

DESIGN OF GREEN ENERGY STOVE: CHARACTERISTICS OF COMBUSTION AND PERFORMANCE

Stephanus Danny Kurniawan¹, Beni Tri Sasongko¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains & Teknologi Akprind
Jl. Kalisahak No. 28 Komplek Balapan Tromol Pos 45 Yogyakarta 55222
Email : dannykur@akprind.ac.id

Abstract

So far, the rural population of fuel users make firewood stoves from ground or cement. Often waiting is made less efficient and produces a lot of smoke pollution, especially if the level of dryness of the wood is low. From this background, then came the idea for the manufacture of stoves that save fuel wood and minimal smoke pollution. Furthermore, to be able to achieve this goal, in this study a biomass furnace will be developed that has a combustion air regulation system and a firewood drying system before use. Research implementation is divided into furnace design (design and fabrication) and testing (combustion characteristics and performance). Research begins with the design of the dimensions and shape of the furnace to be made. Furthermore, fabrication of stoves from Stainless Steel plate materials will be carried out at the Mechanical Technology Laboratory, IST AKPRIND. The stove produced by the construction will be tested with fuel wood in terms of combustion characteristics and performance. The results show that biomass stoves can be used and produced for household and small-scale industries.

Keywords : biomass, stove, combustion, water boiling test, green energy.

Abstrak

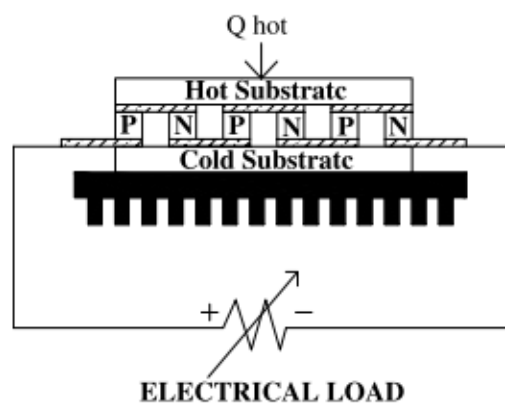
Selama ini penduduk pedesaan pengguna bahan bakar membuat tungku kayu bakar dari tanah liat atau dari semen. Seringkali tungku yang dibuat kurang efisien dan menghasilkan polusi asap yang cukup banyak, terutama jika tingkat kekeringan kayu bakarnya rendah. Dari latar belakang tersebut, selanjutnya muncul ide untuk pembuatan tungku yang hemat kayu bakar serta minim polusi asap. Selanjutnya untuk dapat mencapai tujuan tersebut, maka dalam penelitian ini akan dilakukan rancang bangun tungku biomassa yang memiliki sistem pengaturan udara pembakaran dan sistem pengeringan kayu bakar sebelum digunakan. Pelaksanaan penelitian dibagi menjadi rancang bangun tungku (perancangan dan fabrikasi) dan pengujian (karakteristik pembakaran dan unjuk kerja). Penelitian diawali dengan perancangan dimensi dan bentuk tungku yang akan dibuat. Selanjutnya fabrikasi tungku dari bahan plat Stainless Steel akan dilakukan di Laboratorium Teknologi Mekanik, IST AKPRIND. Tungku hasil rancang bangun akan diuji dengan bahan bakar kayu bakar dalam hal karakteristik pembakaran serta unjuk kerjanya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tungku biomassa dapat digunakan dan diproduksi untuk skala rumah tangga dan industri kecil.

Kata Kunci : biomassa, tungku, pembakaran, water boiling test, energi hijau.

1. Pendahuluan

Indonesia memiliki potensi yang besar dalam hal energi terbarukan biomassa. Menurut Blueprint Energi Nasional 2005-2025 Kementerian ESDM, energi biomassa yang sudah dimanfaatkan hanya sekitar 0.3 GW dari potensi yang dimiliki sebesar 49.81 GW. Energi biomassa ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber panas maupun sebagai sumber tenaga [1]. Dari total 49,81 GW potensi energi biomassa baru sebesar 0,6 % yang sudah dimanfaatkan, masih terdapat potensi yang sangat besar energi biomassa yang belum dimanfaatkan. Salah satu pemanfaatan sumber energi biomassa yaitu berupa kayu bakar. Pemanfaatan kayu bakar untuk keperluan rumah tangga di Indonesia relatif masih tinggi walaupun sudah dilakukan program konversi LPG 3 kg oleh pemerintah.

Pemanfaatan kayu bakar untuk bahan bakar tungku pada umumnya dipergunakan masyarakat untuk memasak. Pembakaran yang terjadi pada tungku biomassa tradisional merupakan pembakaran tidak sempurna dan mempunyai efisiensi thermal yang cukup rendah [2]. Untuk memanfaatkan panas yang terbuang dari tungku biomassa, beberapa penelitian telah dilakukan untuk memanfaatkan panas yang terbuang dari dinding tungku biomassa dengan memanfaatkan *thermoelectric generator (TEG)* untuk membangkitkan listrik [3]. Pemanfaatan panas yang terbuang pada tungku biomassa juga dilaporkan oleh [4];[5] .



Gambar 1. Modul *thermoelectric generator (TEG)* (Sumber: Lertsatitthanakorn, 2007)

Berbagai model tungku biomassa telah digunakan untuk pemanfaatan energi biomassa, mulai dari tungku tradisional yang terbuat dari tanah liat atau beton sampai tungku modern yang terbuat dari material logam. Secara garis besar, tungku biomassa dapat dibedakan menjadi tungku pembakaran langsung, tungku gasifikasi, dan tungku semi gasifikasi. Contoh tungku biomassa lain yang sudah dikembangkan di Indonesia antara lain oleh Arif & Sarman, 2015 [6]; Yuniyanto, dkk [7]; dan Tama dkk, 2012 [8]. Arif & Sarman [6] memodifikasi tungku tanah liat dengan penambahan pengatur jarak briket yang terbakar dengan dasar *panic (up-down grate)*. Roy & Corcadden, 2012 [9] meneliti unjuk kerja tungku dengan briket biomassa, sedangkan Limousy dkk, 2015 [10] melakukan pengujian tungku dengan bahan bakar terdensifikasi. Tungku dengan desain *multi port* dan *vertical air entry* untuk pembakaran *fulverized fuel* dilakukan oleh Dixit dkk, 2006 [11].

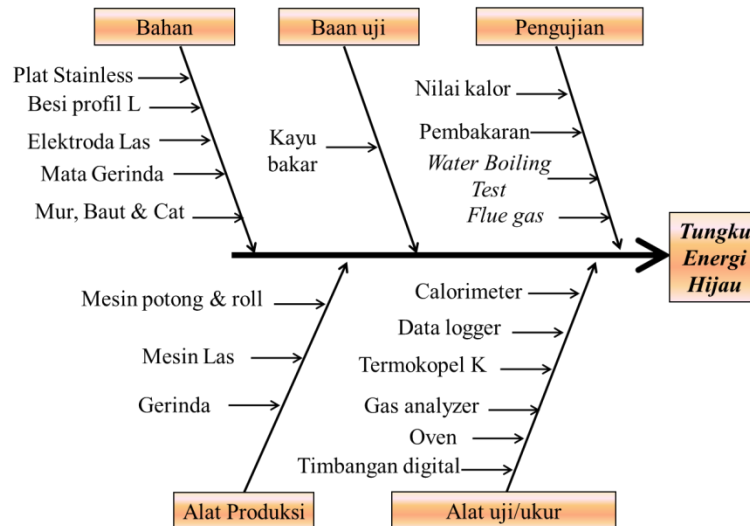
2. Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini diperlukan bahan-bahan untuk pembuatan tungku, alat/mesin produksi, bahan uji maupun alat uji/ukur

- Bahan-bahan pembuatan tungku : plat stainless, besi profil L, elektroda las, mata gerinda, mur baut, dan cat.

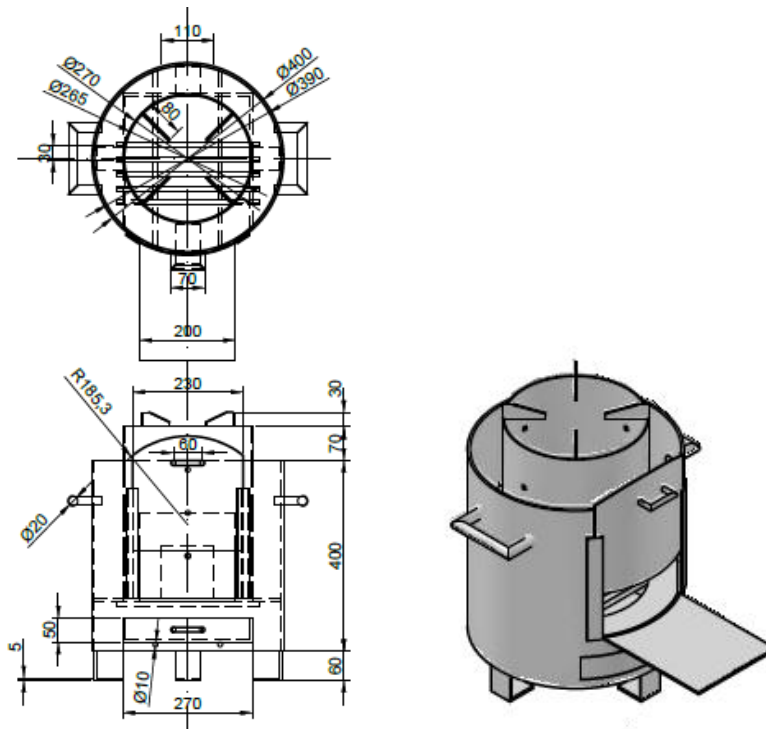
- Alat/mesin produksi : mesin potong dan roll plat, mesin las, dan gerinda
- Bahan uji : kayu bakar
- Alat uji/ukur : elemental analyzer, bomb calorimeter, flue gas analyzer, data logger, termokopel K, oven, unit *water boiling test* , dan timbangan digital.

Ringkasan dari bahan, alat yang digunakan, pengujian yang dilakukan disajikan dalam bagan fishbone penelitian Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Bagan diagram fishbone penelitian

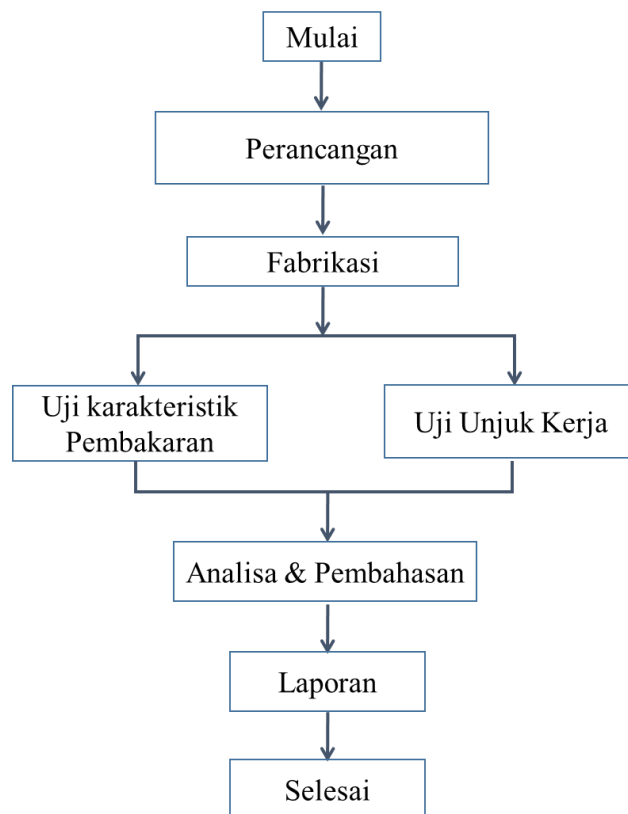
Dimensi utama tungku, yaitu diameter *fire box* dan tinggi tungku menggunakan persamaan. Tungku yang akan dibuat dalam penelitian ini direncanakan memiliki bentuk seperti gambar 3.



Gambar 3. Desain tungku energi hijau

3. Metode Penelitian

Pelaksanaan penelitian dibagi menjadi rancang bangun tungku (perancangan dan fabrikasi) dan pengujian (karakteristik pembakaran dan unjuk kerja). Secara keseluruhan pelaksanaan penelitian disusun dalam diagram alir penelitian seperti dalam gambar 4. Penelitian diawali dengan perancangan dimensi dan bentuk tungku yang akan dibuat. Perhitungan dalam perancangan menggunakan persamaan-persamaan pada Bab II. Selanjutnya fabrikasi tungku dari bahan plat Stainless Steel akan dilakukan di Laboratorium Teknologi Mekanik, IST AKPRIND. Tungku hasil rancang bangun akan diuji dengan bahan bakar kayu bakar dalam hal karakteristik pembakaran serta unjuk kerjanya.



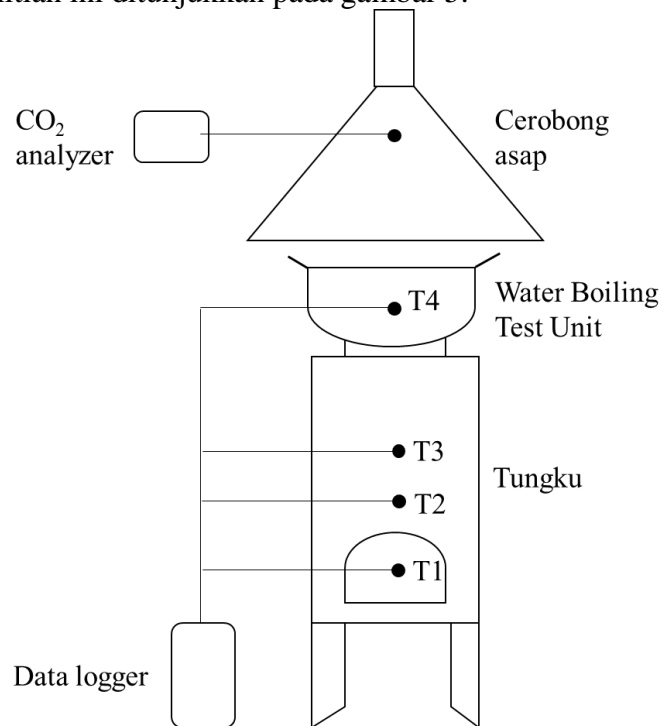
Gambar 4. Diagram alir penelitian

Uji karekteristik Pembakaran dan Uji Unjuk Kerja

Uji karakteristik pembakaran dilakukan untuk mendapatkan karakteristik laju pembakaran, profil temperature pada sumbu axial tungku, serta abu sisa dari pembakaran kayu bakar dengan tungku hasil rancang bangun. Pengujian dilakukan dengan variasi jumlah udara pembakaran.

Uji unjuk kerja tungku dilakukan dengan *water boiling test* dan uji emisi asap pembakaran. Dari *water boiling test* dan uji nilai kalor kayu bakar dengan bomb calorimeter dapat dihitung efisiensi tungku, sedangkan kandungan CO₂ dalam asap pembakaran diukur dengan flue gas analyzer. Unjuk kerja tungku dibandingkan antara penggunaan kayu bakar tanpa pengeringan di ruang pengering dengan unjuk kerja tungku

jika kayu bakar dikeringkan di ruang pengering tungku sebelum digunakan. Setup pengujian pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Experimental setup pengujian tungku biomassa

4. Hasil dan Pembahasan

Nilai Kalori

Bahan bakar yang digunakan untuk tungku biomassa berupa kayu bakar, untuk mengetahui nilai kalor dari bahan bakar biomassa yang digunakan maka dilakukan pengujian nilai kalor menggunakan *bomb calorimeter*. Pengujian nilai kalor dilakukan di Laboratorium PAU, Pusat Studi Pangan dan Gizi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta dan Puslitbang Tekmira, Kementerian ESDM, Bandung.

Tabel 1. Proximate, and gross heating value of fire wood feedstock

Number	Sample	Moisture	Ash content	Volatile matter	Fixed carbon	Calorific Value	Calorific Value
		(%)	(%)	(%)	(%)	(cal/g)	(kJ/kg)
1.	Firewood	8,956	2,348	63,658	25,040	4383,280	18.339,643
		9,192	2,589	63,503	24,716	4208,088	17.606,640

Hasil pengujian menunjukkan nilai kalor pada bahan bakar biomassa yang digunakan yaitu kayu bakar dari pohon jati sebesar 4383,280 kal/g dan 4208,088 kal/g dan dapat dihitung nilai kalori rata-rata sebesar 4295,684 kal/g.

Fabrikasi Tungku Biomassa

Proses fabrikasi tungku dilakukan di Laboratorium Teknologi Mekanik IST AKPRIND menggunakan bahan pipa baja diameter 10 inch dan 16 inch dan menggunakan pelat besi. Proses pengerjaan memakan waktu selama 3 bulan. Tungku memiliki slot pengatur laju udara pembakaran dan ruang pengeringan kayu bakar sebelum digunakan. Slot pengatur laju udara pembakaran dapat diatur secara mekanik. Sedangkan ruang pengering di annulus tungku memanfaatkan panas dari pembakaran mealalui annulus dalam tungku. Sehingga dengan ruang pengering ini tidak diperlukan penggunaan isolator pada dinding annulus tungku. Tungku juga dilengkapi dengan grate sehingga memudahkan untuk pembuangan abu sisa pembakaran.



Gambar 6. Photo fabrikasi tungku biomassa

Uji Performa

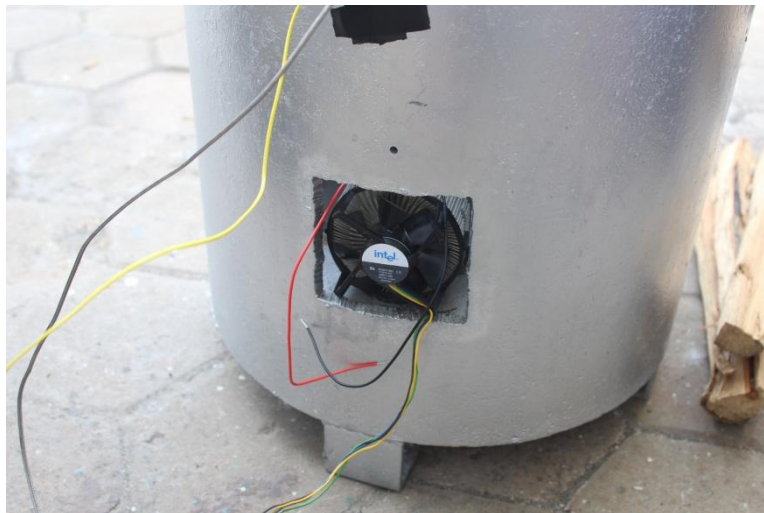
Uji performa tungku biomassa meliputi uji karakteristik pembakaran dan uji unjuk kerja, pengujian dilakukan menggunakan metode *Water Boiling Test (WBT)*. Prosedur pengujian *Water Boiling Test* yang dijalankan menggunakan tungku biomassa dan panci (*cooking pot*) dengan menggunakan air 2,5 liter dan massa kayu bakar yang digunakan 5 kg. Hasil pengujian ditampilkan pada tabel 2 berikut ini :

Tabel 2. Performa tungku biomassa		
No	Parameter	Nilai
1.	LHV (MJ/kg)	15,04
2.	Time to boil (min)	10:55
3.	Burning rate (g/min)	57,4
4.	Fire power (kW)	14,39
5.	Efisiensi thermal (%)	40,81

Nilai kalor dari bahan bakar sebagai parameter uji dihitung nilai *Lower Heating Value (LHV)* dari kayu bakar dari kayu jati senilai 15,04 MJ/kg. Nilai LHV dari kayu jati termasuk cukup tinggi untuk jenis biomassa dan memiliki unjuk kerja yang cukup baik. Waktu yang diperlukan untuk mendidihkan air (*time to boil*) dari proses WBT selama 10:55 menit. Konsumsi bahan bakar (*burning rate*) dari kayu bakar untuk bahan bakar tungku biomassa sebesar 57,4 g/min. Daya (*fire power*) dari tungku biomassa yaitu sebesar 14,39 kW dan tungku biomassa mempunyai efisiensi thermal sebesar 40,81 %. Dari hasil unjuk kerja dan karakteristik pembakaran diatas menunjukkan bahwa tungku biomassa tersebut dapat diaplikasikan untuk keperluan memasak dan memiliki keunggulan yaitu memiliki ruang pengering kayu yang dapat digunakan dengan baik dan efektif memanfaatkan panas yang terbuang pada tungku tersebut.

Thermo Electric Generator (TEG)

Pengujian tungku biomassa juga mengaplikasikan pemasangan *Thermoelectric Generator (TEG)* pada tungku biomassa tersebut. TEG merupakan piranti yang memanfaatkan panas yang terbuang dari tungku biomassa tersebut untuk dikonversikan menjadi tegangan dan arus listrik. Panas yang terbuang pada tungku biomassayaitu pada dinding annulus dapat digunakan untuk membangkitkan listrik.



Gambar 7. Pemasangan TEG pada tungku biomassa

Pemasangan TEG pada tungku biomassa dari hasil pengujian dihasilkan tegangan rata-rata sebesar 3,0 volt dan arus sebesar 0,5 ampere. Arus dan tegangan yang dihasilkan tersebut dapat dimanfaatkan untuk mencharge piranti elektronik seperti *handphone/smartphone* dan *powerbank*.

5. Kesimpulan

Penelitian ini dilakukan untuk mendesain dan memproduksi tungku biomassa yang ramah lingkungan dan memiliki beberapa fungsi pendukung yaitu adanya ruang pengering kayu dan penambahan piranti *Thermo Electric Generator (TEG)* untuk membangkitkan listrik. Setelah proses fabrikasi tungku biomassa kemudian dilakukan pengujian karakteristik pembakaran dan unjuk kerja dengan menggunakan metode *Water Boiling Test (WBT)*.

Hasil dari pengujian menunjukkan hasil yang cukup memuaskan dan dapat diambil kesimpulan bahwa tungku biomassa tersebut dapat digunakan untuk keperluan skala rumah tangga dan industri kecil.

Ucapan Terimakasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang telah mendanai skema penelitian Hibah Penelitian Dosen Pemula (PDP) dan LPPM Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta serta semua pihak yang membantu dan berpartisipasi dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] ESDM. 2006. Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia.
- [2] L'orange, C., Volckens, J., & DeFoort, M. (2012). Influence of stove type and cooking pot temperature on particulate matter emissions from biomass cook stoves. *Energy for Sustainable Development*, 16(4), 448-455.
- [3] Lertsatitthanakorn, C. (2007). Electrical performance analysis and economic evaluation of combined biomass cook stove thermoelectric (BITE) generator. *Bioresource technology*, 98(8), 1670-1674.
- [4] Champier, D., Bedecarrats, J. P., Rivaletto, M., & Strub, F. (2010). Thermoelectric power generation from biomass cook stoves. *Energy*, 35(2), 935-942.
- [5] Ma, H. K., Lin, C. P., Wu, H. P., Peng, C. H., & Hsu, C. C. (2015). Waste heat recovery using a thermoelectric power generation system in a biomass gasifier. *Applied Thermal Engineering*, 88, 274-279.
- [6] Arif, E., & Sarman, S. (2015). Uji Kinerja Modifikasi Kompor (Tungku) Tanah Liat Berbahan Bakar Briket Limbah Kulit Jambu Mete.
- [8] Tama A.S, Sarwono, dan Noriyati R.D., Perancangan Kompor Briket Biomass Untuk Limbah Kopi, *Jurnal Teknik Pomits Vol. 1, No. 1, (2012) 1-6*
- [7] Yuniarto, B., Sinaga, N., & Ramanda, S. A. K. (2014). Pengembangan disain tungku bahan bakar kayu rendah polusi dengan menggunakan dinding beton semen. *ROTASI*, 16(1), 28-33.
- [9] Roy, M. M., & Corscadden, K. W. (2012). An experimental study of combustion and emissions of biomass briquettes in a domestic wood stove. *Applied Energy*, 99, 206-212.
- [10] Limousy, L., Jeguirim, M., Labbe, S., Balay, F., & Fossard, E. (2015). Performance and emissions characteristics of compressed spent coffee ground/wood chip logs in a residential stove. *Energy for Sustainable Development*, 28, 52-59.
- [11] Dixit, C. B., Paul, P. J., & Mukunda, H. S. (2006). Part I: Experimental studies on a pulverised fuel stove. *Biomass and Bioenergy*, 30(7), 673-683.