

PENGARUH KECEPATAN SUPERFISIAL TERHADAP PROFIL SUHU REAKTOR PADA GASIFIKASI *FLUIDIZED BED* BERBAHAN BAKAR SAMPAH TERAPUNG

I Dewa Made Susila

Program Studi Teknik Pendingin dan Tata Udara, Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Bali, Kampus Bukit Jimbaran
Email : susila.idewamade59@gmail.com

Abstrak: Pengelolaan sampah menjadi energi yang bernilai ekonomis dapat dilakukan dengan teknologi gasifikasi *fluidized bed*. Gasifikasi adalah suatu proses termokimia yang mengubah biomassa/sampah padat menjadi gas produser (CO, H₂, CO₂ dan HC) dengan menggunakan agen gasifikasi udara, uap air, oksigen atau campurannya. Dalam penelitian gasifikasi pelet sampah terapung dengan ukuran diameter 1,25 cm dan tinggi 1,25 cm dengan massa 1,22 gram, digunakan agen gasifikasi campuran udara dengan oksigen. Suhu operasi (T_{op}) pada reaktor pada 600°C dengan variasi kecepatan superfisial (U_o) 0,105 m/detik, 0,115 m/detik, dan 0,125 m/detik. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa pada suhu operasi 600°C dan kecepatan superfisial dari 0,105 m/detik menjadi 0,125 m/detik berpengaruh langsung terhadap peningkatan profil suhu reaktor.

Kata kunci: gasifikasi, sampah terapung, agen gasifikasi, udara dengan oksigen, profil suhu

Abstract: Waste management can result in economically valuable energy which can be done with gasification technology “fluidized bed”. Gasification is a thermo chemical process which converts solid biomass or waste into producer gas (CO, H₂, CO₂ and HC) by using gasification agent of air, water vapor, oxygen or mixtures. Gasification agent with mixture of air and oxygen was used in the study of floating waste pellet form with diameter 1,25 cm and height 1.25 cm with mass 1.22 grams. The operation temperature (T_{op}) on reactor was 600°C with superficial velocity variation (U_o) 0.105 m/second, 0.115 m/second, and 0.125 m/second. The research results showed that at temperature of 600°C and superficial velocity from 0.105 m/sec to 0.125 m/sec it give direct impact to increase of reactor temperature profile.

Key words: gasification, floating waste, gasification agent, air and oxygen, temperature profile

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertambahan jumlah penduduk, perubahan pola konsumsi, dan gaya hidup masyarakat telah meningkatkan jumlah timbunan sampah, jenis, dan keberagaman karakteristik sampah. Meningkatnya daya beli masyarakat terhadap berbagai jenis bahan pokok dan hasil teknologi serta meningkatnya usaha atau kegiatan penunjang pertumbuhan ekonomi suatu daerah juga memberikan kontribusi yang besar terhadap kuantitas dan kualitas sampah yang dihasilkan. Meningkatnya volume timbunan sampah memerlukan pengelolaan.

Pemanfaatan energi sampah padat sebagai sumber listrik jauh lebih ramah lingkungan dibandingkan pemanfaatan bahan bakar fosil, seperti solar dan batu bara. Energi listrik yang berasal dari sampah padat itu akan mampu menghemat penggunaan BBM dalam nilai yang cukup besar,

sehingga pengolahan sampah padat menjadi energi listrik menguntungkan banyak pihak.

Pengelolaan sampah menjadi energi (*waste to energy*) [5] yang bernilai ekonomis dapat dilakukan dengan teknologi gasifikasi *fluidized bed*. Gasifikasi adalah suatu proses thermo-kimia yang mengubah biomassa/sampah padat menjadi gas produser (CO, H₂, CO₂ dan HC) [1,2,6,7].

Sampah terapung yang akan digunakan sebagai bahan bakar pada gasifikasi *fluidized bed* ini telah dilakukan kajian awal untuk mengetahui komposisi dan kandungan unsur-unsurnya. Sampah terapung dibuat dalam bentuk pelet dengan massa 1,22 gram dan mempunyai ukuran diameter dan tingginya masing-masing 1,25 cm. Sampel sampah terapung diambil di hilir sungai Badung, tepatnya di estuari Dam Suwung yang terletak di Desa Kepaon, Kecamatan Denpasar Selatan, Kota Denpasar.

Gasifikasi *fluidized bed* (*fluidized bed gasification*, FBG) dipilih untuk menkonversi sampah

menjadi energi karena mempunyai keunggulan mengkonversi berbagai jenis bahan bakar baik sampah, limbah, biomasa ataupun bahan bakar fosil berkalori rendah.

Agen gasifikasi biasanya menggunakan udara, oksigen dan uap air (*steam*) atau campurannya [4,10]. Perbedaan kualitas gas produser yang dihasilkan tergantung pada agen gasifikasi yang digunakan, metode operasi dan kondisi operasi [1]. Gas produser adalah gas hasil proses gasifikasi [7,8,9] dan setelah mengalami proses *cleaning*, akan dihasilkan gas bahan bakar yang disebut dengan *syntetis gas* (*syn-gas*) yang dapat langsung digunakan sebagai gas bahan bakar.

Untuk mengetahui profil suhu sepanjang reaktor dari gasifikasi bahan bakar pellet sampah terapung, maka di dalam penelitian ini akan digunakan agen gasifikasi udara dengan oksigen dengan memvariasikan kecepatan superfisialnya.

1.2 Rumusan Masalah

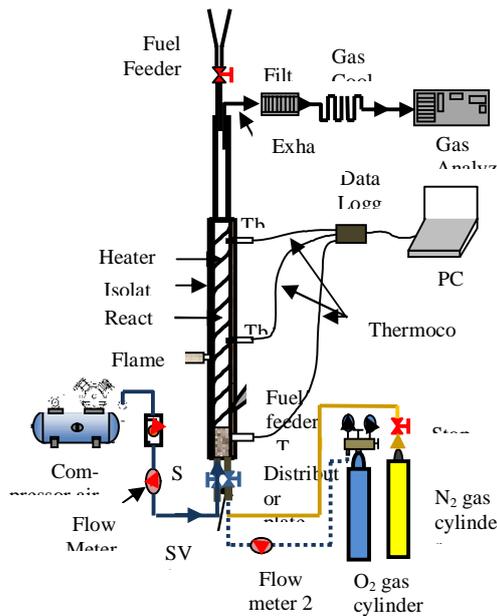
Dari uraian latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan permasalahannya yaitu bagaimanakah profil suhu reaktor pada gasifikasi “*fluidized bed*” berbahan bakar pellet sampah terapung dengan memvariasikan kecepatan superfisialnya.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui profil suhu reaktor pada gasifikasi “*fluidized bed*” berbahan bakar pellet sampah terapung dengan memvariasikan kecepatan superfisialnya.

II. METODE PENELITIAN

2.1 Peralatan penelitian



Gambar 1 Skematik unit FBG

Penelitian dilakukan pada unit gasifier sekala kecil yang dirancang untuk keperluan laboratorium. Diagram skematik untuk *Fluidized Bed Gasifier* (FBG) dan penempatan alat ukurnya dapat dilihat seperti gambar 1.

2.2 Bahan Penelitian

Adapun bahan – bahan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Bahan bakar sampah terapung dalam bentuk pelet yang berbentuk silinder dengan diameter 1,25 cm dan tinggi 1,25 cm.
2. Pasir silika sebagai *bed material*
3. Gas nitrogen (N₂) untuk membilas ruang reaktor.
4. Gas oksigen (O₂) sebagai medium/agen gasifikasi.
5. Udara sebagai medium/agen gasifikasi.

Pengambilan sampel sampah terapung dilakukan di hilir sungai Badung, tepatnya di Dam Estuari Suwung. Selanjutnya sampel sampah terapung tersebut dijadikan serbuk dan dibentuk menjadi pelet.



Gambar 2 Sampah terapung



Gambar 3 Serbuk pellet



Gambar 4 Bentuk pelet sampah terapung

Dari pengujian yang dilakukan di Laboratorium Nutrisi, Fakultas Ternak Universitas Udayana, Denpasar, diperoleh komposisinya sebagai berikut:

Tabel 1 Komposisi sampah terapung

Jenis Sampah	Komposisi Sampah (% Berat)
1. Kertas dan kartun	4,68
2. Logam	-
3. Sampah daun dan rumput	7,02
4. Kayu/ranting	79,53
5. Plastik, karet, sterofoam dan kulit	4,68
6. Kain	4,09

Tabel 2 Kandungan unsur-unsur sampah terapung

Moisture	2,33%
Ash	15,87%
Volatile	65,80%
Organic Matter	84,13%
Gross Energy	17,64 MJ/kg 4,22 kkal/kg

Sumber : Uji Lab. Nutrisi Ternak, Fakultas Peternakan UNUD

2.3 Penentuan Sumber Data

Di dalam penelitian gasifikasi sampah terapung ini akan digunakan pelet sampah terapung yang massanya masing-masing 1,22 gram. Masing-masing sampel ini akan diuji dengan menggunakan pasangan data suhu reaktor dengan kecepatan superfisial dari agen gasifikasi.

2.4 Variabel Penelitian

Sebagai variabel bebas dalam penelitian ini adalah kecepatan superfisial (U_o). Kecepatan superfisial didefinisikan sebagai laju aliran volume gas dibagi dengan luas penampang hamparan [3]. Jadi kecepatan superfisial dapat ditentukan dengan rumusan sebagai berikut:

dimana :

- = Laju aliran volume gas (m^3 /menit)
- = Luas penampang hamparan (m^2)

Kecepatan superfisial ditentukan nilainya berada diantara kecepatan minimum fluidisasi (U_{mf}) dan kecepatan terminal (U_t). Di dalam penelitian ini kecepatan superfisial divariasikan yaitu 0,105 m/detik; 0,115 m/detik; dan 0,125 m/detik pada suhu

operasi (T_{op}) pada $600^\circ C$. Dari pasangan variabel ini akan didapatkan masing-masing profil suhu sepanjang reaktor.

Profil suhu reaktor sebagai variabel tergantung adalah suhu di dalam reaktor yang diukur pada 3 titik pengukuran yaitu T_{b1} , T_{b2} dan T_{b3} (lihat gambar 1).

2.5 Prosedur penelitian

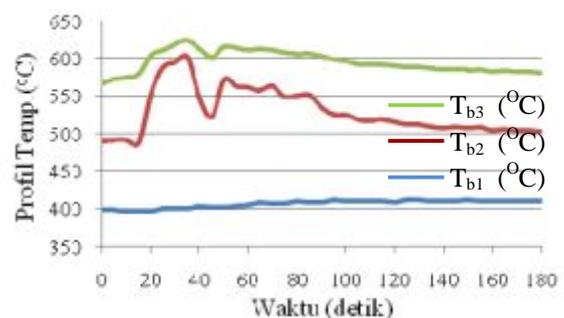
Proses pengkonversian energi pada teknologi FBG dilakukan dengan memanaskan secara eksternal reaktor yang sudah terisi dengan pasir silika pada suhu $600^\circ C$. Gas nitrogen (N_2) dimasukkan ke reaktor untuk pembilasan terhadap sisa-sisa gas hasil gasifikasi sebelumnya. Pada penelitian ini digunakan agen gasifikasi campuran udara dan oksigen, dengan kecepatan superfisial divariasikan pada 3 tingkat kecepatan yaitu 0,105 m/det., 0,115 m/det., dan 0,125 m/det. sedangkan bahan bakar yang dimasukkan ke reaktor dalam bentuk pelet (tablet) dengan massa 1,22 gram dan ukuran diameternya 1,25 cm dan tinggi 1,25 cm.

Setelah reaktor mencapai suhu operasi yang di-set pada $600^\circ C$, agen gasifikasi dihembuskan dari bawah plat distributor, sesuai dengan kecepatan superfisial yang dipilih. Selama proses gasifikasi, suhu reaktor diukur pada 3 titik yaitu T_{b1} , T_{b2} dan T_{b3} . Pengukuran suhu reaktor menggunakan bantuan data logger yang dihubungkan ke komputer dengan bantuan program *LabView*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari penelitian yang telah dilakukan pada suhu operasi (T_{op}) $600^\circ C$ dengan kecepatan superfisial (U_o) 0,105 m/det., 0,115 m/det. dan 0,125 m/det., maka dapat dibuat grafik profil suhu sepanjang reaktor sebagai berikut:

3.1 Profil suhu reaktor pada $T_{op} = 600^\circ C$ dan $U_o = 105$ m/det.



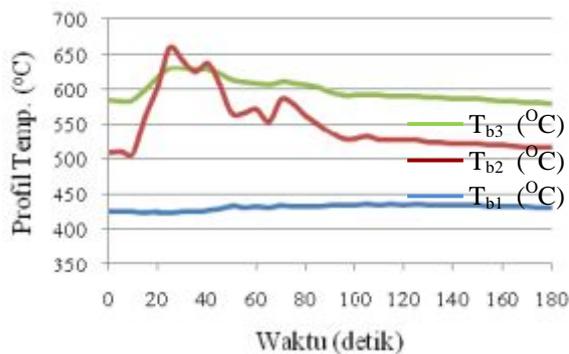
Gambar 5 Grafik profil suhu reaktor pada $T_{op} = 600^\circ C$ dan $U_o = 0,105$ m/det.

Gambar 5 memperlihatkan peningkatan suhu yang cukup tinggi terjadi pada suhu T_{b2} . Peningkatan suhu ini dimulai dari detik ke-10 dengan suhu $508,29^\circ C$ sampai suhu tertinggi yaitu $659,60^\circ C$ pada detik ke-25. Dengan demikian ada kenaikan suhu sebesar $151,31^\circ C$ selama proses gasifikasi

berlangsung. Setelah tercapainya suhu maksimum, maka secara perlahan-lahan mengalami penurunan sampai pada suhu 529,03°C pada t = 95 detik. Hal yang sama juga terjadi pada profil suhu T_{b3}, dimana peningkatan suhunya dimulai dari t = 10 detik dan suhu tertinggi pada t = 30 detik yaitu 630,289°C. Jika mengacu pada suhu awal proses yaitu 584,43°C, maka ada peningkatan suhu pada T_{b3} sebesar 45,86°C. Sedangkan profil suhu T_{b1} sedikit mengalami kenaikan dari 424,63°C sampai dengan 436,58°C pada t = 115 detik dan setelah itu suhunya turun lagi sampai 430,78°C pada detik ke-180.

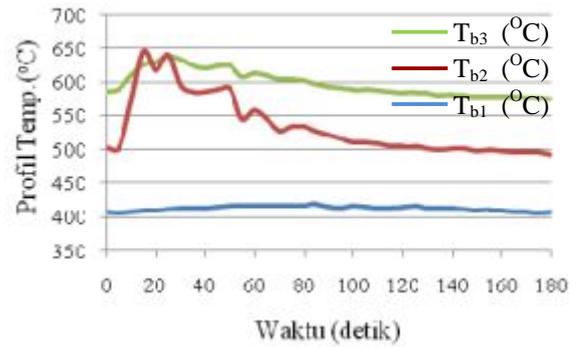
3.2 Profil suhu reaktor pada T_{op} = 600°C dan U_o = 115 m/det.

Grafik pada gambar 6 menunjukkan profil suhu T_{b2} mengalami kenaikan suhu yang cukup tinggi, sedangkan T_{b3} mengalami kenaikan yang lebih rendah bila dibandingkan dengan T_{b2}. Kenaikan suhu T_{b2} dimulai dari detik ke-15 yaitu dari 488,10°C dan sampai pada suhu tertinggi yaitu 601,90°C pada t = 35 detik. Setelah itu ada fluktuasi (turun naik) sampai pada suhu 571,80°C pada t = 50 detik dan setelah itu berangsur-angsur mengalami penurunan sampai pada suhu 504,10°C pada t = 160 detik. Jika diamati profil suhu T_{b2} ini, maka ada kenaikan sebesar 113,80°C selama proses gasifikasi bila suhu tertinggi dikurangi dengan suhu terendah. Kenaikan suhu ini disebabkan terjadinya proses pembakaran bahan bakar yang merupakan bagian dari tahapan gasifikasi. Profil suhu yang sama dengan T_{b2} juga terjadi pada T_{b3} dengan selisih kenaikan suhu sebesar 56,90°C bila suhu tertinggi (623,70°C pada t = 35 detik) dikurangi suhu terendah (566,8°C pada t = 0). Sedangkan untuk profil T_{b1}, ada kecenderungan kenaikan suhu meskipun tidak terlampaui tinggi. Suhu maksimum pada T_{b1} adalah 411,60°C pada t = 95 detik dan suhu terendah adalah 397,30°C pada t = 20 detik.



Gambar 6 Grafik profil suhu reaktor pada T_{op} = 600°C dan U_o = 0,115 m/det.

3.3 Profil suhu reaktor pada T_{op} = 600°C dan U_o = 125 m/det.



Gambar 7 Grafik profil suhu reaktor pada T_{op} = 600°C dan U_o = 0,125 m/det.

Gambar 7 menunjukkan kenaikan suhu yang cukup tinggi terjadi pada T_{b2}, dimana suhu maksimumnya adalah 646,04°C pada t = 15 detik. Setelah itu suhunya mengalami penurunan sampai pada suhu 492,79°C pada t = 180 detik. Pada suhu operasi 600°C, maka bahan bakar sudah mulai terbakar pada detik ke-5. Terbakarnya pelet sampah terapung ini menyebabkan kenaikan suhu di bagian tengah reaktor meningkat dengan tajam. Hal ini dapat diamati pada grafik T_{b2} di bawah. Sedangkan untuk T_{b3}, kenaikannya tidak terlampaui tinggi. Kenaikan suhu ini diakibatkan adanya gas panas hasil pembakaran naik ke bagian atas reaktor, sehingga profil suhu T_{b3} juga identik dengan profil suhu T_{b2}.

IV. SIMPULAN

Dari pembahasan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada suhu operasi 600°C, suhu tertinggi yang dicapai adalah 659,60°C dengan kecepatan superficial 0,105 m/det.
2. Dengan menaikkan kecepatan superficial dari 0,105 m/detik menjadi 0,125 m/detik pada suhu operasi 600°C berpengaruh langsung terhadap peningkatan profil suhu reaktor pada T_{b2}.
3. Suhu pada daerah hamparan (*bed*) (T_{b1}) tidak banyak mengalami peningkatan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Anisa S., Ptasincki K.J. & Khare C.B.. 2005. "Biomass Gasification Using Bubbling-Fluidized Bed Gasifier: Investigation of the Effect of Different Catalysts on Tar Reduction"(Tesis). Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, Chemical Engineering Department

[2] Balas M., Lisy M., & Moskalik J. 2007. Biomass Gasification: Gas for Cogeneration Unit, International Journal of Energy and Environment: Issue 4, Volume 1

- [3] Basu Prabir, Fraser Acott A. 1991. *Circulating Fluidized Bed Boilers, design and Operations*. Butterworth-Heinemann, USA
- [4] Ciferno JP., Marano JJ. 2002. *Benchmarking Biomass Gasification Technologies for Fuels, Chemicals and Hydrogen Production*. U.S Department of Energy, National Energy Technology Laboratory.
- [5] Klein A. 2002. *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 Environmental Engineering
- [6] Klein A. & Themelis N.J. 2003. *Energy Recovery from Municipal Solid Wastes by Gasification*. North American Waste to Energy Conference (NAWTEC 11) 11 Proceedings, ASME International. Tampa FL. p. 241-252.
- [7] Malik A., Naveed S., Akram M. & Ramzan N., 2008. *Fixed Bed Gasification of Steam Treated Food Waste (FW) and Municipal Solid Waste (MSW)*. Lahore: Simon Carves Ltd. Stockport
- [8] Quaak P., Knoef H., & Stassen H. 1999. *Energy from Biomass: A Review of Combustion and Gasification Technologies*. World Bank Technical Paper No. 422, Energy Series
- [9] Rajvanshi AK. 1986. *Biomass Gasification*. Nimbkar Agricultural Research Institute: Maharashtra, India
- [10] Sadaka S. *Gasification, Producer Gas and Syngas, Agriculture and Natural Resources*, Arkansas: University of Arkansas Cooperative Extension Service Printing Services ,FSA1051-PD-5-09N,