

ANALISA KINERJA CYCLONE COMBUSTOR PADA PROSES DOWNDRAFT GASIFIER DENGAN MEDIA SEKAM PADI UNTUK KAPASITAS 10 KG/JAM

A. Wahyu Cahyo Purnomo¹, F.X. Eko Arianto².

^{1,2} Program Studi Mesin Industri - Akademi Teknik Mesin Industri (ATMI) Cikarang
Jl. Kampus Hijau No. 3, Kawasan Jababeka Education Park, Cikarang Baru, Simpangan, Cikarang Utara,
Bekasi, Jawa Barat 17520
wahyucahyopurnomo@yahoo.com

Abstract

Biomass potency in Indonesia is very abundant both from the animal manure or plant. Agriculture and plantations waste which are abundant can be utilized as the energy source. One of them is the rice husk. This experiment used rice husk gasification method with downdraft gasifier to turn it into a combustible gas that will be burned in the combustion chamber cyclone. The advantage of gasification compared to the method of the direct combustion is cleaner burning and particulates and contaminants can be removed before burning. The cyclone fuels can produce good mixing which is suitable for gas with low calorific value. The composition of syngas produced by gasification of rice husk are H₂ 13,6%, CO 14,9%, CO₂ 12,9% dan CH₄ 2,3% [1]. After leaving the reactor syngas entry cyclone separator to remove moisture and contaminants, and then go to the storage tank and eventually went to cyclone fuel to be burned after mixing with air through a different inlet. After that the different value of AFR will vary to see the changes in temperature of the flame, the fire position in the combustion chamber and the flame shape. From the experimental results in AFR = 1.59 fire in the combustion chamber air between 1 and 2, in the AFR = 1.14 The fire in the combustion chamber in the plane 2, in AFR = 0.69 fire in the combustion chamber 3 and in the air between AFR = 0.27 fire outside the combustion chamber after mixing with fresh air.

Keyword : Rice husk, cyclone combustor, syngas, gasification, downdraft gasifier

Abstrak

Potensi biomassa di Indonesia sangat melimpah baik dari limbah hewan maupun tumbuhan. Limbah pertanian dan perkebunan yang cukup besar dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi. Salah satunya adalah sekam padi. Pada eksperimen ini pemanfaatan energi dari sekam padi dilakukan dengan metode gasifikasi menggunakan downdraft gasifier untuk mengubahnya menjadi gas-gas mampu bakar yang selanjutnya akan dibakar pada cyclone combustor. Keuntungan menggunakan metode gasifikasi dibandingkan pembakaran langsung adalah pembakaran lebih bersih, partikulat dan kontaminan dapat dihilangkan sebelum dibakar. Cyclone combustor dapat menghasilkan pencampuran yang baik sehingga cocok digunakan untuk gas dengan nilai kalor rendah. Komposisi syngas yang dihasilkan dari gasifikasi sekam padi adalah H₂ 13,6%, CO 14,9%, CO₂ 12,9% dan CH₄ 2,3% [1]. Setelah melewati cyclone separator untuk menghilangkan uap air dan kontaminan kemudian masuk ke storage tank yang selanjutnya masuk ke dalam cyclone combustor untuk dibakar setelah dicampur dengan udara melalui inlet yang berbeda. Kemudian akan divariasikan dengan berbagai AFR untuk mengetahui perubahan temperatur api, letak api pada combustor dan bentuk apinya. Dari hasil eksperimen pada AFR = 1,58 terletak di dalam combustor pada daerah antara plane 1 dan 2, AFR = 1,13 api terletak di dalam pada plane 2, AFR = 0,69 api terletak di dalam pada plane 3 sedangkan pada AFR = 0,26 tidak terbentuk api di dalam tetapi di luar setelah bercampur dengan udara luar.

Kata kunci: Sekam padi, cyclone combustor, syngas, gasifikasi, downdraft gasifier

1. PENDAHULUAN

Sejalan dengan meningkatnya laju pembangunan dan meningkatnya pola hidup masyarakat, konsumsi energi di Indonesia terus meningkat dari tahun ke tahun. Peningkatan ini terjadi hampir pada semua sektor yang mencakup sektor industri, transportasi, komersial, rumah tangga, pembangkit listrik dan sektor lainnya. Selain biomassa, konsumsi energi di Indonesia selama ini masih bertumpu pada energi fosil terutama bahan bakar minyak (BBM), batubara dan gas bumi.

Perkembangan konsumsi energi berdasarkan sektor pengguna di Indonesia tahun 2000-2013 ditunjukkan pada Grafik 3.15. Konsumsi energi final (termasuk biomassa) pada periode 2000-2013 meningkat dari 764 juta SBM pada tahun 2000 menjadi 1.151 juta SBM pada tahun 2013 atau meningkat rata-rata 3,20% per tahun. Konsumsi energi final tersebut tidak mempertimbangkan other petroleum products, seperti pelumas, aspal, dan lainnya, di sektor industri.

Konsumsi energi final menurut jenis selama tahun 2000-2013 masih didominasi oleh BBM (bensin, minyak solar, IDO, minyak tanah, minyak bakar, avtur dan avgas). Selama kurun waktu tersebut, total konsumsi BBM meningkat dari 315 juta SBM pada tahun 2000 menjadi 399 juta SBM pada tahun 2013 atau meningkat rata-rata 1,83% per tahun [2].

Pemanfaatan biomassa dapat dilakukan dengan cara pembakaran langsung untuk dimanfaatkan panasnya. Tetapi cara ini memiliki kelemahan efisiensi konversi energi yang rendah dan dampak polusinya. Cara lain dengan menggunakan metode gasifikasi. Yaitu mengubah bahan bakar padat menjadi gas yang dapat dibakar berupa gas CO, H₂ dan CH₄. Dengan metode ini akan didapat efisiensi konversi energi yang lebih tinggi dan tingkat polusi yang lebih rendah.

Pada penelitian ini sumber biomassa yang digunakan sebagai penghasil gas adalah sekam padi. Berdasarkan studi pustaka, perbandingan untuk produksi gabah-sekam 1:0,24. Berarti setiap ton gabah yang dihasilkan maka akan menyisakan sekam 0,24 ton. Pada tahun 2014 produksi padi mencapai 74,8 juta ton sehingga sekam padi yang dihasilkan ± 17 juta ton [3]. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengungkap potensi sekam padi di Indonesia seperti Juwarno [4] mengutarakan untuk setiap enam kilogram sekam menghasilkan energi setara satu liter solar. Sehingga potensi sekam padi Indonesia setara dengan 2,7 juta kiloliter solar.

Tiga potensi keuntungan yang bisa didapatkan dari konversi biomassa menjadi gas yaitu:

1. Menghasilkan energi melalui panas
2. Bahan baku untuk memproduksi bahan kimia
3. Bahan bakar alternatif pengganti solar dan bensin.

Pemanfaatan termudah dari gas hasil gasifikasi dengan dibakar untuk mendapatkan panasnya, antara lain sebagai pengering atau pemanas di *burner/combustor*. Pada penelitian ini dipilih tipe *cyclone combustor*.

Penelitian mengenai *cyclone combustor* telah banyak dilakukan. Srinivasan et al. meneliti karakteristik pencampuran dan pembakaran pada *cyclone combustor* secara eksperimental dan numerik. Hasil dari kedua pengukuran dan simulasi mengindikasikan pencampuran yang baik antara bahan bakar – udara, adanya nyala api yang stabil [5].

Luo et al. melakukan eksperimen dengan *biomass micron fuel* (BMF) untuk mengetahui pengaruh *equivalence ratio* (ER) dan ukuran partikel BMF terhadap unjuk kerja pembakaran pada *cyclone furnace*. Menunjukkan hasil emisi CO rendah, konsentrasi jelaga dan kandungan C dalam abu juga rendah. Dengan ER 1,2 didapat temperatur tertinggi dalam ruang bakar 1200°C dan makin kecil ukuran partikel pembakaran makin baik [6].

Dengan menggunakan *micro-cyclone combustor* kelas 30 W sebagai sumber panas untuk generator termoelektrik 1 W, Byung-il et al. melakukan studi mengenai stabilitas pembakaran dan bentuk nyala api secara eksperimental dengan gas metana sebagai bahan bakarnya. Sedangkan simulasi numerik digunakan untuk mengetahui detail struktur api dan mekanisme stabilisasi api dalam *combustor*. Karakteristik pencampuran dan aliran non-reaksi dan reaksi dipelajari menggunakan hasil simulasi [7].

Zyred et al. melakukan pengamatan pembakaran pada *cyclone combustor* dengan bahan bakar hasil gasifikasi sampah biomassa pada *cyclone gasifier*. Didapatkan bahwa *cyclone combustor* menghasilkan pusaran aliran yang kuat dengan pencampuran yang baik dan pembakaran sempurna menciptakan kondisi pembakaran stabil. Lubang *exhaust* dipasang secara tangential pada *combustor* mengurangi penurunan tekanan pada sistem dan memberikan profil kecepatan *exhaust* yang hampir seragam. Hasil gas dengan nilai kalori rendah dapat terbakar sempurna. Karena *combustor*

menghasilkan aliran yang stabil dengan pencampuran dan laju pembakaran yang baik serta kondisi keluar yang seragam maka dapat dioperasikan pada kondisi miskin untuk meminimalkan NOx [8].

K.A. Al-attab dan Z.A. Zainal mempelajari unjuk kerja *pressurized cyclone combustor* (PCC) berbasis *turbocharger*, 2 tingkat gas turbin mikro untuk pembakaran LPG dan LPG dan gas LHV hasil gasifikasi biomassa untuk campuran 2 bahan bakar. *Combustor* mencapai emisi CO dan NOx sangat rendah kurang lebih 5 dan 7 ppm untuk LPG dan 55 dan 12 ppm untuk bahan bakar campuran LPG dan gas LHV [9].

Cheol-Hong et al. menyelidiki secara eksperimental karakteristik pembakaran dari *cyclone jet hybrid combustor* untuk mencapai stabilitas pembakaran yang tinggi dan emisi polutan yang rendah menggunakan 2 macam cara pembakaran: pembakaran difusi (DC) yang terdiri dari aliran udara berpusar dan api difusi jet, dan pembakaran hibrida (HC) yang terdiri dari aliran *premixed* berpusar dan api difusi jet. Pada cara HC efek geometri *nozzle* campuran bahan bakar – udara diselidiki dalam kaitannya dengan stabilitas api dan emisi polutan. Hasilnya dengan cara HC terjadi pengurangan yang signifikan emisi jelaga, CO, dan NOx pada daerah api yang stabil dibandingkan cara DC. Tetapi emisi CO pada cara HC meningkat dengan tajam ketika *overall equivalence ratio* turun dibawah 0,75. Pada *nozzle* bahan bakar dengan banyak lubang menunjukkan pengurangan NOx hingga 55% dibandingkan cara DC [10].

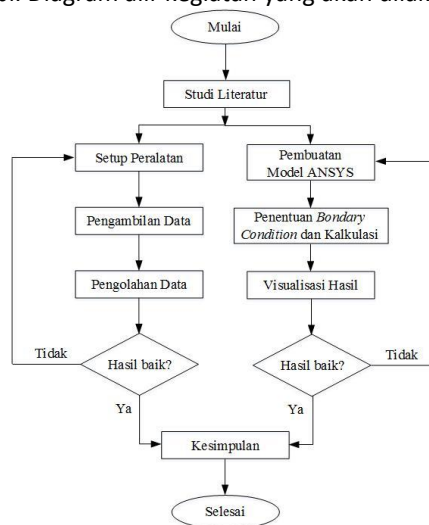
Reddy et al. melakukan percobaan pada *combustor* 2 tingkat secara eksperimental dan numerikal untuk mendapatkan pembakaran tanpa nyala api (*flameless*). Udara dimasukkan melalui 4 lubang didasar *combustor* secara tangensial dan bahan bakar dimasukkan secara terpusat melalui *pressure swirl injector*. Dari eksperimen didapat pembakaran tanpa nyala api tercapai ketika zona reaksi pembakaran dan temperatur terdistribusi merata dalam *combustor*. Emisi CO dan NOx berkurang dari 350 menjadi 11 ppm dan 45 menjadi 12 ppm pada *equivalence ratio* 0,92 di saat operasi pembakaran berubah dari konvensional menjadi tanpa nyala api [11].

Najim et. al. menyelidiki pergerakan api pada berbagai variasi AFR pada *cyclone combustor* [12]. Hasilnya terlihat pada gambar di bawah

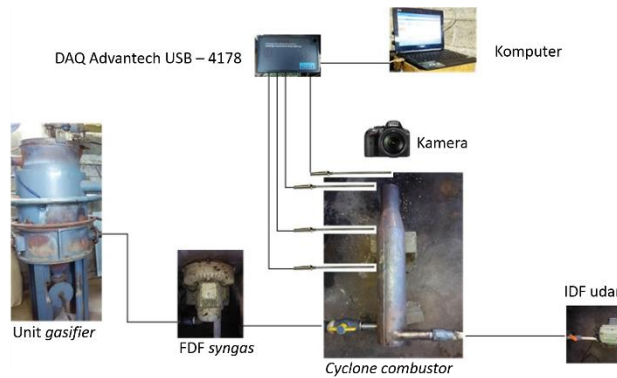
Mode I terjadi pada campuran kaya, pembakaran sebagian berada di dalam *combustor* tetapi sebagian besar berada di luar. Mode II terjadi pada campuran mendekati stoikiometrik, api terutama berada pada *inlet/outlet manifold* dan memanjang kearah dalam ruangan *cyclone*. Mode III terjadi pada campuran miskin, api berbentuk annular dan berada 0,75 diameter ruangan *cyclone* [12].

2. METODE PENELITIAN

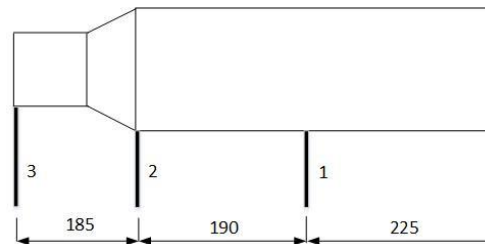
Penelitian yang dilakukan bersifat eksperimental. Dimulai dari studi literatur dengan mencari referensi dari buku, jurnal, dan lain-lain. Kemudian diikuti dengan setup burner yang akan digunakan. Selanjutnya pengambilan data temperatur dan besarnya aliran udara dan syngas serta dokumentasi meliputi foto dan video nyala api. Diagram alir kegiatan yang akan dilakukan sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram alir penelitian



Gambar 2. Pesiapan alat uji



Gambar 3. Letak termolapel

Pengujian meliputi pengukuran temperatur nyala api dengan menggunakan *termocouple*, pengukuran aliran gas dan udara masuk ke *combustor*.

Pengambilan data temperatur api dalam burner dan bentuk apinya akibat pengaruh dari variasi AFR. Bahan bakar bersumber dari *syngas* hasil *gasifier* sekam padi yang ditarik dengan menggunakan blower menuju ke *combustor* sedangkan udara disuplai dari blower yang menyedot udara luar. Termokopel digunakan untuk mengetahui temperatur dan posisi api dalam *combustor* yang akan direkam datanya menggunakan DAQ Adamtech ke dalam komputer. Besarnya aliran *syngas* diatur dengan menggunakan *inverter* untuk mengatur kecepatan putar blower sedangkan udara diatur dengan menggunakan katup sebelum masuk ke *combustor*. Besarnya aliran *syngas* dan udara diukur dengan menggunakan rotameter. Selanjutnya api yang terbentuk didokumentasikan dengan kamera.

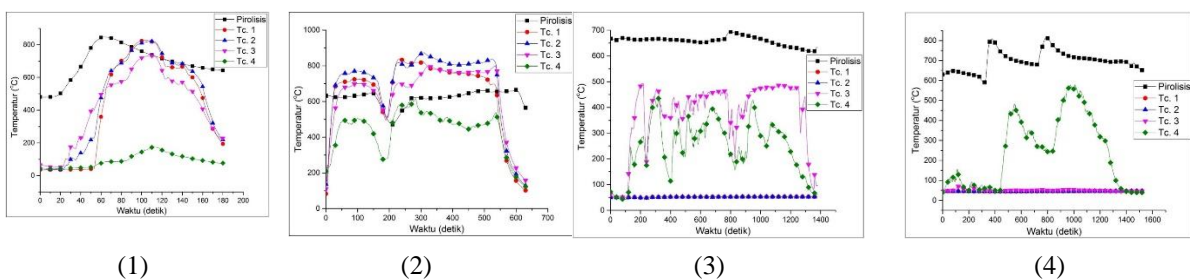
Melihat proses pencampuran udara dan bahan bakar di dalam *cyclone combustor* maka dilakukan *cold mixing simulation* menggunakan perangkat lunak ANSYS 15.0.

3. PENGUJIAN DAN ANALISA

Pengujian yang dilakukan dihasilkan

Tabel 1. Hasil Pengujian

	1	2	3	4
Laju aliran udara (m^3/h)	6	4,3	2,6	1
Temperatur pirolisis	700-800°C	500-700°C	650-700°C	600-800°C
Profil temperatur AFR	1,58	1,13	0,69	0,26



Gambar 4. Grafik temperatur combustor dan pirolisis

4. SIMPULAN

1. Pada $\text{AFR} < \text{stoikiometrik}$ letak api cenderung ada dibagian belakang *combustor* ujung api tidak sampai keluar *combustor*.
2. Pada AFR mendekati *stoikiometrik* letak api pada plane 2 dengan ujung api menyembur keluar dari *combustor*.
3. Pada $\text{AFR} > \text{stoikiometrik}$ tidak terjadi pembakaran di dalam *combustor* karena udara yang disuplai dari inlet tidak cukup untuk terjadinya pembakaran sehingga pembakaran terjadi di luar *combustor* setelah bercampur dengan udara luar.

4. Temperatur api tertinggi terjadi pada AFR mendekati stoikiometrik pada temperatur 800 – 900°C.
5. Temperatur api terendah terjadi pada AFR > stoikiometrik pada temperatur 600°C.
6. Bentuk api bila pembakaran terjadi di dalam *combustor* berupa annular.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. J. Yoon, Y.-I. Son, Y.-K. Kim, and J.-G. Lee, "Gasification and power generation characteristics of rice husk and rice husk pellet using a downdraft fixed-bed gasifier," *Renewable Energy*, vol. 42, pp. 163-167, 6// 2012.
- [2] A. Agus Sugiyono, M. Sidik Boedoyo, and Adiarso, "Outlook Energi Indonesia 2015," BPPT, Ed., ed. Jakarta: PTPSE, 2015.
- [3] Noorjenah, E. H. Subagya, Iswadi, R. R. Amalia, S. H. Siagian, R. Poerwaningsih, *et al.*, "Produksi Tanaman Pangan," S. H. Hardjo and Kadarmanto, Eds., 1 ed Jakarta: BPS, 2015, p. 185.
- [4] K. Samsudin Anis, Samsudin, and Wara Dyah P.R, "Studi Eksperimen Pemanfaatan Sekam Padi sebagai Bahan Bakar Gasifikasi Penghasil Syngas."
- [5] S. Dattarajan, R. Kaluri, and G. Sridhar, "Development of a Combustor to burn raw producer gas," *Fuel Processing Technology*, vol. 126, pp. 76-87, 10// 2014.
- [6] S. Luo, B. Xiao, Z. Hu, S. Liu, and M. He, "Experimental study on combustion of biomass micron fuel (BMF) in cyclone furnace," *Energy Conversion and Management*, vol. 51, pp. 2098-2102, 11// 2010.
- [7] B.-i. Choi, Y.-s. Han, M.-b. Kim, C.-h. Hwang, and C. B. Oh, "Experimental and numerical studies of mixing and flame stability in a micro-cyclone combustor," *Chemical Engineering Science*, vol. 64, pp. 5276-5286, 12/16/ 2009.
- [8] C. Syred, W. Fick, A. J. Griffiths, and N. Syred, "Cyclone gasifier and cyclone combustor for the use of biomass derived gas in the operation of a small gas turbine in cogeneration plants," *Fuel*, vol. 83, pp. 2381-2392, 12// 2004.
- [9] K. A. Al-attab and Z. A. Zainal, "Design and performance of a pressurized cyclone combustor (PCC) for high and low heating value gas combustion," *Applied Energy*, vol. 88, pp. 1084-1095, 4// 2011.
- [10] C.-H. Hwang, S. Lee, J.-H. Kim, and C.-E. Lee, "An experimental study on flame stability and pollutant emission in a cyclone jet hybrid combustor," *Applied Energy*, vol. 86, pp. 1154-1161, 7// 2009.
- [11] V. Mahendra Reddy, D. Sawant, D. Trivedi, and S. Kumar, "Studies on a liquid fuel based two stage flameless combustor," *Proceedings of the Combustion Institute*, vol. 34, pp. 3319-3326, // 2013.
- [12] S. E. Najim, A. C. Styles, and N. Syred, "Flame Movement Mechanism and Characteristics of Gas Fired Cyclone Combustors," presented at the Eighteenth Symposium (International) on Combustion, 1981.
- [13] C. Higman and M. v. d. Burgt, *Gasification*. New York: Elsevier, 2003.
- [14] P. Basu, *Biomass Gasification, Pyrolysis, and Torrefaction*, 2 ed. London: Elsevier, 2013.
- [15] A. K. Rajvanshi, "Biomass Gasification," in *Alternative Energy in Agriculture*. vol. 2, Y. Goswami, Ed., 1 ed: CRC Press, 1986.
- [16] H. F. Guo, Z. Y. Chen, and C. W. Yu, "Simulation of the effect of geometric parameters on tangentially injected swirling pipe airflow," *Computers & Fluids*, vol. 38, pp. 1917-1924, 12// 2009.
- [17] F. Chang and V. K. Dhir, "Turbulent flow field in tangentially injected swirl flows in tubes," *International Journal of Heat and Fluid Flow*, vol. 15, pp. 346-356, 1994/10/01 1994.
- [18] N. Syred and J. M. Beér, "Combustion in swirling flows: A review," *Combustion and Flame*, vol. 23, pp. 143-201, 1974/10/01 1974.
- [19] P. Mullinger and B. Jenkins, *Industrial and Process Furnaces*, 1 ed. Oxford: Elsevier, 2008.
- [20] M. J. Moran and H. N. Shapiro, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, 5 ed. West Sussex: John Wiley and Sons Ltd, 2006.

