

Kajian Numerik Terhadap Pola Aliran *Upward Push-Pull Air Curtain* dengan Rasio Kecepatan 8 dan 10 untuk Mencegah Penularan Covid-19 pada Pekerja Pabrik Manufaktur

Ravlyn Nautyca Rivaldy^{1*}, Burniadi Moballa², Ni'Matut Tamimah³

Program studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia^{1*}

Program studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia²

Program studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia³

Email: ravlynrivaldy@student.ppns.ac.id^{1*}; bmoballa@ppns.ac.id²; nimatuttamimah@ppns.ac.id³;

Abstract – COVID-19 continues to spread globally, including in Indonesia. One of the contributing factors to the increasing number of positive COVID-19 cases in Indonesia is the transmission within industrial clusters. Maintaining a minimum distance of 1 to 2 meters between workers is challenging due to the constraints imposed by the industry's work systems, space, and layout. Consequently, there is a need for a mechanism to safeguard industrial workers from potential COVID-19 exposure. The air-curtain technology emerges as a promising solution with significant potential for application. In this study, the focus is on the push-pull air curtain, which incorporates push-pull ventilation to protect employees from inhaling microdroplets. The study assesses the capability of push-pull ventilation to withstand droplet bursts at two velocity ratios: 8 and 10. To investigate this, a simulation was conducted using Salome's, Open FOAM, Para view tools, and Jupiter Notebook. The simulation results demonstrate that a velocity ratio of 8 effectively resists droplet bursts, with only 0.007 percent of droplets able to penetrate the system. Meanwhile, the ratio of 10 showed a slightly lower effectiveness, with 0.05 percent of droplets penetrating the system. These findings highlight the potential of the push-pull air curtain technology in mitigating COVID-19 transmission risks in industrial settings.

Keyword: syngas, damage mechanism, inspection, risk analysis

Nomenclature

| | |
|-----------|---|
| V_s | Velocity pull/scution (m/s) |
| V_b | Velocity push/blow (m/s) |
| V_g | Velocity droplet (m/s) |
| V_s/V_g | Velocity ratio suction suction and Droplet |
| V_b/V_s | Velocity ratio blow and suction nozzle t Time (s) |

1. PENDAHULUAN

Penularan COVID-19 masih berjangkit di dunia termasuk di Indonesia. Meningkatnya jumlah kasus positif COVID-19 di Indonesia, salah satu penyebabnya adalah penularan dari kluster industri. Melakukan jaga jarak minimum 1 sampai 2 meter di antara pekerja sulit untuk diterapkan. Hal ini dikarenakan keterbatasan layout, luas, maupun sistem kerja di industri. Selain itu penyebaran COVID-19 melalui droplet (titik-titik cairan) yang keluar ketika batuk, bersin atau ekshalasi lainnya [7]. Oleh karena itu, diperlukan sebuah sistem pengelolaan lingkungan di tempat kerja yang mampu melindungi para pekerja industri dari potensi paparan COVID-19 melalui pengaturan sistem tata udara atau ventilasi. Salah satu teknologi yang memiliki potensi tinggi untuk diterapkan adalah tirai

udara/air-curtain [1]. Tugas akhir ini membahas metode pengelolaan lingkungan dengan pola *upward* sistem *push-pull air-curtain* di mana terdapat *push-pull ventilation* yang mampu melindungi pekerja dari

inhalasi *microdroplet* atau uap berbahaya yang muncul. Oleh karenanya, tugas akhir ini bertujuan untuk melakukan kajian efektivitas penerapan *push-pull ventilation* dengan pola aliran *upward* pada tempat kerja untuk mencegah penyebaran COVID-19 di antara pekerja yang berada di ruangan yang sama [2]. Secara lebih khusus, dalam tugas akhir ini menganalisis debit dan kecepatan udara *push-pull* yang optimum. Untuk menangani masalah tersebut pada tugas akhir ini menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) sebagai alat bantu dalam menganalisis debit dan kecepatan udara *push-pull*. Dengan demikian, upaya untuk mencegah pekerja dari risiko paparan COVID-19 tidak akan mengurangi produktivitas mereka dalam bekerja.

2. METODOLOGI

2.1 Identifikasi Masalah

Penelitian ini dimulai dengan identifikasi masalah, di mana terlebih dahulu dilakukan pencarian dan pengumpulan pemikiran terkait masalah yang akan dianalisis, termasuk studi penelitian sebelumnya tentang *push-pull ventilation*. Setelah itu, tujuan penelitian ditetapkan dengan jelas, yaitu memberikan jawaban terhadap rumusan masalah terkait hasil perhitungan *push-pull ventilation* dan efek dari variasi parameter yang digunakan. Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan keuntungan bagi berbagai pihak dan menjadi acuan untuk penelitian masa depan. Terakhir, penelitian ini

memiliki batasan masalah yang fokus pada perlindungan pekerja dari inhalasi mikrodroplet atau uap berbahaya melalui simulasi push-pull ventilation.

2.2 Tahap Validasi dan Grid Independence

Proses simulasi push-pull ventilation system melalui beberapa tahap penting. Pertama, model 2D objek digambar dengan menggunakan perangkat lunak SALOME, termasuk gambar ruang kerja dan pekerja di dalamnya. Selanjutnya, dilakukan proses meshing untuk membagi objek menjadi elemen-elemen diskrit yang membentuk grid. Pemodelan numerik mengadopsi metode Large Eddy Simulation (LES) untuk memperkirakan pergerakan fluida dengan akurat. Setelah preprocessing, tahap solving digunakan untuk memecahkan masalah dan memodelkan aliran fluida sesuai dengan kondisi yang ditetapkan. Proses ini diikuti dengan tahap validasi grid independence, di mana jumlah elemen grid dikurangi hingga mencapai posisi minimum untuk memastikan hasil simulasi mendekati dan konsisten.

2.3 Push-Pull Ventilation

Perhitungan kecepatan batuk sesuai dengan formula [4]. Push-pull ventilation telah menjadi metode ventilasi yang efektif untuk menghilangkan zat berbahaya berdasarkan operasi yang andal dan stabil, penghematan energi, dan ketahanan yang kuat terhadap aliran udara eksternal [9]. Sistem ventilasi push-pull terdiri dari dua komponen the push jet dan pull exhaust [3]. Empat mode aliran karakteristik, yang dilambangkan sebagai dispersi, transisi, enkapsulasi dan hisap yang kuat, diidentifikasi dalam domain kecepatan push-jet dan pull-flow pada berbagai lebar tangki permukaan terbuka dan meningkatnya kecepatan gas. Hal ini diperdebatkan fenomenologi dari sudut pandang aerodinamis, bahwa mengoperasikan sistem dalam bentuk hisap yang kuat akan menjadi strategi yang lebih baik daripada mengoperasikannya dalam karakteristik lain untuk pertimbangan efisiensi penangkapan.

2.4 Perhitungan Kecepatan Batuk

Perhitungan kecepatan batuk sesuai dengan formula [4].

$$\underline{M} = \frac{\text{Flowrate}}{\text{CPFR}} \tag{1}$$

$$\tau = \frac{\text{Time}}{\text{PVT}} \tag{2}$$

$$\underline{M} = \frac{a_1 \tau^{b-1} \exp\left(\frac{-\tau}{c_1}\right)}{\Gamma(b_1)c_1^{b_1}} \text{ for } \tau < 1,2 \tag{3}$$

$$\underline{M} = \frac{a_1 \tau^{b-1} \exp\left(\frac{-\tau}{c_1}\right)}{\Gamma(b_1)c_1^{b_1}} + \frac{a_1(\tau-1,2)^{b-1} \exp\left(\frac{-(\tau-1,2)}{c_2}\right)}{\Gamma(b_2)c_2^{b_2}} \tag{4}$$

untuk $\tau < 1,2$
dimana,

$$a_1 = 1,680$$

$$b_1 = 3,338$$

$$c_1 = 0,428$$

$$a_2 = \frac{\text{CEV}}{\text{PVT} \times \text{CPFR}} - a_1 \tag{5}$$

$$b_2 = \frac{-2,158 \times \text{CEV}}{\text{PVT} \times \text{CPFR}} + 10,457 \tag{6}$$

$$c_2 = \frac{1,8}{b_2-1} \tag{7}$$

2.5 Perhitungan Rasio kecepatan Push-Pull

Perhitungan rasio kecepatan push-pull sesuai dengan formula [5].

$$\frac{V_s}{V_g} = (-3362.3V_g^3 + 1893.9V_g^2 - 365.6V_g + 46.0) \times \exp [(-103.6V_g^2 - 4.3V_g + 1.1) \times H] \tag{8}$$

$$\frac{V_s}{V_b} = \exp [(-21.7V_g^2 + 6.7V_g + 1.1) \times H + (-53.4V_g^2 + 21.1V_g + 1.2)] \tag{9}$$

2.6 SALOME

SALOME adalah platform simulasi numerik Open Source yang digunakan untuk 2D modelling dan preprocessing. Pengguna dapat menginstal kode digital inti mereka pada platform, menentukan geometri masalah, menggabungkannya, menentukan kondisi batas, meluncurkan pemecah pada superkomputer, menghitung, memvisualisasikan hasil, dan menganalisis data. Pilihan menggunakan software SALOME karena gratis dan mudah didapatkan. SALOME dapat menangani simulasi numerik besar, seperti yang ditemukan dalam studi multi-fisika dan/atau para metrik [8].

2.7 OpenFOAM

OpenFOAM adalah pustaka berorientasi objek untuk mekanika kontinum komputasional yang dirancang untuk mencapai tujuan di atas. Alih-alih desain perangkat lunak monolitik dan ekstensi "pengkodean pengguna", OpenFOAM mengimplementasikan komponen penanganan mesh, sistem linear dan dukungan solver, operator diskritisasi, dan model fisik dalam bentuk pustaka, di mana mereka digunakan kembali di sejumlah pemecah tingkat atas. Implementasi model fisik kompleks mengikuti ide meniru bentuk persamaan diferensial parsial dalam perangkat lunak. Alat, mulai dari pra-pemrosesan, manipulasi mesh, akuisisi data, penanganan mesh dinamis, dll. dibangun ke dalam sistem, membawanya ke level yang diharapkan oleh alat CFD industry [6].

2.8 ParaView

Dalam analisa CFD, software ParaView digunakan dalam postprocessing. ParaView adalah aplikasi visualisasi dan analisis data multi-platform open-source. Pengguna ParaView dapat dengan cepat

membuat visualisasi untuk menganalisis data mereka menggunakan teknik kualitatif dan kuantitatif. Eksplorasi data dapat dilakukan secara interaktif dalam 3D atau secara terprogram menggunakan kemampuan pemrosesan batch *ParaView*. *ParaView* dikembangkan untuk menganalisis kumpulan data yang sangat besar menggunakan sumber daya komputasi memori terdistribusi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Perhitungan Kecepatan Batuk

Hasil Kecepatan batuk dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 1. Grafik Kecepatan Batuk

3.2 Hasil Perhitungan Rasio Kecepatan

Untuk data yang akan dihitung sebagai berikut:

$$h \text{ (orang)} = 1,68 \text{ m}$$

$$w \text{ (orang)} = 68 \text{ kg}$$

$$A \text{ (bukaan mulut)} = 0,000336 \text{ m}^2$$

Menentukan *Cough Peak Flow Rate* (CPFR)

menggunakan persamaan 2.5 sebagai berikut :

$$CPFR = -8,8980 + 6,3925 h (m) +$$

$$0,0346w (kg)$$

(10)

$$CPFR = -8,8980 + 6,3925 \times 1,68 + 0,0346 \times$$

$$1,68$$

$$CPFR = 4,1942 \frac{l}{s}$$

$$CPFR = 0,0041942 \frac{m^3}{s}$$

Menentukan kecepatan batuk (v_g) sebagai

berikut :

$$v_g = \frac{CPFR}{A} \tag{11}$$

$$v_g = \frac{0,0041942 \frac{m^3}{s}}{0,000336 \text{ m}^2}$$

$$v_g = 12,4827 \frac{m}{s}$$

3.3 Hasil Perhitungan Kecepatan Push-Pull

Perhitungan kecepatan sebagai berikut:

$$v_b = \frac{v_g}{2} \tag{12}$$

$$v_b = \frac{12,4827 \frac{m}{s}}{2}$$

$$v_b = 6,2414 \frac{m}{s}$$

$$v_s = v_b \times 4$$

$$v_s = 6,2414 \frac{m}{s} \times 4$$

$$v_s = 24,9655 \frac{m}{s}$$

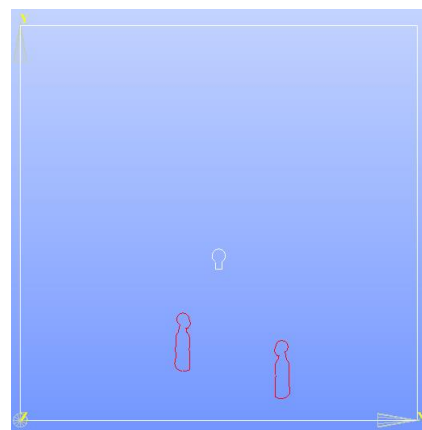
Setelah nilai rasio dan kecepatan *nozzle* didapatkan, rasio dan kecepatan tersebut divariasi dengan beberapa rasio agar dapat mengetahui rasio yang paling optimum. Untuk tabel perhitungan variasi rasio dan kecepatan dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Computational Setup

| Kecepatan Batuk (Vg) (m/s) | Kecepatan Blow Nozzle (Vb) (m/s) | Kecepatan Suction Nozzle (Vs) (m/s) |
|----------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| 12,4827 | 6,2414 | 24,9655 |

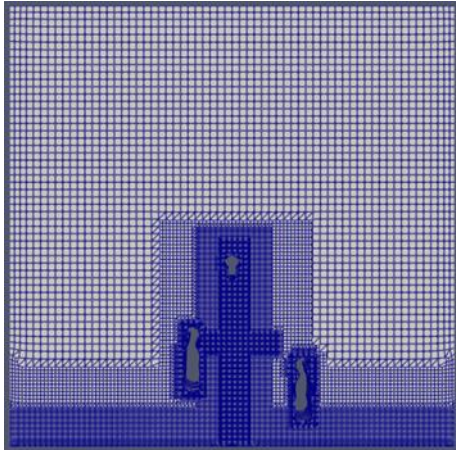
3.4 Pemodelan dan Meshing

Pemodelan pada studi parameter terdapat penambahan *push-pull nozzle* (*blow nozzle* dan *suction nozzle*) dapat dilihat pada Gambar 2, dengan jarak orang batuk ke *nozzle* 1m. Untuk *blow nozzle* dan *suction nozzle* menggunakan diameter 1inch dan 4 inch.



Gambar 2. Geometri Pemodelan

Meshing pada *geometry* 2D menggunakan *algorithm* NETGEN 1D-2D dengan *software* Salome dan dilanjutkan *cartesian2D Mesh* pada *OpenFOAM*. Pada pemodelan ini menggunakan *max cell size mesh* 0.05 m agar aliran pada simulasi dapat terlihat lebih jelas dan akurat. *Meshing* pemodelan ini dapat dilihat pada Gambar 3.



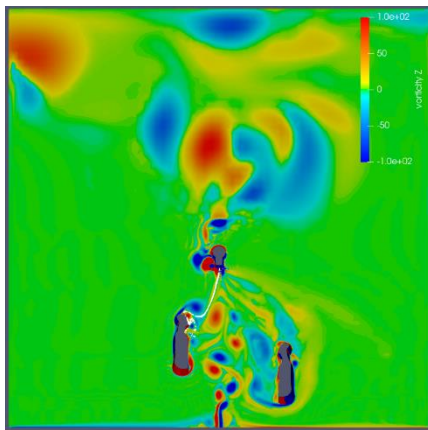
Gambar 3. Meshing Pemodelan 2D Domain Push-Pull Ventilation

3.5 Hasil Simulasi

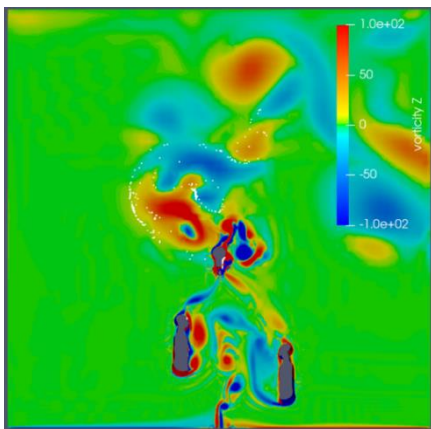
Hasil *mesh* yang telah dimasukkan ke dalam *software* komputasi lalu disimulasikan berdasarkan *setup* yang telah dijelaskan sebelumnya. Berikut merupakan hasil simulasi yang telah peneliti lakukan.

1. *U.air*

Hasil *U.air* dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Hasil Simulasi Rasio 8 pada t = 0,5 s



5. Hasil Simulasi Rasio 8 pada t = 2 s

Gambar

3.6 Pembahasan

Hasil simulasi dari *push-pull ventilation* dengan rasio kecepatan 8 dan 10 dapat dilihat bahwa rasio 8

lah yang memiliki kekuatan hisap debit udara paling kuat sehingga dapat memungkinkan memiliki aliran yang *strong suction* untuk menghisap droplet batuk lebih banyak. Nilai hasil perbedaan *droplet* tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data hasil presentase droplet yang tembus

| Rasio (Vb/Vs) | Droplet yang tembus | Total droplet | Presentase droplet yang tembus |
|---------------|---------------------|---------------|--------------------------------|
| 8 | 21,54 | 3022 | 0,7% |
| 10 | 151,1 | 3022 | 5% |

Bedasarkan Tabel 2 berikut dapat diketahui bahwa nilai rasio 8 dapat menghisap droplet lebih banyak karena memiliki nilai presentase droplet yang sedikit. Sehingga rasio 8 merupakan rasio yang optimum / *strong suction*.

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa rasio 8 memiliki aliran *strong suction* yang mampu menghisap banyak droplet batuk secara menyeluruh dibandingkan rasio 10 yang menghasilkan aliran *Over Blow* dimana masih banyak droplet yang berhamburan keatas yang tidak terhisap suction Nozzle.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1.] Airtecnic. (2020). What is an air curtain?
- [2.] Cermak, R., & Melikov, A. K. (2007). Protection of occupants from exhaled infectious agents and floor material emissions in rooms with personalized and underfloor ventilation. HVAC and R Research, 13(1), 23–38. 42API 12J. (2008). *Spesification for Oil and Gas Separator*. Washington DC: American National Standards Institute.
- [3.] Chern, M. J., & Cheng, W. Y. (2007). Numerical investigation of turbulent diffusion in push-pull and exhaust fume cupboards. Annals of Occupational Hygiene, 51(6), 517–531.
- [4.] Gupta, J. K., Lin, C. H., & Chen, Q. (2009). Flow dynamics and characterization of a cough. Indoor Air, 19(6), 517–525.
- [5.] Huang, R. F., Lin, S. Y., Jan, S. Y., Hsieh, R. H., Chen, Y. K., Chen, C. W., Yeh, W. Y., Chang, C. P., Shih, T. S., & Chen, C. C. (2005). Aerodynamic characteristics and design guidelines of push-pull ventilation systems. Annals of Occupational Hygiene. Huang RF, Lin SY, Jan SY, et Al (2005) Aerodynamic Characteristics and Design Guidelines of Push-Pull Ventilation Systems. Ann Occup Hyg 49:1–15.
- [6.] Jasak, H. (2009). OpenFOAM: Open source CFD in research and industry. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 1(2), 89–94.
- [7.] Nielsen, P. V. (2009). Control of airborne

- infectious diseases in ventilated spaces. *Journal of the Royal Society Interface*, 6(SUPPL. 6).
- [8.] Ribés, A., & Bruneton, A. (2014). Visualizing results in the SALOME platform for large numerical simulations: An integration of ParaView. *IEEE Symposium on Large Data Analysis and Visualization 2014, LDAV 2014 - Proceedings*, November, 119–120.
- [9.] Wang, Y., Quan, M., & Zhou, Y. (2019). Effect of velocity non-uniformity of supply air on the mixing characteristics of push-pull ventilation systems. *Energy*, 187, 115962.