

Karakteristik Gasifikasi Menggunakan *Bubbling Fluidised Bed*

Yullian Endi¹ dan Tri Agung Rohmat^{2,*}

¹Prodi Sarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada – Yogyakarta

²Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada – Yogyakarta

*Korespondensi: triagung_rohmat@ugm.ac.id

Abstrak. Salah satu teknologi untuk gasifikasi adalah dengan *bubbling fluidized bed* (BFBG). Keunggulan dari BFBG adalah mampu menangani bahan bakar dengan kuantitas yang besar dan kualitas yang rendah. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik termal gasifikasi, yaitu perubahan temperatur terhadap waktu di dalam BFBG, dan kandungan energi *syngas* yang dihasilkan. Dalam riset ini, BFBG akan dimodelkan sebagai reaktor dengan rangkaian: (i) silinder berdiameter 20 cm dan tinggi total 10 cm, (ii) kerucut terbalik terpotong ujungnya dengan diameter atas 45 cm, (iii) silinder dengan diameter 45 cm dan tinggi 60 cm. Tumpukan pasir silika (700~800 mikron) dengan ketebalan 15 cm diletakkan di atas distributor udara yang berada pada posisi paling bawah reaktor. Dari bawah distributor udara dialirkan udara *preheat*. Batok kelapa dimasukkan menggunakan *screw feeder* dari atas reaktor. Sebagai parameter penelitian adalah temperatur *preheat* yang divariasikan 500~750 °C dan *equivalence ratio* ($ER = AFR_s / AFR_a$). Hasil penelitian menunjukkan distribusi suhu pada bagian pasir dan tengah reaktor menunjukkan kecenderungan yang berbeda dimana suhu pasir relatif *steady* dibandingkan suhu tengah reaktor. Hal ini diduga terkait erat dengan mekanisme reaksi-reaksi gasifikasi yang dominan di masing-masing bagian. Dengan menggunakan *water-boiling test*, dapat disimpulkan bahwa variasi suhu *preheat* tidak menunjukkan perbedaan hasil yang signifikan. Adapun pengaruh ER, semakin tinggi nilai ER yang digunakan, maka energi yang terkandung aliran *syngas* akan semakin tinggi.

Kata kunci: *bubbling fluidized bed*, gasifikasi, batok kelapa, *water-boiling test*

© 2017. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Teknologi gasifikasi secara umum dibedakan menjadi dua jenis yaitu *fixed bed gasifier* dan *fluidized bed gasifier*. Pada metode *fixed bed gasifier*, partikel *bed* berada dalam keadaan diam ketika aliran gas melewati material *bed*, sedangkan pada *fluidized bed gasifier* partikel *bed* bersifat seperti fluida cair ketika kecepatan aliran gas mencapai kecepatan minimum fluidisasinya. Menurut Ergudenler (1993), teknologi *fluidized bed gasifier* memiliki keunggulan dibandingkan teknologi *fixed bed gasifier* yaitu *fluidized bed gasifier* bisa menghasilkan *syngas* dengan nilai kalor yang tinggi meskipun menggunakan bahan bakar biomassa dengan massa jenis yang rendah. *Fluidized bed gasifier* juga memiliki efisiensi gasifikasi antara 75~90%, dimana nilai ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan *fixed bed gasifier*. *Fluidized bed gasifier* lebih fleksibel dengan variasi *feedstocks* dan temperatur partikel *bed* dapat dikontrol dengan mengubah *equivalence ratio*. (Patra dan Sahoo, 2013).

Jangsawang dkk. (2015) melakukan simulasi dengan menggunakan model kesetimbangan termodinamika. Sebagai hasilnya dapat disimpulkan jika untuk nilai ER yang berbeda akan menghasilkan komposisi *syngas* yang berbeda dengan mengguna-

kan CO₂ dan CO sebagai indikator stoikiometri. Pada nilai ER=1, hasil simulasi menunjukkan komposisi gas CO₂ yang ada di dalam *syngas* sangat tinggi karena terjadi reaksi pembakaran. Sedangkan semakin tinggi nilai ER yang digunakan, semakin rendah komposisi CO₂ yang dihasilkan. Hal ini berbanding terbalik dengan komposisi CO yang ada di dalam *syngas*. Sebaliknya, semakin tinggi nilai ER yang digunakan maka semakin tinggi kadar CO yang ada di dalam *syngas* (Jangsawang, 2015).

Penelitian gasifikasi menggunakan *bubbling fluidized bed gasifier* dilakukan oleh Makwana (2014) dengan menggunakan sekam padi. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin tinggi variasi ER yang digunakan maka HHV *syngas* yang dihasilkan juga semakin tinggi. Wu dan Chein (2015) dengan menggunakan data eksperimen dari Zainal dkk. (2002) juga melakukan pemodelan gasifikasi. Penelitian ini menyimpulkan semakin tinggi temperatur *preheat* yang maka semakin kecil nilai kalor *syngas* yang dihasilkan karena temperatur *preheat* yang tinggi akan mengurangi pembentukan gas-gas yang mudah terbakar seperti gas CO (karbon monoksida).

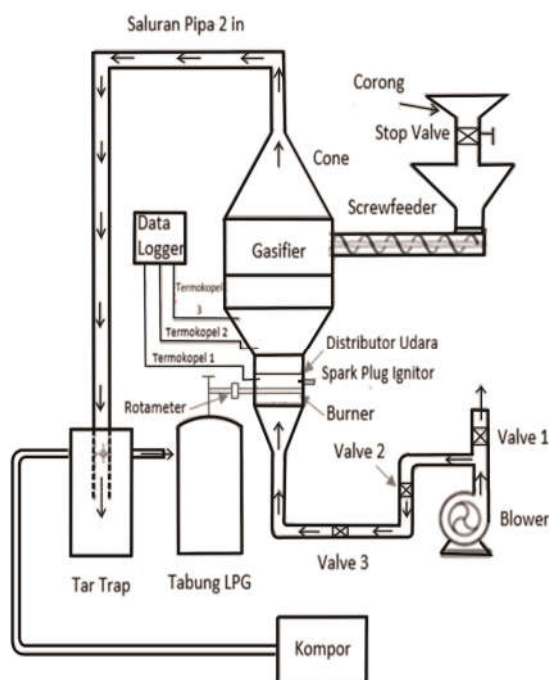
Metode Penelitian

Bubbling fluidized bed gasifier (BFBG) yang digunakan terdiri dari rangkaian (dari bawah) (i)

silinder berdiameter 20 cm dan tinggi total 10 cm, (ii) kerucut terbalik terpotong ujungnya dengan diameter atas 45 cm, (iii) silinder dengan diameter 45 cm dan tinggi 60 cm. Keseluruhan material dari dinding BFBC ini terbuat dari *stainless steel* dengan tebal 1 mm. Gambar skematis dari BFBC, peralatan utama, dan peralatan pendukung ditunjukkan pada Gambar 1.

Sebagai *bed material* digunakan pasir kuarsa dengan diameter berorde 700~800 μm yang diletakkan di atas distributor udara. Udara dialirkan melalui distributor udara dari arah bawah dengan menggunakan blower berdaya 20 HP yang dilengkapi saluran *by pass*. Debit udara diatur menggunakan *stop valve* dan diukur menggunakan orifis. Sebagai bahan bakar digunakan biomassa berupa batok kelapa yang disuplai dengan menggunakan *screw feeder*.

Pengambilan data dimulai dari memasukkan batok kelapa dengan ukuran 2~12 mm dimasukkan ke dalam *hopper* hingga terisi penuh. Kemudian alirkan udara gas LPG sesuai ER yang ditetapkan, dan nyalakan sehingga temperatur *preheat* sampai nilai yang ditentukan. Ketika temperatur pasir sudah mencapai 300~400 °C, batok kelapa dimasukkan ke dalam *hopper* setiap 12 menit. *Syngas* yang keluar dari *tar trap* digunakan untuk melakukan *water boiling test* setelah temperatur pasir mencapai *steady*.



Gambar 1. Skema Alat Penelitian BFBC

Pengukuran temperatur dilakukan dengan menggunakan termokopel tipe K, yang dipasang pada beberapa posisi seperti pada Tabel 1, yang dihubungkan dengan OMRON RX-45 Data Logger.

Tabel 1. Posisi Termokopel

TC	Posisi dari Distributor Udara (cm)
T-preheat	-5
T-pasir	15
T-reaktor	30

Kondisi eksperimental dibagi menjadi 8 kasus seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Kondisi Eksperimental

Kasus	ER	Temperatur
1	2	500
2	2	600
3	2	675
4	2	750
5	3	600
6	3,5	600
7	5	600
8	6,5	600

Hasil dan Pembahasan

Pengambilan data temperatur dilakukan saat memulai menyalakan gas LPG hingga berakhirnya pengujian dalam satu kali pengambilan data. Durasi waktu pengambilan data temperatur yang dibutuhkan berbeda-beda karena waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu yang *steady* pada agen fluidisasi (pasir) tidak sama. Hal ini juga disebabkan oleh kondisi bahan bakar (batok kelapa) yang digunakan, nilai *equivalence ratio* (ER) masing-masing kasus, dan kondisi lingkungan sekitar saat pengujian dilakukan juga berbeda-beda.

Gambar 2(a) menunjukkan perubahan temperatur dimana temperatur *preheat* $T_{ph}=500$ °C. Pada menit ke-4 sampai menit ke-28, temperatur *preheat* diatur pada 500 °C sehingga temperatur pasir di dalam reaktor naik menjadi 380 °C. Temperatur di atas pasir juga naik menjadi 300°C karena energi panas yang disuplai dari *preheat*. Pada menit ke-33 hingga menit ke-60.08, temperatur pasir sudah mulai *steady* pada suhu 380°C dan menghasilkan *syngas* yang sudah bisa dibakar. Sedangkan pada fase ini temperatur di reaktor tetap mengalami fluktuasi.

Gambar 2(b) menunjukkan perubahan temperatur dimana $T_{ph}=600$ °C. Pada menit ke 6 sampai menit ke 16, suhu pasir di dalam reaktor mulai mengalami kenaikan akibat panas yang diterima dari *preheat* hingga mencapai suhu 430 °C pada menit ke 19. Temperatur reaktor juga mengalami kenaikan hingga mencapai 140 °C.

Ketika biomassa dimasukkan (menit 38~42), temperatur pasir meningkat menjadi 650 °C. Hal ini

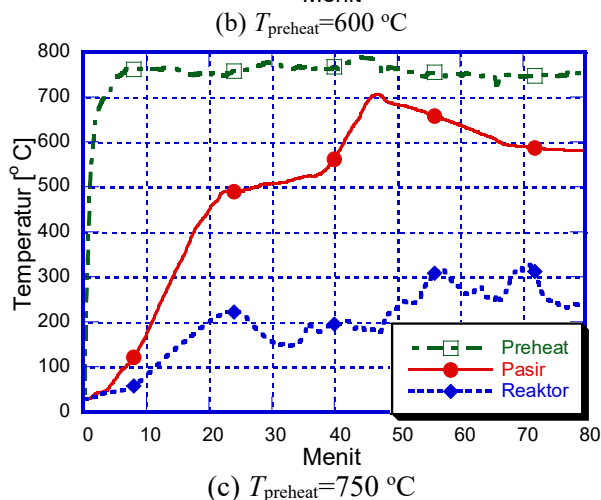
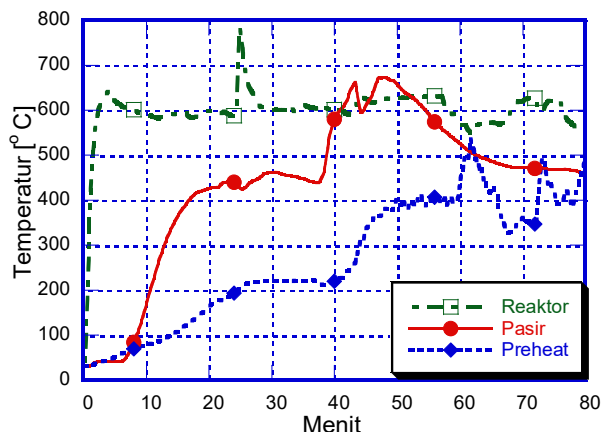
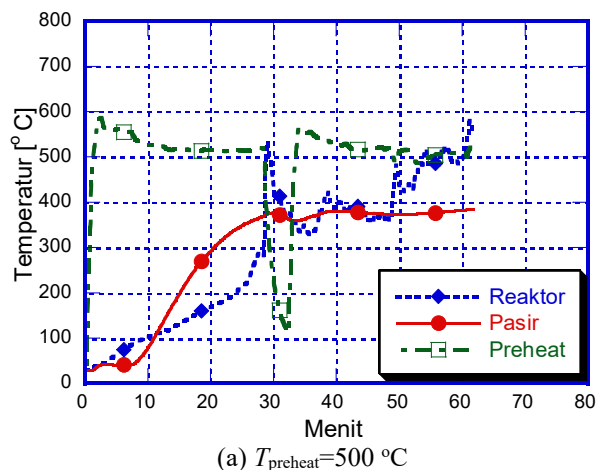
dapat dijelaskan karena di dalam pasir terjadi reaksi oksidasi yang ditimbulkan oleh biomassa yang mengalami proses pengeringan dan pirolisis. Reaksi oksidasi tersebut menghasilkan energi panas yang kemudian menyebabkan temperatur di dalam pasir meningkat. Seiring dengan ini, temperatur reaktor juga mengalami kenaikan.

Dan pada menit ke-43 temperatur pasir mengalami peningkatan. Pada menit ke-45 hingga menit ke-63 (sebelum *syngas* bisa terbakar dengan baik) temperatur pasir mengalami penurunan secara signifikan. Hal ini diperkirakan pada fase tersebut terjadi reaksi reduksi yang menyerap kalor sehingga menyebabkan suhu pasir menurun. Pada fase ini juga terjadi reaksi-reaksi kimia lain seperti *Boudouard Reaction* dan *Methanation* yang berperan penting sebagai pembentukan senyawa-senyawa *flammable gas*. (Verkoijen, 2011). Pada menit ke 66 mulai dilakukan *water boiling test*.

Gambar 2(c) menunjukkan perubahan temperatur dimana $T_{ph}=750\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pada menit ke 22, temperatur pada pasir mencapai $490\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan pada reaktor mencapai $210\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kemudian pada menit ke 24 hingga menit ke 39, temperatur pasir masih tetap meningkat walaupun kecil, tetapi pada reaktor temperaturnya cenderung turun. Kemudian pada menit ke 39 sampai menit ke 47, temperatur pada pasir meningkat drastis hingga mencapai suhu $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ yang disebabkan oleh reaksi oksidasi, sedangkan temperatur pada reaktor cenderung tetap.

Pada menit ke 47 hingga menit ke 66, temperatur pada pasir mengalami penurunan hingga mencapai suhu $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ yang disebabkan oleh reaksi reduksi yang bersifat *endoterm*. Sedangkan temperatur pada reaktor cenderung meningkat hingga mencapai $310\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kemudian pada menit ke-66 hingga menit ke 97 temperatur pasir sudah mulai *steady* pada temperatur 590°C , sedangkan temperatur pada reaktor tetap terjadi fluktuasi seperti pada data-data sebelumnya.

Gambar 3 menunjukkan perubahan temperatur dengan variasi ER dimana temperatur *preheat* T_{ph} dijaga konstan $600\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Gambar 2. Pengaruh Temperatur *Preheat* Terhadap Perubahan Temperatur-Waktu (ER=2)

Gambar 3(a) menunjukkan perubahan temperatur dimana ER=3.5. Temperatur pasir dan reaktor pada menit ke-3 hingga menit ke-11 masing-masing meningkat karena mendapatkan kalor dari *preheat* dengan temperatur konstan $600\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pada menit ke 11 hingga menit ke 43, temperature pasir terus meningkat hingga mencapai $477\text{ }^{\circ}\text{C}$, sedangkan temperatur reaktor naik hingga menit ke 32 mencapai $290\text{ }^{\circ}\text{C}$, kemudian turun. Hal ini disebabkan karena pada menit ke 30 bahan bakar biomassa tepat dimasukkan ke dalam reaktor sehingga pada menit ke 32 terjadi reaksi pengeringan (*drying*) dan reaksi pirolisis pada tahap selanjutnya dimana reaksi tersebut bersifat endotermis sehingga temperatur pada reaktor turun.

Pada menit ke 44, temperatur pasir maupun temperatur reaktor mengalami peningkatan temperatur karena terjadi reaksi oksidasi yang bersifat melepas panas ke lingkungan sehingga temperatur pasir dan *gasifier* masing-masing meningkat. Temperatur pasir meningkat sedikit hingga mencapai $510\text{ }^{\circ}\text{C}$ pada menit 54, sedangkan temperatur reaktor turun hingga mencapai $210\text{ }^{\circ}\text{C}$, kemudian naik lagi pada menit ke 52. Seperti data-data sebelumnya, temperatur reaktor tetap mengalami fluktuasi dikarenakan beberapa faktor diantaranya

reaksi *drying*, reaksi pirolisis, dan reaksi reduksi. Temperatur pasir *steady* yang dihasilkan nilai ER=3.5 sebesar 490 °C.

Gambar 3(b) menunjukkan perubahan temperatur dimana ER=5. Pada menit ke 5 hingga menit ke 20, temperatur pasir mulai mengalami peningkatan yang signifikan hingga mencapai temperatur 418 °C karena, sedangkan temperatur reaktor juga mengalami peningkatan walaupun tidak sebesar kenaikan pada temperatur pasir.

Kemudian pada menit ke 20 hingga menit ke 53, temperatur pasir tetap mengalami peningkatan dari 418 °C menjadi 520 °C dengan rentang waktu kurang lebih 33 menit. Sedangkan temperatur pada reaktor mengalami penurunan mulai menit ke 21 hingga mencapai suhu 120 °C, kemudian mengalami peningkatan hingga mencapai 500 °C pada menit ke 39 hingga menit ke 52. Temperatur pada reaktor pada menit ke 21 dipengaruhi oleh reaksi *drying* dan pirolisis yang membutuhkan energi panas dari lingkungan sehingga temperatur pada reaktor turun. Kemudian pada menit ke 39 hingga menit ke 52 temperatur reaktor cenderung naik akibat dari reaksi oksidasi bahan bakar dan oksigen yang melepaskan energi panas ke lingkungan sehingga menyebabkan temperatur reaktor meningkat.

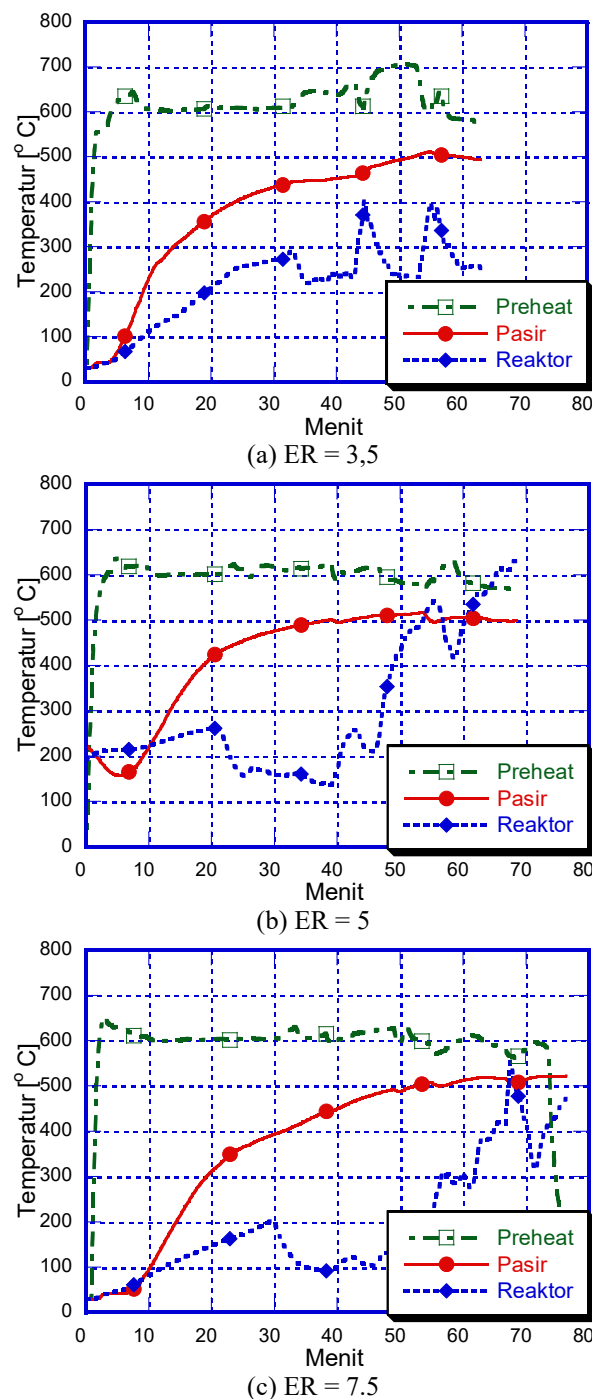
Pada menit ke 54 hingga menit ke 68, temperatur pasir sudah mulai *steady* pada temperatur 505 °C, sedangkan pada reaktor tetap mengalami fluktuasi temperatur yang disebabkan oleh beberapa faktor seperti reaksi *drying*, pirolisis, oksidasi, dan reduksi yang kemudian menyebabkan temperatur reaktor tidak stabil.

Gambar 3(c) menunjukkan perubahan temperatur dimana ER=6.5. Kenaikan ER berarti juga kenaikan biomassa yang digunakan. Pada menit ke 3 sampai menit ke-21 setelah kompor api dinyalakan dan temperatur dijaga pada 600 °C, temperatur pasir meningkat dari 30 °C menjadi 320 °C dalam rentang waktu kurang lebih 18 menit, sedangkan pada reaktor juga meningkat dari suhu 30 °C menjadi 180 °C dengan rentang waktu yang sama.

Menit ke 21 sampai menit ke 53, temperatur pasir tetap meningkat dari temperatur 320 °C menjadi 500 °C, sedangkan temperatur reaktor pada menit ke 29 mengalami penurunan setelah bahan bakar biomassa dimasukkan ke dalam reaktor pada menit ke 26. Setelah biomassa mengalami reaksi *drying* dan pirolisis yang menyerap energi panas dari lingkungan, temperatur reaktor turun. Kemudian mulai menit ke 39 temperatur reaktor mulai meningkat dengan mengalami fluktuasi.

Kemudian pada menit ke 53 hingga menit ke 74, temperatur pada pasir sudah mulai *steady* pada suhu

520 °C meskipun terjadi sedikit penurunan pada menit ke 67 yang disebabkan oleh turunnya temperatur *preheat*.



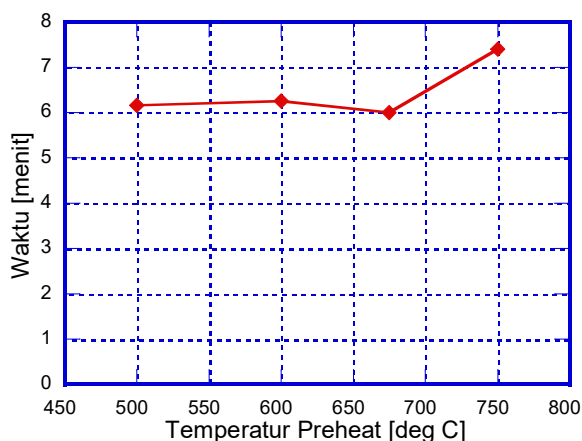
Gambar 3. Pengaruh Equivalence Ratio Terhadap Perubahan Temperatur-Waktu ($T_{preheat}=600\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Terakhir, Gambar 4(a) dan (b) menunjukkan pengaruh temperatur *preheat* dan ER terhadap waktu yang dibutuhkan pada *water boiling test*. Panjang pendeknya waktu yang dibutuhkan dapat diinterpretasikan sebagai besar kecilnya nilai kalor *syngas* yang terkandung dalam *flue gas*.

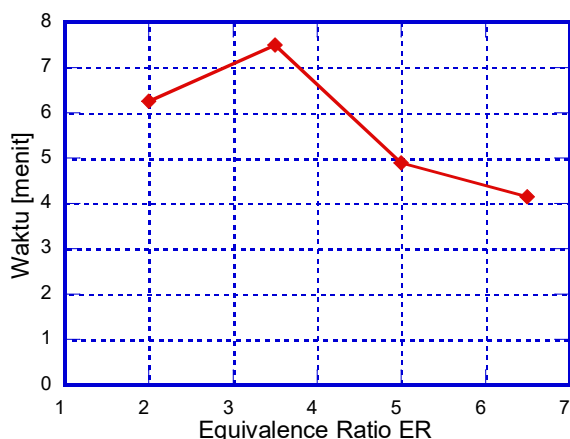
Dari Gambar 4(a) dapat diketahui bahwa pada temperatur *preheat* 500, 600, dan 675 °C waktu

yang dibutuhkan pada *water boiling test* tidak banyak berbeda yaitu sekitar 6,2 menit. Tetapi pada temperatur *preheat* 750 °C, waktu ini naik secara signifikan sampai sekitar 7,5 menit. Hal ini mirip dengan yang ditemukan oleh Wu dan Chein (2015) yang menyatakan bahwa semakin tinggi temperatur *preheat* maka akan menurunkan produksi *syngas*. Lebih jauh, pada penelitian ini diprediksi ada temperatur *preheat* yang membatasi proses gasifikasi batok kelapa dalam *bubbling fluidized bed gasifier*.

Gambar 4(b) menunjukkan bahwa semakin tinggi *equivalence ratio* semakin pendek waktu *water boiling test*, dimana pada ER=2 dan ER=6,5 masing-masing waktunya adalah 6,2 menit dan 4,1 menit. Hal ini berarti bahwa untuk menaikkan produksi *syngas* dapat dilakukan dengan menaikkan nilai ER. Hal ini sejalan dengan hasil yang didapatkan oleh Makwana (2014).



(a) Pengaruh Temperatur *Preheat* Terhadap Waktu *Water Boiling Test*



(b) Pengaruh Equivalence Ratio Terhadap Waktu *Water Boiling Test*

Gambar 4. *Water Boiling Test*

mudah mencapai kondisi *steady* daripada temperatur reaktor.

2. Semakin tinggi nilai ER yang digunakan, maka laju produksi *syngas* semakin tinggi.
3. Sampai suhu 675 °C produksi *syngas* diyakini tidak banyak berubah. Ada suatu temperatur *preheat* yang bersifat pembatas, dimana apabila temperatur *preheat* melebihi temperatur ini maka produksi *syngas* akan turun secara drastis.

Referensi

- [1] Ergudenler, A. and Ghaly, A.E., 1993, Biomass and Bioenergy, Vol. 4, Issue 2, pp. 135-147.
- [2] Jangsawang, et al., 2015. Energy Procedia, Vol 79, pp. 520-527. Makwana, J.P, et al., 2015. Bioresource Technology, Vol. 178, pp. 45-52
- [3] Patra, C. and Sahoo, A., 2013, Int'l Conf. on Energy Efficient Technologies for Sustainability, Nagercoil, India.
- [4] Verkooijen, A.H.M. et al., 2011, Energies, Vol. 4(3), pp. 389-434.
- [5] Wu, K.T and Chein, R.Y., 2015, Energy Procedia, Vol.75. pp. 214-219.
- [6] Zainal, Z.A., et al., 2002, Biomass Bioenergy, Vol. 23, pp. 283-289.

Kesimpulan

1. Distribusi temperatur pada pasir dan reaktor saat dilakukan *water boiling test* menghasilkan pola yang berbeda dimana temperatur pasir lebih