

Kajian Numerik Penerapan *Push-Pull Ventilation* dengan Rasio Kecepatan 6 dan 8 untuk Melindungi Pekerja Pabrik dari Penularan Covid-19

Dimas Hafidz Bramansyah^{1*}, Burniadi Moballa², Ni'Matut Tamimah³

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

Email: dimashafidz@student.ppns.ac.id^{1*}; bmoballa@ppns.ac.id^{2*}; nimatuttamimah@ppns.ac.id^{3*}

Abstract - The transmission of COVID-19 is still spreading in the world, including in Indonesia. The increasing number of positive cases of COVID-19 in Indonesia, one of the causes is transmission from industrial clusters. Keeping a minimum distance of 1 to 2 meters between workers is difficult to implement. This is due to the limitations of layout, area, and work systems in the industry. Therefore, a system is needed to protect industrial workers from potential exposure to COVID-19. One of the technologies that has a high potential to be applied is the air-curtain. In this analyzes the push-pull air curtain where there is push-pull ventilation that is able to protect workers from microdroplet inhalation. The extent to which push-pull ventilation is able to withstand droplet bursts using push-pull ventilation velocity ratios of 8 and 6. To be able to find out this, a simulation was carried out with Salome s, OpenFOAM, ParaView software. The results of the simulation carried out that the velocity ratio of 8 can withstand droplet bursts, having a percentage of droplets that penetrate 22.7 percent. Meanwhile, the ratio of 6 has a percentage value of droplets that penetrates 6.38 percent.

Keywords: COVID-19, droplet, push-pull air-curtain, velocity ratio

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

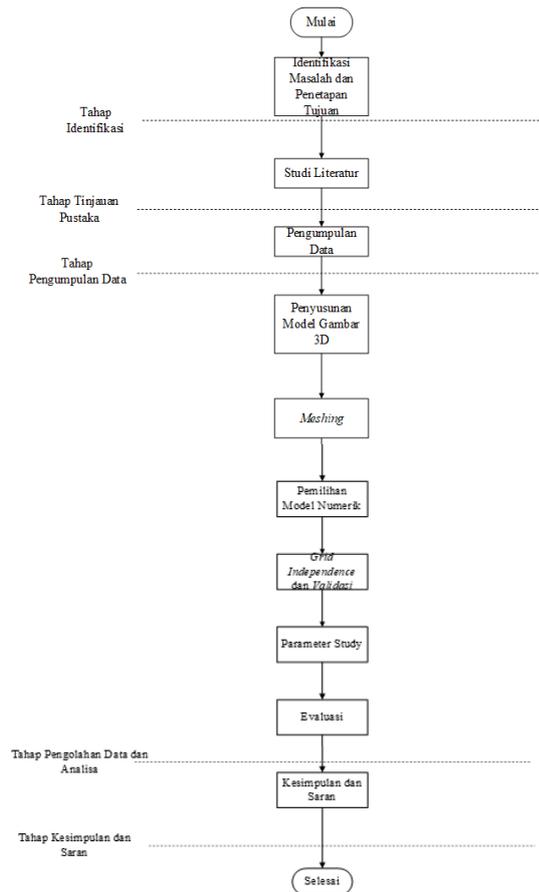
Penularan COVID-19 masih berjangkit di dunia termasuk di Indonesia. Meningkatnya jumlah kasus positif COVID-19 di Indonesia, salah satu penyebabnya adalah penularan dari klaster industri. Melakukan jaga jarak minimum 1 sampai 2 meter di antara pekerja sulit untuk diterapkan. Hal ini dikarenakan keterbatasan *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. 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 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* pada tempat kerja

untuk mengurangi risiko penyebaran COVID-19 di antara pekerja yang berada di ruangan yang sama. 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 memproteksi para pekerja dari risiko paparan COVID-19 tidak akan mengurangi produktivitas mereka dalam bekerja.

2. METODOLOGI

2.1 Metode Penelitian

Pada penelitian ini diperlukan data-data untuk perhitungan. Data tersebut didapat dari data teknis jurnal. Berikut ini diagram proses pengerjaan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar di bawah ini.



Gambar 1. Diagram Proses

2.2 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*. 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.

2.3 Perhitungan Kecepatan Batuk

Perhitungan kecepatan batuk sesuai dengan formula [4].

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

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

$$\bar{M} = \frac{a_1 \tau^{b_1-1} \exp\left(\frac{-\tau}{c_1}\right)}{\Gamma(b_1)c_1^{b_1}} \text{ for } \tau < 1.2 \tag{3}$$

$$\bar{M} = \frac{a_1 \tau^{b_1-1} \exp\left(\frac{-\tau}{c_1}\right)}{\Gamma(b_1)c_1^{b_1}} + \frac{a_2(\tau - 1.2)^{b_2-1} \exp\left(\frac{-(\tau-1.2)}{c_2}\right)}{\Gamma(b_2)c_2^{b_2}} \text{ for } \tau < 1.2 \tag{4}$$

where,

$$a_1 = 1.680$$

$$b_1 = 3.338$$

$$c_1 = 0.428$$

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

$$b_2 = \frac{-2.158 \times \text{CEV}}{\text{PVT} \times \text{CPFR}} + 10.457$$

$$c_2 = \frac{1.8}{b_2 - 1}$$

2.4 Perhitungan Rasio kecepatan Push-Pull

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

$$v_s/v_g = (-3362.3v_g^3 + 1893.9v_g^2 - 365.6v_g + 46.0) \times \exp[(-103.6v_g^2 - 4.3v_g + 1.1) \times H]$$

$$v_s/v_b = \exp[(-21.7v_g^2 + 6.7v_g + 1.1) \times H + (-53.4v_g^2 + 21.1v_g + 1.2)]$$

2.5 Computational Fluid Dynamics

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan simulasi computer untuk mengetahui aliran fluida. CFD mengacu pada kode komputer komersial dan eksklusif. Perhitungan CFD didasarkan pada persamaan yang disebut persamaan Navier-Stokes untuk massa, momentum, dan perpindahan panas pada banyak titik kisi dari bidang aliran tiga dimensi. Untuk kode tertentu, ada opsi untuk menetapkan kondisi batas, meshing domain aliran, dan pemilihan model turbulensi. Kecepatan komputasi dan waktu running diatur oleh jumlah node mesh dalam model numerik yang relatif terhadap memori dan ruang penyimpanan komputer, kecepatan pemrosesan, dan efisiensi kode CFD dalam menggunakan sumber daya komputer. Akurasi potensial dari simulasi CFD biasanya meningkat dengan meshing yang lebih halus, tetapi ini dibatasi oleh daya / kecepatan komputasi dari kode CFD yang berjalan pada komputer tertentu. Oleh karena itu, hasil simulasi bergantung pada pengalaman keterampilan pemodelan serta kode CFD dan

komputer yang digunakan. Pada dasarnya tahapan proses CFD adalah preprocessing, solving, postprocessing. Dalam preprocessing menggunakan program SALOME, untuk solving menggunakan program OpenFOAM, sedangkan untuk postprocessing menggunakan ParaView.

2.6 SALOME

SALOME adalah salah satu software yang menyediakan platform umum untuk 3D modelling dan preprocessing. Pemilihan penggunaan software SALOME dikarenakan bersifat 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 software CFD sumber terbuka gratis yang dikembangkan terutama oleh OpenCFD Ltd sejak tahun 2004. OpenFOAM memiliki basis pengguna yang besar di sebagian besar bidang teknik dan sains, baik dari organisasi komersial maupun akademis. OpenFOAM memiliki berbagai fitur untuk menyelesaikan apa pun mulai dari aliran fluida kompleks yang melibatkan reaksi kimia, turbulensi dan perpindahan panas, hingga akustik, mekanika padat, dan elektromagnetik. Pada dasarnya OpenFOAM digunakan sebagai media penyelesaian (solving) dalam CFD. Aplikasi terbagi dalam dua kategori: solvers, yang masing-masing dirancang untuk memecahkan masalah tertentu dalam mekanika kontinum dan utilities, yang dirancang untuk melakukan tugas yang melibatkan manipulasi data [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 2. Grafik Kecepatan Batuk

3.2 Hasil Perhitungan Rasio Kecepatan

$$v_s/v_g = (-3362.3v_g^3 + 1893.9v_g^2 - 365.6v_g + 46.0) \times \exp[(-103.6v_g^2 - 4.3v_g + 1.1) \times H]$$

$$v_s/v_g = (-3362.3(0.33^3) + 1893.9(0.33^2) - 365.6(0.33) + 46.0) \times \exp[(-103.6(0.33^2) - 4.3(0.33) + 1.1) \times 2.5]$$

$$v_s/v_g = 19.06$$

$$v_s/v_b = \exp[(-21.7v_g^2 + 6.7v_g + 1.1) \times H + (-53.4v_g^2 + 21.1v_g + 1.2)]$$

$$v_s/v_b = \exp[(-21.7(0.33^2) + 6.7(0.33) + 1.1) \times 0.25 + (-53.4(0.33^2) + 21.1(0.33) + 1.2)]$$

$$v_s/v_b = 7.98$$

$$v_s/v_b = 8$$

3.3 Hasil Perhitungan Kecepatan Push-Pull

Perhitungan kecepatan sebagai berikut:

$$v_g = 0.33 \text{ m/s}$$

$$v_s/v_g = 19.06$$

$$v_s = 19.06 \times v_g$$

$$v_s = 19.06 \times (0.33 \text{ m/s})$$

$$v_s = 6.3 \text{ m/s}$$

$$v_b/v_s = 0.125$$

$$v_b = v_s \times 0.125$$

$$v_b = (6.3 \text{ m/s}) \times 0.125$$

$$v_b = 0.79 \text{ m/s}$$

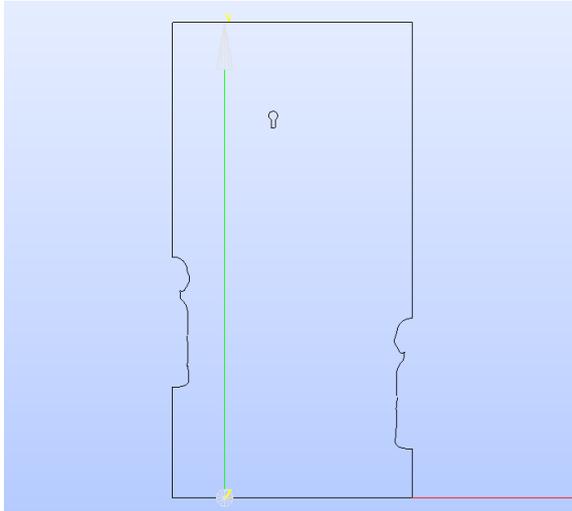
Setelah nilai rasio dan kecepatan nozzle didapatkan, rasio dan kecepatan tersebut divariasikan dengan beberapa rasio agar dapat mengetahui rasio yang paling optimum. Untuk tabel perhitungan variasi rasio dan kecepatan dapat dilihat pada Tabel berikut.

Table 1: Tabel perhitungan variasi rasio.

vs/vb	vs (m/s)	vb (m/s)
8	6.3	0.79
6.00	6.3	1.05

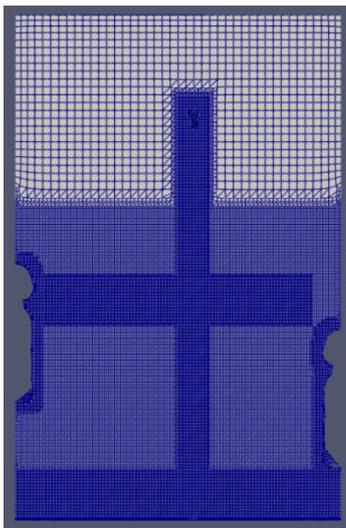
3.4 Pemodelan dan Meshing

Pemodelan pada studi parameter terdapat penambahan *push-pull nozzle* (*blow nozzle* dan *suction nozzle*) dan terdapat pekerja posisi duduk. Skema model untuk studi parameter dapat dilihat pada Gambar 3, dengan jarak orang batuk ke *nozzle* 1 m. Untuk *blow nozzle* dan *suction nozzle* menggunakan diameter 1 inch dan 2 inch.



Gambar 3. Pemodelan 2D Domain Push-Pull Ventilation

Meshing pada *geometry* 2D menggunakan *algorithm* NETGEN 1D-2D dengan *software* Salome dan dilanjutkan *cartesian2DMesh* 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 4.



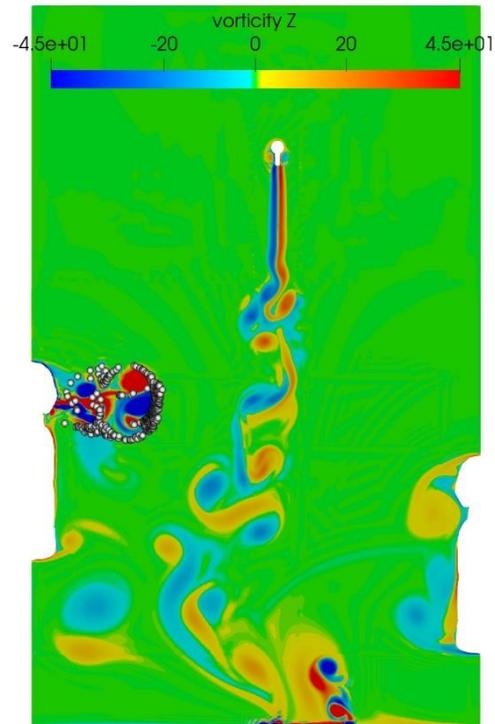
Gambar 4. Meshing Pemodelan 2D Domain Push-Pull Ventilation

3.5 Hasil Simulasi

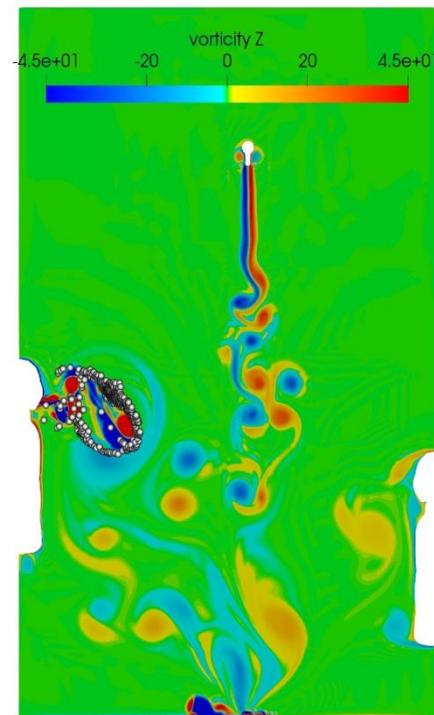
Hasil *mesh* yang telah dimasukkan ke dalam *software* komputasi lalu disimulasikan berdasarkan *setup* yang telah dijelaskan sebelumnya. Berikut merupakan hasil simulasi yang telah peneliti lakukan.

1. Vorticity

Hasil *velocity* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 5. Hasil Simulasi Vorticity Rasio 8 pada $t = 0.25$ s



Gambar 6. Hasil Simulasi Vorticity Rasio 6 pada $t = 0.25$ s

3.6 Pembahasan

Hasil simulasi dari *push-pull ventilation* pada jarak 1 m dengan beberapa variasi rasio kecepatan, dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan *droplet* yang dapat ditahan oleh aliran *push-pull* (*blow nozzle* dan *suction nozzle*). Nilai hasil perbedaan *droplet* tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2: Data hasil *droplet* yang tidak dapat ditahan oleh aliran

no	rasio (vs/vb)	droplet yang tembus	total droplet	persentase droplet yang tembus
1	8	96	423	22.70%
2	6	27	423	6.38%

Berdasarkan Tabel berikut dapat diketahui bahwa rasio 8 tidak dapat menahan semburan *droplet* dengan nilai 22.7%. Jumlah *droplet* yang tembus pada rasio 8 adalah 96 *droplet*. Sedangkan pada rasio 6 memiliki persentase *droplet* tembus sekitar 6.38%. Jumlah *droplet* yang tembus pada rasio 6 adalah 27 *droplet*. Sehingga rasio 6 merupakan rasio yang optimum untuk menahan semburan *droplet* karena memiliki persentase *droplet* yang tembus lebih kecil dari pada rasio 8.

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa rasio 6 memiliki kecepatan *blow* yang lebih besar dari pada rasio 8, sedangkan kecepatan *suction* keduanya sama. Rasio yang mampu menahan semburan batuk paling optimum adalah rasio 6 karena persentase *droplet* yang tembus lebih kecil dibandingkan persentase rasio 8.

5. SARAN

Saran yang diberikan penulis kepada peneliti yang akan melakukan penelitian selanjutnya antara lain:

1. Perlunya penelitian lebih lanjut untuk variasi rasio kecepatan untuk menemukan rasio yang lebih optimum sehingga tidak terdapat *droplet* yang tembus.
2. Kualitas domain dan *meshing* perlu dimaksimalkan kembali untuk memperoleh nilai *error* yang lebih kecil.
3. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan dilanjutkan dengan menggunakan *turbulence model* yang berbeda untuk mendapatkan simulasi yang lebih baik.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

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

1. Bapak Ir. Eko Julianto, M.Sc., FRINA., selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
2. Bapak George Endri Kusuma, S.T., M.Sc.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
3. Bapak Raden Dimas Endro W., S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Perpipaan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
4. Ibu Ika Erawati, S.S, M.Pd selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Perpipaan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

5. Bapak Burniadi Moballa, S.T., M.Sc., Ph.D., sebagai dosen pembimbing I yang telah memberikan banyak bimbingan dan pengarahan selama pengerjaan Tugas Akhir.
6. Ibu Ni'matut Tamimah, S.Si., M.Sc., sebagai dosen pembimbing II yang telah memberikan banyak bimbingan dan pengarahan selama pengerjaan Tugas Akhir.
7. Kedua orang tua yang telah memberi banyak motivasi dan juga nasehat selama menempuh perkuliahan ini.
8. Teman - teman seperjuangan Teknik Perpipaan angkatan 2018 yang telah memberikan banyak warna kehidupan, kebersamaan, dan canda tawa kepada penulis selama kuliah di PPNS.

7. 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. <https://doi.org/10.1080/10789669.2007.1039094>
- [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. <https://doi.org/10.1093/annhyg/mem031>.
- [4] Gupta, J. K., Lin, C. H., & Chen, Q. (2009). Flow dynamics and characterization of a cough. *Indoor Air*, 19(6), 517–525. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2009.00619.x>
- [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. <https://doi.org/10.1093/Annhyg/Meh065>, 49(1), 1–15. <https://doi.org/10.1093/annhyg/meh065>.
- [6] Lu, J., Gu, J., Gu, J., Li, K., Xu, C., Su, W., Lai, Z., Zhou, D., Yu, C., Xu, B., & Yang, Z. (2020). COVID-19 Outbreak Associated with Air Conditioning in Restaurant, Guangzhou, China, 2020. *Emerging Infectious Diseases*, 26(7), 1628–1631. <https://doi.org/10.3201/eid2607..>
- [7] Nielsen, P. V. (2009). Control of airborne infectious diseases in ventilated spaces. *Journal of the Royal Society Interface*, 6(SUPPL. 6). <https://doi.org/10.1098/rsif.2009.0228.focus>
- Barkanov, E. (2001). *Introduction to the Finite*

Element Method. Riga: Riga Technical University.

- [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. <https://doi.org/10.1109/LDAV.2014.7013218>
- iz, A., Hamid, A., & Hidayat, I. (2014). Perancangan Bejana Tekan (Pressure Vessel) untuk Separasi 3 Fasa. 31
- [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. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.115962>.