

ANALISA NUMERIK ALIRAN DUA FASA DALAM VENTURI SCRUBBER

Tommy Hendarto^{*}, Syaiful, MSK. Tony Suryo Utomo
 Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
 Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang 50275
^{*}Email: tom.hendarto@gmail.com

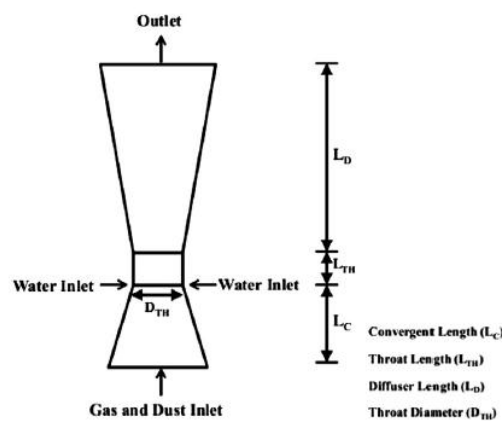
Abstrak

Beberapa penelitian terbaru mengenai efek yang merugikan dari konsentrasi *particulate matter* (PM) menunjukkan adanya akibat yang signifikan dari penurunan daya tahan tubuh dan kematian manusia sebagai akibat dari paparan PM_{10} dan atau $PM_{2.5}$ bila dibandingkan dengan partikel lain yang lebih besar. Diharapkan dengan penanganan PM akan mengurangi dampak kesehatan terhadap manusia. Venturi scrubber merupakan peralatan penangkap PM yang memiliki beberapa keunggulan, yaitu mampu mengatasi partikel eksplosif dan rawan terbakar dengan resiko kecil, biaya perawatan yang relatif rendah, mudah dalam desain dan pemasangan, efisiensi pengoleksian yang dapat bervariasi, menyediakan pendinginan untuk gas panas dan bisa menetralkan gas korosif. Dalam penelitian ini akan disimulasikan aliran dua fasa di dalam venturi scrubber dengan menggunakan software CFD untuk mengetahui fenomena hidrotermal yang terjadi. Kecepatan dari udara akan divariasikan yaitu dari 2,3 m/s, 2,4 m/s dan 2,5 m/s sedangkan mass flow rate air divariasikan sebesar 1 liter/s, 0,67 liter/s, dan 0,5 liter/s. Dari hasil simulasi yang dilakukan menunjukkan adanya pengaruh distribusi tekanan, kecepatan, temperatur dan fraksi mol uap akibat injeksi dari air. Pada venturi scrubber terjadi penurunan temperatur dikarenakan droplet menyerap banyak panas dari gas yang memiliki temperatur tinggi. Sedangkan fraksi mol dari uap juga meningkat disebabkan adanya perubahan fasa dari liquid droplet.

Kata kunci: *particulate matter, venturi scrubber, CFD*

PENDAHULUAN

Beberapa penelitian terbaru mengenai efek yang merugikan dari konsentrasi *particulate matter* (PM) menunjukkan adanya akibat yang signifikan dari penurunan daya tahan tubuh dan kematian manusia sebagai akibat dari paparan PM_{10} dan atau $PM_{2.5}$ bila dibandingkan dengan partikel lain yang lebih besar (Alexia dan Roy, 2007). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa kerugian ekonomi sebagai dampak kesehatan yang disebabkan oleh pencemaran udara cukup signifikan (BPK RI, 2007). Studi Bank Dunia tahun 1994 memperkirakan kerugian ekonomi yang disebabkan polusi udara di Jakarta sebesar Rp 500 milyar yang diperhitungkan dari 1.200 kematian prematur, 32 juta masalah pernapasan, dan 464.000 kasus asma. ADB RETA tahun 1997 memperkirakan dampak kerugian ekonomi disebabkan PM_{10} , NO_2 , dan SO_2 di Jakarta tahun 1998 masing-masing sebesar Rp 1,7 trilyun, Rp 41,7 milyar, dan Rp 1,8 trilyun. Diharapkan dengan penanganan PM akan mengurangi dampak kesehatan terhadap manusia tersebut.



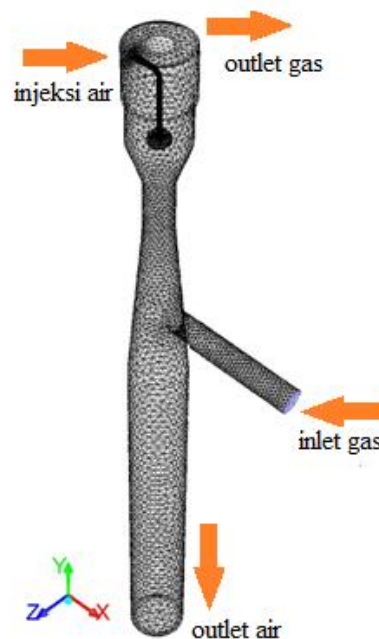
Gambar 1. Bagian-bagian dari venturi scrubber [8]

Venturi scrubber merupakan peralatan penangkap PM yang memiliki beberapa keunggulan, yaitu mampu mengatasi partikel eksplosif dan rawan terbakar dengan resiko kecil, biaya perawatan yang relatif rendah, mudah dalam desain dan pemasangan, efisiensi pengoleksian yang dapat bervariasi, menyediakan pendinginan untuk gas panas dan bisa menetralkan gas korosif (Nicholas, 2002). Bentuk *venturi scrubber* secara umum terbagi menjadi 3 bagian, yaitu sisi konvergen, *throat*, dan divergen. Ada dua jenis *venturi scrubber* berdasarkan perlakuan fluida air-nya, yaitu metode *spray* dan metode *wetted approach*. Sedangkan berdasarkan jenis *throat*, *venturi scrubber* terbagi menjadi *constant throat* (tipe McInnis-Bischoff) dan *variable throat* (tipe Pease-Anthony).

METODOLOGI

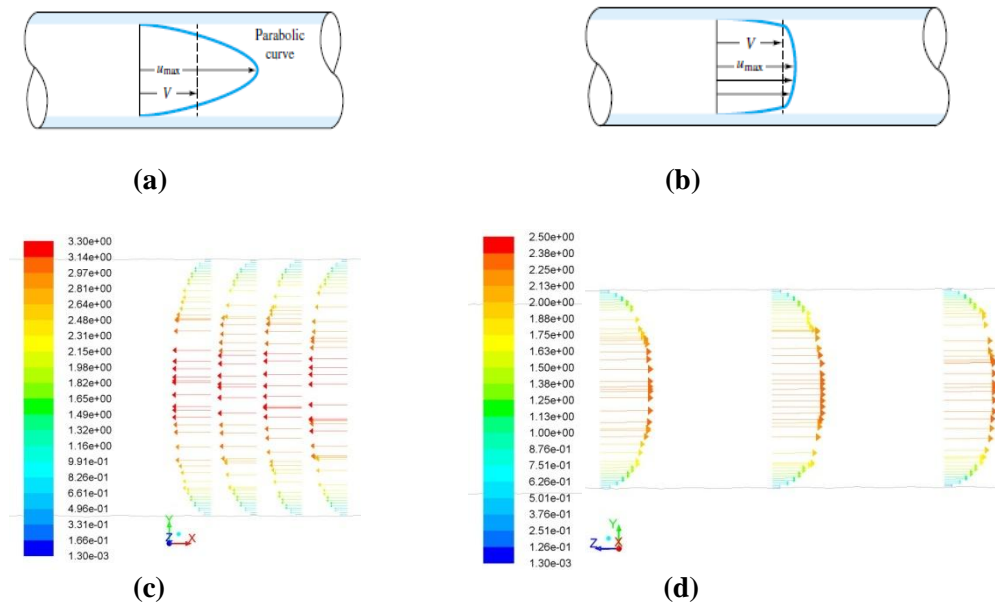
Dalam penelitian ini akan disimulasikan aliran dua fasa di dalam *venturi scrubber* dengan menggunakan software *Computational Fluid Dynamics* (CFD). CFD merupakan metode yang luas digunakan dalam penelitian karena area yang ekstensif dari berbagai macam fitur pada berbagai bidang keilmuan dan keteknikan yang bertujuan untuk meningkatkan dan menganalisa performansi dari sebuah sistem atau desain (Ali dkk., 2012). *Software* CFD umumnya menggunakan teknik volume hingga untuk meneliti fenomena aliran fluida dinamis kompleks seperti aliran multifase, reaksi kimia, aliran turbulen, perpindahan panas dan massa dalam sistem maupun desain. Dalam penelitian ini kecepatan dari udara akan divariasikan yaitu dari 2,3 m/s, 2,4 m/s dan 2,5 m/s sedangkan *mass flow rate* air divariasikan sebesar 1 liter/s, 0,67 liter/s, dan 0,5 liter/s. Diharapkan dari penelitian ini dapat diketahui fenomena hidrotermal yang terjadi dalam *venturi scrubber*.

Pemodelan aliran fluida dalam *venturi scrubber* ini menggunakan pendekatan Eulerian-Lagrangian. Aliran gas yang merupakan fasa kontinu didekati dengan Eulerian sedangkan *droplet* dari injeksi air yang merupakan fasa diskrit didekati dengan Lagrangian. Komputasi ditampilkan dalam kondisi *steady state*. Model k- ϵ RNG digunakan sebagai model turbulen dalam simulasi ini. Geometri 3D *venturi scrubber* digunakan sebagai domain komputasi dan volumenya dibagi menggunakan *mesh unstructured*. Domain tersebut didiskritisasi menjadi 431.317 sel dan 136.633 nodal. Pada daerah dekat dinding dilakukan perlakuan *meshing* yang semakin rapat guna meningkatkan keakuratan dalam penghitungan numerik aliran turbulen. Pendefinisian kondisi batas dari simulasi *venturi scrubber* ditunjukkan dalam Gambar 2. Pada kecepatan udara 2,3 m/s, temperatur gas inlet adalah sebesar 420 K, sedangkan air yang diinjeksikan bertemperatur 299 K.



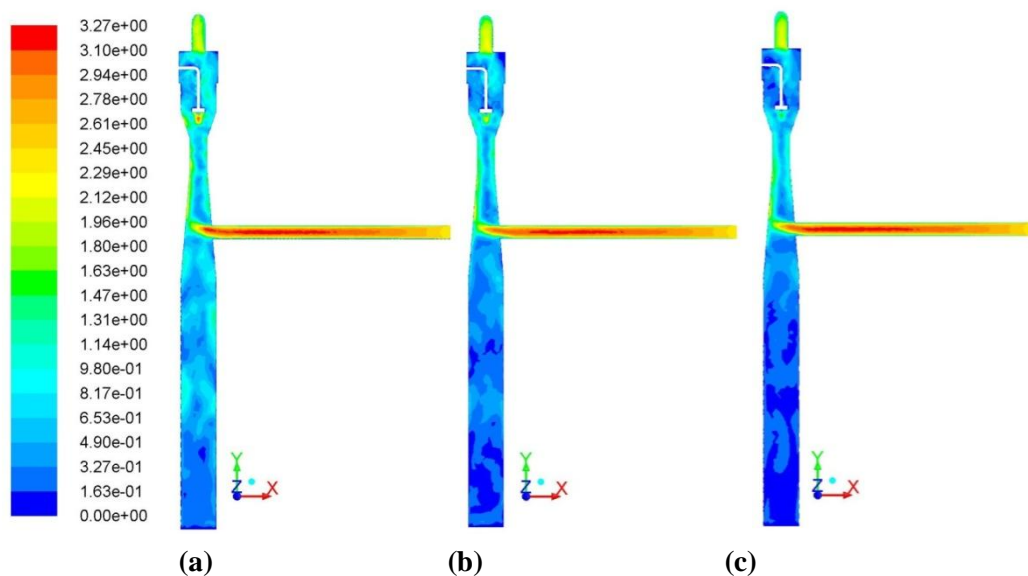
Gambar 2. Kondisi batas dan *meshing* dari *venturi scrubber*

Untuk memverifikasi hasil dari simulasi *venturi scrubber* maka digunakan acuan profil aliran sebagai alat visualisasi untuk mengetahui pendekatan hasil simulasi dengan teori yang terdapat dalam literatur. Verifikasi ini digunakan untuk aliran turbulen yang terdapat pada *inlet* gas dan *outlet* gas. Untuk aliran laminar profil kecepatan pada daerah *inlet* berkembang penuh membentuk sebuah kurva parabolik. Sedangkan aliran turbulen profil kecepatan pada daerah berkembang penuh relatif lebih datar (Fox dkk., 2003). Gambar 3 menunjukkan profil kecepatan pada aliran berkembang penuh untuk aliran laminar dan turbulen pada literatur dibandingkan dengan hasil simulasi. Dari terbentuknya profil kecepatan yang dihasilkan oleh simulasi untuk aliran pada *inlet* maupun *outlet* gas pada pemodelan *venturi scrubber*, dapat dilihat bahwa profil yang dihasilkan dari simulasi telah menyerupai profil yang terdapat pada literatur untuk aliran turbulen.



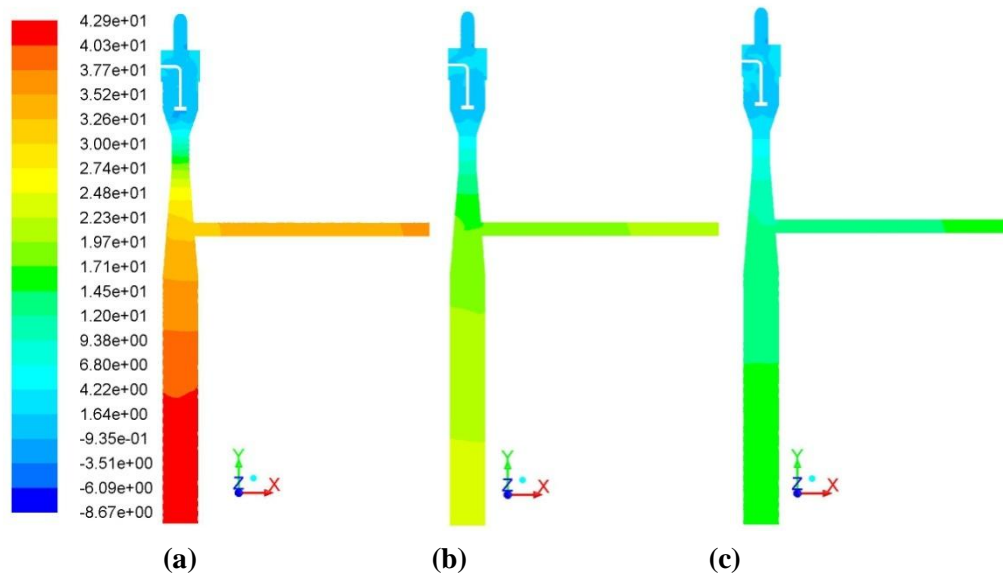
Gambar 3. Profil kecepatan pada aliran berkembang penuh (a) laminar, (b) turbulen, (c) *inlet* gas, dan (d) *outlet* gas

HASIL DAN PEMBAHASAN



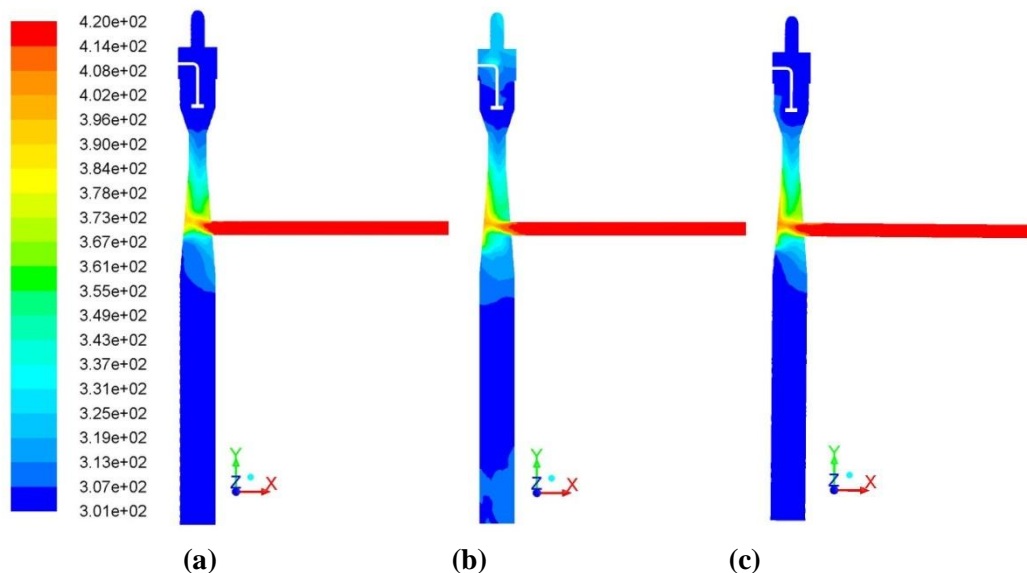
Gambar 4. Kontur kecepatan pada *venturi scrubber* saat kecepatan gas 2,3 m/s dengan injeksi air (a) 1 liter/s, (b) 0,67 liter/s dan (c) 0,5 liter/s

Kontur kecepatan disajikan dalam Gambar 4 dengan satuan m/s^{-1} . Dari kontur yang ada terlihat bahwa sepanjang daerah konvergen kecepatan gas akan meningkat, stabil pada daerah *throat venturi* lalu kemudian mengalami penurunan kecepatan ketika memasuki daerah divergen. Hal tersebut disebabkan adanya pengecilan dan pembesaran penampang *venturi scrubber*.



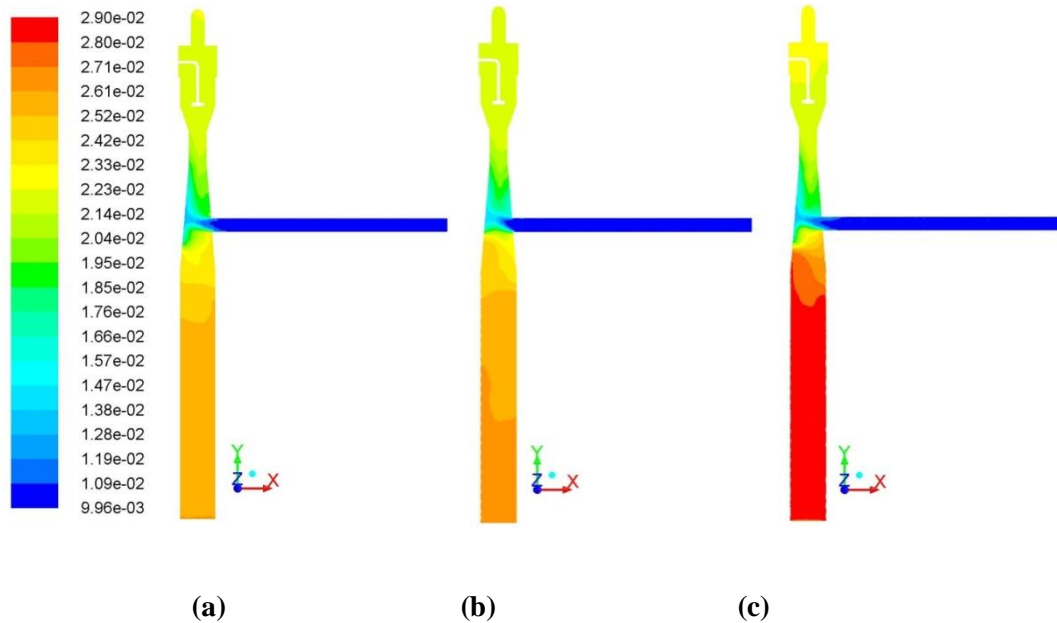
Gambar 5. Kontur tekanan pada *venturi scrubber* saat kecepatan gas 2,3 m/s dengan injeksi air (a) 1 liter/s, (b) 0,67 liter/s dan (c) 0,5 liter/s

Kontur tekanan disajikan dalam Gambar 5 dengan satuan Pascal. Dari kontur yang ada terlihat bahwa sepanjang daerah konvergen tekanan gas akan menurun, stabil pada daerah *throat venturi* lalu kemudian mengalami peningkatan tekanan ketika memasuki daerah divergen. Hal tersebut disebabkan adanya pengecilan dan pembesaran penampang *venturi scrubber*. Selain itu dari kontur yang ada menunjukkan semakin besarnya laju injeksi air akan semakin besar pula *pressure drop* dalam *venturi scrubber*.



Gambar 6. Kontur temperatur pada *venturi scrubber* saat kecepatan gas 2,3 m/s dengan injeksi air (a) 1 liter/s, (b) 0,67 liter/s dan (c) 0,5 liter/s

Kontur temperatur disajikan dalam Gambar 6 dengan satuan Kelvin. Dari kontur yang ada terlihat bahwa temperatur gas yang masuk melalui inlet akan langsung turun ketika bertemu dengan *droplet* dari injeksi air karena adanya perbedaan temperatur. Luas daerah yang berkontur temperatur tinggi akan lebih besar luasnya ketika laju injeksi dari air menurun, hal tersebut terlihat pada daerah konvergen *venturi scrubber*.



Gambar 7. Kontur fraksi mol uap H₂O pada *venturi scrubber* saat kecepatan gas 2,3 m/s dengan injeksi air (a) 1 liter/s, (b) 0,67 liter/s dan (c) 0,5 liter/s

Kontur fraksi mol uap H₂O disajikan dalam Gambar 7. Dari kontur yang ada terlihat bahwa fraksi mol H₂O meningkat dengan menurunnya laju injeksi *droplet* dari air, hal ini disebabkan pada laju injeksi yang lebih rendah akan memberikan waktu perubahan fasa dari *liquid droplet* ke uap air lebih lama.

KESIMPULAN

Hasil simulasi yang dilakukan menunjukkan adanya pengaruh distribusi tekanan, kecepatan, temperatur dan fraksi mol uap akibat injeksi dari air. Pada daerah konvergen terjadi peningkatan kecepatan aliran gas namun mengakibatkan penurunan tekanan, begitu pula sebaliknya ketika gas berada pada daerah divergen, hal ini disebabkan adanya perubahan luas penampang. Selain itu pada *venturi scrubber* terjadi penurunan temperatur dikarenakan *droplet* menyerap banyak panas dari gas yang memiliki temperatur tinggi. Sedangkan fraksi mol dari uap air juga meningkat disebabkan adanya perubahan fasa dari *liquid droplet*.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexia A. E. and Roy M.H., (2007), Graphical Analysis of Performance of Venturi Scrubbers for Particle Abatement. Part I: Rapid Collection Efficiency Evaluation, *Aerosol Science and Technology*, 41, pp 51-62.
- Badan Pemeriksa Keuangan Republik Indonesia., (2007), Hasil Pemeriksaan atas Program Langit Biru pada Kementerian Negara Lingkungan Hidup dan Instansi Terkait di Jakarta, Jakarta, Indonesia, pp 9.
- Nicholas P. C., (2002), Handbook of Air Pollution Prevention and Control, Butterworth Heineman, New York, United States, pp 457.

- Ali M., Yan C., Sun Z., Gu H. and Wang J., (2012), CFD Simulation of Dust Particle Removal Efficiency of a Venturi Scrubber in CFX, *Nuclear Engineering and Design*, 256, pp 169-177.
- Fox, W. R., McDonald T. A., and Pritchard J. P., (2003), *Introduction to Fluid Mechanics*. 6th Ed., John Wiley & Sons Inc., United States, pp 50.