

Gasifikasi sirkulasi fluidized bed berbahan bakar batubara dan limbah bambu

I Nyoman Suprapta Winaya^{1*}, Putu Hendra Yuliarthana¹, Rukmi Sari Hartati² Ida Bagus Alit Swamardika²

¹PS. Teknik Mesin Fakultas Teknik-Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali Indonesia

²PS. Teknik Elektro Fakultas Teknik-Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali Indonesia

*ins.winaya@unud.ac.id

Abstrak

Dalam upaya pengurangan penggunaan bahan bakar fosil untuk mencegah terjadinya pemanasan global, telah mendorong pemanfaatan sampah padat seperti biomassa dan limbah organik lainnya sebagai sumber energi yang ramah lingkungan. Penelitian ini mengaplikasikan teknik gasifikasi sirkulasi *fluidized bed* (FB) menggunakan campuran bahan bakar batubara dan limbah bambu. Sebuah reaktor gasifikasi FB dengan diameter dalam 0,79 m dan tinggi 1,62 m digunakan untuk menkonversikan bahan bakar tersebut pada beberapa variasi komposisi. Rasio komposisi campuran batubara dan limbah bambu dilakukan pada referensi temperatur kerja gasifikasi pada kondisi *steady-state*. Distribusi temperatur pada reaktor menunjukkan fenomena yang hampir seragam pada setiap variasi pengujian. Penggunaan porositas limbah bambu yang lebih banyak pada komposisi campuran bahan bakar mampu menghasilkan performansi yang lebih baik.

Kata kunci : gasifikasi, limbah bambu, biomassa, sirkulasi *fluidized bed*, volatil

Pendahuluan

Indonesia merupakan negara dengan pertumbuhan konsumsi energi yang cukup tinggi yaitu mencapai 7% per tahun yang mana di dunia rata-rata hanya 2,6% per tahun. Konsumsi energi yang cukup tinggi tersebut hampir 95% dipenuhi dari bahan bakar fosil yang sebagian besar merupakan Bahan Bakar Minyak (BBM) yang memiliki cadangan sangat terbatas yaitu 3,7 miliar barel atau 0,3% dari cadangan dunia [1]. Untuk mengatasi hal tersebut, maka penggunaan energi baru dan terbarukan sebagai energi alternatif atau bauran merupakan suatu keharusan untuk mengurangi penggunaan energi fosil tersebut. Salah satu energi terbarukan yang berpotensi di Indonesia adalah energi biomassa karena mempunyai nilai lebih yaitu sebagai sumber energi yang dapat

diperbaharui sehingga dapat menyediakan sumber energi secara berkesinambungan.

Biomasa adalah sumber energi dari bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis, seperti contoh limbah pertanian, limbah hutan, dan tanaman. Limbah yang berasal dari hewan maupun tumbuhan sangat potensial untuk dipertimbangkan menjadi bahan bakar. Salah satu biomassa yang berpotensi dikembangkan di Indonesia umumnya dan Bali khususnya adalah limbah bambu. Limbah bambu yang dimaksud adalah sisa-sisa dari pemanfaatan bambu yang sudah tidak digunakan, seperti sisa sarana persembahan, kerajinan/anyaman, proyek pembangunan dan sebagainya. Bambu merupakan tanaman yang mudah dijumpai di Indonesia dengan total luas hutan sekitar 164.312,36 Ha, sementara bambu di Bali tumbuh dan berkembang dengan cepat di Kabupaten

Bangli dengan luas sekitar 6.034,80 Ha [2]. Bambu mudah dibudidayakan, juga memiliki jumlah produksi yang tinggi yaitu sekitar 33,4 -109,2 ton/ha/tahun dengan masa panen yang cukup singkat yaitu berkisar 1-3 tahun serta dapat dipanen sepanjang tahun sehingga kontinuitas bahan baku ini selalu terjaga [3]. Jenis-jenis bambu yang ada di Indonesia, antara lain: bambu tali, bambu hitam, bambu betung, bambu batu dan masih banyak lagi jenis lainnya. Pemanfaatan bambu di kehidupan masyarakat sudah sangat beragam seperti dalam pembuatan kerajinan/anyaman, proyek pembangunan sampai sarana pelengkap upacara keagamaan. Pemanfaatan sisa/limbah bambu tersebut masih belum dapat perhatian yang serius, bahkan dibuang begitu saja tanpa adanya pengolahan yang lebih bermanfaat sehingga terkesan hanya mengotori lingkungan di sekitarnya.

Salah satu teknologi pemanfaatan energi biomasa adalah dengan gasifikasi *fluidized bed* (FB) yang merupakan teknologi alternatif terbaik untuk mengkonversi bahan bakar biomassa menjadi gas mampu bakar (*syngas*) secara termokimia dalam sebuah reaktor. Proses gasifikasi menggunakan dua bahan bakar secara serentak yaitu biomassa yang dicampur dengan batubara (co-gasifikasi), hal ini dikarenakan biomassa memiliki kandungan bahan mudah menguap (*volatile*) yang sangat tinggi sehingga sifatnya mudah terbakar dan dikhawatirkan biomassa akan habis sebelum terjadinya gasifikasi. Tujuan co-gasifikasi adalah untuk peningkatan nilai kalor dan efisiensi serta kualitas gas gasifikasi yang dihasilkan.

Telah dijumpai penelitian sebelumnya tentang pembakaran dengan co-gasifikasi FB berbahan bakar batubara dan serbuk kayu. Penelitian yang dilakukan adalah menggunakan teknik *bubbling*, akan tetapi masih ada bahan bakar yang belum tergasifikasi sepenuhnya sehingga kurang bersih dan efisien [4]. Studi co-gasifikasi FB menggunakan campuran bahan bakar sampah plastik, biomasa dan batu bara telah dilakukan oleh banyak peneliti [5-8]

Teknologi gasifikasi FB berkembang menjadi teknologi gasifikasi sirkulasi FB yaitu dengan memanfaatkan siklun (cyclone). Siklun adalah komponen yang mampu mensirkulasikan kembali bahan bakar yang belum tergasifikasi sepenuhnya ke dalam reaktor sehingga dapat meningkatkan efisiensi, kualitas gas yang dihasilkan lebih maksimal dan lebih bersih serta lebih ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mencari performansi co-gasifikasi sirkulasi FB menggunakan variasi campuran bahan bakar batubara dan biomassa limbah bambu.

2. Dasar Teori

2.1. Sirkulasi *Fluidized Bed*

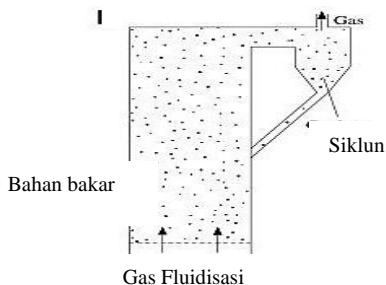
Siklun merupakan unit utama pada sistem sirkulasi FB yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi gasifikasi dengan jalan mensirkulasikan kembali arang yang belum habis terkonversi (*unburned char*). Siklun ini menggunakan gaya sentrifugal untuk memisahkan padatan dari gas dengan mengarahkan aliran gas menuju jalur melingkar. Karena pengaruh gaya inersia, partikel tidak akan mampu mengikuti jalur tersebut sehingga akan terpisahkan dari aliran gas. Meskipun secara fisik pemisahan partikel cukup kompleks, siklun dengan kinerja yang sudah diprediksikan sebelumnya dapat dirancang menggunakan teknologi teoritis dan empiris yang sudah dikembangkan selama ini.

Pada penggunaannya, *Circulating Fluidized Bed* (CFB) lebih unggul daripada *Bubbling Fluidized Bed* (BFB) [9]. Hal ini disebabkan oleh :

- a. Adanya saluran sirkulasi siklun yang memungkinkan pengolahan kembali bahan bakar yang belum terkonversi. Dengan adanya saluran sirkulasi tersebut, waktu tinggal bahan bakar di dalam *gasifier* lebih lama sehingga memungkinkan bahan bakar terkonversi sempurna.
- b. Laju alir udara yang digunakan pada CFB lebih besar, dibandingkan dengan kecepatan yang digunakan pada BFB.

Hal ini menyebabkan kecepatan kontak antara gas dengan padatan yang terjadi pada CFB tinggi sehingga pencampuran massa dan perpindahan panas yang terjadi lebih baik daripada BFB.

c.



Gambar 1. Skema Reaktor Sirkulasi FB

2.2. Parameter – Parameter Proses Gasifikasi

Parameter-parameter penting yang harus dipertimbangkan dalam proses gasifikasi [9] yaitu:

a. Temperatur gasifikasi harus tinggi karena dalam tahap pertama gasifikasi adalah pengeringan untuk menguapkan kandungan air dalam bahan bakar agar menghasilkan gas yang bersih. Temperatur yang tinggi juga dapat berpengaruh dalam menghasilkan gas yang mudah terbakar. Untuk mempertahankan temperatur, maka tangki reaktor diisolasi dengan bata tahan api agar tidak ada panas yang keluar lingkungan sehingga efisiensi reaktor menjadi baik.

b. FCR (Fuel Consumption Rate)

Laju konsumsi bahan bakar pada proses gasifikasi dapat dihitung menggunakan rumus:

$$FCR = \frac{\text{berat biomasa tergasifikasi}}{\text{waktu operasional}} \quad (1)$$

c. Kebutuhan Udara Stoikiometri (SA)

Kebutuhan Udara Stoikiometri (SA) dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$SA = \text{kebutuhan oksigen (C + H + S)} - \text{kandungan oksigen bahan bakar} \quad (2)$$

d. Jumlah Udara Dibutuhkan untuk Gasifikasi

Jumlah udara gasifikasi dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$AFR = \frac{\varepsilon \times FCR \times SA}{\rho_a} \quad (3)$$

Dimana:

$AFR = \text{Air Fuel Rate} (\text{m}^3/\text{jam})$

$FCR = \text{Fuel Consumption Rate} (\text{kg/jam})$

$\rho_a = \text{Massa jenis udara (1,25 kg/m}^3)$

$\varepsilon = \text{Rasioekuivalensi (0,3-0,4)}$

$SA = \text{Udara stoikiometri}$

2.3. Efisiensi Gasifikasi

Efisiensi gasifikasi dapat dihitung dengan persamaan [9]:

$$\eta = \frac{\text{energi sysgas}}{\text{energi input}} \times 100 \% \quad (4)$$

2.4. Volume dan Luas Permukaan Padatan

Volume padatan:

$$Vs = \frac{\text{mass}}{\text{density}} (\text{m}^3) \quad (5)$$

Luas permukaan padatan:

$$As = \frac{6 Vs}{\varphi dm} (\text{m}^2) \quad (6)$$

dimana: $A_s = \text{luas permukaan padatan}$
 (m^2)

$V_s = \text{volume padatan} (\text{m}^3)$

$\Phi = \text{faktor kebolaan}$

$d_m = \text{diameter rata-rata} (\text{m})$

2.5. Kecepatan Minimum Fluidisasi (U_{mf})

Untuk menentukan bilangan *Reynolds* (Re_{mf}) dengan menggunakan *Ergun equation* sebagai berikut [10]:

$$A_r = 150 \frac{(1 - \varepsilon_{mf})}{\varphi^2 \varepsilon_{mf}^3} Re_{mf} + \frac{1,75}{\varphi \varepsilon_{mf}^3} Re^2_{mf} \quad (7)$$

Setelah bilangan Reynolds dapat dihitung dengan rumus di atas, maka kecepatan minimum fluidisasi (U_{mf}) dapat ditentukan dengan menggunakan rumus, sebagai berikut [10]:

$$U_{mf} = \frac{Re_{mf} \times \mu}{\rho_g \times d_g} \text{ (m/s)} \quad (8)$$

3. Metode Penelitian

3.1. Karakterisasi Bahan Bakar

Thermogravimetric Analyzer (TGA) 701 digunakan untuk mengetahui analisis proksimat dari bahan bakar seperti kandungan moistur, volatil, abu (ash) dan karbon tetap (*fixed carbon*).

Tabel 1. Data Hasil Analisa Proksimat

Bahan Bakar	Moisture (%)	Volatile (%)	Ash (%)	Fixed Carbon (%)
Batubara	11,74	40,1	7,05	41,115
Limbah bambu	6,815	70,795	8,48	13,905

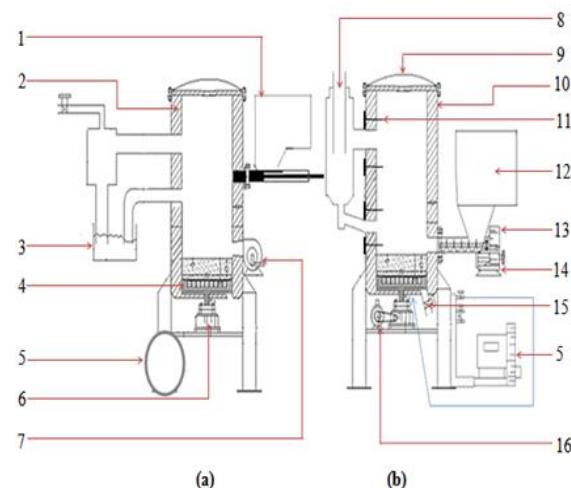
Dari tabel 1 di atas dapat dilihat bahwa kandungan *volatile* pada limbah bambu lebih tinggi daripada batubara. Hal ini menyebabkan limbah bambu tidak memerlukan waktu yang lama pada proses pembakarannya daripada batubara.

Sedangkan CHNSO 628 digunakan untuk mengetahui analisis ultimat dari bahan bakar seperti kandungan karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N) dan sulfur (S).

Tabel 2. Data Hasil Analisa Ultimat

Bahan Bakar	Sulfur (%)	Nitrogen (%)	Karbon (%)	Oksigen (%)	Hidrogen (%)
Batubara	0,24	0,17	62,64	11,79	4,62
Limbah bambu	0,0085	0,051	43,97	37,48	4,52

Dari tabel 2 di atas dapat dilihat bahwa kandungan karbon pada batubara lebih tinggi daripada limbah bambu. Hal ini menyebabkan batubara memerlukan waktu yang lebih lama dalam proses konversi termalnya dibandingkan limbah bambu.



Gambar 2. Skema Reaktor Sirkulasi FB
a. Tampak Depan b. Tampak Samping

Keterangan gambar 2:

- | | |
|-----------------------------------|--|
| 1. Pistonfuel
<i>feeder</i> | 9. Tutup reaktor |
| 2. <i>Isolator</i> | 10. Reaktor |
| 3. Water tank | 11. Termokopel |
| 4. Platdistributor | 12. Screw <i>fuel</i>
<i>feeder</i> |
| 5. Blower | 13. Gear <i>rasio</i>
<i>feeder</i> |
| 6. Gear rasio
plat distributor | 14. Motor listrik |
| 7. Burner | 15. Drain pembuangan |
| 8. Cyclone | 16. Motor listrik
plat distributor |

Gambar 2 di atas adalah skema reaktor yang digunakan untuk penelitian. Pertama 200 gr pasir silika dimasukkan kedalam reaktor melalui bagian atas reaktor. Pasir silika berfungsi sebagai hamparan material yang berfungsi sebagai penyimpan panas dalam reaktor. Selanjutnya adalah menghidupkan *burner* hingga mencapai temperatur ruang reaktor 600°C. Sesaat setelah *burner* dihidupkan barulah plat distributor digerakan, ini berfungsi untuk meratakan temperatur operasi disetiap sisi dasar reaktor. Setelah temperatur operasi didapat, langkah selanjutnya adalah memasukan campuran bahan bakar ke dalam reaktor dengan piston *fuel feeder* untuk batubara dan screw *fuel feeder* untuk limbah

bambu. Mode fluidisasi sudah diset sejak awal percobaan dengan menghidupkan *blower* yang juga berfungsi sebagai agen gasifikasi, sehingga terjadi proses gasifikasi sirkulasi FB dimana gas mampu bakar akan langsung dilewatkan melalui siklon. Dalam siklon akan terjadi sirkulasi bahan bakar dan pemisahan gas mampu bakar dengan abu yang terbawa dari dalam reaktor. Gas hasil gasifikasi akan naik untuk mencari tekanan yang lebih rendah sedangkan abu akan turun kembali ke dalam reaktor karena efek gravitasi.

3.2. Alat dan Bahan



Gambar 3. Foto Reaktor Sirkulasi FB

Pada gambar 3 di atas adalah alat gasifikasi berupa reaktor sirkulasi FB sebagai tempat terjadinya proses gasifikasi bahan bakar batubara dan limbah bambu dengan pasir silika sebagai material hamparan. Bahan yang digunakan untuk membuat reaktor adalah plat baja *stainless steel* dengan tinggi 162 cm dan diameter dalam 79 cm.



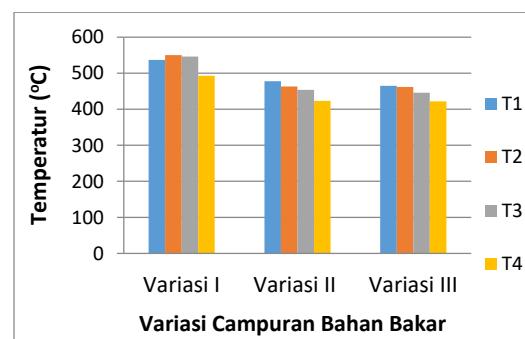
Gambar 4. Bahan Bakar Batubara dan Limbah Bambu

Batubara dan limbah bambu sebelum digunakan sebagai bahan bakar membutuhkan perlakuan awal yaitu dicacah dengan ukuran kurang lebih 1 cm untuk memudahkan dalam pemasukan bahan bakar melalui *fuel feeder*. Kondisi limbah bambu yang digunakan dikeringkan terlebih dahulu agar dalam kondisi kering. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi kadar air dalam limbah bambu, sehingga dalam proses sirkulasi FB didapatkan hasil gas yang baik berupa CO, CH₄ dan H₂.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Distribusi Temperatur Reaktor

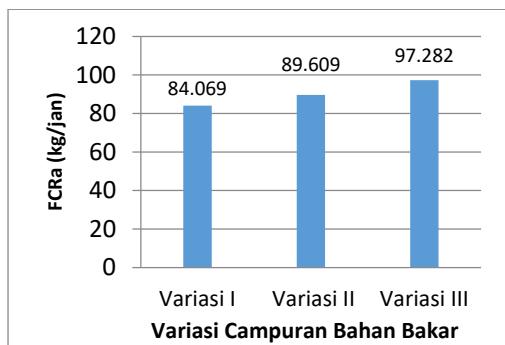
Dari gambar 5, dapat dilihat distribusi temperatur cenderung mengalami fenomena yang sama di setiap variasi namun dari variasi I ke III mengalami penurunan. Penurunan pada variasi III lebih signifikan dibandingkan variasi I dan II, hal ini dikarenakan pada variasi III jumlah komposisi bambunya lebih banyak dan penurunan ini semata-mata disebabkan oleh nilai kalor yang lebih rendah.



Gambar 5. Grafik Rata-Rata Distribusi Temperatur

4.2. Analisis Perbandingan Variasi Campuran Bahan Bakar Terhadap FCR_a

Berdasarkan grafik gambar 6, maka dapat disimpulkan bahwa variasi III dengan persentase komposisi limbah bambu yang lebih besar memiliki FCR aktual yang lebih besar dibandingkan variasi I dan variasi II.

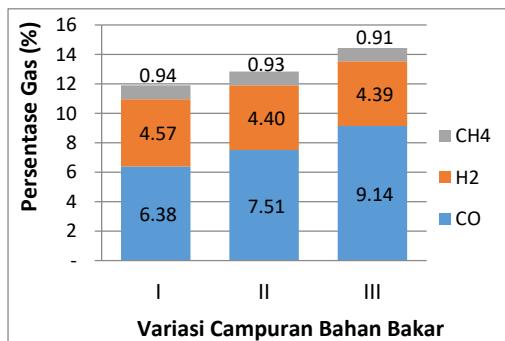


Gambar 6. Grafik Perbandingan Variasi Bahan Bakar Terhadap FCR_a

Hal ini disebabkan karena kandungan volatil limbah bambu yang tinggi menyebabkan limbah bambu lebih cepat habis selama proses gasifikasi.

4.3. Analisis Variasi Campuran Bahan Bakar Terhadap Gas Mampu Bakar Hasil Gasifikasi

Berdasarkan grafik gambar 7, dapat disimpulkan kandungan gas mampu bakar yang tertinggi dihasilkan pada variasi III. Hal ini disebabkan persentase komposisi bahan bakar limbah bambu yang lebih besar dari batubara pada campuran bahan bakar.



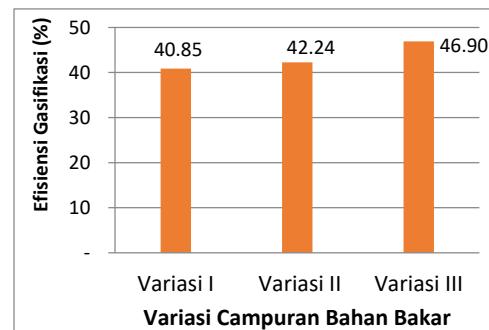
Gambar 7. Grafik Perbandingan Variasi Campuran Bahan Bakar Terhadap Persentase Hasil

Dalam ultimat analisis limbah bambu diperoleh persentase kandungan karbon (C) 43,97 % dan oksigen (O) 37,48 %, sementara batubara memiliki persentase kandungan karbon 62,64 % dan oksigen 11,79 %. Dengan kandungan oksigen yang lebih besar dalam proses gasifikasi, limbah bambu

membutuhkan oksigen yang lebih sedikit dibandingkan batubara yang menyebabkan terjadinya oksidasi parsial ($C + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CO$), sehingga dapat menghasilkan gas CO. Limbah bambu juga memiliki kandungan volatil sebesar 70,795 %, lebih tinggi dibandingkan batubara yang hanya 40,1 %. Kandungan volatil yang tinggi, maka dapat disimpulkan limbah bambu lebih mudah tergasifikasi karena lebih mampu memanfaatkan panas dalam reaktor untuk memaksimalkan energi input dari bahan bakar yang digunakan sehingga dapat menghasilkan persentase kandungan gas karbon monoksida (CO) yang lebih besar yang berarti gas mampu bakar yang dihasilkanpun bertambah besar.

4.4. Analisis Variasi Campuran Bahan Bakar Terhadap Gas Hasil Gasifikasi

Berdasarkan grafik pada gambar 8, dapat disimpulkan bahwa variasi III dengan persentase komposisi limbah bambu yang lebih banyak menghasilkan efisiensi bahan bakar yang lebih baik. Hal ini dipengaruhi oleh tingginya kandungan volatil pada limbah bambu yang mampu membuat lebih cepat mengalami proses pembakaran dan juga lebih cepat tergasifikasi, sehingga lebih mampu memaksimalkan energi input dari bahan bakar untuk dikonversi menjadi gas mampu bakar (CO, H₂ dan CH₄).



Gambar 8. Grafik Perbandingan Variasi Campuran Bahan Bakar Terhadap Efisiensi (η)

5. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan pada gasifier dengan sistem sirkulasi *fluidized bed* dapat disimpulkan bahwa:

- Semakin besar persentase komposisi limbah bambu pada campuran bahan bakar, maka performansi gasifikasi seperti produksi gas mampu bakar yang dihasilkan meningkat disertai FCR_a yang semakin meningkat pula.
- Semakin besar persentase komposisi limbah bambu pada variasi bahan bakar, maka semakin besar efisiensi gasifikasi yang dihasilkan sedangkan rata-rata distribusi temperatur yang terjadi di dalam reaktor semakin rendah.

Daftar Pustaka

- [1] S. Djadjang. (2012). Green Energy. [<https://gistrong.wordpress.com/tag/green-energy-2/>] (diakses tanggal 17 April 2015)
- [2] F. Nizar (2009). Bambu. [<http://www.academia.edu/9302191/BAMB>] (diakses tanggal 17 April 2015)
- [3] Energi Today. (2014). Menteri ESDM Ground Breaking PLT Biomassa dan Peresmian PLTS & PLTMH di Bangli. [<http://energitoday.com/2014/04/07/menteri-esdm-ground-breaking-plt-biomassa-dan-peresmian-plts-pltmh-di-bangli/>] (diakses tanggal 17 April 2015)
- [4] J.K. Krisna. Pengaruh Variasi Komposisi Campuran Bahan Bakar Batubara Dan Serbuk Kayu Terhadap Performansi *Fluidized Bed Gasifier*. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana (2014).
- [5] Mari'a P. Aznar, Miguel A. Caballero, Jesu's A. Sancho, E. France's, Plastic waste elimination by co-gasification with coal and biomass in fluidized bed with air in pilot plant, Fuel Processing Technology, Vol. 87, Issue 5, May 2006, pp. 409–420.
- [6] G. Ruoppolo, F. Micco, P. Brachi, A. Picarelli, R. Chirone, Fluidized Bed Combustion of Biomass and Biomass/Coal Pellets in Oxygen and Steam Atmosphere, Chemical Engineering Transaction, Vol.32 (2013).
- [7] I.N.S. Winaya, R.S. Hartati, I.P. Lokantara, I.GAN Subawa, I.M.A. Putrawan, Design of Fluidized Bed Co-Gasifier of Coal and Wastes Fuels, Applied Mechanics and Material Vol. 776 (2015).
- [8] A. Klein Gasification: An Alternative Process for Energy Recovery and Disposal of Municipal solid Wastes. Department of Earth and Environmental Engineering Foundation School of Engineering and Applied Science: Columbia University (2002).
- [9] A.T. Belonio Rice Huck Stove, Department of Agricultural Engineering and Environmental Management, Central Philippine University: Iloilo City (2005).
- [10] P. Basu, Combustion and Gasification in Fluidized Beds. CRC Taylor and Francis Group, USA (2006).