

Simulasi dan Eksperimental *Isothermal* Aliran Eksternal Resirkulasi pada *Up-Draft Gasifier*

Fajri Vidian, Hery Prabowo, Adi Surjosatyo, dan Yulianto Sulisty Nugroho
Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok
Email: adi.surjosatyo@ui.ac.id

ABSTRAK

Proses gasifikasi pada *updraft gasifier* menghasilkan jumlah tar yang lebih besar dibandingkan dengan type gasifier yang lain. Untuk mengurangi tar pada *updraft gasifier* maka dilakukan resirkulasi gas pirolisa ke daerah pembakaran dan pengeluaran gas dari daerah reduksi. Resirkulasi gas pirolisa ke daerah pembakaran dapat dilakukan dengan menggunakan ejektor. Ejektor adalah peralatan yang di gunakan mendorong aliran fluida sekunder oleh perpindahan momentum dan energi dari aliran primer berkecepatan tinggi (*jet*). Metode penelitian yang dilakukan adalah simulasi *isothermal* 3D menggunakan CFD dan eksperimental aliran resirkulasi pada *updraft gasifier* menggunakan ejektor. Simulasi dan eksperimental dilakukan dengan kecepatan aliran udara pada ejektor di jaga konstan 0.6 m/s dengan memvariasikan posisi arah gerakan keluaran nozel ejektor. Penelitian ini bertujuan mendapatkan informasi posisi keluaran nozel dari ejektor yang optimum untuk menghasilkan kecepatan aliran resirkulasi yang maksimum pada *updraft gasifier* menggunakan ejektor melalui simulasi dan eksperimental. Hasil simulasi dan eksperimental memperlihatkan perubahan posisi keluaran nozel ke arah sumbu x negatif dari titik nol akan memberikan peningkatan kecepatan aliran resirkulasi dimana posisi optimum terjadi pada keluaran nozel -3 cm s/d -4 cm dari titik nol (arah sumbu x negatif).

Kata kunci: Simulasi, eksperimental, *isothermal*, resirkulasi, *updraft gasifier*.

ABSTRACT

Gasification process at updraft gasifier produces greater amount of tar than other type of gasifier. To reduce tar at updraft gasifier, the pyrolysis gas will be re-circulated to combustion zone and to exhaust gas from reduction zone. Recirculation of pyrolysis gas to combustion zone can be carried out by using ejector. Ejector is an equipment used to inject the secondary fluid flow by the movement of momentum and energy from high speed primary flow (jet). The research conducted with isothermal 3D simulation using CFD and experimental investigation of recirculation flow using ejector at updraft gasifier. Ejector velocity for simulation and experimentation is constant at 0.6 m/s. Ejector's nozzle exit position (NXP) direction will be varied. The goal of this research is to obtain information of optimal nozzle exit position for producing maximum velocity of gas recirculation. The result of simulation and experiment shows that the change of nozzle exit position direction to -x axis from zero point, it will give maximum velocity of gas recirculation flow with the optimum position of nozzle exit position at the range of -3 to -4 cm from zero point.

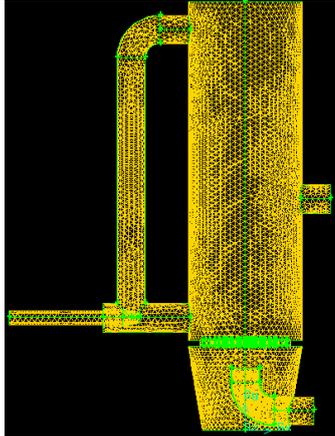
Keywords: Simulation, experimental, *isothermal*, recirculation, *updraft gasifier*.

PENDAHULUAN

Proses gasifikasi pada *updraft gasifier* memiliki keunggulan pada pengoperasian yang sederhana, pengkonversian karbon yang tinggi, efisiensi yang lebih tinggi, kontinuitas gas lebih stabil, kandungan air bahan bakar >60%, fleksibel terhadap bermacam bentuk ukuran biomassa dan lebih mudah dalam

scale up di bandingkan *downdraft gasifier* [1]. Akan tetapi type *updraft gasifier* memiliki kandungan tar yang tinggi.

Dalam usaha untuk mengurangi tar pada *updraft gasifier* maka dilakukan pengembangan metode resirkulasi gas pirolisa ke daerah pembakaran dan pengeluaran gas dari daerah reduksi pada *updraft gasifier*. Resirkulasi gas pirolisa ke



Gambar 2. Meshing Reaktor

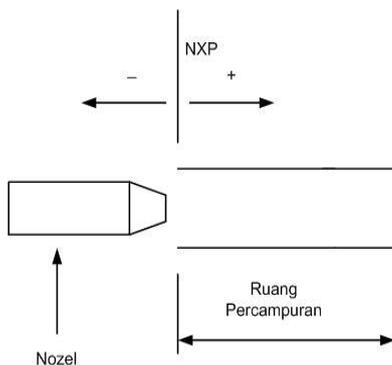
Simulasi dilakukan menggunakan *software fluent* dengan menerapkan persamaan-persamaan konservasi massa, konservasi momentum, dan konservasi energi. Model turbulensi yang digunakan adalah turbulensi standar k-epsilon.

Setelah melakukan pemodelan proses untuk simulasi maka selanjutnya dilakukan penentuan kondisi batas simulasi dimana kondisi batas yang digunakan adalah kecepatan masuk (*velocity inlet*) untuk aliran udara masuk 1 dan aliran udara masuk 2, tekanan keluar (*pressure outlet*) aliran udara keluar. nilai kondisi batas yang digunakan sebagai berikut :

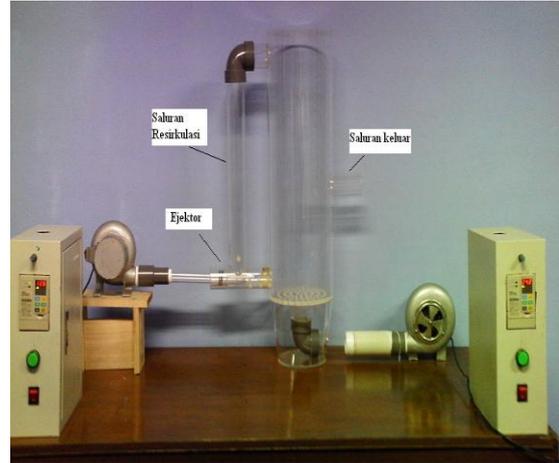
1. Kecepatan udara melalui bagian bawah atau udara 1 sebesar 1,2 m/s (140 liter per menit)
2. Kecepatan udara melalui ejektor atau udara 2 sebesar 0,6 m/s (20 liter per menit)
3. Udara keluar dengan tekanan atmosferik 1 bar

Simulasi dilakukan pada beberapa kondisi dengan kecepatan di jaga konstan.

1. Simulasi menggunakan saluran resirkulasi tanpa ejektor dengan laju aliran udara dari bagian bawah sebesar 160 liter per menit
2. Simulasi menggunakan saluran resirkulasi dengan ejektor dengan variasi posisi keluaran nozel (*Nozel Exit Position/NXP*) dalam arah sumbu x positif dan x negatif seperti yang di perlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Perubahan Posisi Nozel



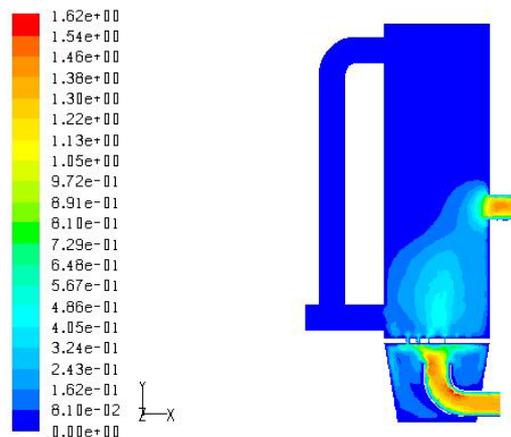
Gambar 4. Experimental Set Up

Untuk membandingkan data hasil simulasi maka dilakukan eksperimental menggunakan reaktor seperti di perlihatkan pada Gambar 4, aliran udara 1 dan 2 disuplai menggunakan blower dengan tekanan 200 Pa dengan kapasitas aliran udara maksimum 1036 lpm, kecepatan udara pada saluran resirkulasi diukur menggunakan *hot wire anemometer* dengan range pengukuran 0,1 s/d 20 m/s. Skala pembacaan untuk hot wire anemometer adalah 0,1 m. Kecepatan aliran pada pusat saluran resirkulasi di ukur pada posisi 5 cm diatas saluran atau ruang percampuran

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aliran Resirkulasi Tanpa Ejektor

Dari informasi kontur kecepatan yang didapat dari simulasi menggunakan saluran resirkulasi eksternal tanpa menggunakan ejektor seperti pada Gambar 5, kecepatan aliran resirkulasi mendekati nol. Hampir tidak ada aliran resirkulasi yang terjadi.

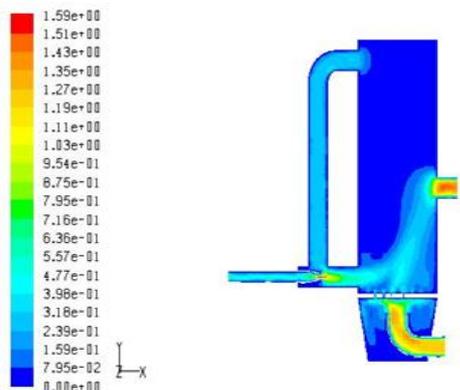


Gambar 5. Kontur Kecepatan (m/s) Aliran Udara dalam Reaktor dengan Saluran Resirkulasi tanpa Ejektor

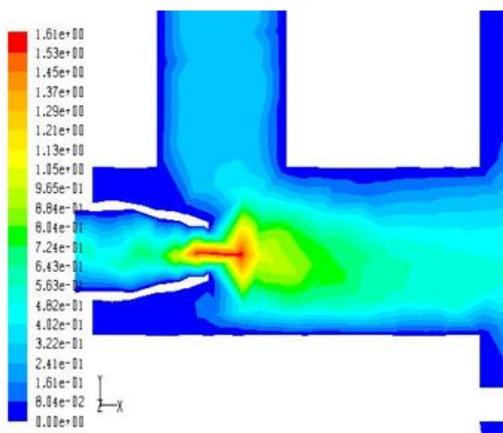
Aliran Resirkulasi Menggunakan Ejektor

Dari hasil simulasi menggunakan ejektor seperti pada Gambar 6, kecepatan maksimum aliran resirkulasi yang dihasilkan antara 0.2 s/d 0.25 m/s. Peningkatan kecepatan disebabkan oleh adanya kecepatan jet dari *motive flow* pada ejektor yang membuat daerah bertekanan sangat rendah disekitar ejektor, daerah bertekanan sangat rendah ini membuat fluida sekunder dalam hal aliran yang akan bersirkulasi yang tekanan awalnya tinggi (tekanan atmosfer) tertarik oleh aliran *motive flow* ejektor yang selanjutnya terjadi transfer momentum pada ruang percampuran.

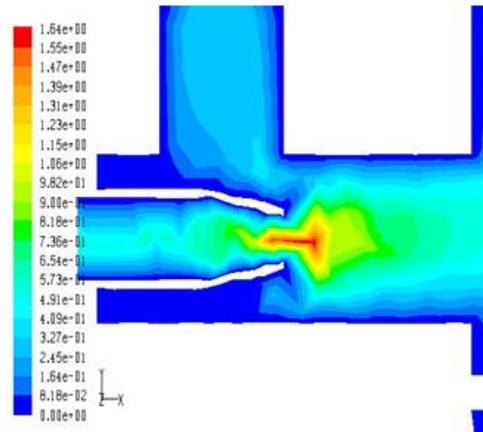
Gambar 7, 8 dan 9 memperlihatkan distribusi kecepatan aliran resirkulasi pada saat memasuki ruang percampuran dimana terlihat pada posisi arah gerakan nozel menuju sumbu x negatif mulai dari posisi nol terlihat distribusi kecepatan yang sama pada saluran resirkulasi akan tetapi pada arah gerakan nozel menuju sumbu x positif terlihat adanya pengurangan kecepatan mendekati nol pada aliran resirkulasi saat memasuki ruang percampuran. Hal ini disebabkan perbedaan tekanan yang disebabkan oleh aliran *motive flow* tidak mampu untuk menarik aliran sekunder menuju proses percampuran antara aliran primer dan sekunder.



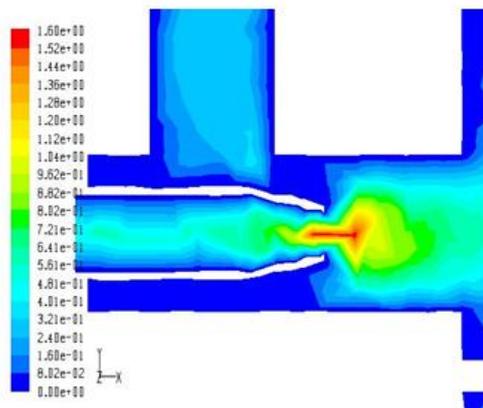
Gambar 6. Kontur kecepatan (m/s) Aliran Udara dalam Reaktor dengan Saluran Menggunakan ejektor



Gambar 7. Kontur Kecepatan pada Daerah nozel pada NXP-3



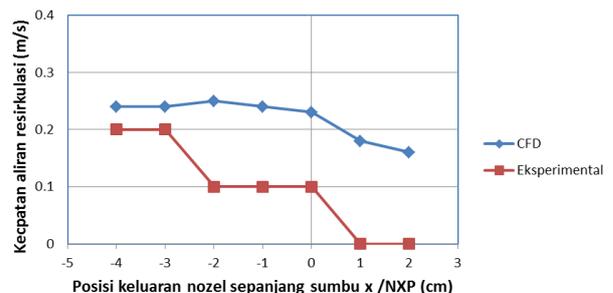
Gambar 8. Kontur Kecepatan pada Daerah nozel pada NXP 0



Gambar 9. Kontur Kecepatan pada Daerah Nozel pada NXP +2

Perbandingan hasil simulasi dan eksperimen

Hasil simulasi dan eksperimen untuk kecepatan aliran pada pusat saluran resirkulasi yang diukur pada titik 5 cm diatas ruang percampuran seperti pada Gambar 10 dimana memperlihatkan kecenderungan yang sama, semakin nozel digerakkan kearah negatif akan memberikan peningkatan kecepatan aliran resirkulasi.



Gambar 10. Perbandingan CFD dan Eksperimen untuk kecepatan resirkulasi (m/s)

Pada simulasi pengaruh perubahan posisi keluaran nozel dari arah sumbu x positif menuju sumbu x negatif memperlihatkan nilai kecil sekali

terhadap kecepatan aliran resirkulasi akan tetapi pada eksperimen pengaruhnya sangat besar. Hal ini dikarenakan pada simulasi untuk arah gerakan keluaran nozel pada sumbu x positif seperti pada Gambar 9 dimana terlihat kecepatan aliran pada saat memasuki ruang percampuran kecil sekali mendekati nol, kondisi ini sesuai dengan teori *freejet* yang dapat diterapkan pada kasus aliran pada ejektor [4,5,6] untuk melihat pengaruh jarak posisi keluaran nozel dengan daerah masuk ruang percampuran (H) terhadap panjang ruang percampuran (L) seperti pada Gambar 11a, dimana jika arah gerakan nozel kearah posisi sumbu x positif (nilai H semakin kecil dibawah nilai L maka aliran akan bercampur sebagian atau tidak sampai selesai di ruang percampuran sehingga jumlah aliran sekunder akan berkurang. Hal ini disebabkan adanya konstrain dari dinding ruang percampuran sehingga daerah penghisapan aliran sekunder berkurang seperti di perlihatkan pada Gambar 11b, jika dibandingkan dengan posisi H yang optimum dibelakang titik 0, dimana aliran sekunder tidak terhadang oleh dinding seperti pada Gambar 11c, selain itu semakin H mendekati titik 0 maka akan terjadi pengaruh pengecilan (*throatling*) yang lebih besar yang akan menyebabkan meningkatnya tahanan aliran sekunder memasuki daerah percampuran [4].

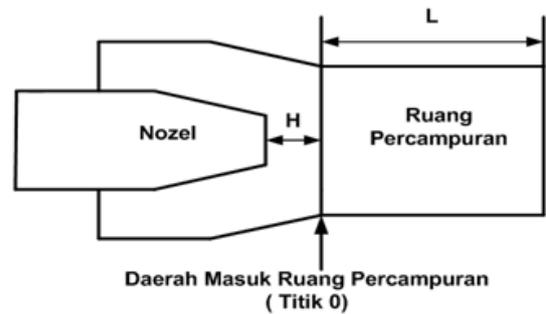
Kondisi ini menyebabkan pada eksperimental untuk posisi arah gerakan menuju sumbu x positif dari titik 0, aliran primer (*motive flow*) tidak dapat menarik aliran resirkulasi (aliran sekunder) sehingga kecepatan pada saluran resirkulasi adalah kecil seperti yang ditunjukkan pada hasil eksperimen yaitu 0.

Pada hasil simulasi terlihat kondisi yang ideal dimana untuk posisi arah gerakan nozzle dari sumbu x positif menuju sumbu x negatif dari titik 0, terlihat kecepatan aliran resirkulasi pada saluran resirkulasi hampir sama tingginya walaupun kenyataannya pada saat posisi gerakan nozzle menuju sumbu x positif dari titik 0 kecepatan aliran resirkulasi atau aliran sekunder saat memasuki ruang percampuran kecil sekali seperti diperlihatkan pada Gambar 9. Pada hasil eksperimental untuk arah gerakan menuju sumbu x positif dari titik 0, maka kecepatan aliran resirkulasi pada saluran resirkulasi dan saat memasuki ruang percampuran sama kecilnya.

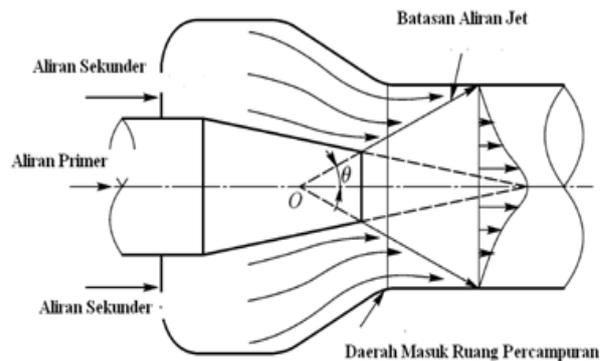
Perbedaan hasil simulasi dan eksperimental juga disebabkan perubahan parameter aliran seperti suhu dan tekanan, pada simulasi adalah kondisi ideal dimana suhu dan tekanan konstan akan tetapi pada kondisi eksperimen parameter aliran ini akan berubah-ubah sehingga kecepatan juga berubah.

Hasil eksperimen dan simulasi memberikan informasi posisi keluaran nozel (*NXP*) pada arah -4 dan -3 cm dari titik 0 (titik awal memasuki daerah

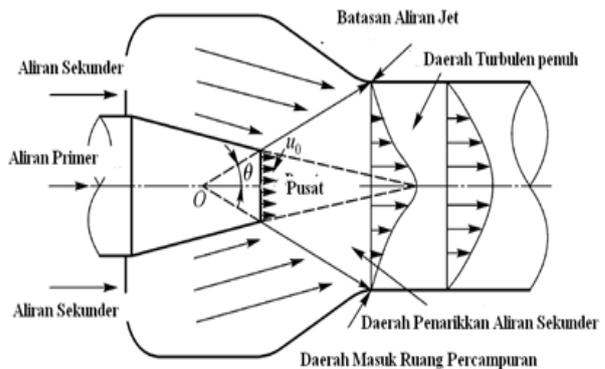
percampuran) memberikan kecepatan aliran resirkulasi yang maksimum. Hal ini dikarenakan gerakan nozel kearah sumbu x negatif dari titik 0 akan lebih menurunkan tekanan disekitar ejektor yang mengakibatkan aliran sekunder akan lebih banyak tertarik oleh aliran primer menuju proses percampuran sehingga kecepatan aliran sekunder ikut meningkat, selain itu bertambahnya juga luasan daerah aliran sekunder yang bercampur dengan aliran primer hingga transfer momentum dari aliran primer bertambah untuk menarik aliran sekunder yang selanjutnya meningkatkan kecepatan aliran sekunder pada saluran resirkulasi.



(a) Jarak Keluaran Nozel terhadap titik 0 (H)



(b) Posisi Keluaran Nozel (H) mendekati titik 0 (arah positif)



(c) Posisi keluaran Nozel menjauhi titik 0 (arah negatif)

Gambar 11. Perubahan Posisi Keluaran Nozel pada Sumbu x

KESIMPULAN

Hasil simulasi dan eksperimental aliran resirkulasi pada *updraft gasifier* menggunakan ejector memperlihatkan perubahan posisi keluaran nozel ke arah sumbu x negatif dari titik nol akan memberikan peningkatan kecepatan resirkulasi dengan posisi optimum pada posisi keluaran nozel -3 cm s/d -4 cm dari titik nol (arah sumbu x negatif). Posisi ini adalah posisi yang optimum untuk menarik gas pirolisa yang mengandung tar dalam jumlah lebih besar ke daerah pembakaran agar terjadi proses pengurangan tar.

UCAPAN TERIMAH KASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari hasil penelitian Hibah Penelitian Disertasi Doktor Tahun Anggaran 2010 yang di danai oleh DP2M Ditjend Dikti Kementerian Pendidikan Nasional Republik Indonesia. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bridgwater, A.V., *Thermal Processing of Biomass for Fuels and Chemical*, Paper, 6th Asia-Pacific International Symposium on Combustion and Energy Utilization, Paper, May 2002.
2. Riffat. S.B., Omer, S.A., *CFD Modeling and Experimental Investigation of an Ejector Refrigeration Using Methanol As Working Fluid*, Int J Eng Res, 25, pp. 115-128, 2001.
3. Pianthong. K., Seehanam, W., Behnia, M., Sriveerakul, T., *Investigation and Improvement of Ejector Refrigeration System Using Computational Fluid Dynamics Technique*, International Journal of Energy Conversion Management, Vol. 48, Issue 9, pp 2556–2564, 2006.
4. Zhang. Xilai, Jin. Shiping, Huang. Suyi, Tian. Guoqing, *Experimental and CFD Analysis of Nozzle Position of Subsonic Ejector*. Energy Power Eng, China, Higher Education Press and Springer-Verlag, Vol. 3 (2), pp 167–174, 2009.
5. Sakurop. E Ya, *Ejector*, Beijing, Science Press, 1977.
6. Xie, W.G., *Optimum Length of Injector Mixer*, Gas and Head, 17 (6), pp. 15–18, 1997.