

Kajian Numerik Pengaruh *Push* dan *Pull Velocity* terhadap Pola Aliran Pada *Downward Push-Pull Air Curtain*

Piero Wahyu Iskandar^{1*}, Burniadi Moballa², Muh. Anis Mustaghfirin³

Program studi D4 Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*,2,3}

Email: pieroiska86@gmail.com^{1*}; bmmoballa@ppns.ac.id^{2*}; mustaghfirin@gmail.com^{3*}

Abstract - Transmission of COVID-19 is still increasing in the world, such as in China and Indonesia. One of the reasons for the increasing number of positive cases of COVID-19 is the occurrence of transmission from industrial clusters, the implementation of a minimum social distancing of 1 to 2 meters between workers is difficult to do. This is due to limitations in layout, area, and industrial work systems. Thus, a system is needed to protect industrial workers from potential exposure to COVID-19. One technology that has high potential to be applied is air curtain. From these problems, this research will carry out an analysis of the optimum push-pull discharge and air velocity, and the regime map for downward push-pull air curtain, the method used to carry out the analysis is Computational Fluid Dynamics (CFD) where the stages of the CFD process are preprocessing, processing, postprocessing. The software used to complete this final project is SALOME for the preprocessing, OpenFOAM for the processing, and for the postprocessing stage using ParaView. From the simulation results that have been carried out, the results show that at a nozzle blow speed of 6,24 m/s, with a suction nozzle speed of 37,44 m/s, these are the optimum blow speed and suction nozzle values and are able to withstand droplet dispersion.

Keyword: Computational Fluid Dynamics, COVID-19, Droplet, Push-Pull Ventilation

Nomenclature

V_s	Velocity pull/suction (m/s)
V_b	Velocity push/blow (m/s)
V_g	Velocity droplet (m/s)
V_s/V_g	Velocity ratio suction and droplet
V_b/V_s	Velocity ratio blow and suction
t	time (s)

1. PENDAHULUAN

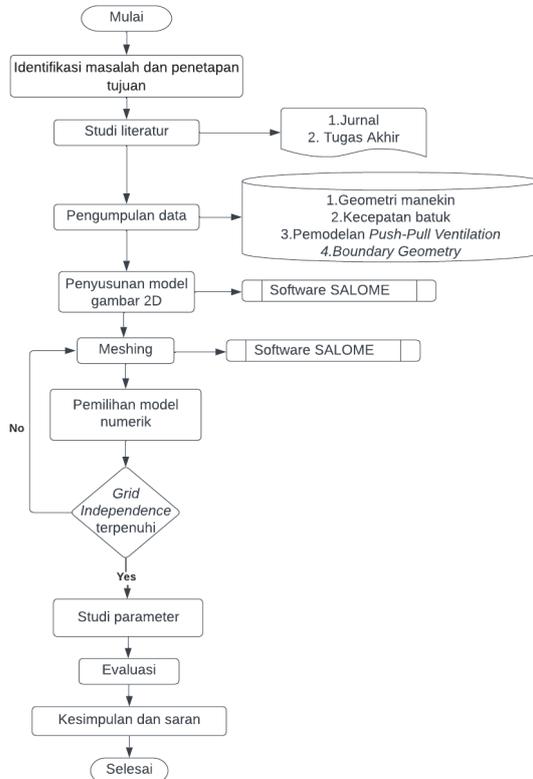
Penularan COVID-19 akhir ini masih mengalami peningkatan di dunia seperti di China dan Indonesia[1]. Salah satu penyebab meningkatnya jumlah kasus positif COVID-19 adalah terjadinya penularan dari kluster industri[2]. Pemberlakuan penerapan social distancing antar pekerja dengan jarak minimum 1 sampai 2 meter sulit untuk diterapkan, dikarenakan keterbatasan luas, layout, maupun sistem kerja industri[3]. Dalam studi yang pernah dilakukan[4], droplet yang tidak terhambat mampu menyebar hingga beberapa meter pada lingkungan yang tenang. Dengan demikian, suatu sistem diperlukan untuk melindungi para pekerja industri dari potensi paparan COVID-19. Air curtain/tirai udara merupakan salah satu teknologi yang dinilai memiliki potensi tinggi untuk diterapkan[5]. Dalam penerapannya tentu perlu dilakukan suatu pengkajian terkait efektivitas

penerapan push-pull ventilation pada tempat kerja[6], dan potensi penerapan push-pull ventilation untuk mengurangi risiko penyebaran COVID-19 antar pekerja yang berada dalam ruangan yang sama[7]. Dari permasalahan tersebut, pada penelitian ini akan dilakukan suatu analisis terhadap debit dan kecepatan udara push-pull, dan peta rejim aliran untuk push-pull ke bawah, metode yang digunakan untuk melakukan analisis tersebut adalah Computational Fluid Dynamics (CFD) dimana tahapan proses CFD adalah processing, solving, postprocessing. Software yang digunakan untuk menyelesaikan tugas akhir ini adalah SALOME untuk pengerjaan tahap processing, OpenFOAM untuk pengerjaan tahap solving, dan untuk tahap postprocessing menggunakan ParaView. Dari hasil analisis tersebut akan diperoleh rejim aliran untuk push-pull ke bawah tanpa manekin dan menggunakan manekin, pengaruh aliran batok terhadap pola aliran downward air curtain, nilai debit yang keluar atau masuk boundary dan kecepatan udara push-pull yang optimum dan mampu untuk menahan semburan droplet.

2. METODOLOGI .

2.1 Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini data penunjang untuk perhitungan didapatkan dari jurnal. Berikut merupakan diagram proses pengerjaan penelitian ini.



Gambar 1 Diagram proses.

2.2 Push-Pull Ventilation

Push-pull ventilation menjadi metode ventilasi yang efektif untuk menghilangkan zat berbahaya karena pengoperasinya yang stabil dan andal, hemat energi, dan ketahanan yang kuat terhadap aliran udara eksternal[8]. Metode di mana aliran udara dalam bentuk *planar jet* yang dihembuskan dan ditarik digunakan sebagai tirai untuk melindungi ruang kerja pribadi (*personal workspace*) pekerja. Metode seperti udara yang dihembus-tarik sudah banyak digunakan untuk melindungi pekerja dari inhalasi *mikrodroplet* atau uap berbahaya yang muncul dari benda kerja yang ditempatkan di bawah *fume hood* atau *protective cupboard* [9]. *Personalized ventilation* (PV) yang mengalirkan udara segar langsung ke area pernapasan pekerja dapat menjadi solusi yang memungkinkan untuk infeksi yang ditularkan melalui udara[10]. Sistem *push-pull ventilation* terdiri dari dua komponen yaitu *pull exhaust* dan *push jet*. Empat tipe aliran karakteristik yaitu transisi, enkapsulasi, dispersi, dan *strong suction*, ditentukan dalam kecepatan *pull-flow* dan *push-jet* pada berbagai lebar tangki permukaan yang terbuka dan meningkatnya

kecepatan gas. Hal ini menjadi perdebatan fenomenologi dari sudut pandang aerodinamis, bahwa sistem yang dioperasikan dalam bentuk *strong suction* akan menjadi strategi yang lebih baik dibandingkan mengoperasikannya dalam karakteristik lain[11].

2.3 Perhitungan Kecepatan Batuk

Droplet merupakan percikan air liur yang keluar dari hidung atau mulut ketika seseorang bersin atau batuk. *Droplet* sendiri memiliki flowrate dan kecepatan tergantung berat badan, tinggi badan, dan jenis kelamin dapat dikonfigurasi dengan cukup baik oleh persamaan berikut [12] :

$$\bar{M} = \frac{\text{Flowrate}}{CPFR}$$

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

$$\bar{M} = \frac{a_1 \tau^{b-1} \exp\left(\frac{-\tau}{c_1}\right)}{\Gamma(b_1) C_1^{b_1}} \text{ untuk } \tau < 1,2$$

$$\bar{M} = \frac{a_1 \tau^{b-1} \exp\left(\frac{-\tau}{c_1}\right)}{\Gamma(b_1) C_1^{b_1}} +$$

$$\frac{a_2 (\tau-1,2)^{b-1} \exp\left(\frac{-(\tau-1,2)}{c_2}\right)}{\Gamma(b_1) C_2^{b_2}} \text{ untuk } \tau > 1,2 \text{ Dimana :}$$

$$a_1 = 1,680$$

$$b_1 = 3,338$$

$$c_1 = 0,428$$

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

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

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

$$CPFR (l/s) = -8,8980 + 6,3925 h (m) + 0,0346w (kg)$$

$$PVT (ms) = 1,360CPFR + 65,860$$

$$CEV (l) = 0,138 CPFR (l/s) + 0,2983$$

Keterangan :

$$CPFR = \text{Cough Peak Flow Rate (l/s)}$$

$$PVT = \text{Peak Velocity Times (ms)}$$

$$CEV = \text{Cough Expiration Volume (l)}$$

2.4 Computational Fluid Dynamics

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan suatu simulasi komputer yang digunakan untuk mengetahui peta rejim aliran fluida. Persamaan Navier-Stokes untuk momentum, massa, dan perpindahan panas pada banyak titik dari bidang aliran tiga dimensi digunakan untuk melakukan perhitungan CFD[13]. Opsi untuk menetapkan kondisi batas, *meshing domain* aliran, dan pemilihan model

turbulensi, dilakukan dengan suatu kode tertentu. Jumlah *mesh* dalam model numerik dan ruang penyimpanan komputer, akan memengaruhi koputasi dan waktu *running*, kecepatan pemrosesan, dan efisiensi kode *CFD*. *Meshing* yang lebih kecil atau halus akan meningkatkan akurasi dari simulasi *CFD*, tetapi daya atau kecepatan komputasi dari *CFD* akan berkurang pada komputer tertentu. Oleh karena itu, ketrampilan pemodelan, kode *CFD*, dan komputer yang digunakan akan menentukan hasil simulasi. Pada dasarnya tahapan proses *CFD* adalah *preprocessing*, *processing*, *postprocessing*. Pada tahap *preprocessing* menggunakan *software* SALOME, pada tahap *processing* menggunakan *software* OpenFOAM, sedangkan untuk tahap *postprocessing* menggunakan *software* ParaView.

2.5 SALOME

SALOME merupakan *software* yang menyediakan program umum untuk *3D* dan *2D* modelling. SALOME dipilih dikarenakan bersifat gratis dan mudah diakses. Selain itu, simulasi numerik besar seperti dalam studi multi-fisika atau para metrik dapat ditangani dengan menggunakan SALOME[14].

2.6 OpenFOAM

OpenFOAM adalah *software* *CFD* gratis yang dikembangkan oleh OpenCFD Ltd sejak tahun 2004. Sebagian besar pengguna OpenFOAM berbasis pada bidang teknik dan sains, baik dari organisasi komersial maupun akademis. OpenFOAM dapat menyelesaikan berbagai permasalahan seperti turbulensi dan perpindahan panas, fluida kompleks yang melibatkan reaksi kimia, mekanika padat, dan elektromagnetik.

2.7 ParaView

ParaView digunakan pada tahap *postprocessing* dalam analisa *CFD*. ParaView adalah aplikasi visualisasi dan analisis data *multi-platform open-source*. Dengan menggunakan *software* ParaView *visualisadi* untuk keperluan analisis data dengan menggunakan teknik kuantitatif dan kualitatif dapat dilakukan. Pengkajian data dapat dilakukan secara *interaktif* dalam *3D* atau secara terprogram menggunakan kemampuan pemrosesan *batch* ParaView.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Perhitungan Kecepatan Batuk

Perhitungan kecepatan batuk didapatkan dari beberapa data berikut :

h (Tinggi Orang) = 1,68 m

w (Berat Orang) = 68 kg

A (Luas bukaan mulut) = 0,000336 m²

Menentukan Cough Peak Flow Rate (CPFR) :

CPFR = -8,8980+6,3925 h (m)+0,0346w (kg)

CPFR = -8,8980+6,3925 ×1,68+0,0346 ×1,68

CPFR = 4,1942 1/s

CPFR = 0,0041942 m³/s

Menentukan kecepatan batuk (V_g) sebagai berikut :

$$V_g = \frac{CPFR}{A}$$

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

$$V_g = 12,4827 \text{ m/s}$$

3.2 Hasil Perhitungan Kecepatan Push-Pull

Dari kecepatan batuk (V_g) dapat menentukan kecepatan blow nozzle (V_b) dan suction nozzle (V_s) yaitu sebagai berikut :

$$V_b = \frac{V_g}{2}$$

$$V_b = \frac{12,4827 \text{ m/s}}{2}$$

$$V_b = 6,2414 \text{ m/s}$$

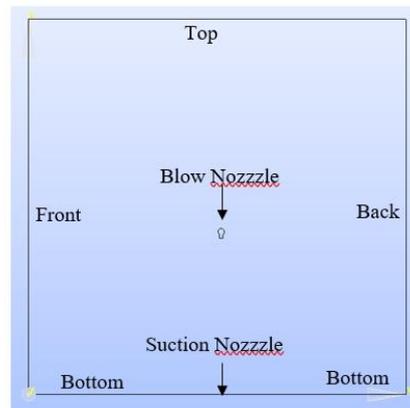
$$V_s = V_b \times 6$$

$$V_s = 6,2414 \text{ m/s} \times 6$$

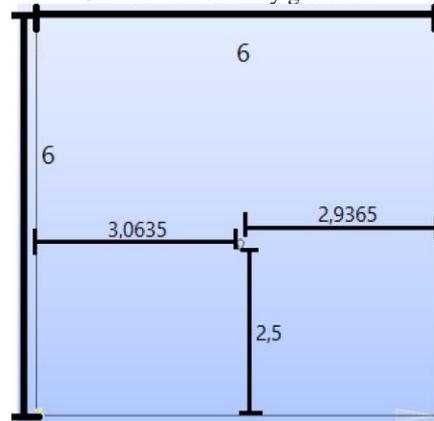
$$V_s = 37,44 \text{ m/s}$$

3.3 Pemodelan Geometri

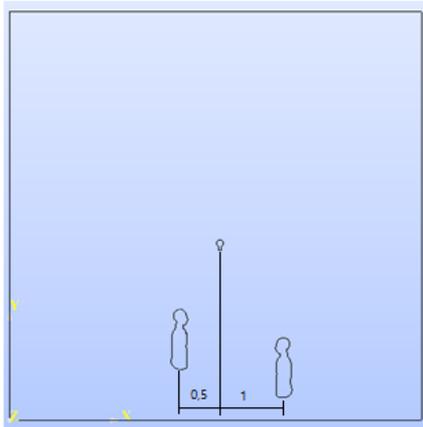
Pemodelan geometri dilakukan dengan menggunakan *software* SALOME. Dilakukan dua variasi pemodelan geomtri yaitu dengan menggunakan manekin dan tanpa mengugnakan manekin, pemodelan dilakukan dengan menggunakan diameter *suction* dan *blow nozzle* sebesar 2 inchi dan 5 inchi.



Gambar 2 Boundary geometri.



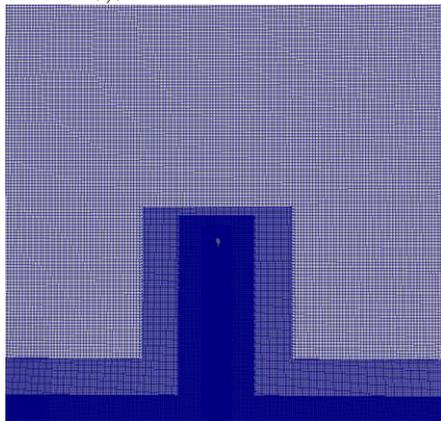
Gambar 3 Boundary geometry dimension.



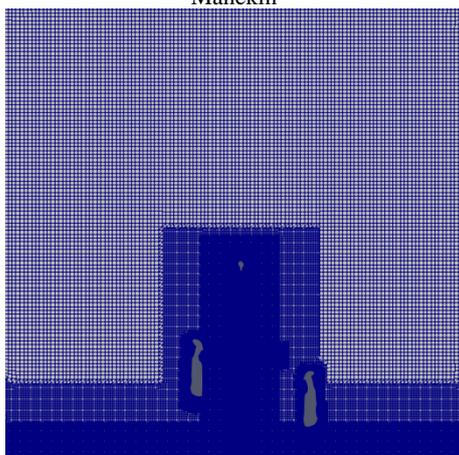
Gambar 4 Boundary geometry with manekin.

3.4 Meshing

Meshing dilakukan dengan menggunakan algoritma NETGEN 1D-2D dengan menggunakan software SALOME, meshing dilakukan dengan menggunakan ukuran maxcell size sebesar 0,04.



Gambar 5 Hasil Meshing Boundary Geometry Tanpa Manekin

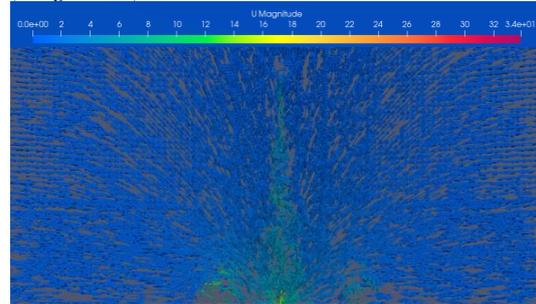


Gambar 6 Hasil meshing boundary geometry dengan menggunakan manekin.

Dapat diperhatikan pada Gambar 5 dan 6 hasil meshing dengan menggunakan maxcell size 0,04 didapatkan transisi yang cukup bagus dan menghasilkan hasil meshing yang cukup rapat.

3.5 Hasil Simulasi Tanpa Manekin

Simulasi dilakukan setelah meshing dan didapatkan hasil sebagai berikut untuk U (magnitude).

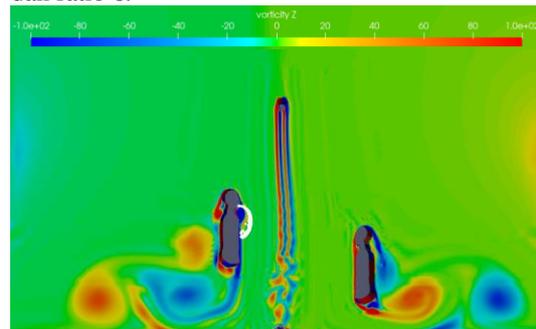


Gambar 7 Hasil simulasi tanpa manekin ratio 6.

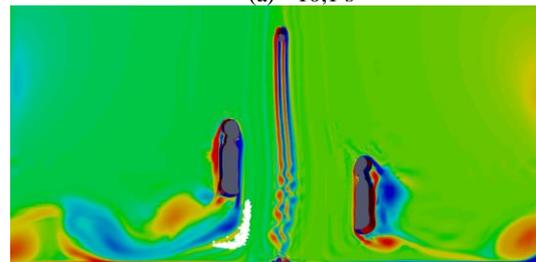
Hasil simulasi dengan kecepatan suction nozzle sebesar 37,44 m/s, bisa dilihat pada gambar tersebut masih terdapat sedikit fluida yang tidak terserap oleh suction nozzle, dan berdasarkan jurnal [15] aliran yang dihasilkan dari simulasi tersebut adalah overblow.

3.6 Hasil Simulasi Dengan Manekin

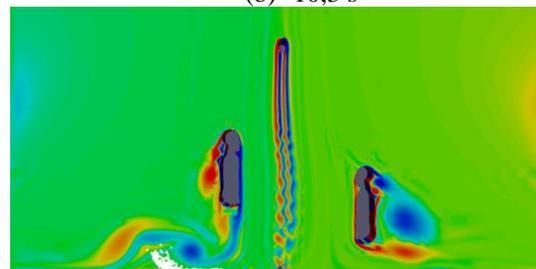
Berikut merupakan hasil simulasi dengan menggunakan manekin untuk (vorticity) dan ratio 6.



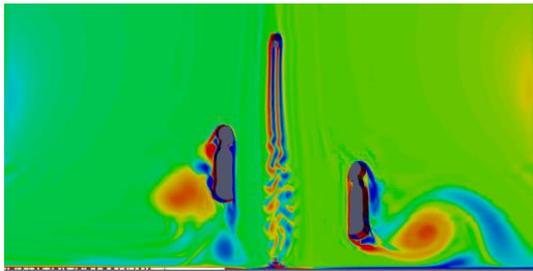
(a) 10,1 s



(b) 10,3 s



(c) 10,5 s



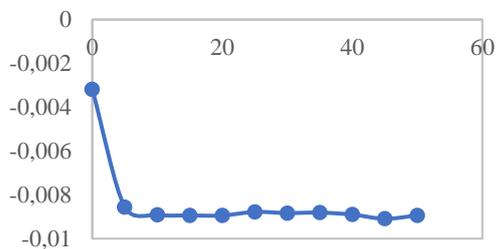
(d) 10,8 s

Gambar 8 Hasil *running* dengan menggunakan manekin rasio 6 (a) $t=10,1$ s (b) $t=10,3$ s (c) $t=10,5$ s (d) $t=10,8$ s.

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa droplet mampu dihadang sepenuhnya oleh *air curtain* dan pada detik ke 10,8s *droplet* sebagian telah hilang terbawa hembusan angin yang dihasilkan oleh *blow nozzle* menuju sisi belakang *chouger* atau keluar menuju bagian *right*, dan sebagian *droplet* menempel pada lantai dibagian bawah *chouger* berada.

3.7 Pembahasan Hasil Simulasi Tanpa Manekin

Hasil simulasi dari *push-pull ventilation* tanpa menggunakan manekin dengan menggunakan ratio kecepatan 6, dilakukan pengolahan data untuk mengetahui berapa banyak debit fluida yang keluar dari bagian *front*, *back*, dan *top*.



Gambar 9 Grafik debit yang keluar dan masuk *boundary* pada $V_s= 37,44$ m/s.

Gambar 9 menggambarkan grafik debit yang keluar atau masuk *boundary* pada $V_s= 37,44$ m/s, dengan sumbu x adalah waktu dan sumbu y adalah nilai debit yang keluar atau masuk pada *boundary*. Bisa dilihat pada gambar diatas bahwasannya nilai debit keseluruhan masuk pada *boundary* dikarenakan keseluruhan nilai debit terhadap waktu selalu bernilai negatif, dan debit memiliki nilai yang relatif konstan dikarenakan tidak memiliki perbedaan nilai debit yang signifikan pada beberapa waktu

3.8 Pembahasan Hasil Simulasi Dengan Menggunakan Manekin

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan droplet tidak mampu menembus *air curtain*, keseluruhan droplet jatuh di bawah *chouger* pada detik ke 10,8s, hal ini dikarenakan aliran yang dihasilkan dari simulasi mendapatkan aliran *overblow* dimana ketika *droplet*

dihembuskan, *droplet* langsung terbawa oleh hembusan aliran yang dihasilkan oleh *blow nozzle* dan langsung membentuk suatu cekungan ke arah *chouger* yang kemudian langsung turun ke bawah *chouger*.

4. Kesimpulan

Didapatkan peta rejim aliran *downward air curtain* untuk kecepatan *push-pull* tanpa manekin, dimana aliran *overblow* didapatkan pada variasi rasio kecepatan sebesar 6 dengan kecepatan *blow nozzle* sebesar 6,24 m/s dan kecepatan *suction nozzle* sebesar 37,44 m/s. Pada hasil simulasi tanpa manekin didapatkan hasil bahwasannya masih terdapat beberapa aliran fluida yang dihasilkan oleh *blow nozzle* tidak terserap sepenuhnya oleh *suction nozzle*.

Berdasarkan hasil simulasi *push-pull ventilation* dengan menggunakan manekin yang telah dilakukan aliran batuk memengaruhi pola aliran *downward air curtain*. Pada gambar hasil simulasi menunjukkan bahwasannya *droplet* sepenuhnya dapat dihadang oleh *blow nozzle* dan seketika *droplet* jatuh ke bagian bawah *chouger*.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis menyadari penyusunan jurnal ini tidak terlepas dari bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak, penulis menyampaikan terimakasih sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT atas berkat, rahmat, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan aman, selamat, lancar, dan barokah.
2. Bapak Burniadi Moballa, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberi bimbingan, dukungan, saran dan arahan yang berharga selama pengerjaan jurnal ini.
3. Bapak Dr. Eng. Muh. Anis Mustaghfirin, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan dukungan, bimbingan, saran dan masukkan selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Sri Wahyuni dan Alex Yan Iskandar selaku orang tua penulis yang telah membesarkan penulis, membiayai sekolah penulis, selalu memberikan banyak nasehat, semangat, doa, kasih sayang, dan meteri yang tidak dapat penulis ucapkan satu persatu.
5. Seluruh rekan Teknik Permesinan Kapal Angkatan 2019 yang selalu ada dan memberi dukungan, kritik, saran dan motivasi selama pengerjaan jurnal ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] WHO, "Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) External Situation Report #135," *World Health Organization*, Dec. 13, 2022. [Online]. Available:

- <https://www.who.int/westernpacific/emergencies/covid-19>
- [2] M. N. Saidan *et al.*, “Estimation of the probable outbreak size of novel coronavirus (COVID-19) in social gathering events and industrial activities,” *Int. J. Infect. Dis.*, vol. 98, pp. 321–327, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.ijid.2020.06.105.
- [3] L. Setti *et al.*, “Airborne Transmission Route of COVID-19: Why 2 Meters/6 Feet of Inter-Personal Distance Could Not Be Enough,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 17, no. 8, p. 2932, Apr. 2020, doi: 10.3390/ijerph17082932.
- [4] S. Zhu, S. Kato, and J.-H. Yang, “Study on transport characteristics of saliva droplets produced by coughing in a calm indoor environment,” *Build. Environ.*, vol. 41, no. 12, pp. 1691–1702, Dec. 2006, doi: 10.1016/j.buildenv.2005.06.024.
- [5] S. Liu, G. Cao, B. E. Boor, and A. Novoselac, “A Protected Occupied Zone Ventilation System to Prevent the Transmission of Coughed Particles”.
- [6] G. Cao *et al.*, “A review of the performance of different ventilation and airflow distribution systems in buildings,” *Build. Environ.*, vol. 73, pp. 171–186, Mar. 2014, doi: 10.1016/j.buildenv.2013.12.009.
- [7] C. C. Wang *et al.*, “Airborne transmission of respiratory viruses,” *Science*, vol. 373, no. 6558, p. eabd9149, Aug. 2021, doi: 10.1126/science.abd9149.
- [8] Y. Wang, M. Quan, and Y. Zhou, “Effect of velocity non-uniformity of supply air on the mixing characteristics of push-pull ventilation systems,” *Energy*, vol. 187, p. 115962, 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.115962.
- [9] R. T. Hughes, “An Overview of Push—Pull Ventilation Characteristics,” *Appl. Occup. Environ. Hyg.*, vol. 5, no. 3, pp. 156–161, Mar. 1990, doi: 10.1080/1047322X.1990.10389612.
- [10] C. Xu and L. Liu, “Personalized ventilation: One possible solution for airborne infection control in highly occupied space?,” *Indoor Built Environ.*, vol. 27, no. 7, pp. 873–876, Aug. 2018, doi: 10.1177/1420326X18777383.
- [11] B. Etkin and W. D. McKinney, “AN AIR-CURTAIN FUME CABINET,” *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, vol. 53, no. 10, pp. 625–631, Oct. 1992, doi: 10.1080/15298669291360265.
- [12] J. K. Gupta, C.-H. Lin, and Q. Chen, “Flow dynamics and characterization of a cough: Flow dynamics and characterization of a cough,” *Indoor Air*, vol. 19, no. 6, pp. 517–525, Dec. 2009, doi: 10.1111/j.1600-0668.2009.00619.x.
- [13] H. K. Versteeg and W. Malalasekera, *An introduction to computational fluid dynamics: the finite volume method*, 2nd ed. Harlow, England; New York: Pearson Education Ltd, 2007.
- [14] A. Ribes and A. Bruneton, “Visualizing results in the SALOME platform for large numerical simulations: An integration of ParaView,” in *2014 IEEE 4th Symposium on Large Data Analysis and Visualization (LDAV)*, France: IEEE, Nov. 2014, pp. 119–120. doi: 10.1109/LDAV.2014.7013218.
- [15] R. F. Huang, J. K. Chen, and K. C. Tang, “Development and characterization of an inclined air-curtain (IAC) fume hood,” *Ann. Occup. Hyg.*, vol. 59, no. 5, pp. 655–667, 2015, doi: 10.1093/annhyg/mev004.