

Analisis *Computational Fluid Dynamics* untuk Perancangan Reaktor Gasifikasi Sekam Padi Tipe *Downdraft*

Computational Fluid Dynamics Analysis for Designing Downdraft-Rice Husk Gasifier

Dziyad Dzulfansyah, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor,
Email: dziyadtmb46@gmail.com

Leopold Oscar Nelwan, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor,
Email: lonelwan@yahoo.com

Dyah Wulandani, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor,
Email: dwulandani@yahoo.com

Abstract

Rice husk is one of biomass type which can be utilized as gasification's feedstock for producing combustible gas which can be used as fuel in internal combustion engine. The objective of this research was to obtain the best design of small scale rice husk gasifier from among geometry scenarios by applying computational fluid dynamics method. The geometry scenarios used in this study were angle of throat 70°, 80°, and 90°, and also angle of nozzle 10° and 20°. The softwares used in this study were Gambit 2.4.6 (meshing 3D model) and Ansys Fluent 13.0 (simulation). The reactions involved in gasification (3 heterogeneous reactions and 6 homogeneous reactions) were solved by finite rate/Eddy dissipation model. Results of simulation showed that gasifier with angle of throat 90° and angle of nozzle 10° produced the highest heating value of gas with volume fraction of CO, H₂, and CH₄ is 14.49%, 9.65%, and 2.39% respectively. This result showed reasonable agreement with experimental data from other researchers on rice husk gasification.

Keywords: *rice husk, gasification, computational fluid dynamics, combustible gas*

Abstrak

Sekam padi merupakan salah satu biomassa yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan gasifikasi untuk menghasilkan gas mampu bakar yang dapat digunakan sebagai bahan bakar pada motor bakar. Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan desain reaktor gasifikasi sekam padi skala kecil yang terbaik dari beberapa skenario bentuk reaktor melalui metode *computational fluid dynamics*. Skenario bentuk geometri reaktor adalah sudut *throat* 70°, 80°, dan 90°, serta sudut nozel 10° dan 20°. Perangkat lunak yang digunakan adalah Gambit 2.4.6 (pembuatan mesh model 3D) dan Ansys Fluent 13.0 (simulasi). Reaksi yang terlibat dalam proses gasifikasi (3 reaksi heterogen dan 6 reaksi homogen) diselesaikan dengan model *finite rate/Eddy dissipation*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa reaktor dengan sudut *throat* 90° dan sudut nozel 10° menghasilkan nilai kalor gas paling tinggi dengan fraksi volume gas CO, H₂, dan CH₄ secara berturut – turut adalah 14.49%, 9.65%, dan 2.39%. Hasil simulasi cukup sesuai dengan data peneliti lain mengenai gasifikasi sekam padi.

Kata kunci: sekam padi, gasifikasi, *computational fluid dynamics*, gas mampu bakar

Diterima: 26 Mei 2014 ;Disetujui: 05 September 2014

Pendahuluan

Gasifikasi biomassa dapat menjadi teknologi yang efisien dan terdepan dalam mengekstrak energi dari biomassa untuk menggantikan sumber energi fosil. Selain karena bersifat dapat diperbarui dalam waktu yang relatif cepat, sumber energi biomassa juga tidak berdampak negatif bagi lingkungan. Gasifikasi biomassa merupakan proses konversi

biomassa padat menjadi gas mampu bakar (CO, H₂, dan sedikit CH₄) melalui proses termal. Gas mampu bakar ini dapat digunakan secara langsung untuk pembakaran, misalnya untuk keperluan rumah tangga atau pengeringan, ataupun juga digunakan sebagai bahan bakar motor bakar yang dapat digunakan untuk pembangkit listrik ataupun keperluan lainnya. Salah satu biomassa di Indonesia yang jumlahnya melimpah dan dapat

Tabel 1. Rumus perhitungan dimensi reaktor.

No	Rumus	Keterangan
1	$\dot{m}_{\text{sekam}} = \frac{FC_{\text{bensin}} \times NK_{\text{bensin}}}{NK_{\text{sekam}} \times \eta_g}$ (Belonio 2005)	\dot{m}_{sekam} : kebutuhan sekam; FC_{bensin} : konsumsi bahan bakar bensin; NK_{bensin} : nilai kalor bensin; NK_{sekam} : nilai kalor sekam; η_g : efisiensi gasifikasi
2	$\dot{V}_{\text{udara}} = \frac{\dot{m}_{\text{sekam}} \times 1.03 \times Mr_{O_2} \times ER}{Mr_{\text{sekam}} \times \rho_{O_2} \times \%vol O_2}$	\dot{V}_{udara} : laju volumetrik udara; Mr : massa molekul relatif; ρ : densitas; ER : equivalence ratio; $\%vol O_2$: persentase volume O_2 di udara
3	$A_{\text{nozsel}} = \dot{V}_{\text{udara}} / v_{\text{udara superficial}}$	A_{nozsel} : luas penampang nozel
4	$d_{\text{nozsel}} = [4 * A_{\text{nozsel}} / (N_{\text{nozsel}} \times \pi)]^{0.5}$	d_{nozsel} : diameter nozel; N_{nozsel} : jumlah nozel
5	$A_{\text{throat}} = \dot{m}_{\text{sekam}} / SGR_{\text{sekam}}$	A_{throat} : luas penampang <i>throat</i> ; SGR : laju konsumsi sekam per luasan <i>throat</i>
6	$d_{\text{throat}} = (4 \times A_{\text{throat}} / \pi)^{0.5}$	d_{throat} : diameter <i>throat</i>
7	$V_{\text{hopper}} = (\dot{m}_{\text{sekam}} / \rho_b \text{ sekam}) \times t$	V_{hopper} : volume <i>hopper</i> ; ρ_b : bulk density; t : periode pengisian sekam
8	$d_{\text{hopper}} = d_{\text{throat}} + 2 \times (h_{\text{nozsel}} / \tan \beta)$	d_{hopper} : diameter hopper; h_{nozsel} : ketinggian nozel dari <i>throat</i> ; β : sudut <i>throat</i>

digunakan sebagai bahan bakar untuk gasifikasi adalah sekam padi. Tipe reaktor gasifikasi *downdraft* merupakan tipe reaktor yang umum digunakan untuk menghasilkan gas mampu bakar yang diterapkan pada motor bakar internal, sehubungan dengan kandungan tar yang lebih sedikit pada gas yang dihasilkan.

Beragam cara dilakukan untuk meningkatkan kinerja suatu reaktor gasifikasi biomassa agar pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi dapat lebih efisien. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah melalui analisis *computational fluid dynamics* (CFD). Hampir lebih dari sepuluh tahun belakangan ini, analisis CFD telah berperan penting dalam meningkatkan kinerja beberapa pembangkit tenaga listrik, termasuk reaktor gasifikasi. Keluaran atau nilai prediksi dari model CFD sangat luas dan dapat memberikan informasi tertentu pada ratusan titik di dalam reaktor. Wang dan Yan (2008) merangkum di dalam suatu artikel tentang beberapa hasil penelitian mengenai aplikasi CFD di dalam proses konversi energi biomassa, baik melalui reaktor gasifikasi maupun melalui ketel uap (*boiler*). Wang dan Yan (2008) menyimpulkan bahwa CFD dapat memprediksi secara akurat proses konversi biomassa secara termokimia. CFD dapat menganalisis mengenai distribusi produk, aliran, suhu, endapan abu, bahkan emisi berupa senyawa NO_x . Meskipun demikian, di dalam simulasi masih ada beberapa pendekatan model berupa asumsi yang akan menghasilkan sedikit eror.

Secara umum, skenario simulasi proses gasifikasi yang dapat disimulasikan dengan CFD antara lain adalah bentuk geometri reaktor (Silaen dan Wang 2006), karakteristik media gasifikasi (Luan *et al.* 2011), karakteristik bahan umpan gasifikasi (Lu dan Wang 2014), laju aliran udara dan laju umpan bahan (Beohar *et al.* 2012b), atau model

– model yang digunakan di dalam simulasi (Silaen dan Wang 2009; Silaen dan Wang 2010; Lu dan Wang 2012). Berdasarkan hasil penelitian Silaen dan Wang (2006) diketahui bahwa konfigurasi nozel injeksi dapat memberikan pengaruh terhadap efisiensi reaktor gasifikasi. Sudut *throat* pada reaktor gasifikasi tipe *downdraft* juga dapat memberikan pengaruh terhadap efisiensi gasifikasi. Sudut *throat* yang baik untuk reaktor gasifikasi tipe *downdraft* adalah dua kali dari sudut curah bahan (Reed dan Das 1988). Hal ini bertujuan agar tidak terjadi penyumbatan pada daerah sekitar *throat*. Jayah *et al.* (2003) menyimpulkan bahwa semakin besar sudut *throat* maka suhu dan laju reaksi semakin rendah. Pada penelitian ini, simulasi difokuskan pada pengaruh bentuk geometri terhadap kinerja reaktor gasifikasi sekam padi. Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan desain reaktor gasifikasi sekam padi tipe *downdraft* skala kecil yang terbaik dari beberapa skenario sudut *throat* dan sudut nozel reaktor melalui metode numerik berupa simulasi CFD.

Bahan dan Metode

Bahan

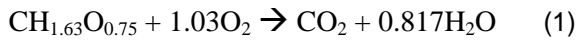
Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sekam padi.

Metode

Perhitungan Dimensi Reaktor

Kebutuhan gas yang harus dihasilkan digunakan sebagai dasar perhitungan dimensi reaktor. Rumus pada Tabel 1 digunakan untuk perhitungan dimensi reaktor. Rumus molekul sekam padi tiap 1 atom karbon adalah $CH_{1,63}O_{0,75}$ yang diambil dari rata-rata dari 6 literatur berbeda, yaitu Raveendran *et*

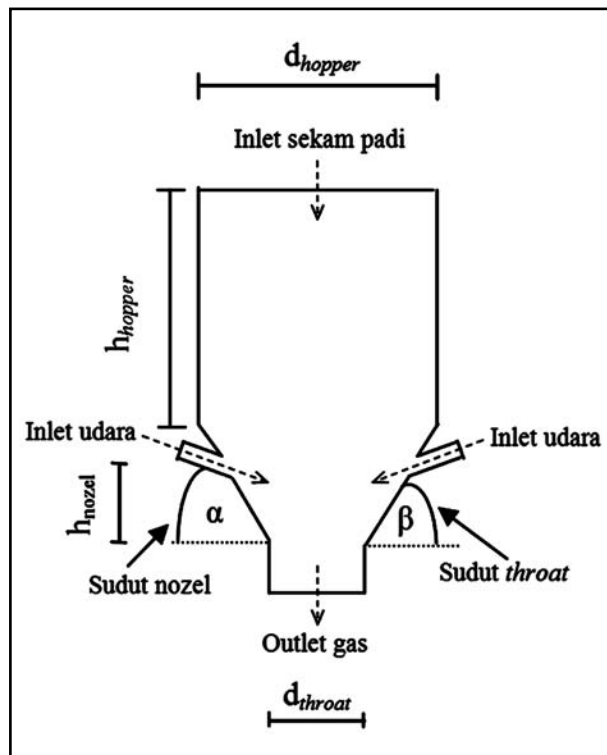
al. (1994), Ramirez *et al.* (2007), Janvijitsakul dan Kuprianov (2007), Wannapeera *et al.* (2008), IRRI (2009), dan Rozainee *et al.* (2010), sehingga reaksi pembakaran sekam padi secara stokiometrik adalah sebagai berikut:



Analisis perhitungan reaktor untuk menggantikan bahan bakar bensin pada motor bakar bensin 2.5 HP (konsumsi bahan bakar spesifik 450 g/kW-jam (Cqjc-machinery [tahun terbit tidak diketahui] atau 0.839 kg/jam) dengan asumsi efisiensi gasifikasi 50% (Leung *et al.* 2004) dan SGR 110 kg/m²-jam (Belonio 2005) adalah sebagai berikut: kebutuhan sekam padi 4.88 kg/jam atau 0.001355 kg/detik, kebutuhan udara 10.48 m³/jam atau 0.0029 m³/detik dengan nilai *equivalence ratio* 0.4 (Jain dan Goss 2000) dan kecepatan superfisial udara pada nozel 2 m/detik, diameter nozel 1.24 cm, diameter *throat* 24 cm, dan volume *hopper* 0.039 m³. Diameter dan ketinggian *hopper* berturut-turut untuk sudut *throat* 70° adalah 33.3 cm dan 44.9 cm, sudut *throat* 80° adalah 28.4 cm dan 61.7 cm, dan sudut *throat* 90° adalah 24 cm dan 88 cm.

Skenario Geometri Model

Skenario geometri yang dilakukan adalah variasi terhadap sudut *throat* dan sudut nozel udara inlet. Sudut *throat* yang baik adalah dua kali dari sudut curah bahan (Reed dan Das 1988), sehingga dengan sudut curah sekam padi minimum 35° maka digunakan sudut *throat* minimum 70°. Sudut *throat* yang akan digunakan sebagai skenario simulasi



Gambar 1. Skema reaktor gasifikasi.

Tabel 2. Komposisi proksimat dan ultimat sekam padi.

Komposisi proksimat		Komposisi ultimat	
Kadar air (%)	11.3012	Kadar C (%)	46.6
Kadar material volatil (%)	57.7233	Kadar H (%)	6.3
Kadar abu (%)	21.8294	Kadar O (%)	46.5
Kadar karbon terikat (%)	9.1462	Kadar N (%)	0.6
Nilai kalor (kJ/kg)	15481		

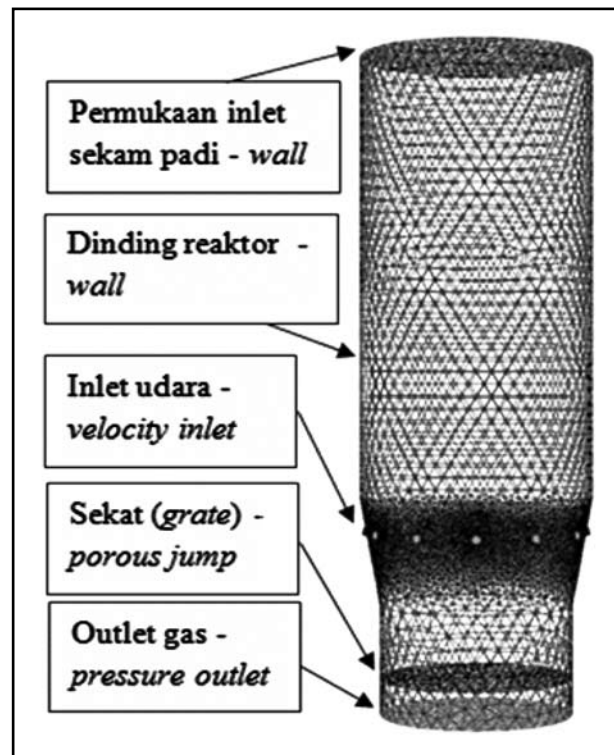
adalah 70°, 80°, dan 90° (*throatless*). Sudut nozel yang digunakan adalah sudut 10° dan 20°. Total seluruh skenario yang akan disimulasikan adalah 6 skenario. Skema reaktor gasifikasi yang dirancang disajikan pada Gambar 1.

Pembuatan Mesh Model dan Kondisi Batas

Pembuatan mesh model 3D dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Gambit 2.4.6. Jenis mesh yang digunakan adalah model *tet/hybrid*, tipe TGrid. Kondisi batas yang digunakan adalah *velocity inlet* untuk inlet udara, *pressure outlet* untuk outlet gas, *porous jump* untuk sekat (*grate*), dan *wall* untuk inlet sekam dan dinding reaktor. Bagian kondisi batas disajikan pada Gambar 2.

Simulasi CFD dengan Ansys Fluent

Persamaan Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS) memegang peranan penting dalam simulasi CFD. Persamaan RANS (persamaan (2)) merupakan persamaan Navier-Stokes (momentum) yang dinyatakan ke dalam bentuk rata-rata untuk



Gambar 2. Kondisi batas model.

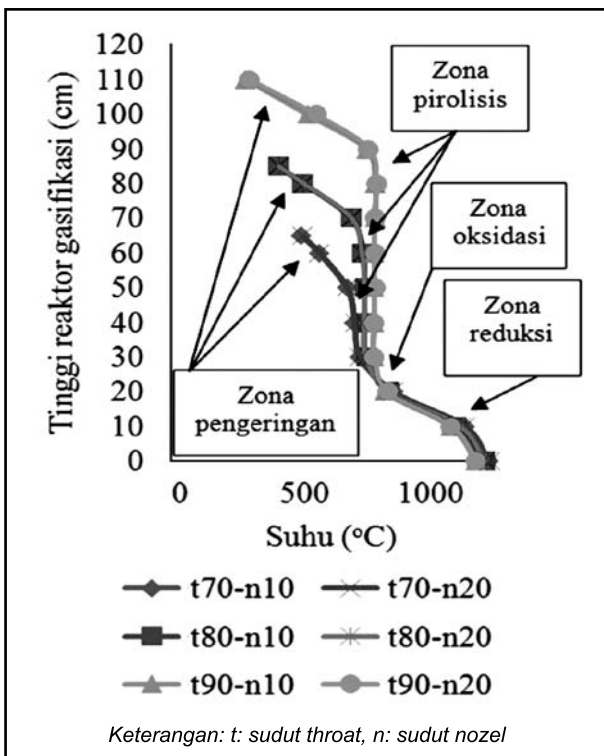
Tabel 3. Reaksi yang terlibat dalam proses gasifikasi

No	Reaksi	A	E (J/kmol)	Sumber
Reaksi heterogen				
1	$C(s) + 0.5O_2 \rightarrow CO$	0.052	6.1e+07	Chen <i>et al.</i> (2000)
2	$C(s) + CO_2 \rightarrow 2CO$	0.0732	1.125e+08	Chen <i>et al.</i> (2000)
3	$C(s) + H_2O \rightarrow CO + H_2$	0.0782	1.15e+08	Chen <i>et al.</i> (2000)
Reaksi homogen				
4	<i>Volatile matter</i> ($CH_{2.28}O_{1.06}N_{0.0156}$) \rightarrow 0.4773CO + 0.6773H ₂ + 0.2913CO ₂ + 0.2313CH ₄ + 0.0078N ₂	Hanya didasarkan pada laju disipasi Eddy		Bosong <i>et al.</i> (2012)
5	$CO + 0.5O_2 \rightarrow CO_2$	2.239e+12	1.7e+08	Westbrook dan Dryer (1981)
6	$H_2 + 0.5O_2 \rightarrow H_2O$	6.8e+15	1.68e+08	Jones dan Lindstedt (1988)
7	$CH_4 + 0.5O_2 \rightarrow CO + H_2$	Hanya didasarkan pada laju disipasi Eddy		Lu dan Wang (2014)
8	$CO + H_2O \rightleftharpoons CO_2 + H_2$	2.75e+02	8.38e+07	Silaen dan Wang (2010)
9	$CO + 3H_2 \rightleftharpoons CH_4 + H_2O$	4.4e+11	1.68e+08	Jones dan Lindstedt (1988)

mengantisipasi aliran turbulen (Ansys 2010).

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (\overline{\rho u_i u_j}) \quad (2)$$

di mana: ρ : densitas (kg/m³), t : waktu (detik), u : kecepatan (m/detik), p : tekanan (Pa), μ : viskositas dinamik (Pa-s), i dan j : arah vektor, dan x : sumbu kartesian. Selanjutnya, persamaan konservasi yang terlibat dalam simulasi adalah persamaan konservasi massa, energi, dan spesies yang digunakan didasarkan pada persamaan RANS di atas (Ansys 2010).



Gambar 3. Suhu sepanjang titik vertikal reaktor.

Simulasi CFD dilakukan menggunakan perangkat komputer merk Dell dengan kecepatan prosesor 3.3 GHz, dan perangkat lunak CFD Ansys Fluent 13.0. Pengaturan diawali dengan memilih *pressure-based* sebagai tipe *solver*, *absolute* sebagai tipe *velocity formulation*, dan *steady* sebagai tipe *time*, memasukkan nilai percepatan gravitasi 9.81 m/s² pada arah sumbu Y negatif, mengaktifkan model energi, dan mengaktifkan model *porous zone*. Model radiasi P1 digunakan pada penelitian ini karena model ini cukup stabil dalam memprediksi suhu dan komposisi gas (Lu dan Wang 2012). Model reaksi *finite rate/Eddy dissipation* digunakan pada penelitian ini karena lebih riil dibandingkan dengan model *Eddy dissipation* (Silaen dan Wang 2009). Laju reaksi pada model *finite rate/Eddy dissipation* didasarkan pada nilai terkecil dari model *finite rate* dan model *Eddy dissipation*. Model turbulensi yang digunakan adalah model *k-epsilon* karena memberikan hasil yang cukup konsisten (Silaen dan Wang 2010). Model devolatilisasi berpengaruh terhadap laju devolatilisasi. Pada penelitian ini, model *two-competing rates* (model Kobayashi) dipilih sebagai model devolatilisasi. Meskipun menghasilkan laju devolatilisasi yang paling lambat dibandingkan dengan model yang lain, model ini masih dapat mewakili proses yang sesungguhnya (Silaen dan Wang 2010).

Komposisi proksimat dan ultimat sekam padi (Tabel 2) diinputkan menggunakan fasilitas menu *coal calculator*. Komposisi proksimat sekam padi diuji dengan menggunakan metode SNI di Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan, sedangkan komposisi ultimat sekam padi merupakan rata-rata dari data 6 literatur berbeda.

Model fase diskret diaktivasi untuk menelusuri partikel sekam. Laju massa dan diameter partikel sekam diatur menggunakan menu *injections*. Model

Tabel 4. Perbandingan karakteristik gas dari masing - masing scenario

No	Skenario	Persentase gas (% volume)			Nilai kalor (kJ/Nm ³)
		CO	H ₂	CH ₄	
1	Sudut throat 70 ⁰ , nozel 10 ⁰	11.42%	14.02%	1.78%	3,727.63
2	Sudut throat 80 ⁰ , nozel 10 ⁰	12.74%	12.66%	2.01%	3,833.20
3	Sudut throat 90 ⁰ , nozel 10 ⁰	14.49%	9.65%	2.39%	3,865.68
4	Sudut throat 70 ⁰ , nozel 20 ⁰	10.18%	14.54%	1.72%	3,601.12
5	Sudut throat 80 ⁰ , nozel 20 ⁰	12.59%	12.85%	2.00%	3,829.18
6	Sudut throat 90 ⁰ , nozel 20 ⁰	14.30%	9.66%	2.42%	3,850.65

devolatilisasi yang dipilih adalah model Kobayashi (*two competing rates*) dan model pembakaran yang dipilih adalah *multiple surface reactions*. Reaksi yang terlibat dalam proses gasifikasi disajikan pada Tabel 3.

keterangan: Y adalah fraksi volume dan nilai kalor (LHV) CO, H₂, CH₄ berturut – turut adalah 13,100 kJ/Nm³, 11,200 kJ/Nm³, dan 37,100 kJ/Nm³ (Reed dan Das 1988).

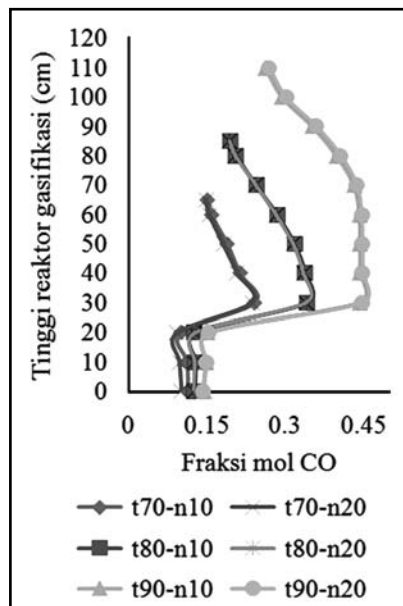
Hasil dan Pembahasan

Simulasi dan Analisis CFD

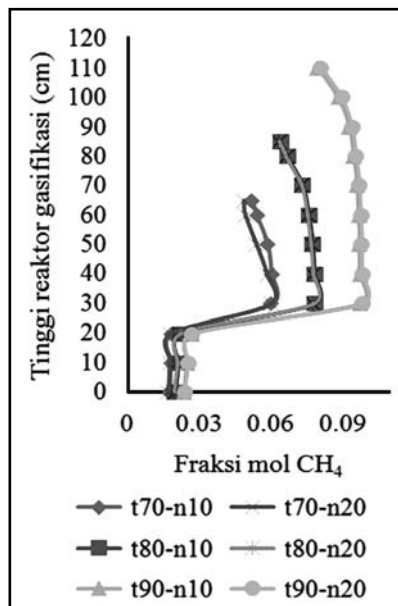
Simulasi dilakukan terhadap 6 skenario yang telah direncanakan. Suhu dan komposisi gas mampu bakar sepanjang titik vertikal reaktor untuk masing – masing skenario disajikan pada Gambar 3 hingga Gambar 6, sedangkan komposisi gas mampu bakar pada bagian outlet dan nilai kalornya disajikan pada Tabel 4. Suhu dan komposisi gas yang disajikan merupakan nilai rata – rata menggunakan perhitungan *mass-weighted average*. Nilai kalor gas dihitung dengan persamaan (3).

$$\text{Nilai kalor} = Y_{\text{CO}}\text{LHV}_{\text{CO}} + Y_{\text{H}_2}\text{LHV}_{\text{H}_2} + Y_{\text{CH}_4}\text{LHV}_{\text{CH}_4} \quad (3)$$

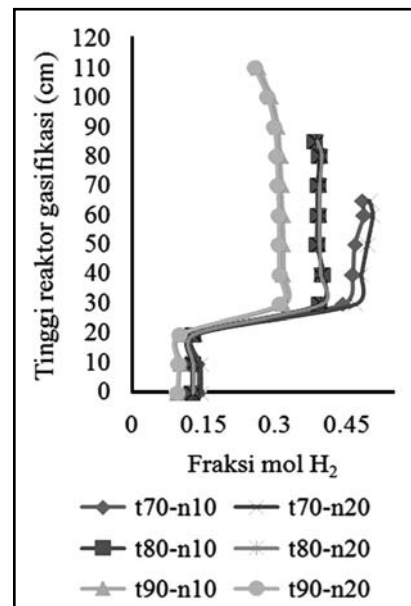
Berdasarkan Gambar 3, dapat diketahui bahwa suhu di dalam reaktor untuk masing – masing skenario cenderung memiliki pola yang seragam. Pada sekitar sepertiga bagian atas reaktor hingga bagian paling atas reaktor, suhu mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena panas digunakan untuk proses pengeringan dan pirolisis. Pada bagian tengah reaktor, suhu cenderung konstan, tetapi pada posisi di sekitar lubang nozel udara, suhu mengalami kenaikan yang signifikan. Hal ini terjadi karena adanya proses oksidasi setelah udara masuk ke dalam reaktor yang menghasilkan panas. Berdasarkan Gambar 3 juga dapat diketahui bahwa sudut *throat* yang lebih kecil cenderung menghasilkan suhu yang lebih rendah pada daerah di bagian atas nozel udara, tetapi lebih tinggi pada daerah di sekitar nozel dan bagian bawah nozel. Hal ini sesuai dengan Jayah *et al.* (2003) yang



Gambar 4. Fraksi mol gas CO sepanjang titik vertikal reaktor.



Gambar 5. Fraksi mol gas H₂ sepanjang titik vertikal reaktor.

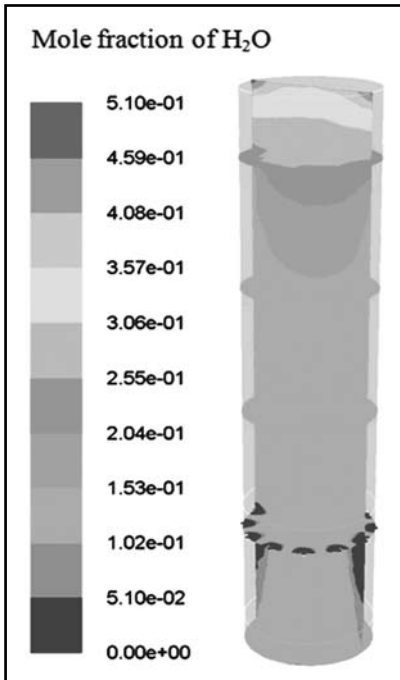


Gambar 6. Fraksi mol gas CH₄ sepanjang titik vertikal reaktor.

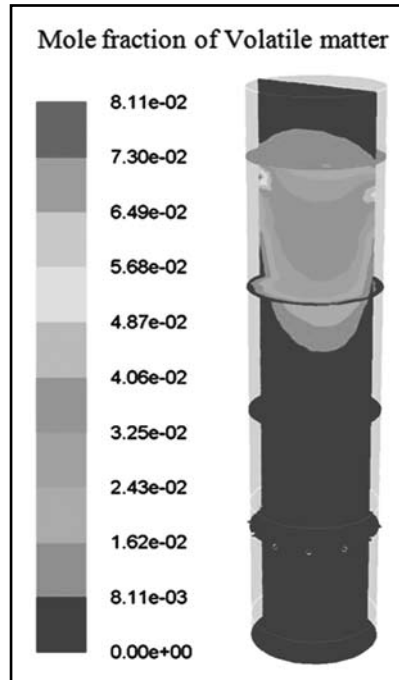
Keterangan: t: sudut *throat*, n: sudut nozel

menyimpulkan bahwa semakin besar sudut *throat* maka suhu di sekitar daerah oksidasi semakin rendah. Suhu sepanjang bagian lubang nozel udara hingga outlet gas mengalami peningkatan secara signifikan dan perlahan melambat di sekitar daerah outlet gas. Hal ini dapat terjadi karena masih terjadi reaksi yang bersifat eksotermik yang membuat terjadinya peningkatan suhu. Hal ini menunjukkan bahwa zona reduksi di bawah lubang nozel perlu diperpanjang agar proses gasifikasi dapat berlangsung lebih baik dan suhu keluaran reaktor lebih rendah.

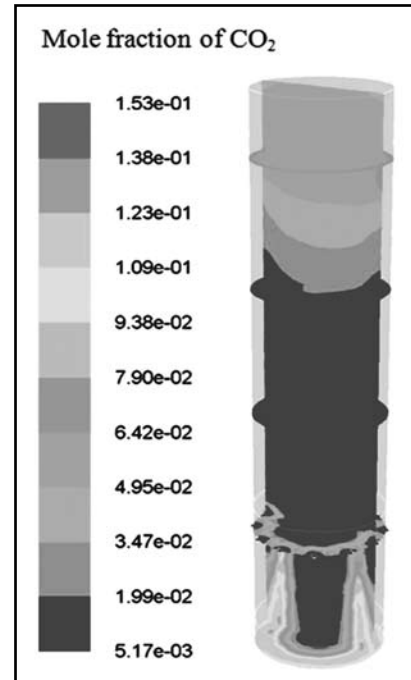
Gambar 4 hingga Gambar 6 menunjukkan bahwa fraksi mol gas mampu bakar sepanjang titik vertikal reaktor untuk masing – masing skenario memiliki pola yang cenderung seragam. Dari bagian paling atas hingga mendekati lubang nozel, fraksi mol meningkat, tetapi kemudian menurun secara signifikan pada titik di sekitar lubang nozel. Hal ini terjadi karena sebagian gas – gas mampu bakar mengalami reaksi oksidasi untuk menghasilkan panas. Selain itu, tingginya fraksi mol gas N_2 yang terkandung di dalam udara yang masuk ke dalam reaktor membuat fraksi mol gas yang lain menjadi



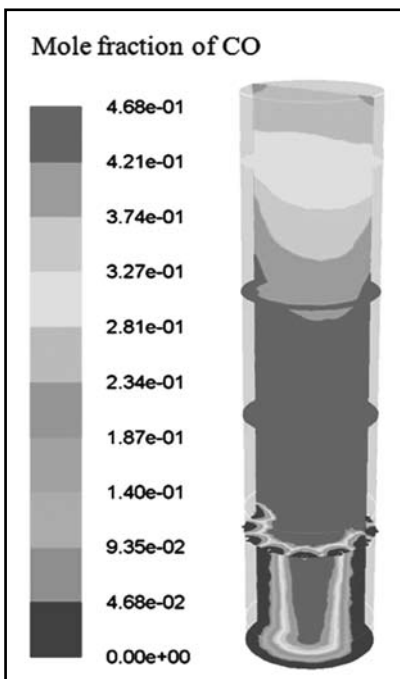
Gambar 7. Fraksi mol H₂O.



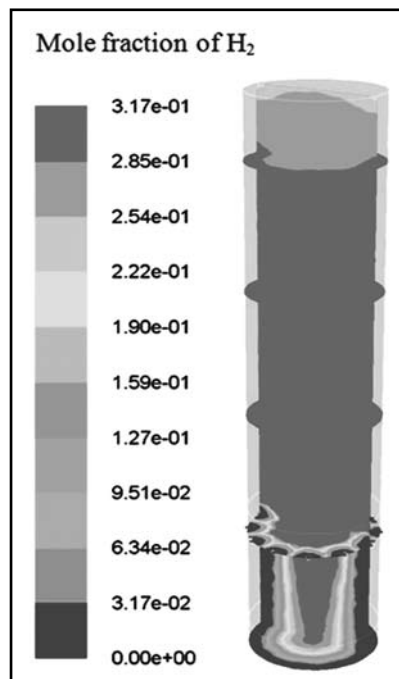
Gambar 8. Fraksi mol volatile.



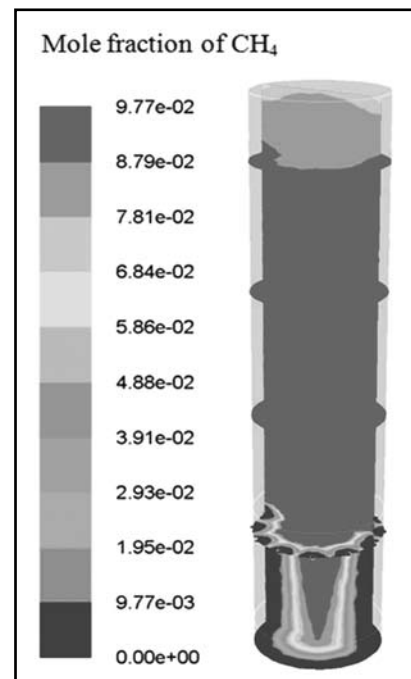
Gambar 9. Fraksi mol CO₂.



Gambar 10. Fraksi mol CO.



Gambar 11. Fraksi mol H₂.



Gambar 12. Fraksi mol CH₄.

Tabel 5 Perbandingan hasil simulasi dengan beberapa literatur

Sumber data	Persentase gas (% volume)			Nilai kalor (kJ/Nm ³)
	CO	H ₂	CH ₄	
Hasil simulasi	14.49	9.65	2.39	3,865.68
IDCOL (2007)	20.62	10.62	4.00	5,374.66
Khater <i>et al.</i> (1992)	13.67	5.13	2.42	3,263.15
Beohar <i>et al.</i> (2012a)	16.10	9.60	0.95	3,536.75

menurun. Berdasarkan Gambar 4 dan Gambar 6, dapat diketahui bahwa reaktor dengan sudut *throat* 90° menghasilkan fraksi mol gas CO dan CH₄ yang paling tinggi sepanjang titik vertikal reaktor, diikuti oleh sudut *throat* 80°, dan yang terakhir sudut *throat* 70°. Hal tersebut berkebalikan dengan fraksi mol gas H₂ di mana sudut *throat* 70° menghasilkan fraksi mol gas H₂ yang paling tinggi sepanjang titik vertikal reaktor, diikuti oleh sudut *throat* 80°, dan yang terakhir sudut *throat* 90°. Hal ini dapat terjadi karena sudut *throat* yang kecil akan membuat suhu menjadi lebih tinggi sehingga reaksi *water-gas shift* (reaksi 8 pada Tabel 3) menjadi lebih cepat, sehingga lebih banyak H₂ yang dihasilkan. Selain itu, dari hasil simulasi dapat diketahui bahwa sudut nozel hanya sedikit mempengaruhi suhu dan komposisi gas. Meskipun demikian, peningkatan sudut nozel cenderung akan menurunkan persentase gas mampu bakar. Hal ini dapat terjadi karena sudut nozel yang lebih besar (curam) akan membuat udara yang masuk sebagian mengarah langsung ke bawah reaktor dan sedikit yang berbelok ke bagian atas reaktor, sehingga persentase gas N₂ menjadi lebih tinggi dan persentase gas mampu bakar menjadi lebih rendah.

Berdasarkan nilai kalor gas yang dihasilkan, dipilih reaktor dengan sudut *throat* 90° dan sudut nozel 10° sebagai desain terbaik dari beberapa skenario simulasi yang telah dilakukan. Kontur sebaran komposisi gas mampu bakar dari reaktor yang terpilih secara berturut-turut disajikan pada Gambar 7 hingga Gambar 12.

Gambar 7 menunjukkan bahwa pada sekitar sepertiga bagian atas reaktor, terjadi proses pengeringan yang menyebabkan tingginya fraksi mol H₂O pada bagian tersebut. Fraksi mol H₂O secara perlahan menurun dari bagian atas ke bagian tengah seiring dengan terjadinya proses pirolisis (devolatilisasi). Proses pirolisis membuat material volatil yang terkandung di dalam sekam padi keluar. Hal ini membuat fraksi mol material volatil menjadi meningkat pada bagian tengah reaktor (Gambar 8). Material volatil yang keluar akan terkonversi menjadi gas – gas yang dinyatakan pada reaksi 4 dalam Tabel 3 yang diantaranya adalah gas – gas mampu bakar. Setelah proses pirolisis berakhir, terjadi reaksi oksidasi dan reduksi pada bagian bawah reaktor. Gas – gas mampu bakar yang dihasilkan sebagian merupakan hasil dari proses pirolisis dan sebagian

lain hasil dari proses reduksi. Hal ini terlihat pada Gambar 9 di mana terjadi reduksi gas CO₂ menjadi CO sehingga fraksi mol gas CO₂ perlahan menurun sedangkan fraksi mol gas CO (Gambar 10) perlahan meningkat.

Perbandingan Hasil Simulasi dengan Literatur

Perbandingan hasil simulasi dengan hasil pengukuran dari data literatur mengenai gasifikasi sekam padi disajikan pada Tabel 5. Secara umum, persentase gas mampu bakar hasil simulasi cukup dekat dengan data literatur mengenai gasifikasi sekam padi.

Simpulan

Desain reaktor terbaik dari beberapa skenario yang disimulasikan adalah reaktor dengan sudut *throat* 90° dan sudut nozel 10°. Komposisi gas mampu bakar keluaran reaktor hasil simulasi adalah CO 14,49%, H₂ 9,65%, dan CH₄ 2,39%. Hasil ini cukup dekat dengan data pengukuran dari literatur mengenai gasifikasi sekam padi. Untuk penelitian selanjutnya, sebaiknya perlu dilakukan simulasi terhadap reaktor yang terpilih pada penelitian ini dengan skenario panjang zona reduksi reaktor agar diperoleh hasil yang lebih baik.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada program Kerjasama Kemitraan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Nasional (KKP3N) dengan judul “Desain Sistem Pengeringan Gabah Mandiri Energi Menggunakan Sistem *Heat Pump* Absorpsi dan Pengoperasian Terkendali Berenergi Gasifikasi Sekam” pada tahun 2014 yang telah memberikan dana sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

Daftar Pustaka

- Ansys Inc. 2010. FLUENT Theory Guide.
 Belonio, A.T. 2005. *Rice Husk Gas Stove Handbook*.
 Appropriate Technology Center. Department
 of Agricultural Engineering and Environmental

- Management, College of Agriculture, Central Philippine University, Iloilo City, Philippines.
- Beohar, H., B. Gupta, V.K.Sethi, M. Pandey. 2012a. Parametric study of fixed bed biomass gasifier: a review. *International Journal of Thermal Technologies*. 2(1): 134 – 140.
- Beohar, H., B. Gupta, V.K. Sethi, M. Pandey, H. Parmar. 2012b. Effect of air velocity, fuel rate and moisture content on the performance of updraft biomass gasifier using Fluent tool. *International Journal of Modern Engineering Research*. 2(5): 3622 – 3627.
- Bosong, L, J. Enchen, X. Xiwei, Q. Zhang, L. Min, W. Mingfeng. 2012. Reforming of biomass pyrolysis gas over bio-char and steam. *Advances in Biomedical Engineering*. 9: 59 – 64.
- Chen, C., M. Horio, T. Kojima. 2000. Numerical simulation of entrained flow coal gasifiers. *Chemical Engineering Science*. 55: 3861 – 3874.
- Cqjc-machinery. [tahun terbit tidak diketahui]. Products-JC152F Gasoline Engine-company homepage [internet]. [diunduh pada 2014 April 25]. Tersedia pada: <http://www.cqjc-machinery.com/en/product/html/?19.html>.
- [IDCOL] Infrastructure Development Company Limited. 2007. Biomass technology – Biogas gasification in Bangladesh. Dhaka (BA): IDB Bhaban.
- [IRRI] International Rice Research Institute. 2009. Husk and straw properties. [internet]. [diunduh pada 2014 Apr 23]. Tersedia pada: <http://www.knowledgebank.irri.org/rkb/index.php/rice-milling/contribu>.
- Jain, A.K., J.R. Goss. 2000. Determination of reactor scaling factors for throatless rice husk gasifier. *Biomass and Bioenergy*. 18: 249 – 256.
- Janvijitsakul, K., Kuprianov VI. 2007. Polycyclic aromatic hydrocarbons in coarse fly ash particles emitted from fluidized-bed combustion of thai rice husk. *Asian Journal on Energy and Environment*. 8(4): 654 – 662.
- Jayah, T.H., L. Aye, R.J. Fuller, D.F. Stewart. 2003. Computer simulation of a downdraft wood gasifier for tea drying. *Biomass and Bioenergy*. 25: 459 – 469. Doi: 10.1016/S0961-9534(03)00037-0.
- Jones, W.P., R.P. Lindstedt. 1988. Global reaction schemes for hydrocarbon combustion. *Combustion and Flame*. 73: 233 – 249. Doi: 10.1016/0010-2180(88)90021-1.
- Khater, E.M.H, N.N. El-Ibiary, I.A. Khattab, M.A. Hamad. 1992. Gasification of rice hulls. *Biomass and Bioenergy*. 3(5): 329 – 333.
- Leung, D.Y.C., X.L. Yin, C.Z. Wu. 2004. A review on the development and commercialization of biomass gasification technologies in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 8: 565 – 580. Doi: 10.1016/j.rser.2003.12.010.
- Lu, X., T. Wang. 2012. Effect of radiation models on coal gasification simulation. *Proceedings of the ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition*, Houston, Texas (US), November 9 – 15, 2012. P 1175 – 1192. Doi:10.1115/IMECE2012-86997.
- Lu, X., T. Wang. 2014. Investigation of low rank coal gasification in a two-stage downdraft entrained-flow gasifier. *International Journal of Clean Coal and Energy*. 3: 1 – 12. Doi: 10.4236/ijcce.2014.21001.
- Luan, Y.T., Y.P. Chyou, T. Wang. 2011. Numerical analysis of gasification performance via finite-rate model in a cross-type two-stage gasifier. *Proceedings of the 28th International Pittsburgh Coal Conference*, Pittsburgh (US), September 12 – 15, 2011. p 1 – 12.
- Ramirez, J.J., J.D. Martinez, S.L. Petro. 2007. Basic design of a fluidized bed gasifier for rice husk on a pilot scale. *Latin American Applied Research*. 37: 299 – 306.
- Raveendran, K., A. Ganesh, K.C. Khilart. 1995. Influence of mineral matter on biomass pyrolysis characteristic. *Fuel*. 74 (12): 1812 – 1822.
- Reed, T.B., A. Das. 1988. *Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Systems*. Golden, Colorado (US): SERI.
- Rozainee, M., S.P. Ngo, A. Arshad, Salema, K.G. Tan. 2010. Effect of feeding methods on the rice husk ash quality in a fluidized bed combustor. *Emirates Journal dor Engineering Research*. 15(1): 1 – 12.
- Silaen, A., T. Wang. 2006. Effects of fuel injection angles on performance of two-stage coal gasifier. *Proceedings of the 23rd International Pittsburgh Coal Conference*, Pittsburgh (US), September 25 – 28, 2006. p 1 – 14.
- Silaen, A., T. Wang. 2009. Comparison of instantaneous, equilibrium, and finite-rate gasification models in an entrained-flow coal gasifier. *Proceedings of the 26th International Pittsburgh Coal Conference*, Pittsburgh (US), September 20 – 23, 2009. p 1 – 11.
- Silaen, A., T. Wang. 2010. Effects of turbulence and devolatilization models on gasification simulation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 53: 2074 – 2091. Doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2009.12.047.
- Wang, Y., L. Yan. 2008. CFD studies on biomass thermochemical conversion. *International Journal of Molecular Sciences*. 9: 1108 – 1130. Doi: 10.3390/ijms9061108.
- Wannapeera, J., N. Worasuwanarak, S. Pipatmanomai. 2008. Product yields and characteristics of rice husk, rice straw, and corncob during fast pyrolysis in a drop-tube/ fixed-bed reactor. *Songklanakarinn Journal of Science and Technology*. 30(3): 393 – 404.
- Westbrook, C.K., F.L. Dryer. 1981. Simplified reaction mechanism for the oxidation of hydrocarbon fuels in flames. *Combustion Science and Technology*. 27: 31 – 43.