STUDI NUMERIK RANCANGAN ALAT PENYEDOT *MERKURI* PADA MESIN PEMBUAT BOHLAM DITINJAU BERDASARKAN *HEAT TRANSFER*

Joko Jumiyanto¹, Sutrisno², Prajitno³

¹Program Studi Magister Teknik Mesin, Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No. 2 Kampus UGM Yogyakarta 55281

^{2,3}Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No. 2 Kampus UGM Yogyakarta 55281
e-mail: ¹Joko.Jumiyanto45@gmail.com

ABSTRACT

The purpose of this study is to observe the pattern of fluid flow on a bulb making machine. The design problem of a mercury suction device is some of the mercury and the exhaust heat from the chimney is sucked in imperfectly towards the outlet. These imperfections occur due to the chimney design and power at the outlet fan. Variations in speed at the bulb-making machine outlet are the most effective looking simulation. CFD simulation is done using fluent ansys. The results of the simulation show the heat transfer phenomenon that occurred. At a speed of 6 m/s the maximum heat air produced is 30.5 °C. The speed variation in the most effective bulb making machine in this study is 15 m/s. because the surrounding air is almost close to initial temperature which is equal to 27.7 °C. Keep in mind that by increasing the speed value it will reduce the level of efficiency of the tool.

Key words: Mercury, Heat transfer, CFD

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini yaitu mengamati pola aliran fluida pada mesin pembuat bohlam. Masalah rancangan alat penyedot merkuri adalah sebagian merkuri dan panas buang dari cerobong tersedot tidak sempurna ke arah outlet. Ketidaksempurnaan tersebut terjadi disebabkan oleh desain cerobong dan kekuatan pada fan outlet. variasi kecepatan pada outlet mesin pembuat bohlam dilakukan simulasi mencari yang paling efektif. Simulasi CFD dilakukan dengan menggunakan ansys fluent. Hasil dari simulasi menunjukkan fenomena heat transfer yang terjadi. Pada kecepatan 6 m/s udara panas maksimal yang dihasilkan adalah 30,5 °C. Variasi kecepatan pada exhaust mesin pembuat bohlam yang paling efektif pada penelitian ini yaitu 15 m/s karena udara di sekitar hampir mendekati initial temperature yaitu sebesar 27,7 °C. Oleh karena itu, dengan menaikkan nilai kecepatan maka akan mengurangi tingkat efisiensi alat tersebut.

Kata kunci : Merkuri, heat transfer, CFD

PENDAHULUAN

Merkuri adalah unsur kimia dengan simbol Hg dan nomor atom 80. Biasanya dikenal sebagai *quicksilver* dan sebelumnya bernama *hydrargyrum*. Salah satu penggunaan *mercury* adalah untuk lampu uap. Lampu uap merkuri adalah lampu pelepasan gas yang dilapisi dengan *fosfor* pada bohlam luarnya, berfungsi untuk memberikan panas isolasi dan untuk melindungi dari paparan radiasi sinar *ultraviolet*. Lampu

uap merkuri lebih efisien daripada sumber cahaya lainnya yaitu sekitar 60 lumen/watt [7]. *Lumen* adalah satuan turunan SI untuk *fluks* cahaya, mengukur jumlah total cahaya terlihat yang dipancarkan sebuah sumber.

Elemental dan *methylmercury* adalah racun bagi sistem saraf pusat dan perifer. Menghirup uap merkuri dapat menghasilkan efek berbahaya pada sistem saraf, pencernaan dan kekebalan tubuh, paru-paru dan ginjal, dan mungkin berakibat fatal. Garam anorganik merkuri bersifat korosif terhadap kulit, mata dan saluran

pencernaan, dan dapat menyebabkan toksisitas ginjal jika tertelan. Nilai ambang batas paparan uap merkuri elemental secara kontinyu selama 8 jam per hari atau 40 jam per minggu menurut *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH) adalah 0.05 mg/m^3 . Keracunan akumulatif dapat terjadi melalui pajanan jangka panjang melebihi 0.05 mg/m^3 udara [7].

Pembuatan produk di pabrik cenderung menyebabkan berbagai zat, partikel, panas tinggi, dan uap yang terkontaminasi termasuk merkuri bocor ke ruang kerja. Oleh karena itu, pabrik menggunakan Ventilasi Industri untuk mencairkan atau menghilangkan limbah. Ventilasi Industri dapat dibagi menjadi Ventilasi Umum dan Ventilasi *exhaust* Lokal sesuai dengan rentang dan metode ventilasi [4]. Ventilasi *Exhaust* Lokal digunakan untuk emisi cepat dari limbah berkadar tinggi dan panas tinggi dari ruang kerja.

Pada penelitian ini merupakan studi kasus dari pabrik pembuatan bohlam. Alat produksi bohlam mengeluarkan paparan sisa-sisa merkuri. Hal tersebut tidak dapat dibiarkan karena berbahaya bagi kesehatan. Solusi untuk menghilangkan partikelnya adalah dibuat alat penghisap berbentuk selungkup silinder dipasang di atas alat produksi, diujung alat dipasang *exhaust fan* untuk mengalirkan udara dan sisa partikel keluar ruangan. Dalam aplikasinya, alat penghisap tidak bekerja secara maksimal sebab masih ada partikel yang keluar pada sisi alat tersebut. Menurut hasil pengukuran terakhir dan wawancara kepada tenaga ahli pabrik bohlam tersebut, *Merkuri* yang keluar sekitar 20% dari total jumlah merkuri. Selain itu alat produksi bohlam juga mengeluarkan sumber panas maka efek *heat transfer* tidak dapat diabaikan. Dalam kasus ini, alat penghisap menjadi sangat panas hingga mencapai temperatur 700 K akan

didinginkan secara konveksi alami sebab tergantung diudara. Pengaruh *exhaust fan* menjadi konveksi paksa dan memiliki pengaruh pada pola aliran perpindahan panas dengan dibuktikan pada distribusi temperatur disekitar ruangan dan alat produksi bohlam. Tujuan dari penelitian ini Mengamati pola aliran *fluida* pada mesin pembuat bohlam. Masalah pola aliran dan distribusi temperatur saat ini, yaitu kondisi panas yang dikeluarkan melabihi batas kenyamanan kondisi ruangan di Indonesia yaitu sekitar 27°C . Setelah itu menentukan variasi kecepatan pada *exhaust* mesin pembuat bohlam yang paling efektif. Penelitian ini memilih menggunakan simulasi CFD sebab meninjau pada kondisi pabrik saat ini hanya metode CFD lah yang masih memungkinkan untuk dilakukan.

METODE PENELITIAN

Berdasarkan Gambar 1, maka berikut adalah metode yang digunakan. Pertama melakukan identifikasi masalah. Berdasarkan sumber masalah dan kajian pustaka, maka identifikasi masalah pada rancangan alat penyedot *merkuri* adalah sebagian *merkuri* dan panas buang dari cerobong tersedot tidak sempurna kearah *outlet*. Hal tersebut dapat disimpulkan dari hasil pengukuran terakhir dan wawancara dari ahli pada pabrik bohlam tersebut. Selain itu, fenomena yang sama juga terjadi menurut jurnal Seok-Hwan Jeong. Ketidaksempurnaan tersebut terjadi disebabkan oleh desain cerobong dan kekuatan pada fan *outlet*.

Penelitian mengenai konveksi alami telah dilakukan oleh Swasik Acharya. Penelitian ini berupa analisis secara numerik tentang perpindahan panas konveksi alami dari silinder berongga vertikal yang melayang di udara dengan memvariasikan nomor *Rayleigh* (Ra) dalam rezim laminar (104 Ra 108.

Seluruh persamaan konservasi telah diselesaikan secara numerik pada silinder berongga vertikal yang melayang di udara dengan model dua dimensi *axisimetric* menggunakan FLUENT 13.0.

Penelitian mengenai konveksi paksa telah dilakukan oleh Lakshminarasimha. Tujuan utama dari penelitian ini yaitu menghilangkan panas yang dihasilkan pada penutup listrik, terdiri dari komponen listrik yang memiliki panas tinggi. mendinginkan peralatan listrik merupakan solusi yang ekonomis dan optimal untuk menjaga komponen listrik pada batas suhu pengoperasian. Penempatan komponen pendingin dalam penutup adalah pertimbangan parameter penting lainnya pada penelitian ini. Parameter ini dapat dinilai menggunakan analisis CFD sederhana. Penelitian ini menggunakan simulasi CFD dengan mempertimbangkan penutup volume *Aluminium Electrical* khas (300 mm×300 mm×300 mm) dengan total disipasi panas internal 150 W, bagian ini merupakan sisi dari sumber panas yang akan menyebar. pada sisi *outlet* atau exhaust fan diatur sesuai dengan perhitungan yaitu 92 CFM. Menggunakan model turbulensi standar *K-epsilon*. Skema diskritisasi SIMPLE digunakan untuk menyelesaikan momentum dan persamaan turbulen. Kenaikan suhu dengan kipas yang ditempatkan di lokasi optimal ditemukan pada suhu 30°C yang jauh di bawah batas ambang batas. Penelitian ini masih membutuhkan optimasi lebih lanjut.

Penelitian mengenai kombinasi konveksi natural dan paksa telah dilakukan oleh Satish Kumar Ajmera. Pengaruh pada pengaturan ventilasi yang berbeda dalam selungkup persegi panjang yang dikenai konveksi bebas dan paksa. Variasi jumlah port telah diteliti yakni terjadi kombinasi konveksi paksa dan bebas pada dua dimensi

selungkup persegi panjang dengan sumber panas yang dipasang pada bagian dasar selungkup.

Penelitian mengenai *exhaust ventilation* system telah dilakukan oleh Seok-Hwan Jeong. Penelitian ini menemukan kelemahan pada tudung kanopi yang merupakan salah satu sistem ventilasi pembuangan lokal, di mana ketika tingkat ventilasi tidak memadai atau ketika efek daya apung limbah signifikan, sejumlah limbah parsial merembes keluar dan terakumulasi di ruang kerja atas. Studi ini mengusulkan sistem *Air-Flow Inducing Local Exhaust Ventilation* (AI-LEV), yang dapat meningkatkan laju ventilasi tanpa meningkatkan penggunaan energi buatan dengan mengekstraksi efluen panas-tinggi atau berkepadatan tinggi yang terakumulasi di ruang kerja atas.

HASIL dan PEMBAHASAN

Analisa rancangan alat penghisap *merkuri* adalah perhitungan dan design dari bentuk cerobong, ventilasi dan exhaust fan pada *outlet*. Berikut adalah proses analisis rancangannya. Model rancangan alat ini berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Seok-Hwan Jeong dengan sedikit modifikasi.

Desain mesin penyedot merkuri

Berikut adalah design dan bagian-bagian yang ada pada mesin penyedot *merkuri*, seperti ditunjukkan pada Gambar 2 desain mesin penyedot *merkuri*. Rancangan ini memiliki kelebihan yaitu apabila ditinjau dari sisi *outlet* terletak di tengah ruangan atau tepat pada garis lurus. Hal tersebut akan berdampak pada kecepatan sedotan yang tidak terkena banyak friksi. Selain itu apabila ditinjau dari letak *inlet* atau hembusan udara yang masuk maka udara akan langsung mengarah pada *heatsource* dan menyalurkannya ke cerobong.

Mekanisme alat penyedot *merkuri* yang telah ada yakni sebuah *Plate heat source* bertipe *wall* dengan ukuran 0,5 m×0,9 m terpasang di bagian bawah diasumsikan sebagai sumber panas dari mesin produksi bohlam. Mesin tersebut mengeluarkan panas sebesar 700 K. Panas yang terjadi dapat menyebar keseluruh ruangan. Penyebaran panas keseluruh ruangan dapat diantisipasi dengan memasang *hood* atau cerobong dengan ukuran aspek rasio yang sama dengan *Plate heat source*. Tujuan pemasangan cerobong diharapkan agar panas dapat dibuang keluar ruangan. Penghubung antara *hood* agar bisa menuju luar dipasang pipa saluran dengan ukuran 0,25 m×0,25 m. Agar terjadi penyedotan dibutuhkan *power* tambahan dengan menggunakan *exhaust fan* bertipe *outlet* dengan dipasang bagian ujung pipa saluran dengan aspek rasio yang sama dioperasikan dengan variasi kecepatan 6 m/s dan 15 m/s. Bagian yang membatasi dengan lingkungan sekitar. Jadi ketika berada di dalam ruangan kondisi sesuai dengan apa yang diinput pada *initial condition*. Ruangan tersebut memiliki ukuran 4 m×4 m×3,8 m. Sirkulasi udara dingin yang masuk diasumsikan dengan membuat ventilasi. *Input temperature* pada *inlet* yaitu 27°C. Tipe *boundary* dari *inlet* adalah *pressure inlet* dengan nilai sebesar 0 Pa. Penggunaan tipe *pressure inlet* bertujuan yaitu hembusan udara yang keluar dari ventilasi belum diketahui kecepatannya. Efek dari variasi kecepatan *outlet* juga akan berpengaruh pada ventilasi *inlet* tersebut.

Hasil Simulasi CFD

Hasil *contour* kecepatan ditunjukkan pada gambar 3.

Pada gambar 3 kecepatan pada pipa saluran sampai kepada *exhaust* antara gambar a dan b memiliki persamaan yaitu sama-sama tinggi. Kecepatan berkurang ketika memasuki wilayah cerobong dan terus menurun sampe

diruangan luar cerobong. Hembusan udara pada ventilasi di kecepatan 5 m/s lebih teratur bila dibandingkan 15 m/s. hembusan di ventilasi sebelah kiri memiliki jarak yang lebih jauh bila di banding dengan sebelah kanan menyebabkan aliran di dalam ruangan menjadi lebih turbulen.

Selain itu aliran turbulen juga dapat ditunjukkan oleh besarnya bilangan Reynolds. Pada gambar 3 grafik aliran antara gambar a dan b hampir serupa. Akan tetapi nilai dari keduanya selisihnya cukup jauh. Angka tersebut dihitung pada zona pipa saluran. Angka Reynolds tinggi pada gambar b disebabkan oleh input pada *outlet* yang lebih besar bila dibanding a. Kecepatan pada pipa saluran tersebut dapat berefek pada aliran disekitarnya antara lain terhadap hembusan udara di *inlet* maupun pergerakan udara di sekitar cerobong.

Tabel 1. Perbandingan kecepatan *outlet* dan *inlet* pada variasi tertentu

<i>Outlet velocity</i>	<i>Inlet velocity</i>
6 m/s	0,5147 m/s
15 m/s	1,287 m/s

Tabel 1 menunjukkan bahwa input kecepatan pada *exhaust fan* berpengaruh signifikan terhadap hembusan yang masuk dari *inlet*. Semakin besar nilai *fan* pada *outlet* maka semakin besar pula hembusan udara yang masuk pada *inlet*. Distribusi kecepatan akan berdampak juga pada distribusi *temperatur* yang akan dihasilkan seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.

Dari gambar 5 distribusi *temperatur* terlihat cukup signifikan antara gambar a dan b. Pada gambar a zona panas terlihat jelas di sekitar cerobong sampai ke bagian atas ruangan. Hal ini disebabkan oleh adanya panas yang keluar dari sisi cerobong tidak menuju *outlet*. Hasil dari distribusi temperatur juga berhubungan dengan distribusi kecepatan seperti ditunjukkan pada

gambar 3. Zona yang dilewati hembusan angin memiliki temperatur lebih dingin bila dibandingkan dengan sekitar. Selain itu sirkulasi udara juga berpengaruh pada distribusi temperatur seperti yang ditunjukkan pada tabel 1. Hembusan *inlet* pada variasi kecepatan *outlet* 15 m/s lebih besar dari pada variasi 6 m/s. hasil dari hembusan tersebut membuat aliran terlihat lebih turbulen dan mampu menurunkan temperatur di sekitar.

Gambar 6 menunjukkan bahwa adanya perbandingan temperatur pada grafik variasi kecepatan *outlet* 6 m/s dan 15 m/s. Grafik dibuat berdasarkan asumsi pekerja berada 0,25 m dari sumber panas. pada kecepatan 6 m/s udara panas maksimal yang dihasilkan adalah 30,5°C. Variasi kecepatan pada *exhaust* mesin pembuat bohlam yang paling efektif pada penelitian ini yaitu 15 m/s. sebab udara disekitar hampir mendekati *initial temperature* yaitu sebesar 27,7°C. perlu diingat bahwa dengan menaikkan nilai kecepatan maka akan mengurangi tingkat efisiensi alat tersebut.

Kedua grafik tersebut menunjukkan semakin tinggi titik pada ruangan maka semakin tinggi pula temperatur yang dihasilkan. Hal tersebut membuktikan bahwa udara tidak tersedot sempurna pada *outlet* dan masih ada udara yang keluar di sekitar cerobong.

KESIMPULAN

Hasil analisa pola aliran fluida pada rancangan mesin pembuat bohlam pada distribusi kecepatan yaitu semakin tinggi kecepatan pada *outlet* maka semakin tinggi pula kecepatan hembusan yang dikeluarkan *inlet* dan memiliki efek pada temperatur yang akan dihasilkan. Secara global distribusi temperatur menyebar keseluruh ruangan dengan berbagai variasi kecepatan *outlet*. Variasi kecepatan pada *exhaust* mesin pembuat bohlam memiliki

dampak pada pola aliran distribusi kecepatan dan temperatur di sekitar ruangan. Pada penelitian ini variasi kecepatan yang telah digunakan yaitu 6 m/s dan 15 m/s. Adapun variasi kecepatan yang paling efektif pada penelitian ini yaitu 15 m/s karena udara di sekitar hampir mendekati *initial temperature* yaitu sebesar 27,7°C.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Setyawan Bakti Wibowo, S.T., M. Eng selaku ketua tim CFD Seturan atas masukan dan bimbingannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Acharya, S., Agrawal, S., & Dash, S. K. 2018. *Numerical Analysis of Natural Convection Heat Transfer From a Vertical Hollow Cylinder Suspended in Air*. Journal of Heat Transfer, 140(5), 052501.
- [2] Ajmera, S. K., & Mathur, A. N. 2015. *Combined Free and Forced Convection in an Enclosure with different Ventilation Arrangements*. Procedia Engineering, 127, 1173–1180.
- [3] ASHRAE. 2003. ASHRAE Handbook, HVAC Applications Chapter 30 Industrial local exhaust systems: ASHRAE
- [4] Broussard, L. A., Hammett-stabler, C. A., & Winecker, R. E. 2002. Synonym: Formula: Valence: Chemical State: Physical State: Toxicity: Laboratory Medicine, 33(8)
- [5] Jeong, S. H., Kwon, H. M., Ahn, S. J., & Yang, J. H. 2016. *A study on the improvement of ventilation rate using air-flow inducing local exhaust ventilation system*. Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 15(1), 119–126.

[6] Lakshminarasimha, N., & Ap, I. 2015. *Numerical Investigation of Forced Convection cooling of Electrical enclosure using CFD*, 5(11), 62–66.

[7] Ter vrugt, J. W, and Verpimp JKP. 1980. *High Pressure mercury vapour lamps*. IEE prosedings 127A. 173-80

Gambar 1. Diagram alir metode perancacangan mesin penyedot merkuri

Gambar 2. Desain mesin penyedot merkuri

Gambar 3. kontur *velocity* variasi kecepatan *outlet* (a) 6 m/s dan (b) 15 m/s

(a)

(b)

Gambar 4. Grafik *reynolds* terhadap ketinggian (a) 6 m/s dan (b) 15 m/s

Gambar 5. kontur temperatur variasi kecepatan *outlet* (a) 6 m/s dan (b) 15 m/s

Gambar 6. Grafik perbandingan temperatur dan ketinggian variasi kecepatan *outlet* (a) 6 m/s dan (b) 15 m/s