



Kinerja Kompor Gasifikasi *Turbo Stove*

Darwis Damanik, Sri Helianty, Hari Rionaldo, Zulfansyah*

Laboratorium Pengendalian dan Perancangan Proses
Jurusan Teknik Kimia Universitas Riau
Kampus Binawidya Km. 12,5 Sp. Baru Pekanbaru 28293
*E-mail: zulfansyah@unri.ac.id

ABSTRAK

Krisis energi pada sektor rumah tangga dapat diantisipasi dengan memanfaatkan biomassa sebagai bahan bakar kompor gasifikasi. Penelitian kinerja kompor gasifikasi *turbo stove* bertujuan untuk memberi informasi kinerja *turbo stove* dengan beberapa biomassa. Biomassa yang dipilih pada percobaan ini adalah *tropical wood*, tempurung kelapa, cangkang sawit dan pelepah sawit. Pengujian kinerja *turbo stove* menggunakan metode *water boiling test* (WBT). Waktu *start-up turbo stove* rata – rata 3,27 menit. *Turbo stove* membutuhkan rata – rata 15,45 menit untuk mendidihkan 2,5 liter air. Efisiensi termal *turbo stove* 22,15 – 36,1% dan *fire power* 2,5 – 5 kW_{th}. Efisiensi termal tertinggi 36,1% dengan bahan *tropical wood* pada fase *cold start* dan terendah 22,15% dengan bahan bakar cangkang sawit pada fase *cold start*. Temperatur nyala api kompor *turbo stove* 574 – 722°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa berbagai jenis biomassa berpotensi dikembangkan sebagai bahan bakar *turbo stove*.

Kata kunci: biomassa; kompor gasifikasi, *turbo stove*; efisiensi termal;

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi pada sektor rumah tangga masih bergantung pada bahan bakar fosil, seperti minyak tanah dan LPG (*Liquid Petroleum Gas*). Namun, penggunaan minyak tanah telah dibatasi dengan adanya program konversi minyak tanah ke LPG oleh pemerintah. Sedangkan pasokan LPG pada sektor rumah tangga masih terkendala. Selain harganya yang cenderung meningkat setiap tahun, distribusi LPG masih belum merata di beberapa daerah. Pemberdayaan biomassa sebagai bahan bakar kompor gasifikasi dapat dijadikan solusi krisis energi di sektor rumah tangga.

Kompor gasifikasi mengkonversi biomassa menjadi gas mudah bakar CO, H₂ dan CH₄ yang selanjutnya menghasilkan nyala api dengan

temperatur 800 – 1100 K [1]. Pengoperasian kompor gasifikasi membutuhkan pasokan udara dari lingkungan yang digunakan untuk gasifikasi dan pembakaran gas menjadi nyala api. Kebutuhan udara untuk proses gasifikasi disebut dengan udara primer. Proses gasifikasi terjadi dengan pasokan oksigen kurang dari kebutuhan stoikiometri pembakaran sempurna biomassa. Gas hasil gasifikasi akan bereaksi dengan oksigen dan terbakar menghasilkan nyala api. Kebutuhan udara untuk pembakaran gas disebut udara sekunder.

Sistem pasokan udara pada kompor gasifikasi dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu sistem alami (*natural draft*) dan dipaksa (*forced draft*) dengan bantuan *fan* atau *blower*. *Turbo stove* adalah kompor gasifikasi dengan sistem *forced draft*. Kinerja *turbo stove* lebih unggul dibanding



kompor gasifikasi *natural draft* seperti waktu *start-up* yang cepat, efisiensi termal dan *fire power* yang lebih besar. Dengan laju alir udaranya yang mudah diatur, *turbo stove* dapat beroperasi menggunakan berbagai jenis biomassa [2]. Namun, pengujian kinerja *turbo stove* masih dilakukan dengan jenis biomassa yang terbatas. Agar biomassa lokal seperti *tropical wood*, tempurung kelapa, cangkang sawit dan pelepah sawit dapat digunakan pada *turbo stove* maka diperlukannya kinerja *turbo stove*.

2. Metodologi

Turbo stove terdiri dari silinder dalam (ruang bakar) berdiameter 12,7 cm dan tinggi 16,3 cm dan silinder luar berdiameter 15,25 cm dan tinggi 22,9 cm. Udara primer terletak pada lubang bagian bawah dan udara sekunder pada lubang bagian atas ruang bakar. Lubang udara primer berdiameter 0,45 cm dengan jumlah 14 lubang dan lubang udara sekunder berdiameter 0,65 cm dengan jumlah 20 lubang. *Fan* terletak pada bagian bawah silinder luar. Dimensi *turbo stove* dapat dilihat pada Gambar 1. Pengukuran temperatur nyala api menggunakan termokopel tipe K.

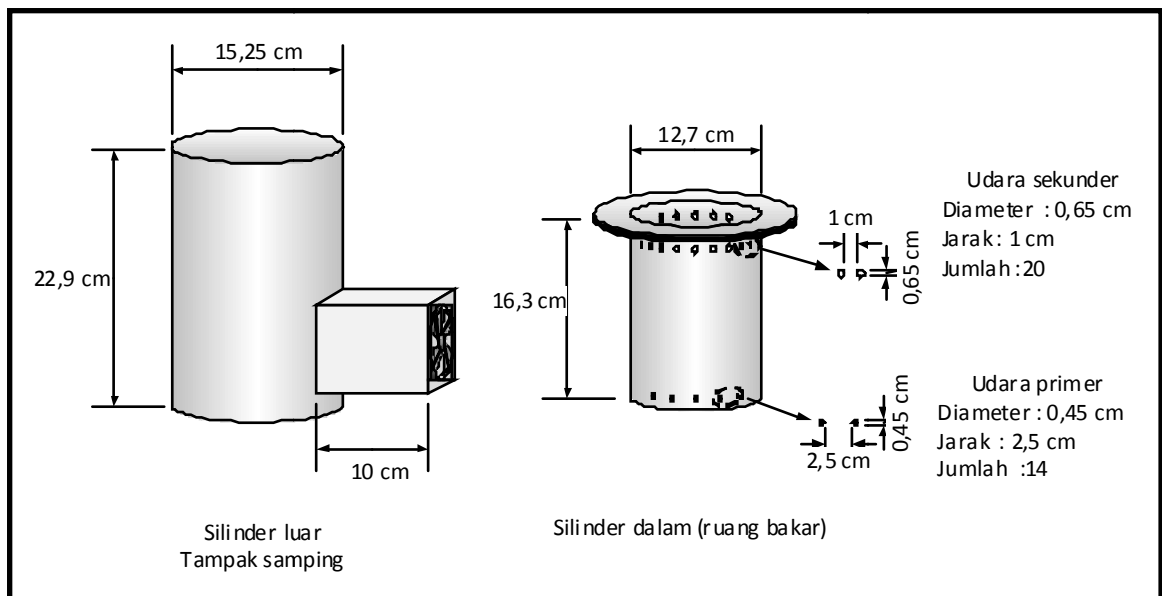
Bahan bakar yang digunakan adalah *tropical wood*, tempurung kelapa, cangkang sawit dan

pelepah sawit. Biomassa tersebut dipilih karena tersedia dengan jumlah yang banyak dan mudah didapat khususnya di Riau. Pengujian kinerja *turbo stove* dilakukan menggunakan metode *Water Boiling Test* (WBT) yang dikembangkan oleh Bailis dkk [3]. Percobaan kinerja kompor gasifikasi *turbo stove* dilakukan secara *batch* dengan variasi jenis biomassa dan dua fase WBT, yaitu *cold start* dan *hot start*. Parameter yang diukur selama percobaan adalah massa bahan bakar, massa air, waktu *start-up*, waktu operasi, temperatur air, temperatur nyala api dan massa arang yang dihasilkan. Adapun kinerja *turbo stove* yang ingin diketahui adalah waktu *start-up*, waktu operasi, konsumsi bahan bakar spesifik, laju pembakaran, efisiensi termal dan *fire power* serta temperatur dan warna nyala api.

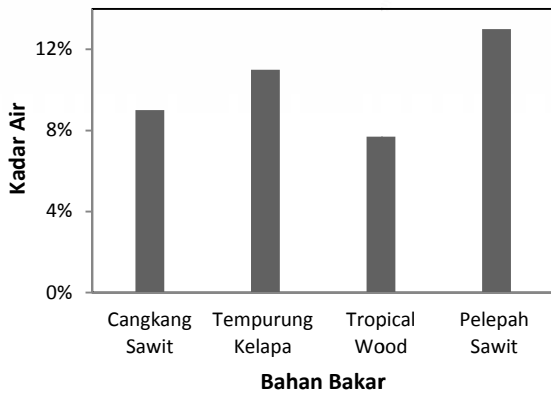
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kadar air

Kadar air bahan bakar berkisar antara 8 – 13%. Kadar air terbesar 13% diperoleh dengan pelepah sawit, sedangkan kadar air terkecil 8% diperoleh dengan *tropical wood*. Kadar air secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 2.



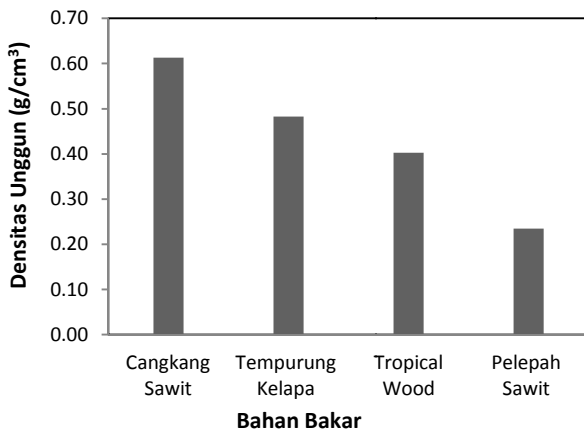
Gambar 1. Dimensi *turbo stove*



Gambar 2. Kadar air pada berbagai bahan bakar.

3.2. Densitas unggun

Tiap jenis bahan bakar menghasilkan densitas unggun yang berbeda. Densitas unggun berkisar antara 0,2 – 0,7 g/cm³. Massa unggun berbanding lurus dengan densitas unggun. Semakin besar massa unggun maka semakin besar pula densitas unggun. Tinggi unggun mempengaruhi massa unggun yang pada penelitian ini tinggi unggun konstan yaitu 12,5 cm. Densitas unggun pada berbagai bahan bakar dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Densitas unggun pada berbagai bahan bakar.

3.3. Nyala api

Turbo stove dengan bahan bakar cangkang sawit cenderung menghasilkan warna jingga kebiru-biruan, sedangkan pelepah sawit cenderung menghasilkan jingga. Tempurung kelapa dan *tropical wood* menghasilkan warna yang cenderung kuning kemerahan. Warna nyala jingga disebabkan

banyak gas CO yang terbentuk dan masih banyak partikel karbon yang ikut terbakar. Warna nyala biru mengindikasikan gas CH₄ dan H₂ terbakar. Sedangkan tinggi dan bentuk nyala api cenderung tidak stabil yang disebabkan aliran udara sekunder bersifat *turbulen*. Nyala api *turbo stove* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Nyala api *turbo stove*

Temperatur nyala api *turbo stove* berkisar antara 574 – 722°C. Temperatur nyala api tertinggi 722°C dihasilkan dengan bahan bakar *tropical wood* dan terendah 574°C dengan bahan bakar pelepah sawit. Cangkang sawit dan tempurung kelapa menghasilkan temperatur nyala api 643 dan 631°C. Temperatur nyala api *turbo stove* hasil penelitian ini berimbang jika dibanding dengan kompor gasifikasi sistem *natural draft*, namun masih rendah jika dibanding dengan kompor gasifikasi sistem *forced draft*. Kompor gasifikasi sistem *natural draft* dan *forced draft* menghasilkan nyala api dengan temperatur 763 dan 827°C [1,4]. Selain jenis bahan bakar, jumlah pasokan udara juga mempengaruhi temperatur nyala api. Perbandingan antara udara sekunder dengan bahan bakar yang tepat dapat memaksimalkan temperatur nyala api [2].

3.4. Waktu operasi

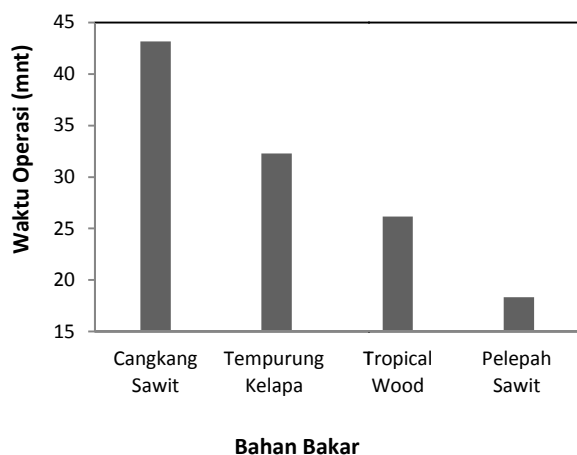
Waktu operasi terlama 43,14 menit diperoleh dengan cangkang sawit, sedangkan waktu operasi tercepat 16,87 menit diperoleh dengan pelepah sawit. Pengaruh variasi jenis bahan bakar terhadap



waktu operasi dapat dilihat pada Gambar 5. Massa unggun berpengaruh terhadap lamanya waktu operasi. Pelepah sawit dengan massa unggun 310 g hanya menghasilkan waktu operasi 16,87 menit, sedangkan cangkang sawit dengan massa unggun 810 g menghasilkan waktu operasi 43,31 menit.

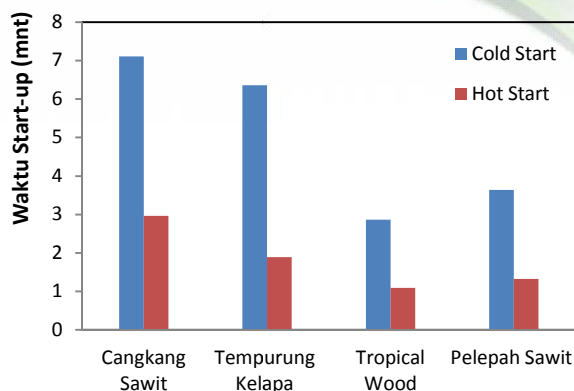
3.5. Waktu start-up

Start-up turbo stove menggunakan 2,6 ml minyak tanah dan 25 g sisa ketaman kayu sebagai pemantik. Waktu *start-up turbo stove* rata – rata 3,27 menit. Waktu *start-up* tercepat 1,09 menit diperoleh dengan *tropical wood* pada fase *hot start*. Sedangkan, waktu *start-up* terlama 7,1 menit diperoleh dengan cangkang sawit pada fase *cold start*. Waktu *start-up turbo stove* dengan berbagai jenis bahan bakar dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 5. Waktu operasi *turbo stove* pada berbagai jenis bahan bakar.

Waktu *start-up turbo stove* pada fase *hot start* lebih cepat dibanding pada fase *cold start*. Cangkang sawit pada fase *hot start* hanya membutuhkan waktu *start-up* 2,96 menit, namun pada fase *cold start* membutuhkan waktu *start-up* 7,1 menit. Ruang bakar kompor *turbo stove* pada fase *hot start* bertemperatur sekitar 200 – 300°C, sedangkan pada fase *cold start* bertemperatur lingkungan.



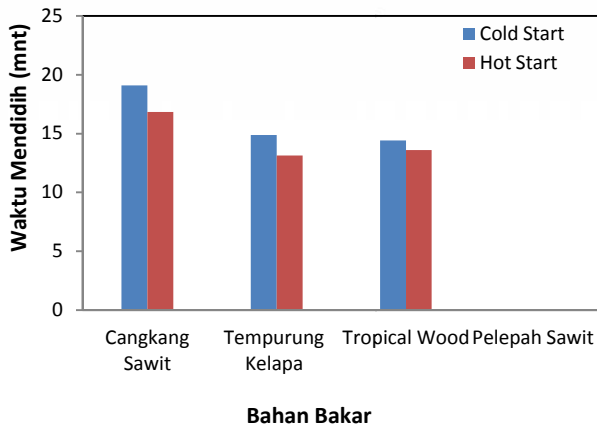
Bahan Bakar

Gambar 6. Waktu *start-up turbo stove* pada berbagai jenis bahan bakar.

Sehingga perpindahan panas ke bahan bakar dan proses gasifikasi lebih cepat terjadi pada fase *hot start* dibanding kompor *turbo stove* pada fase *cold start*. Selain fase WBT, sistem pasokan udara juga mempengaruhi waktu *start-up*. Kompor gasifikasi *natural draft* membutuhkan waktu *start-up* 5 menit [4]. Besarnya ukuran bahan bakar juga dapat mengurangi pasokan udara.

3.6. Waktu mendidih

Turbo stove membutuhkan rata – rata 15,45 menit untuk mendidihkan 2,5 liter air. Waktu mendidih tercepat 13,14 menit diperoleh dengan tempurung kelapa pada fase *hot start*. Sedangkan, waktu mendidih terlama 19,09 menit diperoleh dengan cangkang sawit pada fase *cold start*. *Turbo stove* dengan bahan bakar pelelah sawit tidak mampu mendidihkan 2,5 liter air, hanya memanaskan air hingga temperatur 85°C dengan waktu 17 menit pada fase *cold start* dan 92°C dengan waktu 16,6 menit pada fase *hot start*. Waktu mendidih *turbo stove* dapat dilihat pada Gambar 7.



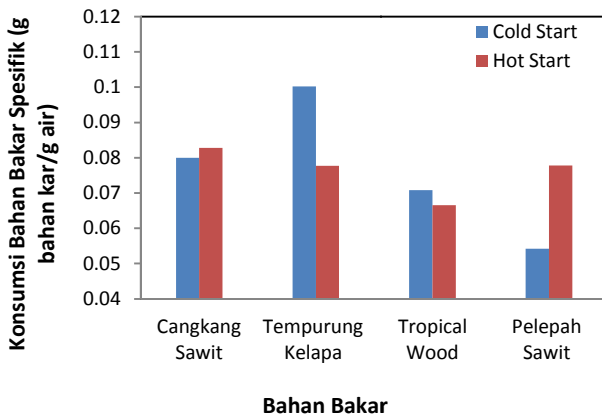
Gambar 7. Waktu mendidih *turbo stove* pada berbagai jenis bahan bakar.

3.7. Konsumsi bahan bakar spesifik

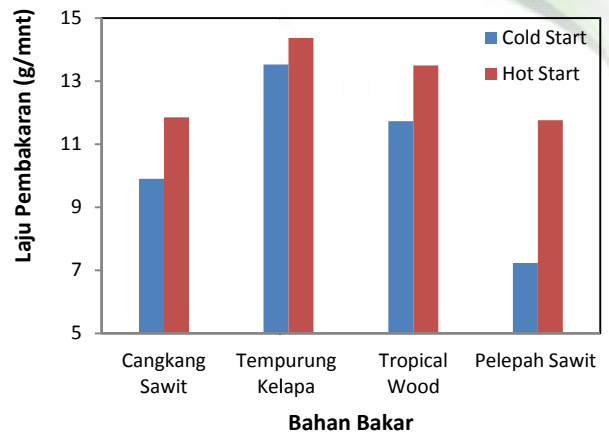
Konsumsi bahan bakar spesifik merupakan jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk mendidihkan air. Konsumsi bahan bakar spesifik *turbo stove* rata – rata 0,082 g bahan bakar/g air. Konsumsi bahan bakar spesifik pada berbagai jenis bahan bakar dapat dilihat pada Gambar 8.

3.8. Laju pembakaran

Laju pembakaran *turbo stove* rata – rata 11,98 g/mnt. Laju pembakaran terbesar 14,36 g/mnt diperoleh dengan tempurung kelapa pada fase *hot start*, sedangkan laju pembakaran terkecil 7,23 g/mnt diperoleh dengan pelepah sawit pada fase *cold start*. Laju pembakaran *turbo stove* dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 8. Konsumsi bahan bakar spesifik pada berbagai jenis bahan bakar.

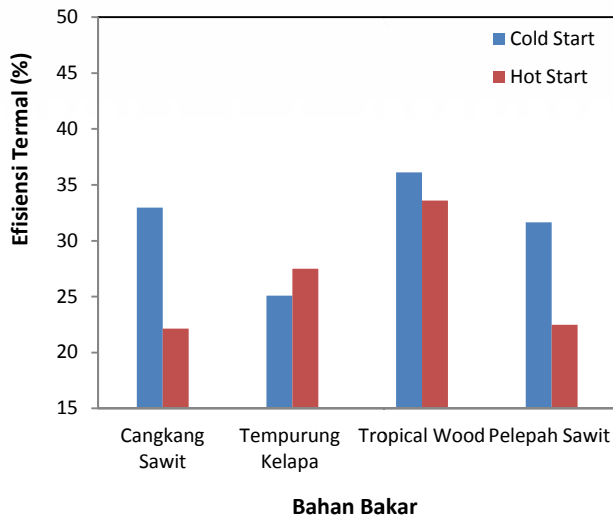


Gambar 9. Laju pembakaran *turbo stove* pada berbagai jenis bahan bakar.

Laju pembakaran *turbo stove* pada fase *hot start* lebih cepat dibanding fase *cold start*. Peningkatan laju pembakaran cenderung mempercepat waktu mendidihkan air. Laju pembakaran cangkang sawit pada fase *cold start* 9,89 g/mnt membutuhkan waktu pendidihan 19,1 menit. Sedangkan laju pembakaran tempurung kelapa pada *cold start* 13,5 g/mnt membutuhkan waktu 14,3 menit.

3.9. Efisiensi termal

Efisiensi termal *turbo stove* rata – rata mencapai 31,45% pada berbagai kondisi. Efisiensi termal tertinggi 36,1% diperoleh dengan bahan bakar *tropical wood* pada fase *cold start*. Efisiensi termal terendah 22,15% diperoleh dengan bahan bakar cangkang sawit pada fase *hot start*. Efisiensi termal *turbo stove* secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Efisiensi termal *turbo stove* pada berbagai jenis bahan bakar.

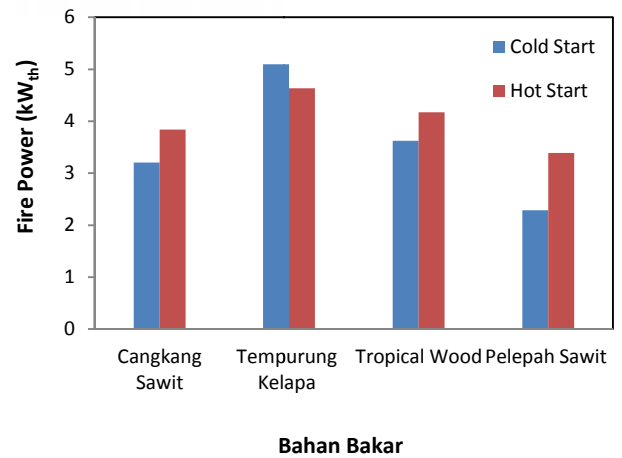
Jumlah biomassa yang dikonsumsi untuk mendidihkan 2,5 liter air mempengaruhi efisiensi termal. Efisiensi termal dengan tempurung kelapa 25,1% membutuhkan 438 g untuk mendidihkan 2,5 liter air sedangkan Efisiensi termal dengan *tropical wood* 36,1% hanya membutuhkan 316 g. Selain itu, jenis bahan bakar, kadar air, waktu mendidih dan laju pembakaran juga mempengaruhi efisiensi termal.

3.10. Fire power

Turbo stove menghasilkan *fire power* rata-rata 3,9 kW_{th}. *Fire power* terbesar 5,09 kW_{th} diperoleh dengan bahan bakar tempurung kelapa pada fase *cold start*. *Fire power* terkecil 2,28 kW_{th} diperoleh dengan pelepah sawit pada fase *cold start*. *Fire power* kompor *turbo stove* dapat dilihat pada Gambar 11.

Tiap jenis bahan bakar memiliki LHV yang berbeda. Semakin besar nilai LHV suatu bahan bakar cenderung memperbesar *fire power* yang dihasilkan kompor *turbo stove*. Pelepah sawit dengan LHV 17,31 mj/kg menghasilkan 2,3 kW_{th}, sedangkan tempurung kelapa dengan LHV 19,34 mj/kg menghasilkan 5,1 kW_{th} pada fase *cold start*. *Turbo stove* pada fase *hot start* cenderung menghasilkan *fire power* lebih besar dibanding pada fase *cold start*. Perbedaan tersebut terjadi karena

lebih banyak biomassa yang terkonversi menjadi gas pada fase *hot start*.



Gambar 11. *Fire power turbo stove* pada berbagai jenis bahan bakar.

4. Kesimpulan

Secara umum berbagai jenis biomassa berpotensi untuk digunakan sebagai bahan bakar *turbo stove*. Kinerja *turbo stove* pada fase *hot start* lebih unggul dibanding dengan fase *cold start*. Variasi jenis bahan bakar memberikan pengaruh terhadap kinerja *turbo stove*, *tropical wood* memberikan kinerja *turbo stove* yang unggul dengan waktu *start-up* 2,8 menit, waktu mendidihkan 2,5 liter air 14,42 menit, efisiensi termal 36,11% dan *fire power* 3,62 kW_{th}.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kepada Lembaga Penelitian Universitas Riau yang telah memberikan dana, melalui skema PKM Universitas Riau tahun 2012.

Daftar Pustaka

- [1] Mukunda, H.S., S. Dasappa, P.J. Paul, N.K.S. Rajan, M. Yognaramant, D.R. Kumar, dan M. Deogaonkar, 2010, Gasifier Stove – Science, Technology and Field Outreach, Current Science, vol. 98, no. 5, pp. 627-637.
- [2] Reed, T.B., E. Anselmo, dan K. Kricher, 2000, Testing & Modeling The Wood-Gas Turbo Stove, Presented at The Progress In Thermochemical Biomassa Conversion



Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia dan Musyawarah Nasional APTEKINDO 2012
The Challenge of Chemical Engineering Institutions in Product Innovation for a Sustainable Future

ISBN 978-979-98300-2-9

- conference, The Energy Foundation, 17-22 Sept, Tyrol, Austria.
- [3] Bailis, R., D. Ogle, N. MacCarty, K.R. Smith, dan R., Edwards, 2007, The Water Boiling Test, Shell Foundation, WBT version 3.0, <http://ehs.sph.berkeley.edu/>, 20 April 2011.
- [4] Panwar, N.L., 2009, Design and Performance Evaluation of Energy Efficient Biomass Gasifier Based Cook Stove on Multi Fuels, Mitig Adapt Strateg Glob Change, vol.14, pp. 627–633.

Diselenggarakan oleh:



Departemen Teknik Kimia
Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Didukung oleh:

