

SIMULASI NUMERIK DISTRIBUSI POLUSI UDARA DALAM RUANGAN DENGAN DAPUR TERBUKA

Bowo Yuli Prasetyo^{1,a}, Arda Rahardja Lukitobudi^{1,b}, Ade Suryatman Margana^{1,c}

¹Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung

Email: ^abowo_yuli@polban.ac.id, ^bardarl@polban.ac.id, ^cadesmargana@polban.ac.id

Abstrak

Dapur merupakan salah satu ruangan yang penting bagi penghuni sebagai area penyedia sumber energi melalui pemrosesan makanan. Namun tidak hanya itu, proses memasak juga dapat menghasilkan polutan yang berbahaya bagi tubuh. Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi konsentrasi dan distribusi polutan (CO dan CO₂) yang dihasilkan dari dapur ke berbagai ruangan yang ada di dalam rumah. Perubahan temperatur dan kecepatan udara di dalam ruangan juga diinvestigasi guna mengamati keterkaitannya dengan sebaran polutan. Proses investigasi memanfaatkan simulasi numerik pada sebuah hunian dengan dua kasus ventilasi yang berbeda. Hasil simulasi menunjukkan tidak terdapat perubahan yang signifikan pada kecepatan udara diantara kedua kasus. Sementara penambahan ventilasi alami di area dapur dapat menurunkan konsentrasi CO dan CO₂ di seluruh ruangan, masing-masing sebesar 25.8% dan 24.9%. Disisi lain, temperatur udara di dalam ruangan juga dapat diturunkan hingga 4.9% pada perlakuan yang sama. Sehingga diperoleh kesimpulan bahwa keberadaan jendela di area dapur memberikan dampak yang signifikan pada penurunan temperatur dan konsentrasi polutan di seluruh ruangan.

Kata Kunci: polusi udara, CFD, konsentrasi, simulasi numerik, dapur terbuka

Abstract

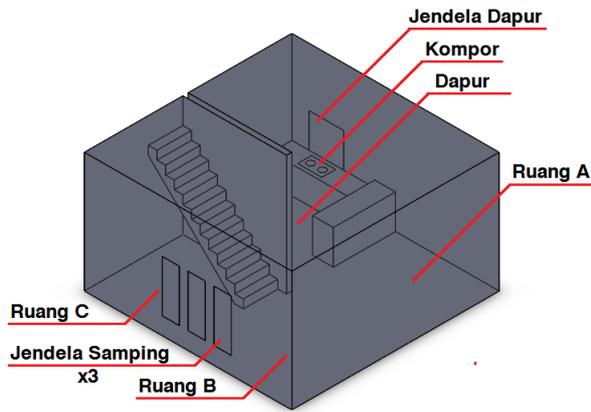
The kitchen is a vital area that provides energy sources through food processing for residences. However, the cooking process can also produce pollutants that are harmful to the body. This study aims to investigate the concentration and distribution of contaminants (CO and CO₂) generated from the kitchen to all rooms in the house. In addition, Air temperature and velocity are investigated to observe their relationship with the distribution of pollutants. The investigation procedure utilizes a numerical simulation of a dwelling with two different ventilation cases. The simulation results show no significant difference in air velocity between the two cases. While the addition of natural ventilation in the kitchen area can reduce CO and CO₂ concentrations throughout the room by 25.8% and 24.9%, respectively. On the other hand, the indoor air temperature can also be reduced by 4.9% with the same treatment. In conclusion, the addition of a window in the kitchen area has a significant impact on reducing temperature and pollutant concentrations all over the room.

Keywords: air pollution, CFD, concentration, numerical simulation, open kitchen

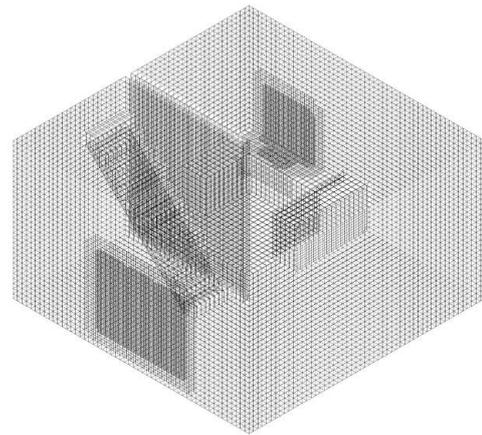
I. PENDAHULUAN

Dapur merupakan salah satu ruangan yang penting bagi penghuni sebagai area penyedia sumber energi melalui pemrosesan makanan setiap harinya. Namun, dapur juga merupakan sumber utama polusi udara dalam ruangan (Zhang, et al., 2021). Melalui kegiatan memasak, polutan yang berbahaya bagi

tubuh dapat dihasilkan. Polutan tersebut dapat bersumber dari bahan makanan seperti senyawa heterosiklik, polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH), alkohol, ester, keton, dll.; maupun dari proses memasak seperti panas buang, CO₂, CO, SO₂, NO₂, PM, PAH, dll. (Abdullahi, et al., 2013).



Gambar 1. Tata letak ruangan



Gambar 2. Hasil mesh model simulasi

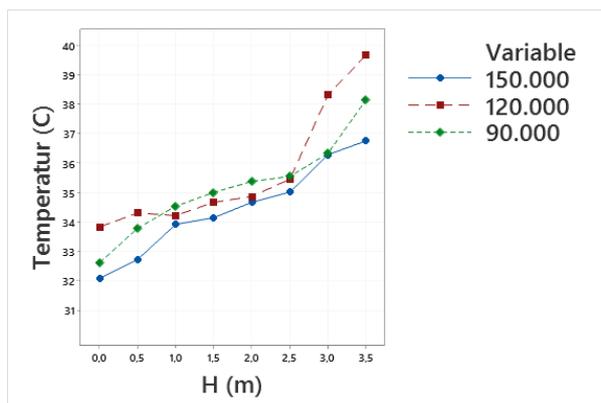
Jenis dan konsentrasi polutan yang diproduksi bergantung pada peralatan masak, bahan bakar, bahan makanan, metode memasak, durasi memasak dan ventilasi. Pada beberapa kasus, level polutan di dalam ruangan secara signifikan dipengaruhi oleh kondisi ventilasi (Pal & Netam, 2021; Xie, et al., 2021; Liu, et al., 2021). Hasil penelitian menyebutkan rata-rata konsentrasi CO, CO₂, dan PM_{2.5} yang dikeluarkan oleh kompor berbahan bakar LPG saat proses memasak berlangsung masing-masing 29 ppm, 895 ppm, dan 328 µg/m³, sedangkan kompor minyak tanah menghasilkan konsentrasi masing-masing sebesar 31 ppm, 897 ppm, dan 345 µg/m³ (Giwa, et al., 2019). Sementara penelitian lain menyebutkan kegiatan memasak mampu menghasilkan partikel/cm³ hingga 20 kali lipat dibanding kondisi normal (Yu, et al., 2015).

Paparan terhadap polutan dalam jangka waktu tertentu dapat memberikan dampak negatif bagi tubuh. Beberapa polutan dapat memberikan efek iritasi yang ditandai dengan batuk maupun peningkatan lendir di saluran pernafasan; merusak jaringan kulit di saluran pernafasan atas maupun dalam; masuk ke aliran darah dan mengikat hemoglobin darah menggantikan O₂; bahkan hingga

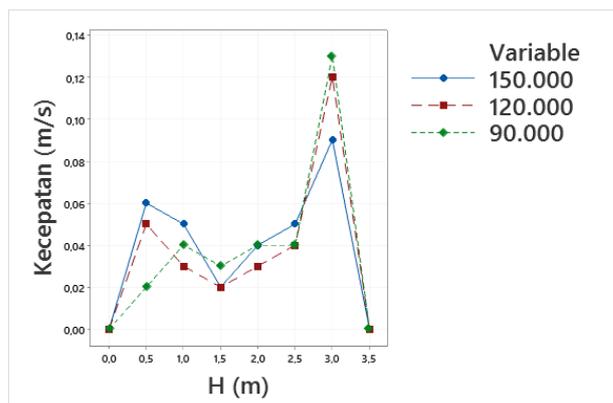
berpotensi menimbulkan kanker (Filho, et al., 2021). Melihat dampak yang dapat ditimbulkan, sangat penting bagi perancang maupun penghuni rumah untuk memperhitungkan faktor-faktor yang mampu mengendalikan jumlah polutan guna menjaga kualitas udara didalam rumah.

Studi tentang pola sebaran polutan dalam ruang telah dikemukakan oleh banyak peneliti. Beberapa diantaranya menggunakan simulasi numerik untuk menginvestigasi karakter distribusi dan pergerakan polutan (Zhang, et al., 2017; Chen, et al., 2020). Sebagian lainnya memanfaatkan simulasi numerik untuk mendapatkan konfigurasi ventilasi terbaik dalam upaya mengurangi konsentrasi polutan di dalam ruangan (Liu, et al., 2021; Xie, et al., 2022; Liu, et al., 2020). Hal ini membuktikan reliabilitas simulasi numerik dalam memprediksi serta memberikan solusi terbaik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi konsentrasi dan sebaran polutan yang dihasilkan dari dapur ke berbagai ruangan yang ada di dalam rumah melalui simulasi numerik. Proses evaluasi dilakukan terhadap dua kasus simulasi yang berbeda yang dijelaskan secara rinci pada bahasan selanjutnya.



(a)



(b)

Gambar 3. Hasil simulasi pada nilai elemen yang berbeda (a) temperatur (b) kecepatan udara

Tabel 1. Deskripsi model

Objek	Detail	Keterangan
Kompore	2 tungku diameter 0.2m	-
Jendela samping	3 buah Dimensi: 0.5m x 1.5 m	Kasus 1: buka Kasus 2: buka
Jendela dapur	1 buah Dimensi: 1m x 1m	Kasus 1: tutup Kasus 2: buka

Tabel 2. Deskripsi kondisi batas

Objek	Kasus 1	Kasus 2
Tungku kompor	<i>mass flow inlet</i> $\dot{m} : 0.01 \text{ kg/s}$ $T : 373.15 \text{ K}$ $\text{CO} : 0.05\%$ $\text{CO}_2 : 9\%$	
Dinding	<i>wall</i> adiabatik	
Jendela samping	<i>outlet vent</i> $P : 0 \text{ Pa}$ $\text{CO} : 0\%$ $\text{CO}_2 : 0.3\%$	
Jendela dapur	<i>wall</i> adiabatik	<i>outlet vent</i> $P : 0 \text{ Pa}$ $\text{CO} : 0\%$ $\text{CO}_2 : 0.3\%$

Tabel 3. Kualitas hasil *mesh*

Elemen	90.000	120.000	150.000
<i>Skweness</i>	5.82×10^{-3}	5.7×10^{-3}	4.88×10^{-3}
Ortogonalitas	0.99178	0.98428	0.98464

Proses pengkajian melibatkan jenis polutan yang dibatasi pada CO dan CO₂. Disamping itu, perubahan temperatur dan kecepatan udara di dalam ruangan juga diinvestigasi guna mengamati keterkaitannya dengan sebaran polutan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran tentang sebaran polusi udara dalam ruangan, sehingga dapat meningkatkan kesadaran akan pentingnya menjaga kualitas udara dalam ruangan guna menjaga kesehatan.

II. METODE

Model Simulasi

Investigasi pola sebaran konsentrasi polutan (CO dan CO₂), temperatur, dan kecepatan udara melibatkan simulasi numerik terhadap sebuah ruangan dengan ventilasi alami yang dibagi kedalam dua kasus berbeda. Pada kasus pertama jendela di dalam rumah hanya terdapat pada ruang yang berdampingan dengan dapur, sementara pada kasus kedua dilakukan penambahan sebuah jendela di area dapur.

Model simulasi merupakan sebuah hunian 1 lantai yang terdiri atas 4 ruangan seperti yang tampak pada Gambar 1. Masing-masing ruang memiliki dimensi 3m x 3m dan tinggi 3.5m dengan konsep terbuka tanpa sekat partisi. Sebuah kompor berbahan bakar LPG sebagai sumber polutan terletak di atas meja dapur dengan ketinggian 0.8m dari lantai. Kompor tersebut memiliki dua buah tungku berukuran diameter 0.2m. Tiga buah jendela dengan ukuran 1.5m x 0.5m ruangan terpasang pada dinding luar antara ruang b dan c dengan ketinggian 0.5m dari lantai. Sementara pada area dapur terdapat sebuah jendela berukuran 1m x 1m di depan kompor yang digunakan pada kasus kedua. Deskripsi lengkap tentang model simulasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Pengaturan Simulasi

Simulasi dilakukan menggunakan metode *transient* dengan rentang waktu pengamatan setiap 5 menit selama 1 jam. *Realizable k-ε* dengan *standard wall functions* digunakan untuk memodelkan turbulensi aliran udara dan menyederhanakan proses perhitungan pada kedua kasus. Sementara algoritma SIMPLE dengan order kedua dipilih dalam *pressure-velocity coupling*. Berikut persamaan-persamaan yang digunakan (ANSYS, 2013).

Persamaan konservasi massa:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m \quad (1)$$

Persamaan konservasi momentum:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\bar{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (2)$$

dengan

$$\bar{\tau} = \mu \left[(\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{v} I \right] \quad (3)$$

Persamaan energi:

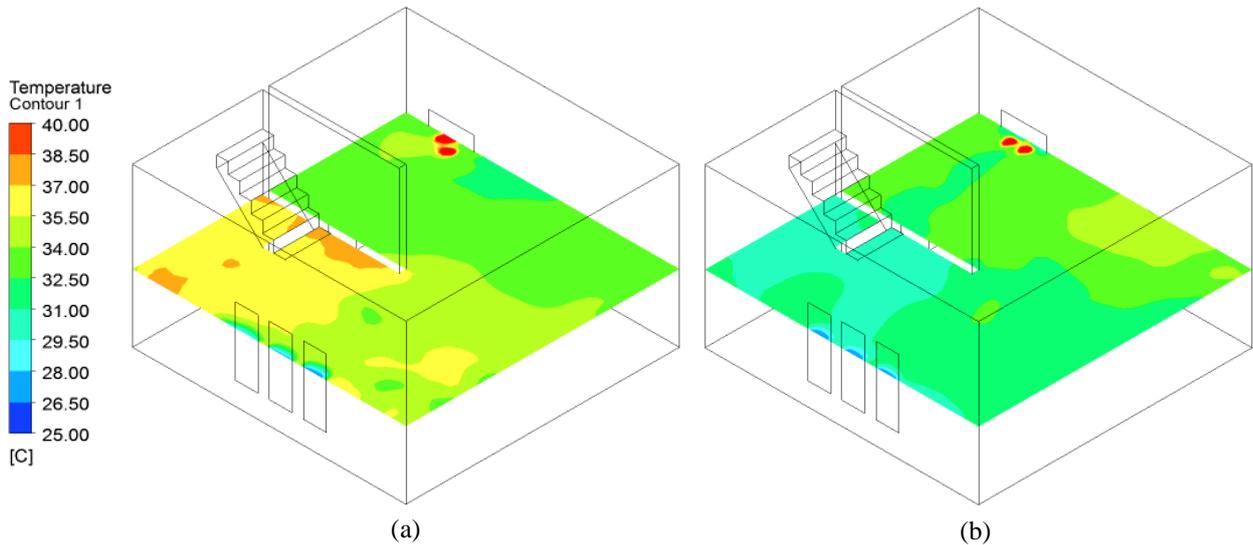
$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \nabla \cdot (\vec{v} (\rho E + p)) = \nabla \cdot (k_{eff} \nabla T - \sum_j h_j \vec{j}_j + (\bar{\tau}_{eff} \cdot \nabla)) + S_h \quad (4)$$

Persamaan transportasi untuk k dan ε :

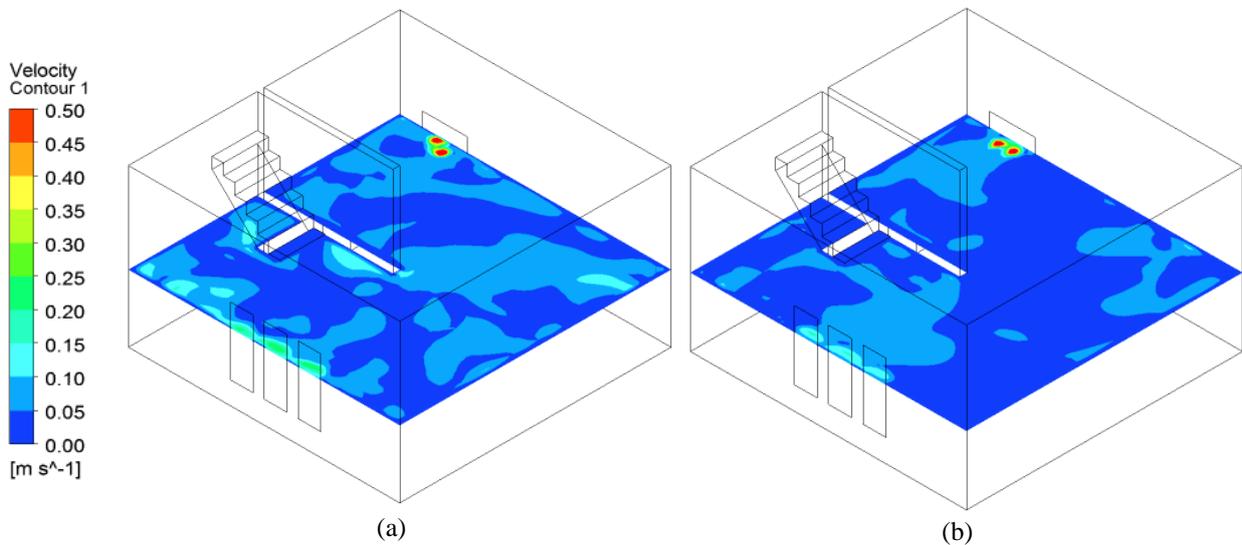
$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) \frac{\partial}{\partial x_j} + (\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \varepsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S_\varepsilon - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{v \varepsilon}} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} C_{3\varepsilon} G_b + S_\varepsilon \quad (6)$$

dengan



Gambar 4. Distribusi temperatur pada $t=3600s$ (a) kasus 1 (b) kasus 2



Gambar 5. Distribusi kecepatan udara pada $t=3600s$ (a) kasus 1 (b) kasus 2

$$C_1 = \max \left[0.43, \frac{n}{n+5} \right], n = S \frac{k}{\epsilon}, S = \sqrt{2S_{ij}S_{ij}} \quad (7)$$

Persamaan transportasi spesies:

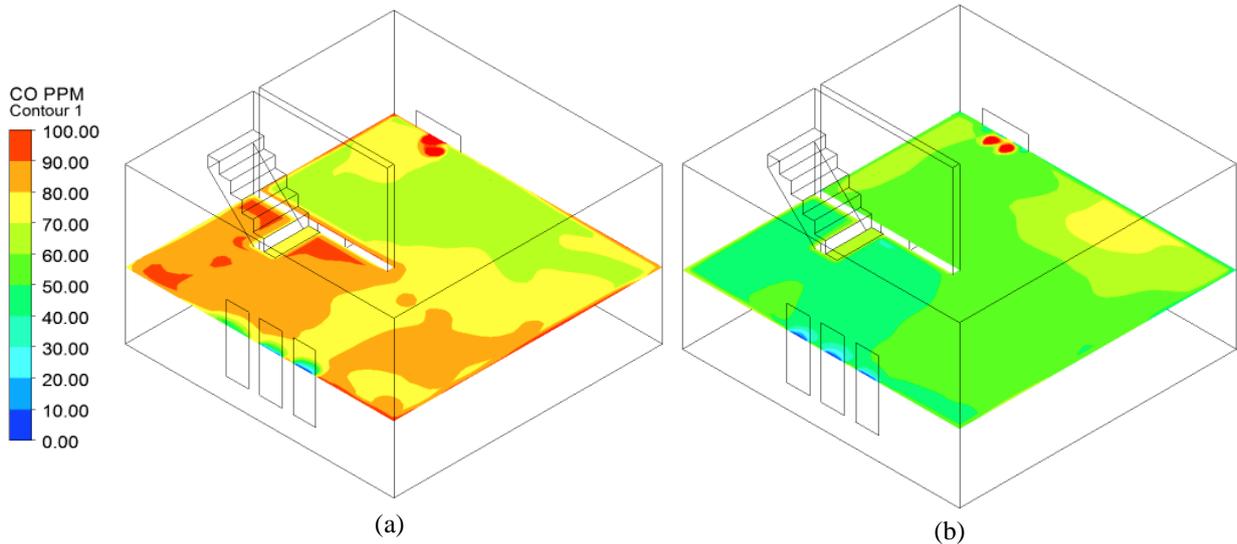
$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho Y_i) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} Y_i) = -\nabla \cdot \vec{j}_i + R_i + S_i \quad (8)$$

Selama proses memasak berlangsung tungku merupakan sumber utama polutan di dalam ruang sehingga keberadaan manusia sebagai penghasil CO₂ melalui respirasi ditiadakan. Tungku kompor diatur sebagai *mass flow inlet* dengan nilai 0.01 kg/s, temperatur 373.15 K, dan fraksi massa gas CO₂ serta CO masing-masing sebesar 9% dan 0.05%, sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya (Xu, et al., 2017). Jendela merupakan akses pergantian udara secara alami, dengan demikian objek ini diatur sebagai *outlet vent* dengan tekanan 0 Pa. Sementara udara luar diatur pada 300 K dengan

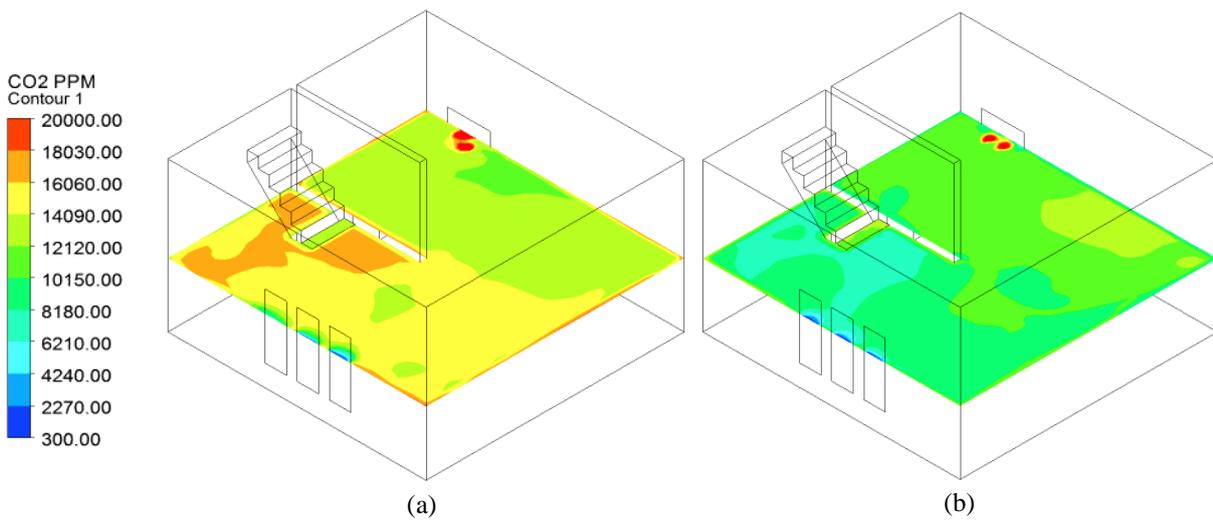
fraksi massa CO₂ sebesar 0.3%. Detil kondisi batas secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 2.

Grid Independence

Gambar 2 memperlihatkan hasil *mesh* pada model simulasi. Keperapatan *mesh* yang lebih tinggi diaplikasikan pada daerah sekitar tungku dan jendela guna meningkatkan kepresisian hasil kalkulasi. Pengujian *grid independence* dilakukan terhadap model simulasi dengan tiga elemen *mesh* berbeda yakni 90.000, 120.000, dan 150.000. Kualitas *mesh* yang baik dapat ditinjau dari nilai *skewness* dan ortogonalitas. Semakin baik hasil *mesh* sebuah model simulasi maka rerata nilai *skewness*-nya mendekati 0 (nol) sementara nilai ortogonalitasnya mendekati 1. Tabel 3 menampilkan kualitas *mesh* pada masing-masing elemen. Semetara gambar 3 menampilkan hasil simulasi temperatur dan kecepatan udara dengan



Gambar 6. Distribusi CO pada $t=3600s$ (a) kasus 1 (b) kasus 2



Gambar 7. Distribusi CO₂ pada $t=3600s$ (a) kasus 1 (b) kasus 2

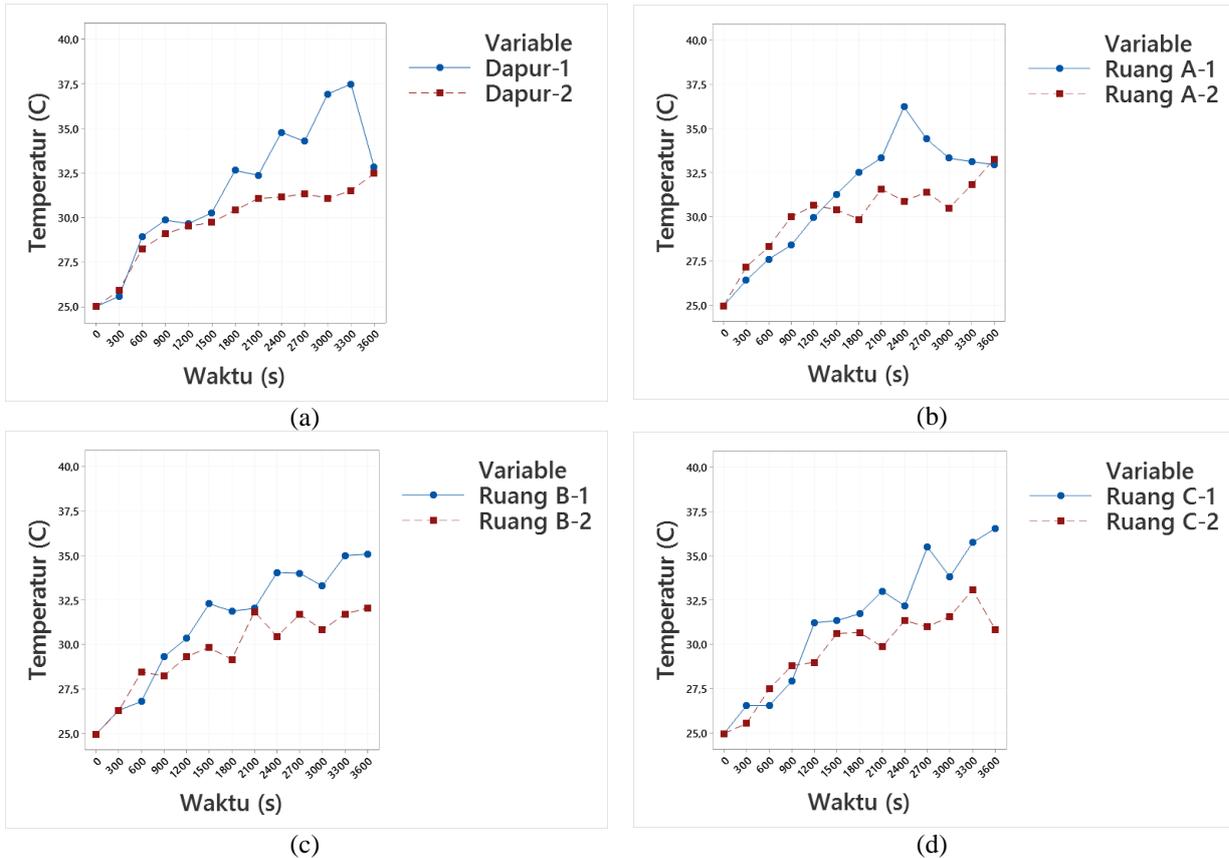
titik ukur tepat di tengah dapur secara vertikal mulai dari lantai hingga atap sebagai perbandingan dari setiap nilai elemen. Diketahui melalui hasil pengujian bahwa nilai dari masing-masing elemen tidak berbeda jauh secara signifikan. Dengan memperhatikan tingkat akurasi dan efisiensi, maka *mesh* dengan jumlah elemen 90.000 dipilih untuk pengkajian yang lebih dalam.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengamatan pada seluruh kasus simulasi diatur pada ketinggian 1.5m yang merupakan ketinggian rata-rata zona pernafasan manusia dewasa (Yu, et al., 2015; Liu, et al., 2021). Gambar 4 memperlihatkan distribusi temperatur pada kedua kasus simulasi setelah 1 jam. Hasil simulasi menunjukkan distribusi temperatur pada seluruh ruang dengan sumber panas yang berasal dari panas hasil pembakaran. Rata-rata capaian temperatur udara tertinggi pada kasus 1 berada di ruang c dengan

kisaran 37-38.5°C, sementara pada kasus 2 terdapat di ruang a yang berkisar antara 34-35°C. Sementara itu, rata-rata temperatur di area dapur relatif rendah pada kedua kasus (31-34°C) bila dibandingkan dengan temperatur di ruangan lain.

Dapur merupakan area sumber panas berada, akan tetapi udara panas cenderung berakumulasi di ruangan lain. Hal ini disebabkan oleh konsep ruang terbuka (tanpa partisi) membuat udara panas yang dihasilkan oleh tungku pembakaran dapat terdistribusi dengan mudah ke seluruh ruangan secara konveksi. Khususnya pada kasus 1 ketika akses pertukaran udara berada cukup jauh dari sumber panas. Udara panas terdorong untuk bergerak dari dapur ke arah jendela dan bertukar dengan udara dingin dari luar ruangan. Dengan demikian akumulasi udara panas yang intens terlihat di ruangan yang memiliki ventilasi.



Gambar 8. Grafik temperatur terhadap waktu untuk setiap kasus (a) dapur (b) ruang a (c) ruang b (d) ruang c

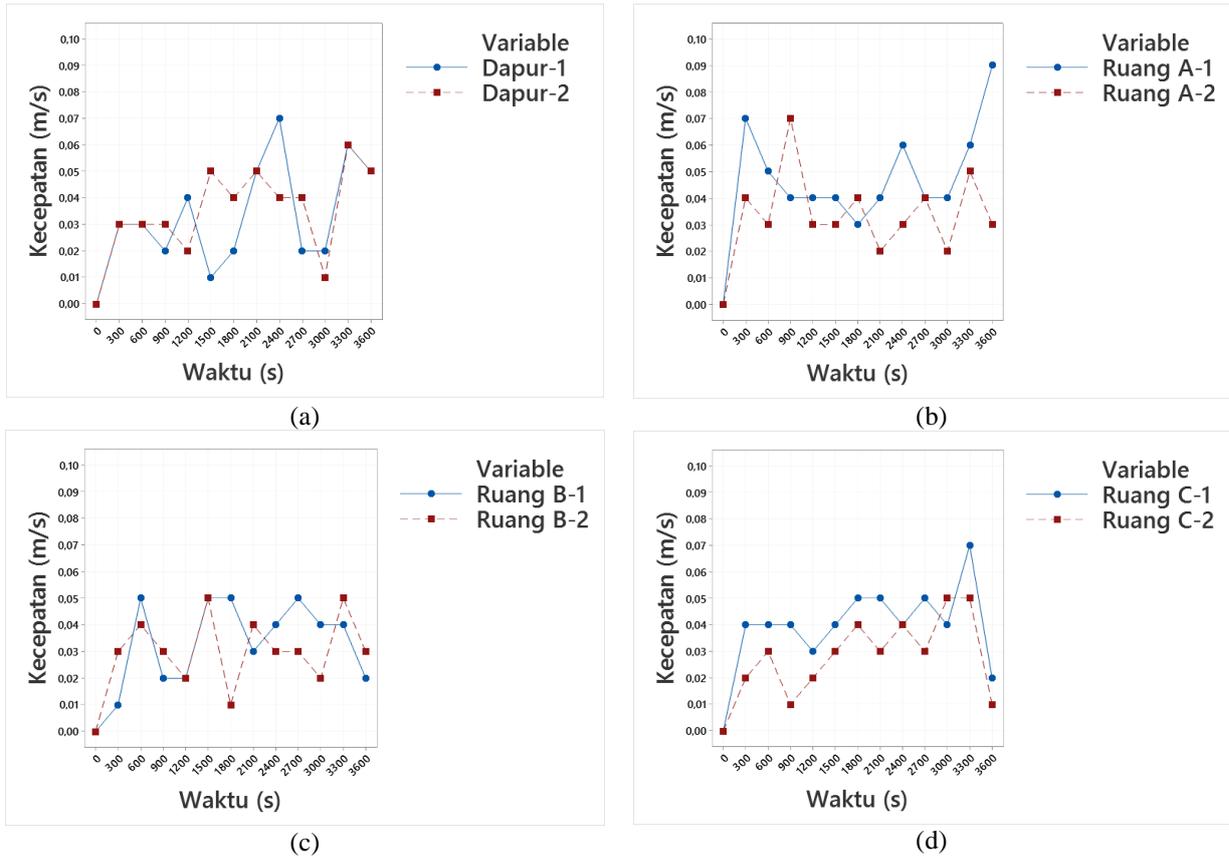
Berbeda dengan temperatur, kecepatan udara dalam ruangan tidak mengalami perubahan dengan adanya penambahan jendela di area dapur, seperti yang ditampilkan oleh gambar 5. Hasil simulasi menunjukkan nilai kecepatan udara pada kedua kasus relatif rendah yang berkisar antara 0-0.15 m/s mengindikasikan udara di dalam ruangan bergerak secara alami tanpa ada paksaan baik pada kasus 1 maupun kasus 2.

Gambar 6 menampilkan distribusi CO pada seluruh ruangan. CO dengan konsentrasi tinggi pada kasus 1 terlihat berakumulasi pada ruang b dan c yang mencapai kisaran 90-100 ppm. Sementara pada kasus 2 tidak tampak akumulasi CO yang berlebihan. Akumulasi CO hanya tampak pada ruang a dengan konsentrasi tertinggi berada pada kisaran 70-80 ppm. Sedangkan level terendahnya berada pada kisaran 30-40 ppm. Hal serupa juga terjadi pada CO₂ yang ditunjukkan oleh gambar 7. Akumulasi CO₂ terjadi di ruang yang sama dengan kisaran 16060-18030 ppm dan 12120-14090 ppm untuk masing-masing kasus 1 dan kasus 2.

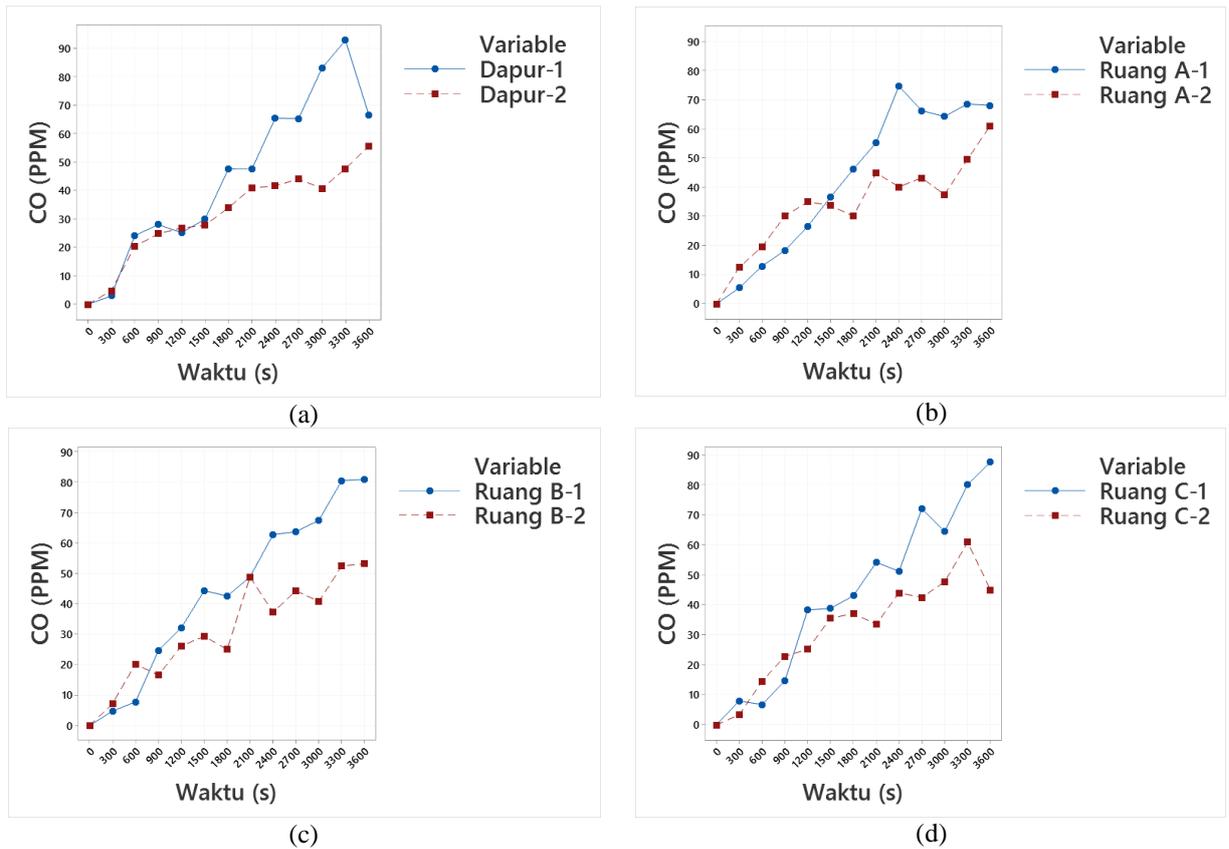
Konsep ruangan terbuka memberikan keleluasaan bagi polutan untuk terdistribusi ke berbagai ruangan bersamaan dengan gerakan udara. Hal tersebut sangat didukung oleh keberadaan ventilasi udara yang berada jauh dari area dapur,

seperti pada kasus 1, mengakibatkan pertukaran udara bersih dan udara berpolutan harus melewati beberapa ruangan. Sementara pada kasus 2, keberadaan jendela yang sangat dekat dengan sumber polutan memberikan peluang pertukaran udara secara langsung. Hal ini memberikan dampak penurunan level polutan di ruangan sekitar, baik CO maupun CO₂.

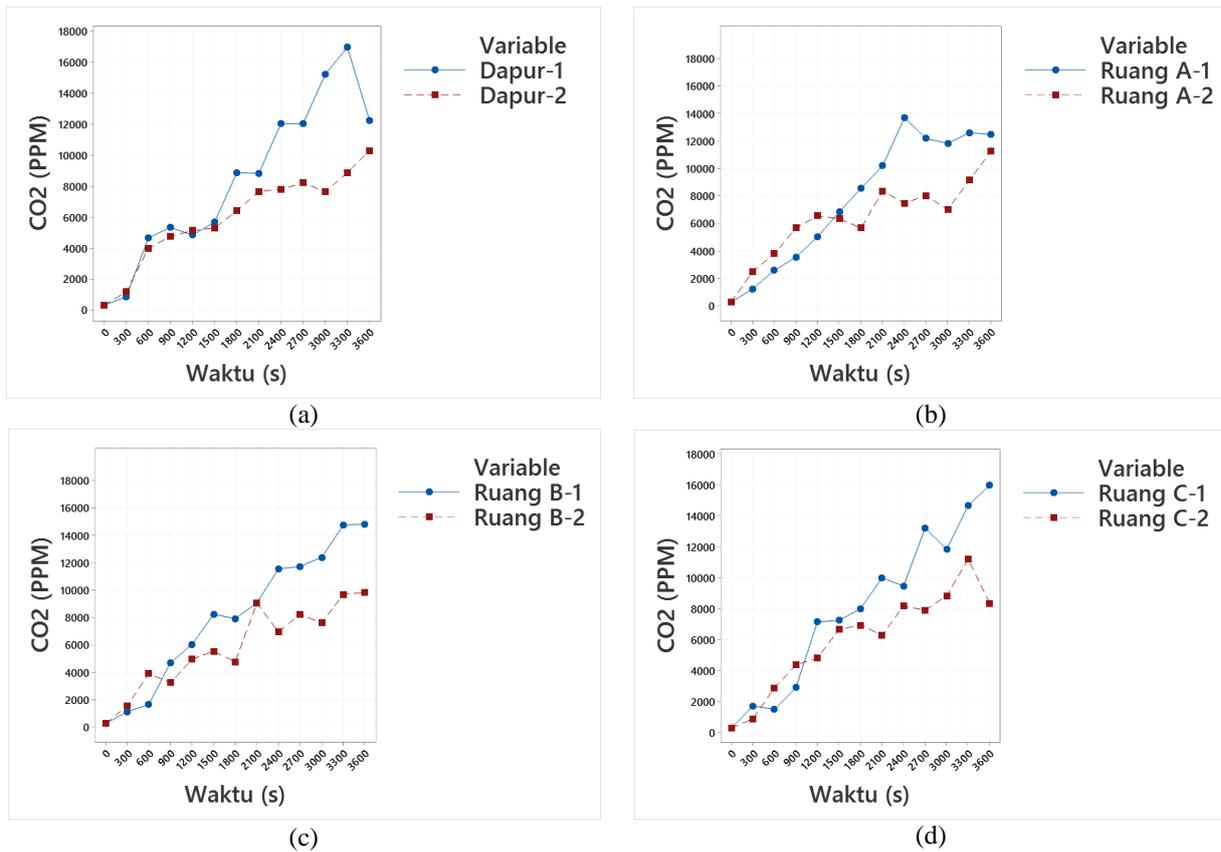
Model ruangan disimulasikan dalam keadaan memasak selama 1 jam dengan interval pengamatan setiap 5 menit. Gambar 8 memperlihatkan grafik temperatur terhadap waktu selama proses memasak berlangsung untuk masing-masing ruangan disetiap kasus simulasi. Sampel pengukuran diambil tepat di tengah-tengah ruangan pada ketinggian 1.5m. Hasil simulasi menunjukkan kesesuaian peningkatan temperatur pada kedua kasus hingga akhir simulasi dengan rata-rata tertinggi dihasilkan oleh kasus 1. Nilai temperatur yang relatif rendah dihasilkan oleh kasus 2 yang disebabkan oleh penambahan jumlah ventilasi. Terjadi peningkatan nilai temperatur ruang a, b, dan c pada kasus 2 melebihi kasus 1 di menit-menit awal proses memasak berlangsung. Namun nilai tersebut menjadi lebih rendah seiring waktu simulasi berjalan. Hasil simulasi menunjukkan ventilasi di area dapur berkontribusi



Gambar 9. Grafik kecepatan udara terhadap waktu untuk setiap kasus (a) dapur (b) ruang a (c) ruang b (d) ruang c



Gambar 10. Grafik konsentrasi CO terhadap waktu untuk setiap kasus (a) dapur (b) ruang a (c) ruang b (d) ruang c



Gambar 11. Grafik konsentrasi CO₂ terhadap waktu untuk setiap kasus
(a) dapur (b) ruang a (c) ruang b (d) ruang c

pada penurunan nilai temperatur dengan rata-rata sebesar 4.9% di seluruh ruang.

Gambar 9 menampilkan grafik kecepatan udara terhadap waktu di setiap ruang. Selama proses memasak berlangsung, nilai kecepatan udara pada masing-masing ruang relatif kecil dan stabil dari waktu ke waktu. Berdasarkan hasil simulasi, penambahan ventilasi di area dapur tidak memberikan perubahan yang signifikan terhadap kecepatan udara.

Grafik konsentrasi CO terhadap waktu pada setiap ruang ditunjukkan oleh Gambar 10. Berdasarkan hasil simulasi, konsentrasi CO pada kedua kasus mengalami kenaikan secara signifikan selama proses memasak berlangsung. Nilai CO tertinggi pada kasus 1 terjadi di area dapur dengan nilai 93 ppm pada menit ke-55, namun segera turun kembali pada menit ke-60. Sementara pada kasus 2 konsentrasi CO tertinggi ditemukan di ruang a pada menit ke-60 dengan nilai 61 ppm. Disamping itu, terjadi pula penurunan konsentrasi CO di beberapa menit. Hal ini disebabkan oleh pergerakan udara ke dalam maupun ke luar ruangan yang berdampak pada distribusi maupun penurunan konsentrasi polutan di beberapa area. Dari hasil simulasi, diperoleh penurunan konsentrasi CO sebesar 25.8% melalui penambahan ventilasi di area dapur.

Tidak berbeda jauh dengan CO, konsentrasi CO₂ di dalam ruangan mengalami perubahan yang serupa yang ditampilkan oleh Gambar 11. Nilai konsentrasi CO₂ meningkat selama proses memasak berlangsung hingga mencapai nilai tertinggi pada kasus 1 sebesar 16.000 ppm yang diperoleh setelah memasak selama 1 jam. Sementara pada kasus 2 konsentrasi CO₂ tertinggi diperoleh pada ruang b dengan nilai 9.830 ppm pada waktu yang sama. Melalui grafik tersebut terlihat perbedaan konsentrasi CO₂ yang signifikan diantara kedua kasus simulasi. Secara keseluruhan, rata-rata perbedaan konsentrasi CO₂ diantara kedua kasus sebesar 24.9%. Hal ini juga menguatkan pandangan bahwa keberadaan jendela di area dapur memberikan dampak yang signifikan tidak hanya pada penurunan temperatur, namun juga pada penurunan konsentrasi dan sebaran polutan ke berbagai ruangan di dalam rumah.

IV. PENUTUP

Kesimpulan

Pemanfaatan simulasi numerik dalam proses investigasi konsentrasi polutan di dalam ruangan memberikan pemahaman yang lebih mendalam. Dalam kasus ini, pola sebaran polutan dapat

diinvestigasi secara ekstensif, terutama dalam bentuk media gambar yang sangat mudah dipahami.

Pengkajian terhadap sebaran polutan di dalam ruangan telah dilaksanakan pada dua kasus simulasi yang berbeda. Melalui proses simulasi diperoleh hasil yang sangat jelas. Penambahan jendela di area dapur dapat menurunkan konsentrasi CO dan CO₂ di seluruh ruangan masing-masing sebesar 25.8% dan 24.9%. Temperatur udara di seluruh ruangan juga mengalami penurunan sebesar 4.9% dengan perlakuan yang sama. Sementara pada kecepatan udara tidak ditemukan perbedaan yang signifikan diantara kedua kasus simulasi.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Abdullahi, K. L., Delgado-Saborit, J. M. & Harrison, R. M., 2013. Emissions and indoor concentrations of particulate matter and its specific chemical components from cooking: A review. *Atmospheric Environment*, Volume 71, pp. 260-294.
- ANSYS, 2013. *ANSYS Fluent Theory Guide*. Cannonsburg(Pennsylvania): ANSYS, Inc..
- Chen, Z., Xin, J. & Liu, P., 2020. Air quality and thermal comfort analysis of kitchen environment with CFD simulation and experimental calibration. *Building and Environment*, Volume 172, p. 106691.
- Filho, N. A. R. et al., 2021. Air pollution and indoor settings. *World Allergy Organization Journal*, Volume 14, p. 100499.
- Giwa, S. O., Nwaokocha, C. N. & Odufuwa, B. O., 2019. Air pollutants characterization of kitchen microenvironments in southwest Nigeria. *Building and Environment*, Volume 153, pp. 138-147.
- Liu, S. et al., 2020. Improving indoor air quality and thermal comfort in residential kitchens with a new ventilation system. *Building and Environment*, Volume 180, p. 107016.
- Liu, Y. et al., 2021. Numerical investigation on the influence of natural make-up air in Chinese-style residential kitchen on indoor environment in a partitioned household. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Volume 46, p. 101244.
- Pal, C. L. & Netam, N., 2021. Analysis of temperature and exhaust gases distribution in residential kitchen of LIG house. *Materials Today: Proceedings*, Volume 44, pp. 3025-3031.
- Xie, W. et al., 2022. Exhaust rate for range hood at cooking temperature near the smoke point of edible oil in residential kitchen. *Journal of Building Engineering*, Volume 45, p. 103545.
- Xie, W. et al., 2021. Parametrized design for the integration of range hood and air cleaner in the kitchen. *Journal of Building Engineering*, Volume 43, p. 102878.
- Xu, A., Li, H. & Feng, G., 2017. Numerical Simulation Analysis of Temperature and Pollutant Concentration Diffusion in the Open Kitchen Cooking Area. *Procedia Engineering*, Volume 205, pp. 1165-1172.
- Yu, K.-P. et al., 2015. Indoor air pollution from gas cooking in five Taiwanese families. *Building and Environment*, Volume 93, pp. 258-266.
- Zhang, H., Wang, F., Wang, Y. & Wang, H., 2017. CFD Simulation of Cooking Particle Distribution and Motion. *Procedia Engineering*, Volume 205, pp. 1800-1806.
- Zhang, J. et al., 2021. The performance of different ventilation methods in residential kitchens with different spatial organizations: A literature review. *Building and Environment*, Volume 201, p. 107990.