

ANALISIS ALIRAN UDARA PADA RUANG TOILET DENGAN MENGGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* (CFD)

Robin Tan¹, Glorianus Jonathan Hie², Vito Cristianto Niti Sumita³,
Ricco Marcellio⁴, Crispin Verdianza⁵, Michael Lorenzo⁶, Steven Darmawan⁷

¹Program Studi Teknik Mesin, Universitas Tarumanagara

Email: robin.515190016@stu.untar.ac.id

²Program Studi Teknik Mesin, Universitas Tarumanagara

Email: glorianus.515190024@stu.untar.ac.id

³Program Studi Teknik Mesin, Universitas Tarumanagara

Email: vito.515190028@stu.untar.ac.id

⁴Program Studi Teknik Mesin, Universitas Tarumanagara

Email: ricco.515190034@stu.untar.ac.id

⁵Program Studi Teknik Mesin, Universitas Tarumanagara

Email: crispin.515190031@stu.untar.ac.id

⁶Program Studi Teknik Mesin, Universitas Tarumanagara

Email: michael.515190039@stu.untar.ac.id

⁷Program Studi Teknik Mesin, Universitas Tarumanagara

Email: stevend@ft.untar.ac.id

Masuk : 14-12-2022, revisi: 10-02-2023, diterima untuk diterbitkan : 20-02-2023

ABSTRAK

Ruang-ruang pada suatu bangunan yang mencapai kenyamanan termal dapat meningkatkan produktivitas dari kinerja pengguna itu sendiri. Bangunan yang mencapai kenyamanan termal itu dapat membuat ruang aktivitas yang baik kepada orang-orang yang menggunakannya agar terhindar dari efek iklim luar yang tidak baik, sehingga kegiatan yang dilakukan dalam bangunan dapat dilakukan dengan maksimal. Infiltrasi udara dengan sistem ventilasi alami digunakan agar ruangan dalam bangunan dapat mencapai kenyamanan termal yang baik (Hamzah, 2014). Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan model 3 dimensi dari ruang toilet di Universitas Tarumanagara dan melakukan analisis CFD terhadap sirkulasi udara dalam ruang toilet untuk dapat mengetahui kondisi aliran udara yang lebih baik. Konfigurasi yang digunakan berupa 1 buah *inlet fan* dan 2 buah jendela sebagai *inlet* yang memiliki variasi kecepatan udara sebesar 3,03975 m/s dan 0,84125 m/s serta temperatur sebesar 29,875°C dan 29,95°C. Selain itu terdapat 1 buah *outlet fan* sebagai *outlet* dengan kecepatan 0,0856 m/s dan temperatur sebesar 29,75°C. Pada hasil simulasi ini didapatkan hasil profil distribusi, maka dapat disimpulkan bahwa konfigurasi dengan inlet dan outlet pada ruangan toilet sudah sesuai dengan standar ASHRAE 62.1 tahun 2019. Hal ini bisa dilihat pada hasil simulasi dalam ruangan toilet yang berkisar antara 0 m/s sampai 1,28 m/s. Berdasarkan hasil simulasi didapatkan hasil konfigurasi yang paling baik sesuai dengan standar ASHRAE tahun 2019 adalah konfigurasi pada plane 2 dan 3, berupa kecepatan udara pada ruangan toilet yang sebesar 0 m/s sampai 1,28 m/s. Pada konfigurasi ini dapat diketahui temperatur ruangan antara 29°C sampai 30°C dan tekanan yang dihasilkan sebesar 99,9 Pa.

Kata Kunci: Ruang Toilet; CFD; Sirkulasi Udara.

ABSTRACT

Spaces in a building that achieve thermal comfort can increase the productivity of the user's own performance. Buildings that achieve thermal comfort can create good activity space for the people who use them to avoid the effects of a bad outside climate, so that the activities carried out in the building can be carried out to the fullest. Air infiltration with natural ventilation systems is used so that rooms in buildings can achieve good thermal comfort (Hamzah, 2014). The purpose of this research is to produce a 3-dimensional model of the toilet room at Tarumanagara University and to carry out a CFD analysis of air circulation in the toilet room to be able to determine better airflow conditions. The

configuration used is 1 inlet fan and 2 windows as inlets which have variations in air velocity of 3.03975 m/s and 0.84125 m/s and temperatures of 29.875°C and 29.95°C. In addition, there is 1 outlet fan as an outlet with a speed of 0.0856 m/s and a temperature of 29.75°C. The results of this simulation show the results of the distribution profile, so it can be concluded that the configuration with inlet and outlet in the toilet room is in accordance with the 2019 ASHRAE 62.1 standard. This can be seen in the simulation results in the toilet room which range from 0 m/s to 1.28m/s. Based on the simulation results, the best configuration results in accordance with the 2019 ASHRAE standard are configurations on planes 2 and 3, in the form of an airspeed in the toilet room of 0 m/s to 1.28 m/s. In this configuration, it can be seen that the room temperature is between 29°C and 30°C and the resulting pressure is 99.9 Pa.

Keywords: Toilet Room; CFD; Air Circulation.

1. PENDAHULUAN

Ruang-ruang pada suatu bangunan yang mencapai kenyamanan termal dapat meningkatkan produktivitas dari kinerja pengguna itu sendiri. Bangunan yang mencapai kenyamanan termal itu dapat membuat ruang aktivitas yang baik kepada orang-orang yang menggunakannya agar terhindar dari efek iklim luar yang tidak baik, sehingga kegiatan yang dilakukan dalam bangunan dapat dilakukan dengan maksimal. infiltrasi udara dengan sistem ventilasi alami digunakan agar ruangan dalam bangunan dapat mencapai kenyamanan termal yang baik (Hamzah, 2014). Hal ini juga berlaku untuk ruangan toilet yang juga membutuhkan kenyamanan termal yang baik. Selain berpengaruh terhadap kenyamanan termal, sirkulasi udara juga dapat mempengaruhi cepat lambatnya penyebaran kuman yang dapat membahayakan kesehatan pengguna ruangan. Hal ini didasarkan pada kondisi ruangan toilet yang merupakan salah satu ruangan yang rentan akan penyebaran kuman jika sirkulasi udara pada toilet yang tidak teratur.

Permasalahan yang dihadapi adalah melakukan analisis rekayasa pengaliran udara pada ruang toilet Gedung L Kampus Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara. Namun eksperimen yang dilakukan cukup sulit, maka dari itu digunakan metode *Computational Fluid Dynamics (CFD)* dengan model turbulen SST k-omega. Standar kenyamanan termal yang digunakan adalah standar ASHRAE 62.1 menentukan tingkat ventilasi minimum dan tindakan lain yang dimaksudkan untuk memberikan kualitas udara dalam ruangan (IAQ) yang dapat diterima oleh penghuni manusia dan yang meminimalkan efek kesehatan yang merugikan. Standar ini menyediakan prosedur dan metode untuk memenuhi ventilasi minimum dan persyaratan IAQ bagi para insinyur, profesional desain, pemilik, dan otoritas yurisdiksi di mana kode model telah diadopsi. Menetapkan kondisi untuk lingkungan termal yang dapat diterima dan dimaksudkan untuk digunakan dalam desain, operasi, dan *commissioning* bangunan dan ruang yang ditempati lainnya. Parameter dari standar ASHRAE 62.1 mengacu kepada temperatur udara dan laju aliran udara dari sistem sirkulasi udara yang ada (ASHRAE 62.1, 2019).

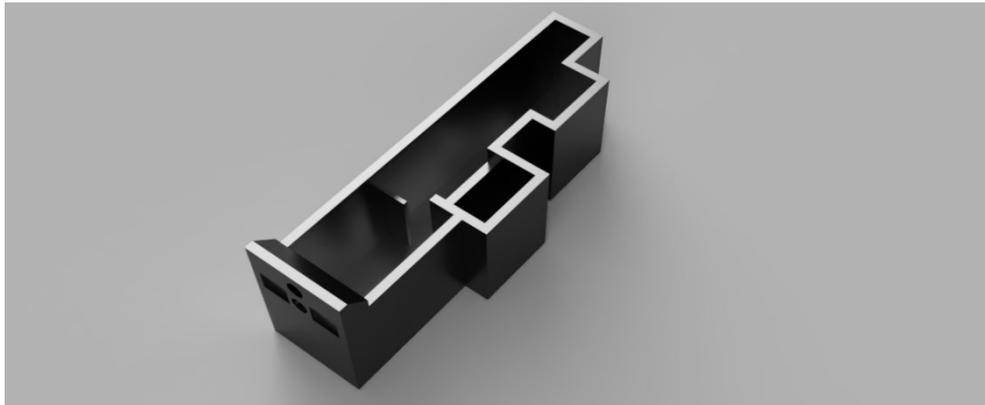
Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan analisa karakteristik aliran fluida dari sistem sirkulasi dan ventilasi udara pada ruang toilet Gedung L di Universitas Tarumanagara dan melakukan analisis CFD terhadap sirkulasi udara dalam ruang toilet untuk mengetahui kondisi aliran udara pada ruang sehingga dapat memberikan rekomendasi bagaimana konfigurasi aliran udara yang membuat sirkulasi menjadi lebih baik.

Rumusan Masalah

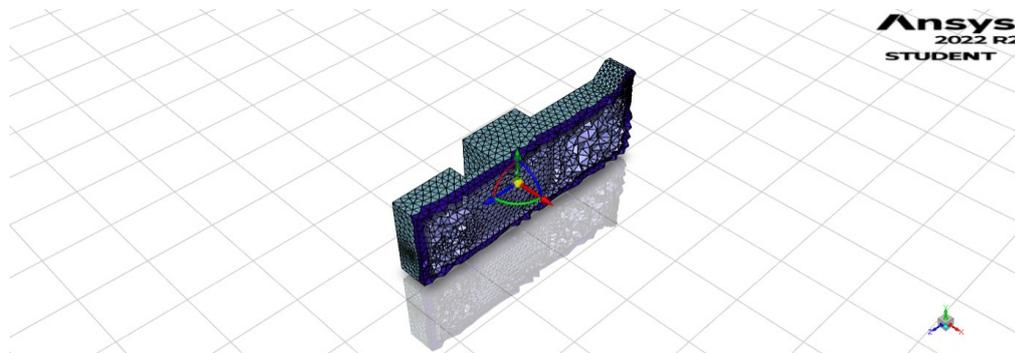
Aliran udara yang mengalir pada ruangan toilet harus dianalisa. Eksperimen yang dilakukan sangat rumit karena masih menggunakan metode analitis. Oleh karena itu, untuk mempermudah analisa karakteristik aliran udara, laju, temperatur, dan tekanan aliran udara pada ruang toilet akan dilakukan dengan menggunakan metode CFD (*Computational Fluid Dynamics*).

2. METODE PENELITIAN

Analisis sistem aliran udara pada ruang toilet ini dilakukan dengan metode eksperimen dan numerik. Ekperimen dilakukan untuk mengetahui geometri ruang dan kecepatan serta temperatur udara dari *inlet*, *exhaust*, dan jendela. Penelitian ini menggunakan simulasi *computational fluid dynamics* (CFD). Investigasi dengan metode CFD memiliki opsi untuk memvariasikan aspek geometris. Simulasi ini menggunakan *software* Ansys Student 2022 R2 yang dilakukan pada laptop *Lenovo Ideapad Slim 3*. Simulasi dibagi menjadi 3 tahap yaitu dimulai dengan proses model geometri, lalu model CFD, dan yang terakhir merupakan *post-processing*.



Gambar 1. Render 3 Dimensi Ruang Toilet



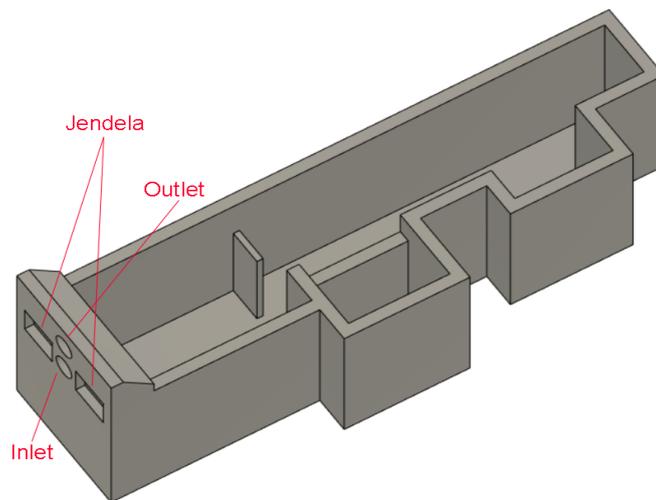
Gambar 2. Mesh Ruang Toilet (Tetrahedral)

Selain itu, *viscous* yang digunakan adalah model turbulen SST k-omega. Dalam model turbulen SST k-omega menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \cdot \kappa) + \vec{\nabla} \cdot (\rho \cdot \vec{u} \cdot \kappa) = \vec{\nabla} \cdot \left(\rho \cdot \left\{ v_l + \frac{v_t}{\sigma_{t,\kappa}} \right\} \cdot \vec{\nabla} \kappa \right) + \rho \cdot (P_k - f_2 \cdot \varepsilon)$$
$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \cdot \omega) + \vec{\nabla} \cdot (\rho \cdot \vec{u} \cdot \omega) = \vec{\nabla} \cdot \left(\rho \cdot \left\{ v_l + \frac{v_t}{\sigma_\omega} \right\} \cdot \vec{\nabla} \omega \right) + \rho \cdot \omega \cdot \left(f_1 \cdot C_{1\omega} \cdot \frac{P_k}{k} - C_{2\omega} \cdot \omega \right)$$

Model Geometri

Model geometri berupa pembuatan model geometri dari ruang toilet tersebut. Pembuatan model geometri ruang toilet ini dilakukan pada *software* Autodesk Fusion 360.



Gambar 3. Model 3 Dimensi Ruang Toilet

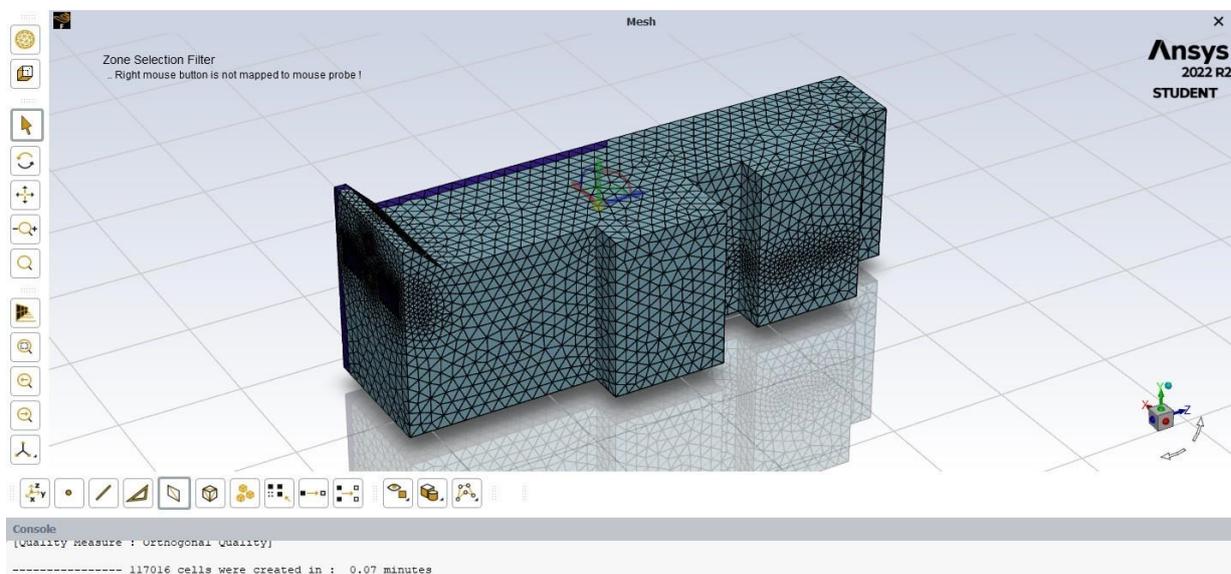
Selanjutnya adalah menentukan posisi dari *inlet*, *outlet* dan jendela yang ada dalam ruang toilet tersebut. Keterangan konfigurasi simulasi dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Keterangan Konfigurasi Simulasi CFD

Jenis	Bentuk	Ukuran	Kecepatan (m/s)	Temperatur (°C)
Inlet	Inlet Fan	Diameter 400 mm	3,03975	29,875
Outlet	Exhaust Fan	Diameter 400 mm	0,0856	29,75
Jendela	Jendela	2 Unit 700 mm x 100 mm	0,84125	29,95

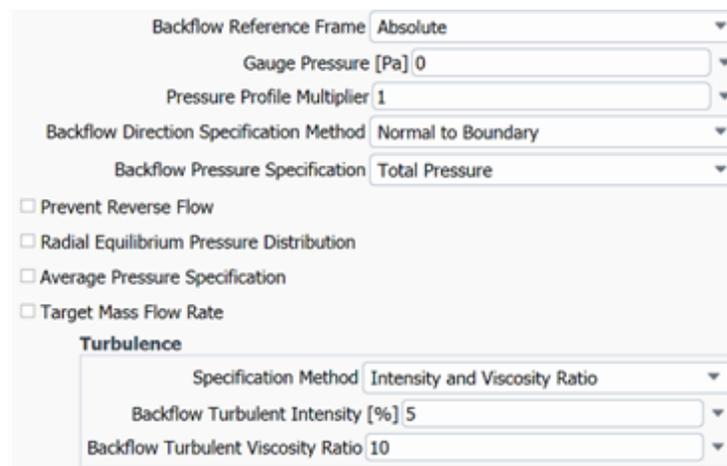
Model CFD

Pada proses model CFD berupa pembentukan *mesh* dan juga *boundary condition*. Pada proses pembuatan *mesh* ruang toilet *surface mesh* diatur *minimum size* sebesar 0,00942382 m dan maksimum size sebesar 0,24125 m dengan bentuk *mesh* tetrahedral. Setelah proses *generate*, *statistic mesh* menunjukkan jumlah *cells* sebanyak 117016 *cells*.



Gambar 4. Mesh Ruang Toilet

Pada *boundary condition*, digunakan model k- ω SST yang merupakan model berdasarkan persamaan transportasi model untuk energi kinetik turbulensi (k) dan laju disipasinya (ϵ) (Darmawan & Tanujaya, 2019). Lalu untuk simulasi yang dilakukan, data *boundary condition inlet* diatur sebagai *velocity inlet*. Kecepatan *inlet* yang digunakan sesuai dengan data yang diambil dari *flowmeter* yang sudah diukur pada kisi *inlet* & jendela. *Velocity* pada *inlet fan* adalah 3,03975 m/s dan 0,84125 m/s untuk jendela. Lalu untuk data *boundary condition* berupa *outlet* yang digunakan pada simulasi berupa *pressure outlet*.

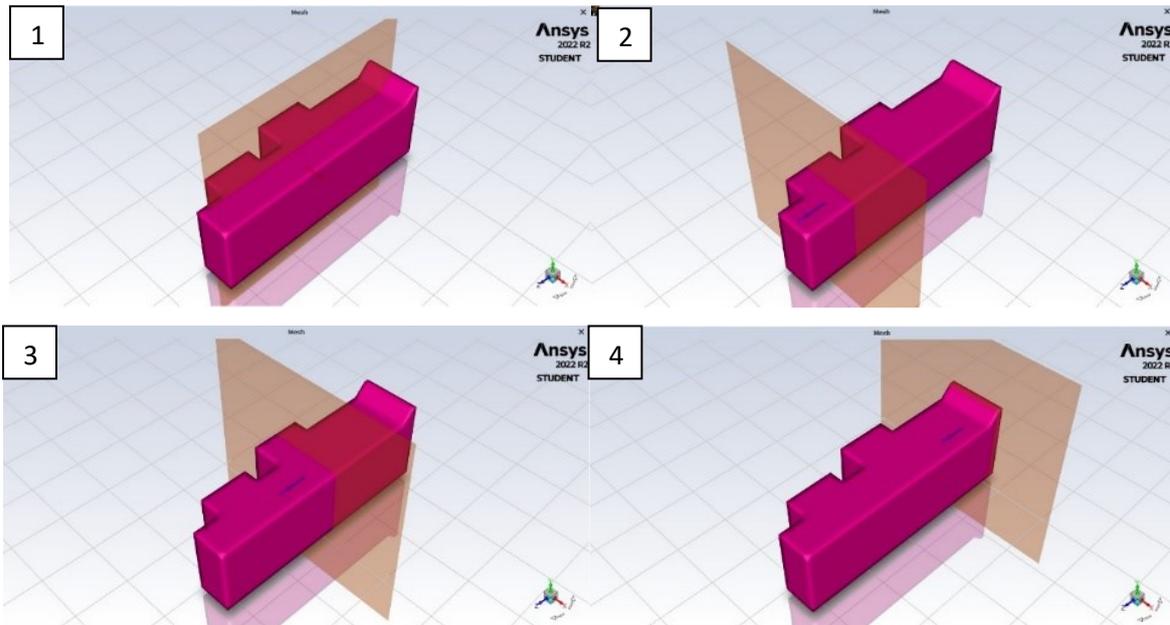


Gambar 5. Boundary Condition Outlet (Exhaust Fan)

Pada bagian *setup* material, material yang digunakan pada simulasi ini ada 2 yang terdiri atas 1 material *fluid* dan 1 material *solid*. Material *fluid* yang digunakan berupa *air* (udara) dan material *solid* yang digunakan berupa *gypsum*.

Post-Processing

Post-processing dalam bentuk hasil simulasi CFD berupa profil temperatur, profil tekanan, profil kecepatan udara beserta *streamline* yang menunjukkan pergerakan udara. Agar profil yang ditampilkan dapat lebih jelas, digunakan fitur *plane* untuk mewakili beberapa titik kecepatan temperatur serta tekanan pada ruang toilet. *Plane* pertama terletak pada sumbu YZ dengan posisi 1 meter pada sumbu X negatif. *Plane* kedua terletak pada sumbu XY dengan posisi 2,8 meter pada sumbu Z positif. *Plane* ketiga terletak pada sumbu XY dengan posisi 0,4 meter pada sumbu Z negatif. *Plane* keempat yang digunakan berada pada sumbu XY dengan posisi 4,5 meter pada sumbu Z negatif.



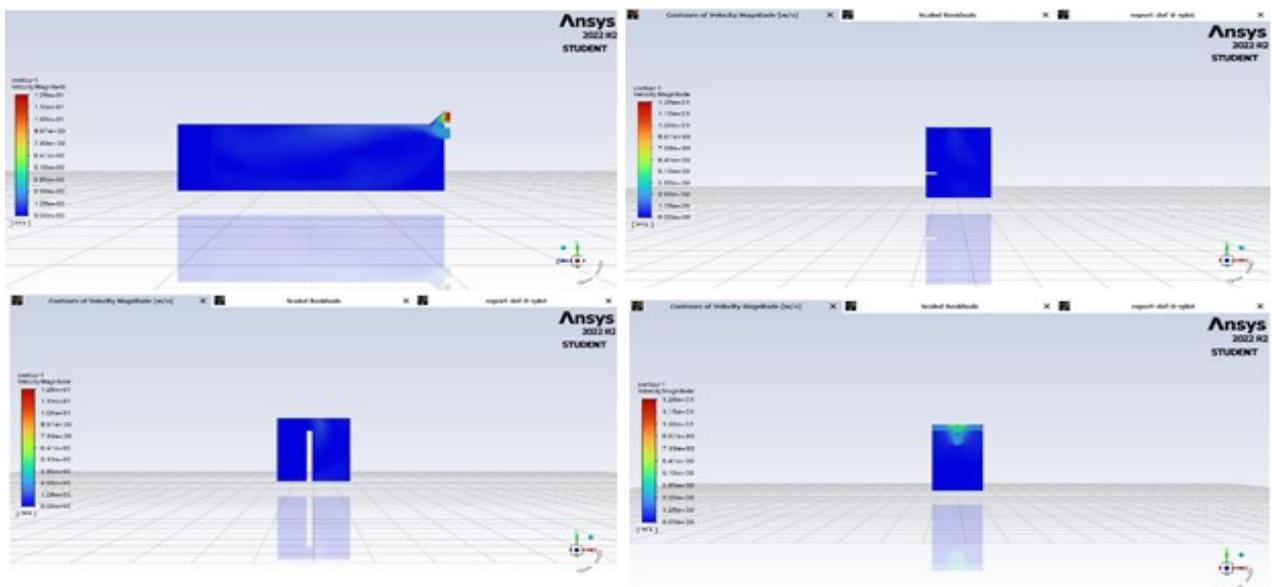
Gambar 6. Lokasi Plane Pada Simulasi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi CFD dibagi menjadi 3 bagian berupa profil temperatur, profil tekanan, profil kecepatan udara dengan menggunakan 4 buah lokasi *plane* yang berbeda-beda.

Distribusi Kecepatan

Hasil simulasi distribusi kecepatan berupa *streamline* yang menggambarkan kecepatan aliran udara yang terjadi di seluruh sisi ruangan dan juga berupa *plane* yang menggambarkan distribusi kecepatan yang terjadi. Distribusi kecepatan yang dianalisis menggunakan *plane* 1 sampai 4.



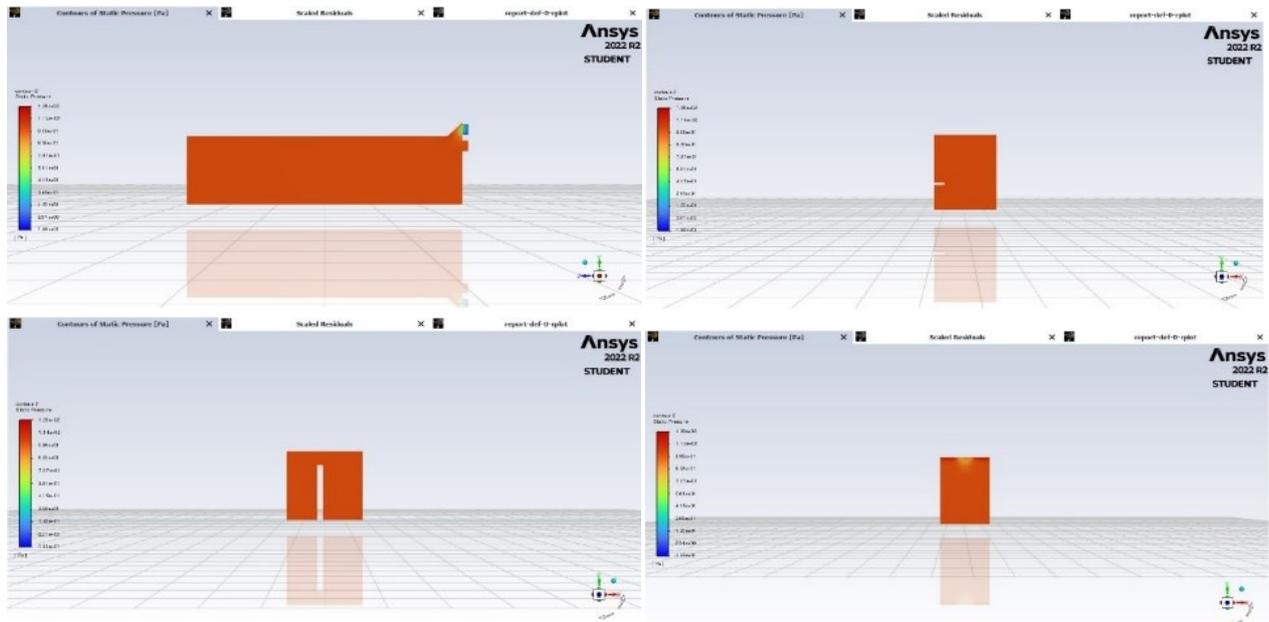
Gambar 7. Profil Distribusi Kecepatan Udara Pada Plane 1 hingga Plane 4

Dapat dilihat pada gambar di atas, aliran udara yang terjadi pada sisi *inlet* dan *outlet fan* cenderung turbulen (*turbulent flow*), sedangkan aliran udara pada sisi ruangan lainnya lebih tenang (*laminar*

flow). Aliran udara paling besar terdapat pada sisi *outlet fan* dengan kecepatan 12,8 m/s. Semakin besar kecepatan udara yang terjadi, maka distribusi aliran udara ke seluruh ruangan akan semakin baik, dan hal ini dapat menyebabkan tekanan dalam ruangan juga semakin kecil. (Ghurri, 2014).

Distribusi Tekanan

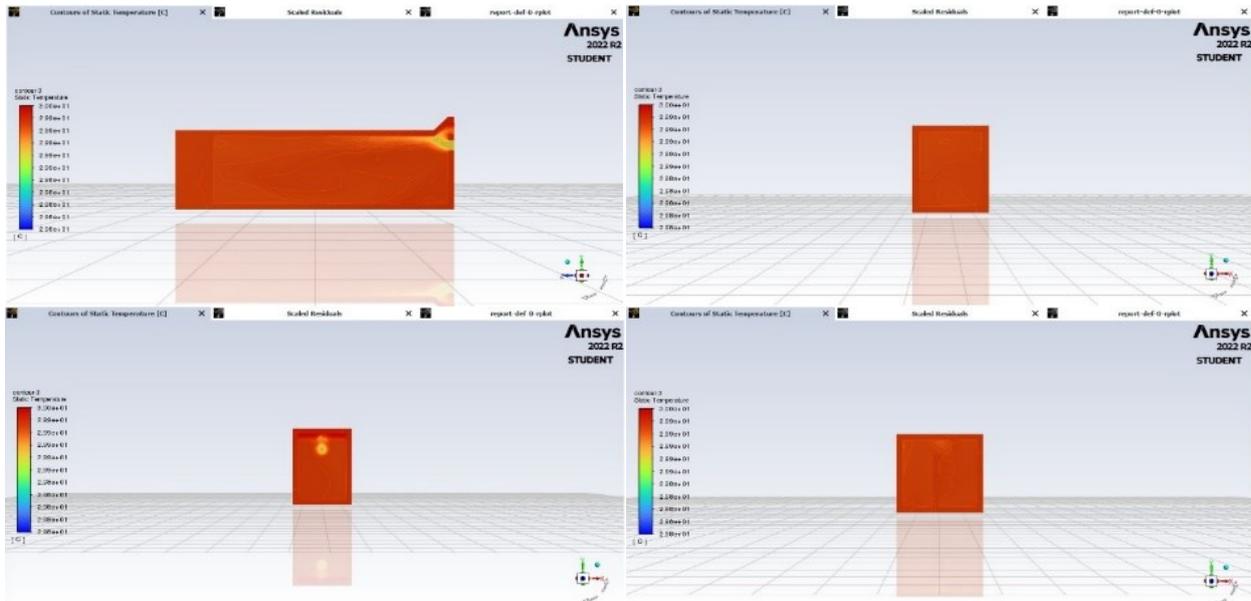
Distribusi Tekanan dianalisis menggunakan 4 *plane* yaitu *plane* 1 hingga *plane* 4.



Gambar 8. Profil Distribusi Tekanan Pada Plane 1 hingga Plane 4

Hasil simulasi ini sesuai dengan persamaan umum *Bernoulli* bahwa semakin besar kecepatan aliran fluida, maka semakin besar tekanan pada fluida tersebut. Aliran terjadi dikarenakan beda tekanan antara dua kondisi, yang mana akan mengalir dari daerah bertekanan tinggi menuju daerah bertekanan rendah (Qin & Duan, 2017). Dalam simulasi kali ini, pintu pada ruang toilet dianggap tertutup sehingga tekanan yang terjadi pada ruangan cukup besar seperti yang dapat dilihat pada gambar 8. Tekanan paling kecil terdapat pada sisi *outlet*, dikarenakan aliran udara dalam simulasi kali ini hanya memiliki satu *outlet*. Maka dari itu, besar kecilnya dimensi *outlet* pada suatu ruangan dapat mempengaruhi tekanan yang terjadi dalam ruangan. Nilai kecepatan aliran udara berbanding lurus dengan nilai tekanan yang dihasilkan, yaitu semakin besar kecepatan yang dihasilkan, maka semakin besar juga tekanan yang dihasilkan. Hal ini dapat dilihat dari hasil simulasi yaitu pada kecepatan 2,56 m/s, nilai tekanan yang dihasilkan sebesar 12,3 Pa sedangkan pada kecepatan 3,85 m/s, nilai tekanan yang dihasilkan sebesar 26,9 Pa.

Distribusi Temperatur



Gambar 9. Profil Distribusi Temperatur Pada Plane 1 hingga Plane 4

Berdasarkan profil distribusi temperatur, terlihat bahwa pada simulasi ini memiliki temperatur ruangan yang cukup baik, dikarenakan temperatur yang terjadi pada ruangan tersebar merata dengan temperatur sedang. Pada *plane 1* hingga *plane 4* menandakan temperatur yang cukup merata dengan temperatur berkisar antara 29 °C sampai 30 °C dengan temperatur paling tinggi pada bagian *outlet*.

Setelah mendapatkan seluruh hasil profil distribusi pada simulasi ini, maka dapat disimpulkan pada konfigurasi simulasi ini sudah sesuai dengan standar ASHRAE 62.1 tahun 2019. Hal ini dapat dibuktikan pada kecepatan aliran udara dalam ruangan toilet berkisar antara 0 m/s sampai 1,28 m/s yang tersebar merata pada ruangan dan dimana sudah sesuai dengan standar ASHRAE 62.1 tahun 2019 yaitu tidak melebihi 2,91 m/s (50 cfm).

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Menurut hasil profil distribusi pada simulasi, maka dapat disimpulkan bahwa konfigurasi dengan inlet dan outlet pada ruangan toilet sudah sesuai dengan standar ASHRAE 62.1 tahun 2019. Hal ini bisa dilihat pada hasil simulasi dalam ruangan toilet yang berkisar antara 0 m/s sampai 1,28 m/s. Berdasarkan hasil simulasi didapatkan hasil konfigurasi yang paling baik sesuai dengan standar ASHRAE tahun 2019 adalah konfigurasi pada plane 2 dan 3, berupa kecepatan udara pada ruangan toilet yang sebesar 0 m/s sampai 1,28 m/s. Pada konfigurasi ini dapat diketahui temperatur ruangan antara 29°C sampai 30°C dan tekanan yang dihasilnya sebesar 99,9 Pa.

Ucapan Terima Kasih (*Acknowledgement*)

Penulis berterima kasih kepada Lembaga Penelitian Universitas Tarumanagara dan Bapak Dr. Steven Darmawan, S.T., M.T. sebagai pembimbing dalam menyelesaikan pembuatan penelitian yang berjudul “Analisis Aliran Udara Pada Ruang Toilet Dengan Menggunakan Metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD)” ini.

REFERENSI

- ASHRAE Standard 62.1. (2019). Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Approved American National Standard (ANSI), ISSN 1041-2336, 21.
- Darmawan, S., & Tanujaya, H. (2019). CFD investigation of flow over a backward-facing step

- using an RNG k- ϵ turbulence model. *International Journal of Technology*, 10(2), 280–289. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v10i2.800>
- Darmawan, S. (2020). Reynolds number effects on swirling flows intensity and reattachment length over a backward-facing step geometry using STD k- ϵ turbulence model. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 852(1), 012073. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/852/1/012073>
- Ghurri, A. (2014). *Dasar-Dasar Mekanika Fluida*.
- Hamzah, B. (2014). Pengaliran Udara Untuk Kenyamanan Termal Ruang Kelas Dengan Metode Simulasi *Computational Fluid Dynamics*. 14(2).
- Kolmogorov, A. N. (1942). Equations of turbulent motion of an incompressible fluid, *Izv. Acad. Sci., USSR. Physics*, 6(1), 56.
- Menter, F. R. (1992). Improved two-equation k- ω turbulence models for aerodynamic flows NASA TM-103975.
- Saiy, M. (1974). Turbulent mixing of gas streams. PhD Thesis, Imperial College, University of London.
- Spalding, D. B. (1979). Mathematical models of turbulent transport processes. Imperial College of Science and Technology, Department of Mechanical Engineering.
- Qin, R., & Duan, C. (2017). The principle and applications of Bernoulli equation. *Journal of Physics: Conference Series*, 916(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/916/1/012038>

Halaman ini sengaja dikosongkan