

ANALISIS DINAMIKA FLUIDA PADA MODIFIKASI REAKTOR GASIFIKASI TIPE UPDRAFT

Budi Santoso^{1*}, Danang Aji Darmawan¹ dan Raju Pratama¹

¹ Teknik Kimia, Universitas Sriwijaya, Palembang
Corresponding author: budisantosokimia@unsri.ac.id

ABSTRAK: Dalam proses gasifikasi variabel kecepatan alir gas dan tekanan gas memegang peranan yang cukup penting dalam menghasilkan konversi gasifikasi yang tinggi. Untuk itu dilakukan penelitian terhadap geometri reaktor gasifikasi dengan memodifikasi geometri reaktor gasifikasi konvensional. Dari hasil simulasi dinamika fluida secara 2 dimensi didapatkan bahwa modifikasi geometri reaktor gasifikasi dapat meningkatkan laju alir gas keluar reaktor sebesar 55,7 m/detik pada 10 menit reaksi gasifikasi apabila dibandingkan dengan geometri reaktor gasifikasi konvensional yang hanya mencapai 52,9 m/detik pada waktu reaksi yang sama. Geometri Reaktor yang telah dimodifikasi juga menghasilkan kenaikan tekanan dalam reaktor yaitu 1,53 kPa dibandingkan dengan Geometri Reaktor Gasifikasi konvensional yang hanya mencapai tekanan 1,52 kPa. Sementara itu pada profil perpindahan panas, waktu steady state dapat dicapai pada waktu 31 menit dengan temperatur 600 K pada bagian bawah reaktor dan temperatur 400 K pada bagian atas reaktor

Kata Kunci: Gasifikasi, Kecepatan Gas, Simulasi, Dinamika Fluida

ABSTRACT: In the gasification process gas flow velocity and gas pressure variables play an important role in producing high gasification conversion. Therefore, a research on geometry of gasification reactor by modifying geometry of conventional gasification reactor has been held. From the simulation result of two dimensional fluid dynamics, it was found that modification of geometric gasification reactor can increase the gas flow rate out from reactor by 55,7 m / s at the time of 10 minute gasification reaction when compared with conventional gasification reactor geometry which only reach 52,9 m/s at the same reaction time. The modified reactor geometry also increase pressure in the reactor which is 1.53 kPa compared with conventional Gasification Reactor Geometry which reaches only 1.52 kPa. Meanwhile in the heat transfer profile, the steady state time can be reached at 31 minutes with temperature of 600 K at the bottom of the reactor and temperature of 400 K at the top of the reactor

Keywords: Gasification, Gas Velocity, Simulation, Fluid Dynamics

PENDAHULUAN

Program Waste to Energy secara Termokimia seperti Pirolisis dan Gasifikasi saat ini sudah mulai dikembangkan secara intensif dan mempunyai tahapan penelitian yang mengarah pada teknologi proses seperti efisiensi sumber panas dan bahan baku seperti sumber biomassa.

Pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi di Indonesia kebanyakan masih berupa pembakaran langsung, seperti pada pabrik gula dan pabrik kelapa. Biomassa yang berupa ampas tebu atau serabut kelapa sawit digunakan sebagai bahan bakar boiler untuk

menghasilkan uap bertekanan tinggi. Uap tersebut digunakan untuk memutar turbin penggerak mesin-mesin di pabrik serta untuk membangkitkan listrik. Penggunaan lain, biomassa juga dimanfaatkan di beberapa pengolahan kayu. Namun cara yang digunakan masih berupa pembakaran langsung.

Gasifikasi dinilai lebih sesuai dibandingkan dengan dikembangkan untuk mengolah sumber biomassa dikarenakan produk unggulan dan prioritas dari masing masing proses ternyata berbeda. Pirolisis lebih cenderung menghasilkan Bio Oil dan produk padat sedangkan Gasifikasi lebih diarahkan untuk menghasilkan gas yang mempunyai heating

value yang tinggi sehingga dapat langsung digunakan untuk berbagai keperluan.

Gasifier merupakan istilah untuk reaktor yang memproduksi gas produser dengan cara pembakaran tidak sempurna (oksidasi sebagian) bahan bakar biomassa pada suhu sekitar 1000 °C (Rajvanshi, 1986). Berdasarkan sumber panas dan arah aliran yang terjadi, gasifier dapat dibagi menjadi beberapa tipe yaitu *updraft*, *downdraft*, *inverted downdraft*, *crossdraft*, dan *fluidized bed*.

Gasifikasi Biomassa merupakan alat yang dapat digunakan untuk menghasilkan gas sintetis (syn-gas) dari bahan bakar padat yang antara lain berasal dari biomassa (sampah padat perkotaan, limbah pertanian, perkebunan dan kehutanan) dan batubara. Dengan pemanasan dalam gasifier, bahan baku biomassa/batubara akan terurai menjadi gas hidrogen, metana, karbon monoksida, karbon dioksida, nitrogen, polutan dan abu.

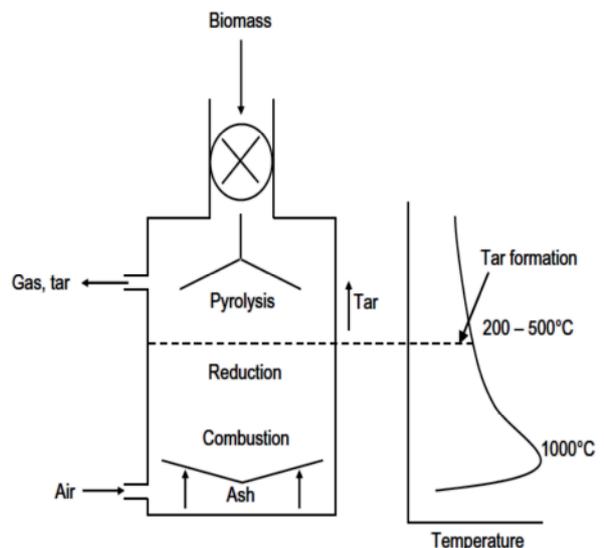
Reaksi gasifikasi merupakan reaksi yang kompleks, secara umum melibatkan area proses yaitu pembakaran (combustion), Area reduksi (Reduction zone), area pirolisis (pyrolysis zone), dan area Pengerinan (drying zone).

Pada gasifier jenis *updraft*, Udara masuk di bagian bawah dan gas hasil gasifikasi mengalir dari atas gasifier. Reaksi pembakaran terjadi dari bawah, di atasnya akan dilanjutkan dengan reaksi reduksi. Di bagian atas pemanasan gasifier dan pirolisa bahan baku terjadi sebagai hasil perpindahan panas dengan konvensi dan radiasi paksa dari zona bawah.

Reaksi pembakaran pada *gasifier* ini terjadi di dekat *grate* kemudian diikuti reaksi reduksi (proses gasifikasi). Reaksi reduksi tersebut akan menghasilkan gas bertemperatur tinggi. Gas hasil reaksi (gas produser) bergerak ke bagian atas *gasifier* menembus unggun bahan bakar menuju daerah yang bertemperatur lebih rendah. Pada saat menembus unggun bahan bakar, gas produser akan kontak dengan bahan bakar yang turun sehingga terjadi proses pirolisis dan pertukaran panas antara gas dan bahan bakar. Panas *sensible* yang diberikan gas digunakan bahan bakar untuk pemanasan awal dan pengeringan bahan bakar. Proses pirolisis dan pengeringan tersebut terjadi pada bagian teratas *gasifier*.

Kandungan Tar dan produk mudah menguap dihasilkan selama reaksi akan meninggalkan bersama dengan syn gas di bagian atas gasifier. Yang kemudian akan dipisahkan dengan penggunaan siklon.

Kecepatan aliran gas, tekanan gas, dan pola aliran udara masuk kedalam reaktor gasifikasi juga menyebabkan pengaruh dalam distribusi panas reaktor yang pada akhirnya akan mempengaruhi efisiensi perpindahan panas. Ini akan berakibat pada waktu perubahan tahap gasifikasi menjadi lebih lama dan akan menghasilkan kandungan tar yang tinggi dengan volume keluaran yang banyak.



Gambar 1. Zona Reaksi dalam Gasifikasi

Sumber : Sumber : Basu Prabir, Biomass Gasification, Pyrolysis, and Torrefaction Practical Design and Theory

Banyaknya kandungan tar yang dihasilkan selama proses gasifikasi diakibatkan oleh pembakaran yang kurang sempurna antara sumber karbon dan udara pembakaran. Walaupun secara stoikiometri udara yang dibutuhkan maksimal 30% dari total kebutuhan udara pembakaran, inefisiensi terjadi ketika variabel termodinamika dan parameter-parameter seperti fluktuasi kelembaban bahan baku dan kelembaban udara pembakar.

Menurut Siska (2013), debit udara yang digunakan dalam proses gasifikasi berpengaruh terhadap performa reaktor. Pemberian udara yang terlalu sedikit ataupun terlalu banyak akan menyebabkan efisiensi menurun.

Tabel 1. Komposisi Produk dari berbagai jenis Reaktor Gasifikasi

Tipe Gasifier	Jumlah Tar (gr/Nm ³)	Sumber
Updraft	10 -150	Milne dan Evans
Downdraft	0,01 - 6	Hasler
Fluidized Bed	1-30	Han dan Kim

Sumber : Basu Prabir, Biomass Gasification, Pyrolysis, and Torrefaction Practical Design and Theory

Penelitian ini berupaya untuk memodifikasi sistem gasifikasi dengan cara mendesain reaktor *gasifier* yang dapat menurunkan kandungan tar terproduksi.

Menurut Guswendar (2013), dengan mempercepat laju gas maka laju gasifikasi akan semakin cepat dan yield produk gas diproyeksikan akan semakin tinggi.

Menurut Basu P (2013) hal.293, menyatakan bahwa semburan kecepatan udara berkisar antara 22,4 m/detik sampai 31,2 m/detik tergantung dengan jumlah bahan bakar biomassa yang dimasukkan dalam reaktor

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan simulasi dinamika fluida dengan batasan analisa 2 dimensi dan 2 dimensi aksis simetri.

Tahapan penelitian dimulai dengan menentukan geometri reaktor gasifikasi udraft konvensional dan memodifikasi geometri tersebut sesuai dengan kaidah mekanika fluida

Rumus parameter yang digunakan dalam menentukan dimensi tungku diperoleh dari Alexis T. 2005. Belonio. *Rice Husk Gas Stove Hand Book*

a. Diameter Reaktor Tungku

$$D = \left(\frac{1,27 FCR}{SGR} \right)^{0,5}$$

Dimana:

D : diameter reaktor (m)

FCR : *fuel consumption rate* atau konsumsi bahan bakar rata-rata (kg/jam)

SGR : *specific gasification rate of rice husk* atau rata-rata gasifikasi sekam padi (110-210 kg/m². jam)

b. Tinggi Reaktor

$$H = SGR \times T \rho_{rh}$$

Dimana:

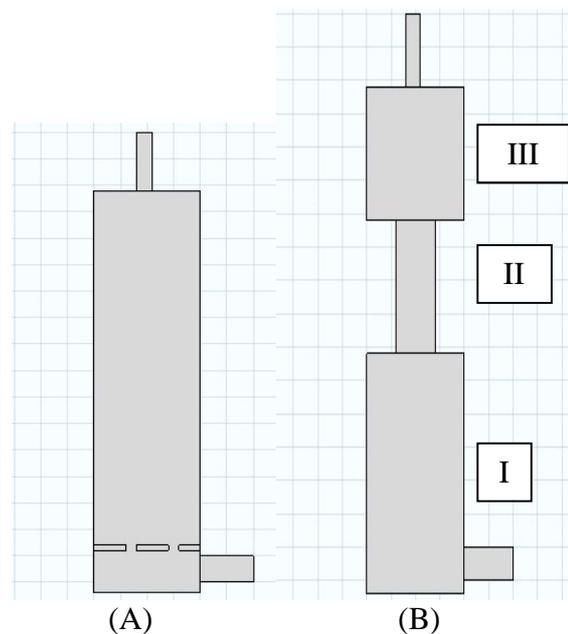
H : Tinggi Reaktor (m)

T : Waktu konsumsi bahan bakar (menit)

ρ_{rh} : density sekam padi (kg/m³)

dari perhitungan didapatkan volume reaktor sebesar 1,3 liter untuk isian maksimum 500 gr bahan baku.

Asumsi dalam penelitian ini *unsteady state condition* adalah waktu gasifikasi selama 60 menit dan diukur perubahannya interval 10 menit



Gambar 2. Geometri Reaktor Konvensional (A) dan Modifikasi (B)

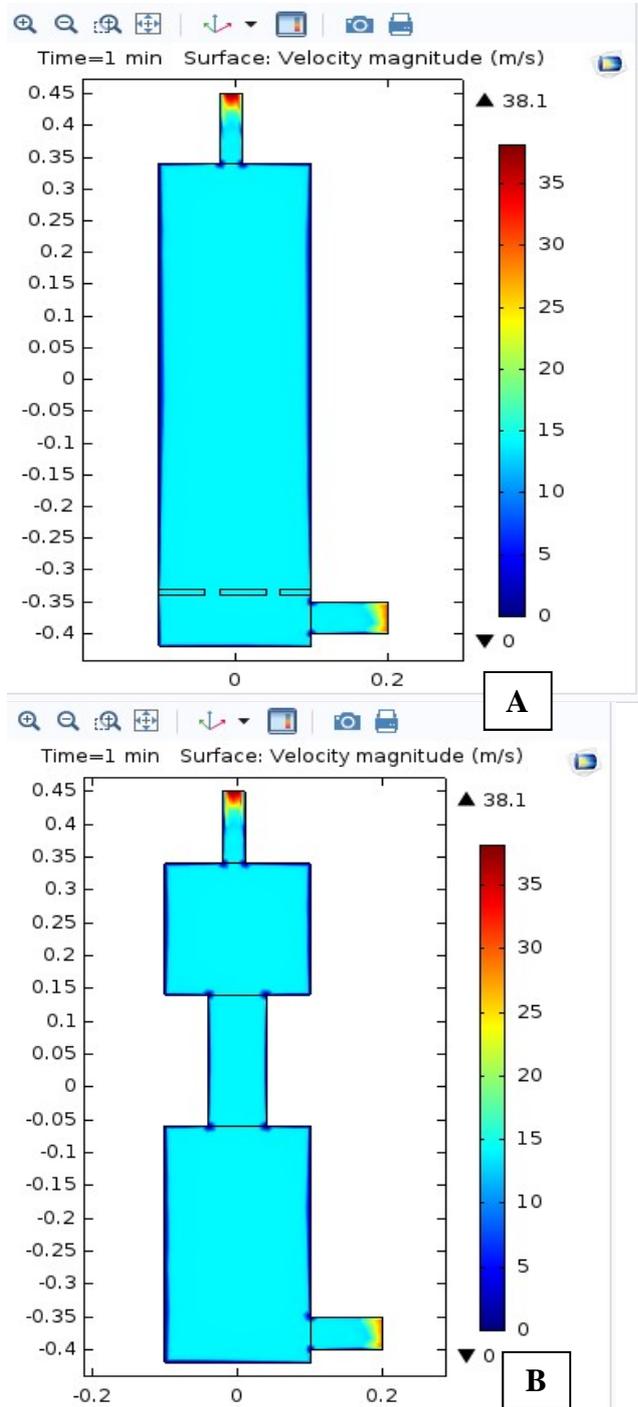
Dengan mengasumsikan bahwa volume reaktor menjadi variabel tetap Untuk Reaktor Konvensional Desain Diameter reaktor 7,5 cm dan tinggi 30 cm sedangkan desain reaktor modifikasi pada bagian bawah diameter seksi I dan III adalah 7,5 cm dan seksi II 2 cm serta tinggi seksi I 20 cm, seksi II 7 cm, dan seksi III yaitu 5 cm

Variabel tetap lain adalah jenis gas yaitu Karbon monoksida dan kecepatan udara masuk sebesar 30 m/detik

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kecepatan Gas dalam Reaktor

Profil Kecepatan pada Gasifikasi 1 menit

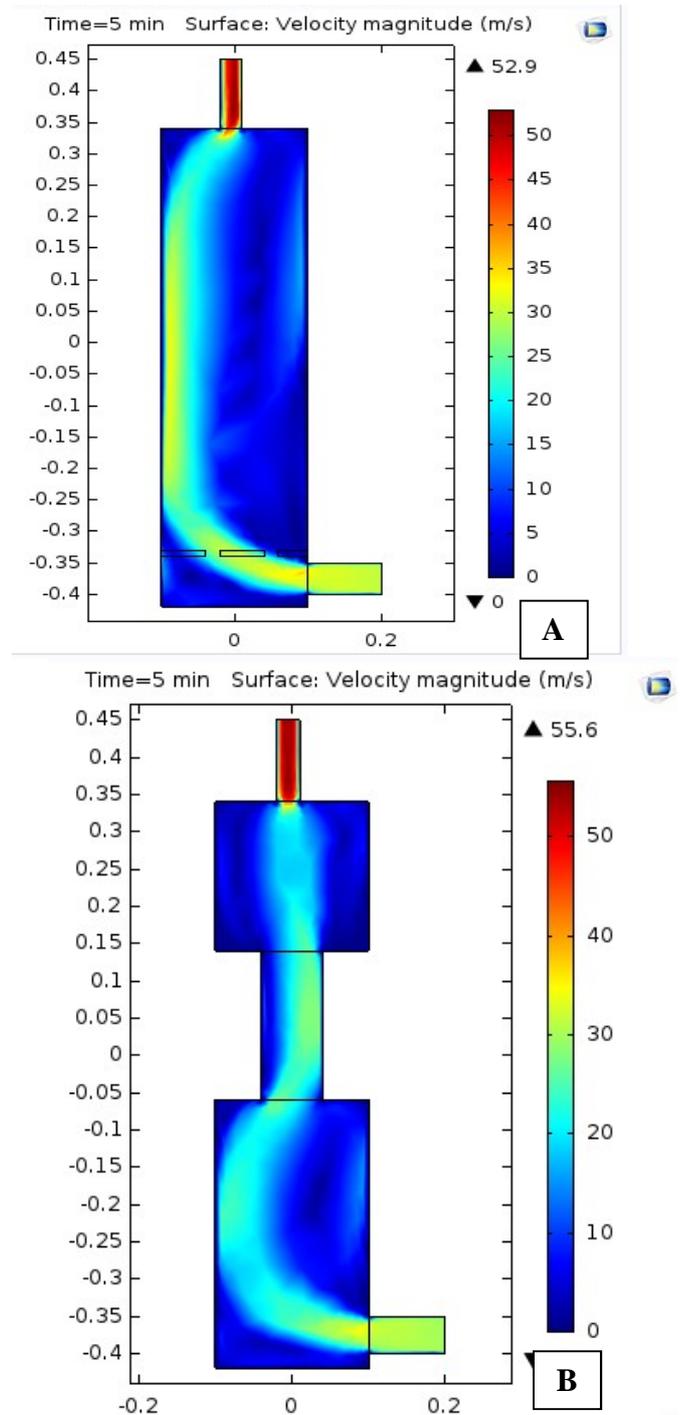


Gambar 3. Profil Kecepatan Gas pada waktu 1 menit Reaktor Konvensional (A) dan Profil Kecepatan Gas Reaktor Modifikasi (B)

Pada waktu 1 menit rata-rata kecepatan gas berkisar pada 15 m/ detik dengan kecepatan gas

keluar 38 m/detik. Pada waktu ini baik reaktor konvensional maupun modifikasi masih menunjukkan pola aliran gas yang sama karena distribusi gas belum tersebar dengan baik dalam reaktor

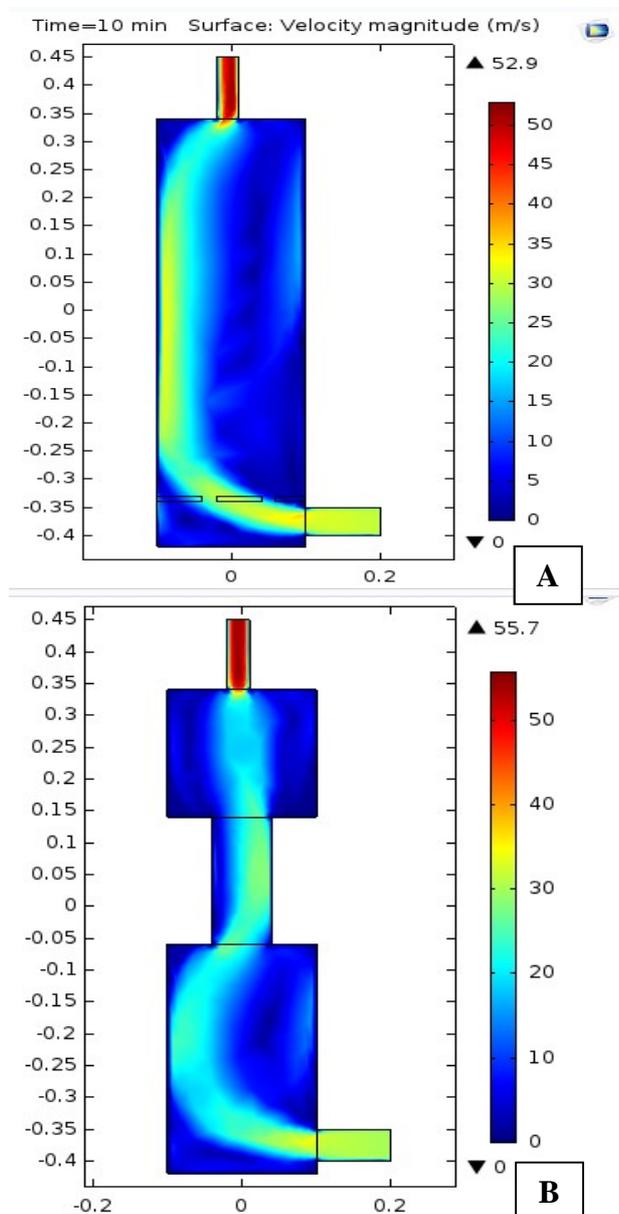
Profil Kecepatan pada Gasifikasi 5 menit



Gambar 4. Profil Kecepatan Gas pada waktu 5 menit Reaktor Konvensional (A) dan Profil Kecepatan Gas Reaktor Modifikasi (B)

Dari hasil simulasi diperlihatkan bahwa sudah mulai terjadi perubahan pola aliran dan kecepatan gas keluar dari reaktor gasifikasi. Pada Reaktor konvensional pola aliran gas berada di salah satu sisi reaktor dan kemudian kembali ke top outlet reaktor dengan kecepatan gas keluar 52,9 m/detik, sedangkan pada reaktor modifikasi pola aliran gas hampir memenuhi bentuk penampang geometri reaktor dan pada seksi II reaktor ada pola aliran siklis yang memenuhi dimensi reaktor sebelum akhirnya keluar lewat top outlet dengan kecepatan 55,6 m/detik.

Profil Kecepatan Gasifikasi 10 menit



Gambar 5. Profil Kecepatan Gas pada waktu 10 menit Reaktor Konvensional (A) dan Profil Kecepatan Gas Reaktor Modifikasi (B)

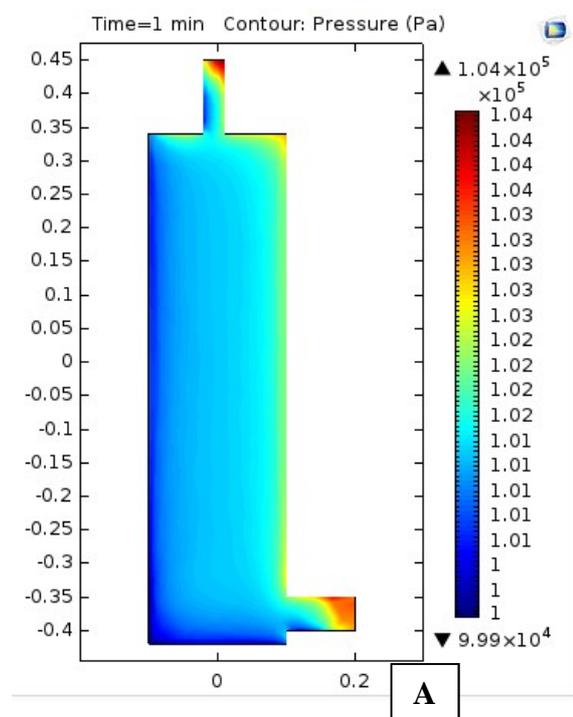
Dari hasil simulasi diperlihatkan bahwa waktu 10 menit adalah waktu yang diperlukan reaksi gasifikasi dalam volume reaktor yang sudah didesain untuk menjadi waktu steady state karena setelah waktu 10 menit tidak terjadi perubahan kecepatan gas baik pada reaktor konvensional yang hanya mencapai kecepatan 52,9 m/detik dan pada reaktor modifikasi dapat mencapai kecepatan 55,7 m/detik.

Dapat dilihat dari hasil simulasi bahwa distribusi kecepatan yang merata terjadi pada reaktor yang dimodifikasi dimana daerah yang mempunyai empty spot sangat sedikit

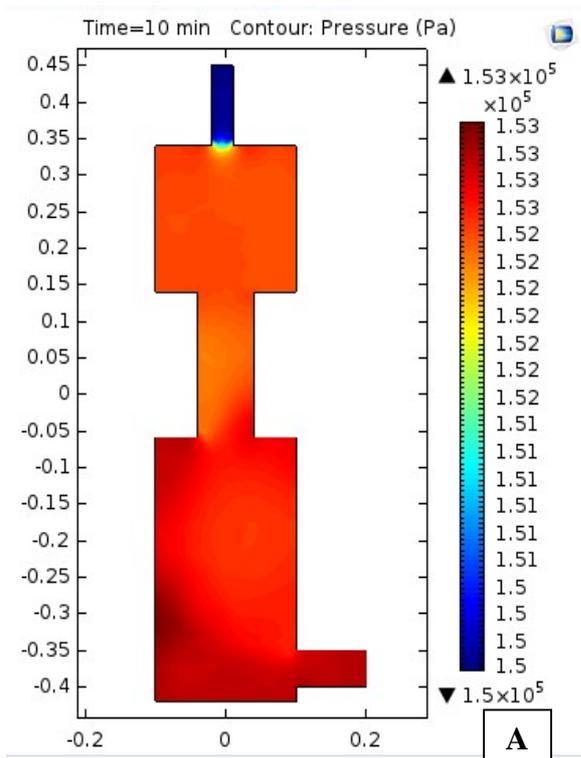
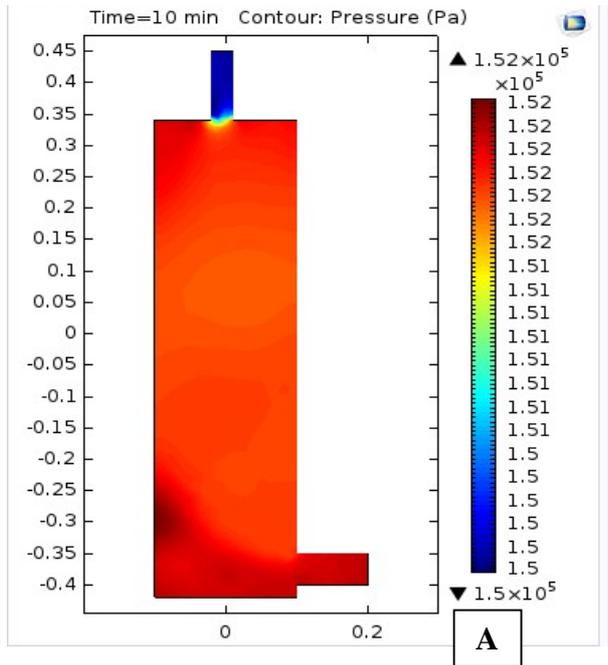
Hal ini disebabkan oleh fenomena bentuk geometri orifice yaitu pengecilan dan pembesaran luas penampang reaktor yang mengakibatkan pada meningkatnya kecepatan alir gas keluar reaktor

Tekanan Gas dalam Reaktor

Tekanan Reaktor pada waktu 1 menit



Tekanan Reaktor pada waktu 10 menit



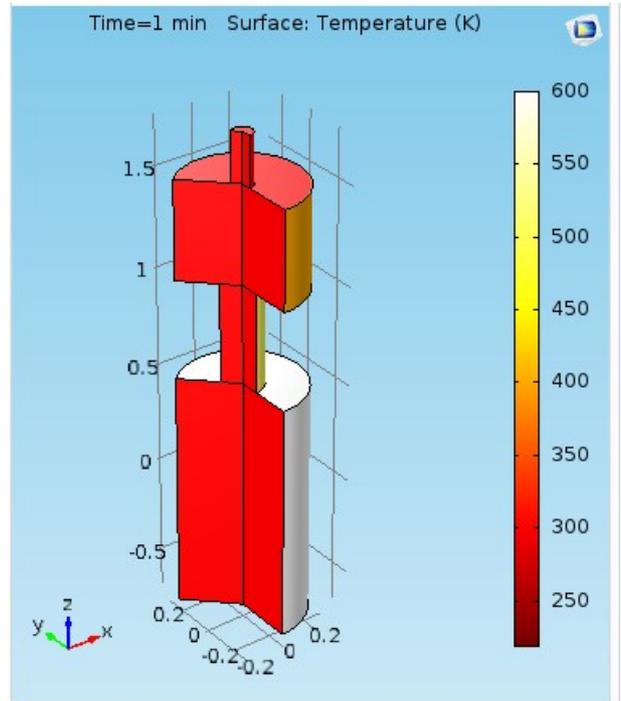
Gambar 7. Profil Tekanan dalam Reaktor pada waktu 10 menit Reaktor Konvensional (A) dan Profil Kecepatan Gas Reaktor Modifikasi (B)

Dari hasil simulasi pada waktu 10 menit yang sudah mencapai kondisi steady state didapatkan bahwa tekanan reaktor tidak berubah cenderung stagnan dengan profil

kenaikan tekanan yang masih terjadi pada bagian bawah reaktor.

Profil Distribusi Perpindahan Panas

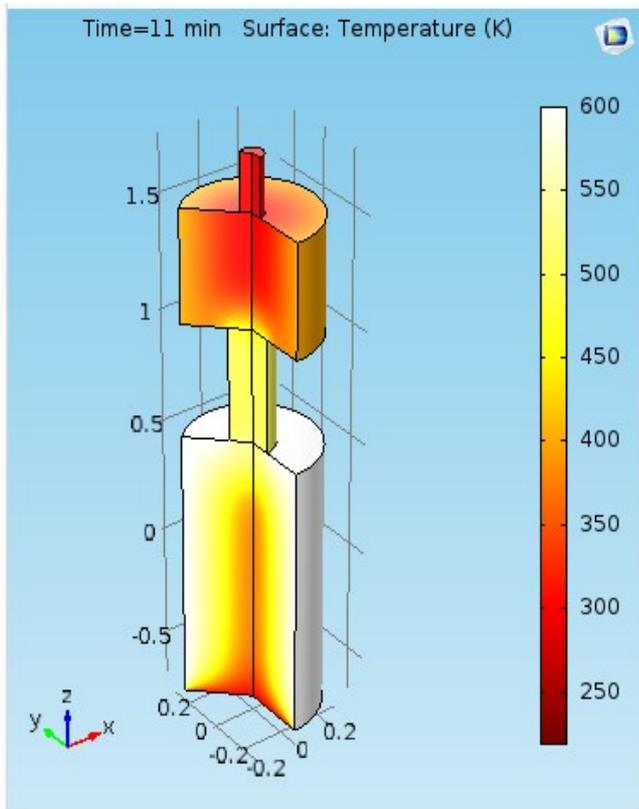
Perpindahan Panas dalam Reaktor pada waktu 1 menit



Gambar 8. Profil Perpindahan Panas dalam Reaktor Modifikasi pada waktu 1 menit

Dalam hasil simulasi ini pada waktu 1 menit seluruh bagian volume reaktor terlihat masih berada dalam temperatur kamar yaitu sekitar 300K (30°C) ini dapat disebabkan oleh permulaan penyalaan biomassa belum dapat membakar biomassa tersebut.

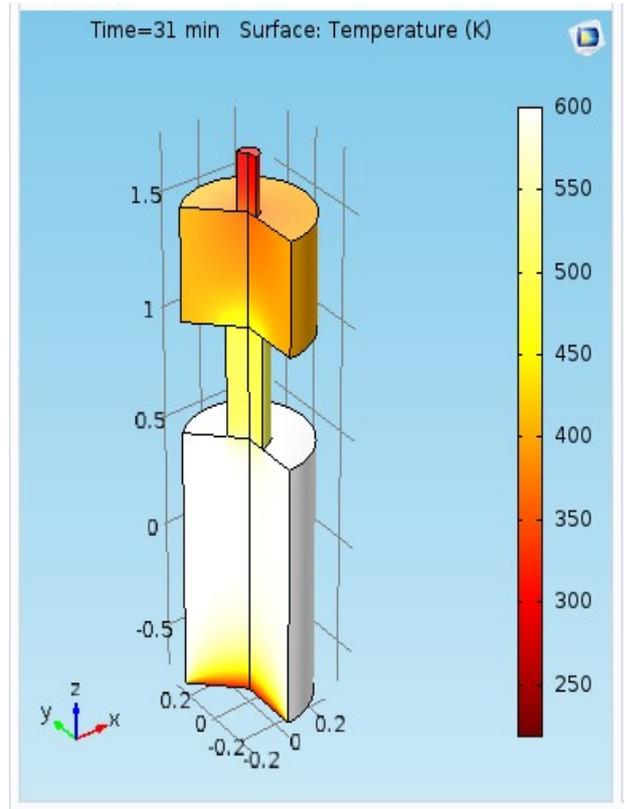
Perpindahan Panas dalam Reaktor pada waktu 11 menit



Gambar 9. Profil Perpindahan Panas dalam Reaktor Modifikasi pada waktu 11 menit

Dari hasil simulasi terlihat bahwa sudah mulai terjadi perubahan profil perpindahan panas dalam reaktor. Ada daerah dalam reaktor di seksi I yang meningkat temperaturnya sampai 600 K (328°C) dan di seksi II dan seksi III mencapai 400 K dan 350 K.

Perpindahan Panas dalam Reaktor pada waktu 31 menit



Gambar 10. Profil Perpindahan Panas dalam Reaktor Modifikasi pada waktu 31 menit

Dari hasil simulasi terlihat bahwa profil perpindahan panas dalam reaktor sudah dalam keadaan steady state pada waktu reaksi 31 menit. Daerah dalam reaktor di seksi I yang meningkat temperaturnya sampai 600 K (328°C) terjadi pada dan di seksi II dan seksi III mencapai 400 K dan 350 K.

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan pada penelitian ini adalah

1. Modifikasi Geometri Reaktor Gasifikasi dapat meningkatkan kecepatan gas dan tekanan dalam Reaktor Gasifikasi tipe Updraft
2. Kecepatan aliran Gas yang diperoleh dari hasil modifikasi dapat dicapai sebesar 55,7 m/detik pada kondisi steady state yang dicapai pada waktu 10 menit

3. Tekanan dalam Reaktor dapat meningkat sebesar 1,53 kPa yang dicapai pada waktu reaksi 10 detik
4. Profil Perpindahan Panas yang terjadi mencapai kondisi steady state pada waktu 31 menit dengan temperatur reaktor 600K

DAFTAR PUSTAKA

- Basu, Prabir. 2013. *Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design*. UK: Elsevier
- Handbook of Gasification Technologies A Primer for Engineers and Scientists Chemical Industries*. 2005. Taylor & Francis Group, LLC.
- Okuga, Arthur. 2012, *Analysis and Operability Optimization of an Updraft Gasifier Unit*. Eindhoven University of Technology.
- Guswendar, 2013, Karakteristik Gasifikasi pada Double Gas Outlet pada Updraft Gasifier, Universitas Indonesia
- Arianti S, 2013, Uji Kinerja Reaktor Gasifikasi Sekam Padi Tipe *Downdraft* Pada Berbagai Variasi Debit Udara
- Colomba Di Blasi, 2012, *Modeling Wood Gasification in a Countercurrent Fixed-Bed Reactor*. Wiley InterScience.
- De Souza M et.al. 2010, *Solid Fuels Combustion and Gasification Modeling, Simulation, and Equipment Operations*, CRC Press
- Goorts, M .P. 2008. *Applying gas chromatography to analyze the composition and tar content of the product gas of a biomass gasifier. Tar formation*
- Vidian, Fajri. 2008. *Gasifikasi Tempurung Kelapa Menggunakan Updraft Gasifier pada Beberapa Variasi Laju Alir Udara Pembakaran*. Jurnal Teknik Mesin, vol. 10 No. 2
- Higman, Cristopher, & van der Burgt, Marteen. 2008. *Gasification: Second Edition*. UK: Elsevier
- Alexis T, 2005, *Rice Husk Gas Stove Hand Book*, CRC Press
- Zainal. ZA, Ali. R, Quadir. G, Seetharanu.K.N, 2002. *Experimental Investigation of a Downdraft Biomass Gasifier*.