was 223 g/h and crude palm oil was 249 g/h. The specific oil residue of CJO in vaporizer was varied from 7,5 to 9,9 mg/g oil, while the residue of CPO was 8,6-11,5 mg/g oil.

1. Pendahuluan

Biomassa merupakan sumber energi utama di wilayah pedesaan digunakan untuk memasak dan sumber energi industri kecil pedesaan. Nuryanti dan Herdinie (2007) mengidentifikasikan bahwa 57% konsumsi bahan bakar rumah tangga di Indonesia masih berasal dari kayu bakar, terutama di wilayah pedesaan penggunaan kayu bakar bisa mencapai 90%. Secara umum, tungku pembakaran yang digunakan saat ini, mempunyai efisiensi yang rendah (Bhattacharya & Abdul Salam, 2002; Gupta dkk, 1997; Panwar &

Rathore, 2008). Efisiensi pembakaran yang rendah, menghasilkan polutan yang berbahaya bagi kesehatan dan emisi gas rumah kaca seperti karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (N₂O), metana (CH₄) dan lain-lain.

Sumber energi rumah tangga kedua setelah kayu bakar adalah energi komersial. Peningkatan pendapatan rumah tangga di Indonesia menyebabkan konsumsi energi rumah tangga beralih ke energi komersial. Akibatnya terjadi peningkatan penggunaan yang cukup signifikan dalam kurun waktu 10 tahun terakhir rata-rata sebesar 3.3%/tahun (Nuryanti dan Herdinie, 2007). Kenaikan konsumsi minyak tanah sebesar 14% puncaknya terjadi pada kurun waktu 1999-2004, dari 8,5 milyar liter menjadi 11,846 milyar liter. Walaupun pada tahun-tahun berikutnya terjadi penurunan 10% menjadi sekitar 10 milyar liter, namun subsidi pemerintah khusus minyak tanah masih mencapai sekitar 34,51 triliun rupiah (Ditjen LPE, 2006).

Upaya penghematan APBN untuk subsidi minyak tanah dilakukan dengan cara konversi minyak tanah ke LPG untuk konsumsi rumah tangga. Dari sisi *resource* (cadangan), sebenarnya gas Indonesia memang masih cukup besar (sekitar 185 TSCF/*triliun standar cubic feet*). Namun, sudah terjual untuk memenuhi kontrak. Hal ini menyebabkan kekurangan guna penyediaan domestik. Di samping itu Indonesia sebagai negara kepulauan menyebabkan kesulitan dalam sistem distribusi. Walaupun lebih ramah lingkungan, gas bumi juga merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui. Dengan demikian masih dibutuhkan introduksi energi alternatif bagi keperluan rumah tangga, terutama dengan meningkatkan efisiensi tungku untuk memasak dengan bahan bakar yang dapat diperbaharui dan ramah lingkungan.

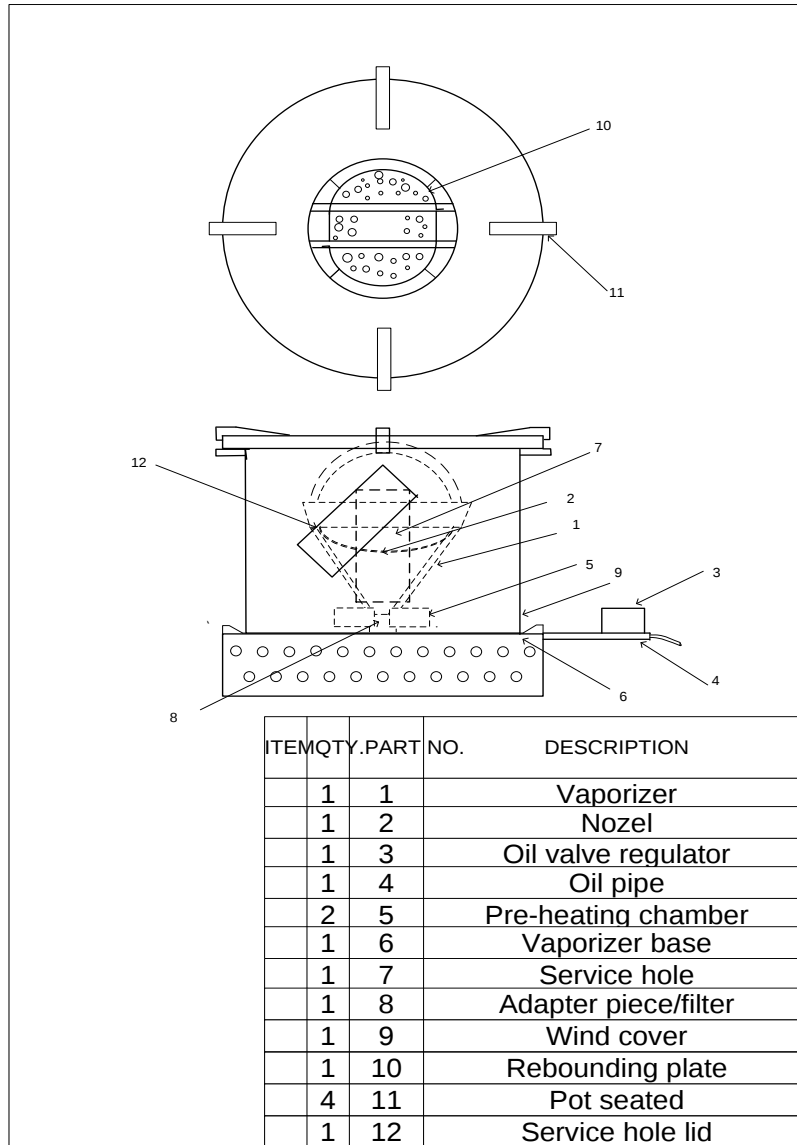
Beberapa macam kompor berbahan bakar alternatif dimunculkan setelah terjadinya krisis harga minyak bumi. Khusus untuk penggunaan minyak nabati, kompor bertekanan rancangan Universitas Hohenheim Jerman memiliki prinsip rancangan, membuat minyak terevaporasi lebih dahulu, kemudian keluar dari nozzle dan terbakar (Stumpf dan Muhlbauer, 2002). Dengan demikian, efisiensi pembakarannya lebih baik. Meningkatnya efisiensi akan menghasilkan emisi pembakaran yang menurun. Kompor tekan BBN tersebut kemudian dipabrikan oleh BSH-German, dan diberi nama kompor PROTOS. Uji adaptasi kompor PROTOS tersebut kemudian dilakukan di beberapa negara potensial penghasil BBN, termasuk Indonesia. Tulisan ini memaparkan hasil uji kinerja kompor PROTOS dalam rangka uji adaptasi dengan menggunakan bahan bakar nabati potensial yang terdapat di Indonesia.

2. Bahan dan Metode

2.1. Bahan

2.1.1. Kompor minyak nabati

Kompor Protos terdiri dari pengatur aliran minyak, rangka, cawan pemanas awal dan inovasi pada burner (Gambar 1). Kelengkapan kompor adalah tabung minyak bertekanan dan pompa untuk mengatur tekanan pada tabung. Prinsip kerjanya adalah sebagai berikut, tangki diisi dengan minyak, kemudian burner dipanaskan terlebih dahulu (*pre-heated*) dengan menggunakan alcohol/spirtus. Tangki diberi tekanan, sehingga minyak dapat naik ke *vaporizer*, dimana pemanasan pada *vaporizer* merubah minyak menjadi gas. Gas tersebut kemudian keluar lewat nozzle, bercampur dengan udara sekitar area pembakaran, menghasilkan api pembakaran yang bersih.



Gambar 1. Bagian-bagian Kompor Protos 2

2.2.2. Bahan bakar minyak nabati

Bahan bakar nabati yang digunakan pada pengujian ini adalah minyak jarak pagar mentah (*crude jatropha curcas oil*) dan minyak sawit mentah (*crude palm oil*). Uji karakteristik minyak sebagian dilakukan di Balai Pasca Panen, Bogor. Komposisi dan karakteristik kedua jenis minyak ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi dan karakteristik minyak jarak dan minyak sawit

Parameter	Minyak Jarak pagar mentah	Minyak Sawit mentah	Metode Pengujian
1. Densitas (g/cm ³)	0,914	0,900	Gravimetri
2. Nilai kalor (MJ/kg)	39,63	39,58	Perhitungan
3. Titik cair (°C)	-3	5	Referensi (muhlbaeur 1998)
4. Titik Bakar (°C)	240	215	Referensi (muhlbaeur 1998)
5. Viskositas pada 40°C (mm ² /s)	32,70	38,60	Rheometri
6. Bilangan Iodine (g/100 g)	99	57	Titrasi
7. Bilangan Asam (mg KOH/g)	0,420	4,004	Titrasi
8. Magnesium (mg/kg)	0,6	1	AAS
9. Kalsium (mg/kg)	2,0	11,9	AAS
10. Phospor (mg/kg)	1,3	6,76	AAS
11. Residu karbon (%)	0,32	0,31	Spektro
12. Kadar air (%)	0,62	1,9	Gravimetri

2.2. Metode

2.2.1. Uji efisiensi kompor

Uji performansi kompor dilakukan dengan menggunakan metode pendidihan air (*water boilling test*) untuk mengetahui efisiensi panas kompor (*thermal eficiency*) yang digunakan untuk mendidihkan air (Bailis et al, 2007). Empat liter air didihkan pada panci alumunium berukuran 5 liter. Pengamatan suhu air dilakukan dengan menggunakan thermocouple tipe-K yang diletakkan pada bagian tengah air. Ulangan percobaan dilakukan 5 kali. Pengujian dilakukan di laboratorium energi, Pusat Penelitian Perkebunan Bogor pada bulan Mei-Agustus 2008. Efisiensi kompor dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{m_{wi} C_{pw} (T_e - T_i) + m_{w, \text{evap}} H_l}{m_f H_f} \dots\dots\dots 1$$

di mana : η = efisiensi

m_{wi} = masa air awal (kg)

C_{pw} = panasspesifik air (kJ.kg⁻¹K)

T_e = suhu air mendidih (K)

T_i = suhu awal air (K)

$m_{w, \text{evap}}$ = masa air yang menguap (kg)

H_l = Panas latent penguapan (kJ.kg⁻¹)

m_f = massa bahan bakar yang digunakan (kg)

H_f = nilai kalor bahan bakar (kJ.kg⁻¹)

2.2.2. Konsumsi bahan bakar

Konsumsi bahan bakar diukur dengan cara tangki minyak disimpan di atas timbangan digital selama kompor dinyalakan. Konsumsi bahan bakar dihitung berdasarkan selisih berat tangki sebelum dan sesudah penyalaan.

2.2.3. Residu pembakaran spesifik

Tidak seperti kompor tekan dengan bahan bakar minyak tanah, salah satu kelemahan yang diduga akan muncul pada penggunaan BBN untuk kompor tekan adalah residu hasil pembakaran yang sering menempel pada bagian dalam pipa *vaporizer* dan menyumbat lubang nozelnya. Jika tidak dibersihkan, sisa pembakaran tersebut akan menutup aliran minyak dan mengganggu proses pembakarannya.

Pengujian frekuensi pembersihan *vaporizer* dilakukan dengan cara simulasi penggunaan kompor pada keadaan sebenarnya. Hasil penelitian sebelumnya (Prastowo dkk, 2006) memperlihatkan bahwa pada umumnya waktu memasak rata-rata dilakukan satu jam, baik untuk menyiapkan makan pagi, siang atau malam. Dengan demikian, pada pengujian ini dilakukan penyalaan kompor selama 1 jam, kemudian didinginkan sampai mencapai kondisi suhu ruang, baru kemudian dapat dinyalakan lagi. Pembersihan

vaporizer sedapat mungkin dilakukan setelah mencapai 9 ulangan (asumsi 3 hari penggunaan) atau jika kompor tidak dapat dinyalakan karena nozzle tersumbat. Pada kondisi ini ulangan dinyatakan sebagai 1 siklus. Percobaan dilakukan selama 5 siklus. Residu pembakaran spesifik didefinisikan sebagai berat deposit yang terdapat pada *vaporizer* dan saluran minyak per satuan berat konsumsi minyak nabati.

3. Hasil dan Pembahasan

Kompor Protos mudah dioperasikan, namun secara teknis masih memerlukan pengembangan dan perbaikan. Kompor Protos dapat digunakan berbagai macam jenis minyak nabati, baik yang sudah dibersihkan maupun yang belum dibersihkan bahkan minyak goreng bekas. Namun, dalam pemanfaatannya untuk berbagai jenis minyak nabati yang mempunyai karakteristik dan komposisi yang berbeda-beda, perlu dilakukan uji adaptasi jika digunakan dengan beberapa jenis BBN dari tanaman yang berbeda. Pada awal pengembangannya (PROTOS 1), *vaporizer* terbuat dari bahan baku yang tahan untuk mencapai suhu 1400 °C, sehingga penguapan berjalan secara kontinyu dan hasil pembakaran menghasilkan emisi yang rendah. Pengembangan berikutnya adalah bagaimana deposit pada *vaporizer* tidak menyebabkan hambatan selama penyalaan, sehingga bentuk geometri *vaporizer* dimodifikasi sedemikian rupa, sehingga dikembangkan PROTOS 2 (Gambar 2).



Gambar 2. Kompor Protos 2

3.1. Efisiensi kompor

Performansi kompor dapat dinyatakan dalam efisiensi kompor dengan metode pengujian pendidihan air (*water boiling test*). Nilai efisiensi kompor adalah perbandingan panas yang digunakan untuk mendidihkan air dibandingkan dengan energi potensial konsumsi bahan bakarnya. Pada pengukuran efisiensi kompor, nilai efisiensi ini sekaligus merupakan gabungan dua jenis efisiensi yaitu efisiensi pembakaran minyak oleh tungku dan efisiensi proses pindah panas dari kompor ke panci (Bhattacharya dan Abdul Salam, 2002).

Uji pendidihan (*water boiling test*) dengan menggunakan bahan bakar minyak jarak pagar mentah (CJO) dan minyak sawit mentah (CPO) memperlihatkan bahwa rata-rata efisiensi panas kompor Protos 2 adalah 45,51% untuk bahan bakar minyak jarak dengan variasi tertinggi 49,53% dan terendah 41,49%. Sedangkan dengan bahan bakar minyak sawit, efisiensi panas kompor rata-rata 49,72% dengan nilai tertinggi 53,52% dan terendah 45,92% (Tabel 2).

Tabel 2. Efisiensi panas rata-rata kompor Protos 2 dengan bahan bakar minyak jarak pagar mentah dan minyak sawit mentah

Jenis bahan bakar	Waktu pendidihan (menit : detik)	Konsumsi bahan bakar (gram)	Efisiensi panas (%)
Minyak jarak pagar mentah	11 : 34	58,67	45,51 ± 4,02
Minyak sawit mentah	10 : 08	49,40	49,72 ± 3,80

Efisiensi kompor PROTOS 2 setara dengan kompor tipe tekan bahan bakar minyak tanah (efisiensinya 45-52%). Kompor minyak tanah rumah tangga tipe sumbu efisiensinya 38% (Stumpf dan Muhlbauer, 2002), efisiensi kompor biogas bervariasi 40% - 65% dan efisiensi kompor LPG rata-rata 55% (Bhattacharaya dan Abdul Salam, 2002).

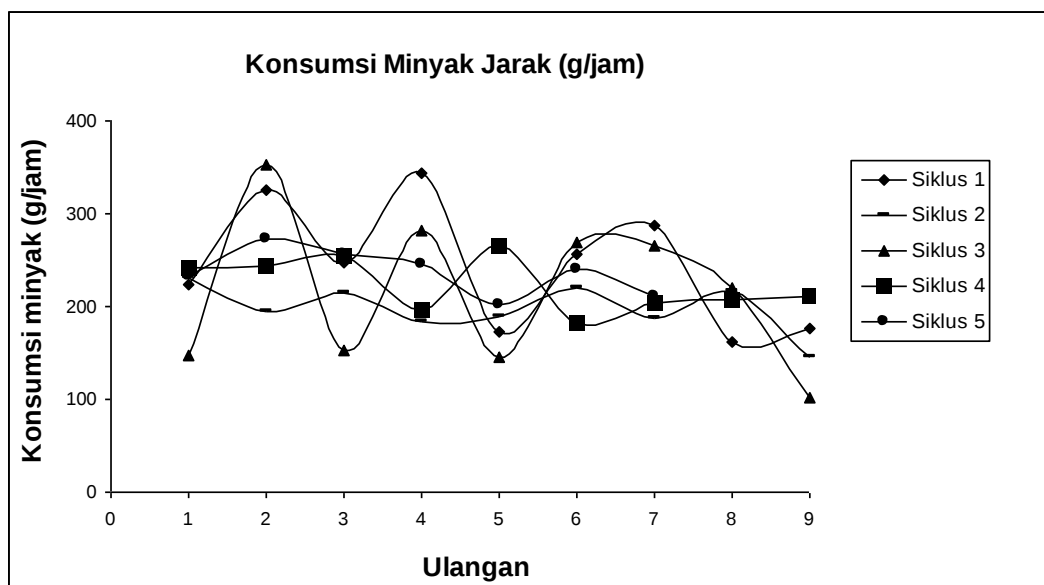
Introduksi kompor ini diharapkan dapat menggantikan penggunaan kompor minyak tanah. Selain itu juga dapat diarahkan untuk mensubsitusi tungku biomassa yang mempunyai efisiensi rendah. Tungku kayu bakar atau arang yang biasa digunakan di wilayah Asia dilaporkan mempunyai efisiensi yang rendah, 10-14% (Gupta dkk, 1998). Upaya perbaikan disain tungku tersebut, hanya dapat meningkatkan efisiensi sampai dengan 28% (Bhattacharya dan Abdul Salam, 2002). Efisiensi kompor yang rendah salah satunya disebabkan oleh proses pembakaran yang tidak sempurna, menghasilkan emisi pembakaran yang berbahaya bagi kesehatan serta emisi gas rumah kaca. Selain itu, efisiensi yang rendah menyebabkan penggunaan bahan bakar biomassa menjadi boros.

3.2. Konsumsi Bahan Bakar dan Residu Hasil Pembakaran

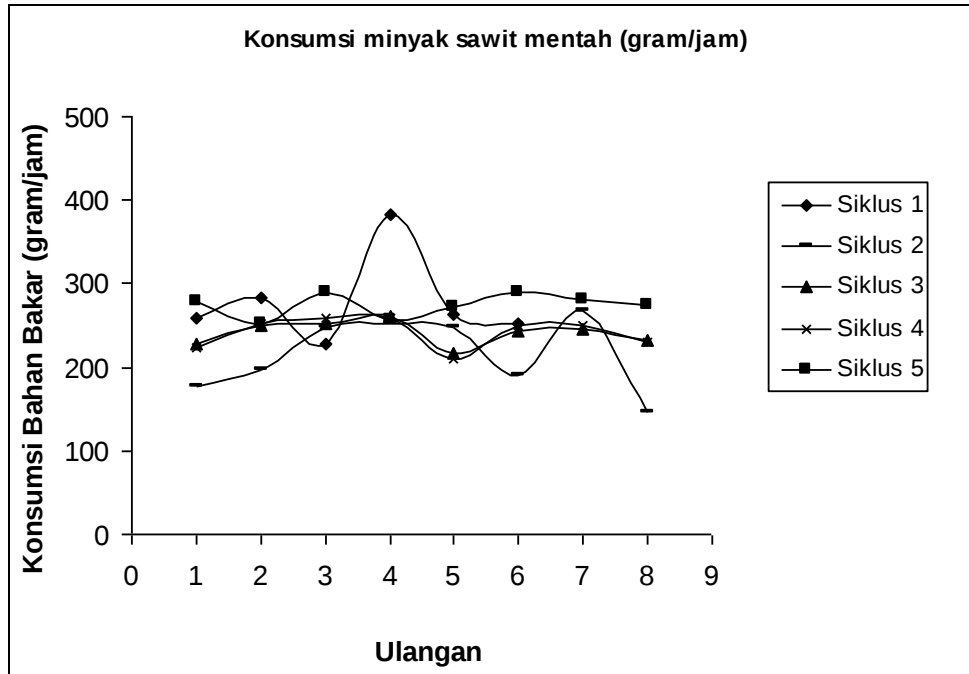
Salah satu kelemahan yang diduga akan muncul pada penggunaan BBN untuk kompor tekan adalah residu hasil pembakaran yang menyumbat lubang nozelnya. Jika

tidak dibersihkan, sisa pembakaran tersebut akan menutup aliran minyak dan mengganggu proses pembakaran. Karena BBN mempunyai titik bakar yang relatif tinggi, yaitu antara 240 – 340 °C, operasi kompor BBN harus dilakukan pada kisaran suhu tersebut. Padahal, senyawa kimia pada minyak nabati akan mengalami disosiasi dan pemecahan rantai pada kisaran suhu 250 °C. Proses kimia tersebut akan meninggalkan residu yang kemudian terdeposisi pada lubang nosel. Kandungan senyawa logam yang secara alami terdapat dalam BBN seperti pospor [P], magnesium [Mg] dan kalsium [K] serta residu karbon diperkirakan akan berpengaruh terhadap jumlah residu tersebut (Muller, 2006).

Hasil pengujian ini, memperlihatkan konsumsi minyak nabati rata-rata adalah 223 gram/jam (minyak jarak) dan 249 gram/jam (minyak sawit). Hasil pengujian memperlihatkan konsumsi minyak yang berfluktuasi dan terdapat kecenderungan konsumsi minyak yang lebih rendah di akhir siklus, kemungkinan disebabkan deposit minyak pada vaporizer yang mengganggu laju aliran minyak dari tangki minyak ke nosel pembakaran (Gambar 3 dan Gambar 4).



Gambar 3. Konsumsi minyak Jarak pada Protos 2



Gambar 4. Konsumsi Minyak Sawit pada Protos 2

Hasil pengujian dengan minyak jarak menunjukkan kompor sulit untuk menyala kembali setelah berat deposit rata-rata mencapai 10-12 gram di saringan minyak (*adapter piece*) dan 5-8 gram di vaporizer. Pengujian dengan bahan bakar minyak jarak, penumpukan deposit menyebabkan kompor sulit dinyalakan kembali, rata-rata terjadi setelah ulangan ke-9. Sehingga pembersihan vaporizer rata-rata dilakukan setelah ulangan ke-9 (9 jam pemakaian). Sedangkan untuk pengujian dengan bahan bakar minyak sawit mentah, pembersihan *vaporizer* rata-rata dicapai setelah 7-8 kali ulangan (7-8 jam pemakaian). Berdasarkan perbandingan jumlah deposit dengan rata-rata konsumsi minyak selama 1 siklus, maka residu spesifik bahan bakar pada kompor adalah 7,5-9,9 mg/g minyak jarak dan 8,6-11,5 mg/g minyak sawit mentah.

Kandungan logam-logam dan residu karbon dalam minyak BBN berkorelasi positif dengan potensi deposit dalam *vaporizer* pembakaran. Hal itu berkorelasi dengan

kandungan senyawa logam seperti disajikan pada Tabel 1. Terlihat bahwa kandungan Phospor dan kalsium dalam minyak sawit lebih tinggi dibandingkan dengan minyak jarak. Kandungan magnesium dalam minyak jarak pagar terukur 0,6 – 1,0 mg/kg dan kalsium 1,0 – 2,0 mg/kg minyak, kandungan phospor 1,33 mg/kg. Kandungan magnesium minyak sawit lebih rendah dari minyak jarak pagar (< 1,0 mg/kg), tetapi kandungan kalsium dan phospor minyak sawit lebih tinggi dari minyak jarak yaitu 11,9 mg/kg (kalsium) dan 6,76 mg/kg (phospor). Sedangkan, residu karbon (dinyatakan dalam residu carbon Conradson) pada minyak jarak pagar dan minyak sawit nilainya hampir sama, masing-masing 0,22 – 0,32 % untuk minyak jarak pagar dan 0,22-0,31 % untuk minyak sawit.

Adanya deposit pada kompor menunjukkan bahwa kompor tekan BBN memerlukan pembersihan lebih sering dan harus dilakukan secara teratur agar fungsi kompor tetap optimal. Kompor minyak tanah juga memerlukan pembersihan dan perawatan, namun kompor BBN lebih memerlukan perhatian khusus dalam pembersihan evaporator, karena akan sangat mempengaruhi kinerja dan umur kompor selanjutnya.

4. Kesimpulan

Uji kinerja kompor Protos 2 menghasilkan efisiensi panas kompor rata-rata 45,51% untuk bahan bakar minyak jarak mentah dan efisiensi rata-rata 49,72% untuk minyak sawit mentah. Efisiensi kompor PROTOS 2 setara dengan kompor tipe tekan bahan bakar minyak tanah (efisiensinya 45-52%). Kompor minyak tanah rumah tangga tipe sumbu efisiensinya 38-47%, efisiensi kompor biogas bervariasi 40% - 65% dan efisiensi kompor LPG rata-rata 55%. Walaupun efisiensi minyak sawit lebih tinggi dari

minyak jarak, namun frekuensi pembersihan kompor lebih sering dilakukan untuk minyak sawit mentah. Residu spesifik yang dihasilkan minyak jarak lebih rendah dibandingkan minyak sawit yaitu 7,5-9,9 mg/g minyak jarak mentah dan 8,6-11,5 mg/g minyak sawit mentah.

5. Daftar Pustaka

Bailis Rob, Damon Ogle, Nordica MacCarty & Dean still. 2007. *Water Boiling Test, Version 3. Household Energy and Health Programe, Shell Foundation*. Available at http://ehs.sph.berkeley.edu/hem/hem/protocols/WBT_Version_3.0_Jan2007a.pdf. diakses 28 Februari 2008

Bhattacharaya dan Abdul Salam. 2002. *Low greenhouse gas biomass options for cooking in the developing countries*. Biomass and Bioenergy 22 (2002) : 305-317

Bambang Prastowo, Srimulato, Abi Dwi Hastono dan Martin Kratzeisen. 2006. *Kinerja Kompor Bertekanan dengan menggunakan Minyak Nabati asal Tanaman Perkebunan*. Laporan Kegiatan Penelitian Bersama Pusat Penelitian Perkebunan dan BSH-Germany TA 2006.

Ditjen LPE. 2006. *Mengurangi Minyak Tanah Sektor Rumah Tangga Melalui Pemanfaatan Energi Alternatif dan Penghematan Konsumsi Minyak Tanah*. Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi. Dept. ESDM. Jakarta. Bulletin Energi Hijau XIII Oktober 2006 : 4-7.

Gupta S., Saksena S., Shankar V.R., and Joshi V. 1998. *Emmission factors and thermal efficiencies of cooking biofuels from five countries*. Biomass & Bioenergy vol 14 no 5/6 pp 547 -559, 1998

Muhlbauer, W., A. Esper ., E. Stumpf ., R. Baumann. 1998. *Rural Energy, Equity and Employment: Role of Jatropha Curcas*. Institute for Agricultural Engineering in the Tropics and Subtropics, Hohenheim University, Stuttgart, Germany.

Müller J, Kratzeisen M, Weis K, Stumpf E, Mühlbauer W. 2006. *Jatropha Curcas Derivatives as Alternative Energy Source for Households*. Makalah pada Lokakarya II Status Teknologi Jarak pagar. 29 November 2006. Puslitbang Perkebunan. Bogor.

Nuryanti & Herdinie, 2007. *Analisis Karakteristik Konsumsi Energi pada Sektor Rumah Tangga di Indonesia*. Makalah disampaikan pada SEMINAR NASIONAL III SDM TEKNOLOGI NUKLIR YOGYAKARTA, 21-22 NOVEMBER 2007

Stumpf E. and Muhlbauer W. 2002. *Plant Oil As Cooking Fuel : Development of a Household Stove for tropical and Subtropical Countries*. Institute for Agricultural Engineering in the Tropics and Subtropical Hohenheim University. <http://bagani.de>.
Diakses 2 Oktober 2006

Panwar, N.L. and Rathore, N.S. 2008. *Design and Performance evaluation of a 5 kW producer gas stove*. Biomass and Bioenergy 32 (2008): 1349-1352