

Studi Numerik Pengaruh Geometri *Supply Air Grille* serta Variasi Kecepatan Udara Masuk Terhadap Distribusi Temperatur di Dalam Ruangan Terkondisi

Andi Firdaus Sudarma dan Fajar Widiyanto

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana, Jakarta

E-mail: andi.firdaus@mercubuana.ac.id

Abstrak – Sistem pengkondisian udara adalah fasilitas utama untuk menciptakan kenyamanan termal pada suatu ruangan. SAG memegang peranan penting dalam mengatur penyebaran udara. Dalam penelitian ini dua buah tipe SAG dengan geometri berbentuk linear dan square diteliti secara numerik. Kecepatan aliran masuk divariasikan pada besaran 1,6, 3,1 dan 4,6 m/s dipelajari untuk mengetahui pengaruhnya terhadap distribusi temperatur. Hasil dari simulasi ditampilkan dalam bentuk kontur temperatur pada bidang horizontal dan gradien temperatur pada posisi vertikal. Analisis dilakukan terhadap hasil untuk mengetahui distribusi temperatur dan besaran temperatur rata-rata guna terciptanya kenyamanan termal. Hasil simulasi menunjukkan bahwa SAG tipe square mampu mendistribusi temperatur lebih merata dibandingkan tipe linear. Hasil lainnya juga memperlihatkan bahwa kenyamanan diraih oleh tipe square pada laju aliran yang lebih rendah dibandingkan dengan tipe linear.

Kata kunci: HVAC, *Supply Air Grille* (SAG), *Computational Fluid Dynamics* (CFD), Distribusi temperatur, Kenyamanan termal

I. Pendahuluan

Sistem pengkondisian udara (AC) adalah salah satu fasilitas yang penting untuk menciptakan suhu ruangan yang nyaman. Umumnya gedung perkantoran menggunakan sistem pengkondisian udara terpusat sebagai bagian dari sistem HVAC (*Heating, Ventilating and Air-Conditioning*). Pada sistem ini, pengkondisian udara dilakukan terpusat dan kemudian didistribusikan ke seluruh gedung melalui *ducting* [1]. Untuk menciptakan udara yang segar di dalam ruangan, maka jalur distribusi udara disalurkan melalui 3 sistem, antara lain; jalur suplai udara terkondisikan, jalur udara segar (*fresh air*), dan jalur pembuangan udara (*exhaust air*). Udara terkondisikan yang didistribusi melalui instalasi *ducting* masuk ke dalam ruangan melalui *Supply Air Grille* (SAG). Karena peran penyebaran udara diatur oleh SAG, maka desain SAG sangat berpengaruh terhadap penyebaran udara yang terdistribusi ke dalam ruangan secara baik.

Metode analisis menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) sangat membantu dalam menangkap fenomena fisis aliran di dalam ruangan yang mana fenomena tersebut sulit dideteksi pada eksperimen [2]–[4]. Untuk itu analisis pengaruh geometri SAG dapat mudah dianalisis dengan menggunakan CFD. Penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa penggunaan metode CFD, fenomena-fenomena fisis yang terjadi di sekitar dan di dalam benda uji dapat dengan mudah dianalisis. Fenomena-fenomena tersebut sulit dideteksi dengan metode eksperimental, oleh karenanya CFD banyak digunakan untuk analisa mendetail berkaitan dengan fenomena-fenomena tersebut. Metode CFD juga mampu menekan biaya

dan waktu yang diperlukan dalam menganalisis fenomena-fenomena tersebut karena metode CFD dilakukan secara komputerisasi [5].

SAG sangat berperan penting dalam pengaturan dalam ruangan, sehingga SAG harus didesain secara baik. Ada banyak jenis SAG yang digunakan di berbagai aplikasi distribusi udara dengan berbagai bentuk seperti *ceiling diffuser* yang berbentuk persegi, *linear diffuser* yang berbentuk persegi panjang, *round diffuser* yang berbentuk bulat, dan lain-lain. Masing-masing dari mereka memiliki fungsi khusus untuk menyediakan kondisi kenyamanan termal untuk penghuni ruang serta distribusi udara yang baik [6].

Chuhadaroglu et. al. [7] dalam penelitiannya menunjukkan bahwa kecepatan udara yang merupakan komponen penting untuk kenyamanan kondisi di dalam ruangan yang berventilasi, dapat berubah secara drastis tergantung pada jarak *diffuser* dari *fan outlet*. Selain itu, jelas bahwa karena kurangnya kapasitas distribusi udara yang efektif dari *diffuser* biasa, kondisi kenyamanan yang diperlukan tidak dapat dipertahankan dan juga sensor dalam sistem kontrol otomatis akan mengaktifkan sistem dengan nilai yang tidak tepat. Untuk alasan ini, dengan menggunakan sistem distribusi yang lebih baik di dalam ruangan berventilasi, pengaplikasian dilakukan untuk memastikan kondisi kenyamanan yang diperlukan dan juga memberikan solusi yang realistis, hemat energi, dan pengendalian kondisi udara yang tepat. Dalam penelitian yang lain, Al Tuarihi [8] menghasilkan temuan bahwa jenis *diffuser* yang cocok menurut termal manusia adalah jenis *4-way direction-square*. Dari hasil perbandingan nilai-nilai *Air Distribution Performance Index* (ADPI) dihitung untuk semua kasus, nilai maksimum dihasilkan pada tipe *grille* dengan area terluas, sedangkan nilai minimum ditemukan dari tipe dengan area *grille* yang terkecil.

Simulasi yang dilakukan secara numerik pada ruang Terminal 2 Bandar Udara Juanda [9] dilakukan untuk mencari konfigurasi terbaik dari penempatan *diffuser* agar penumpang merasakan kenyamanan. Kontur temperatur dianalisis terhadap tinggi *inlet diffuser*. Dari hasil penelitian tersebut menunjukkan adanya pengaruh posisi *diffuser* dan variasi kecepatan udara masuk terhadap distribusi temperatur ruang terkondisi. Kesimpulan yang serupa juga ditunjukkan pada Referensi [10]. Pada penelitian ini juga dianalisis pengaruh kemiringan bilah *diffuser* terhadap distribusi temperatur.

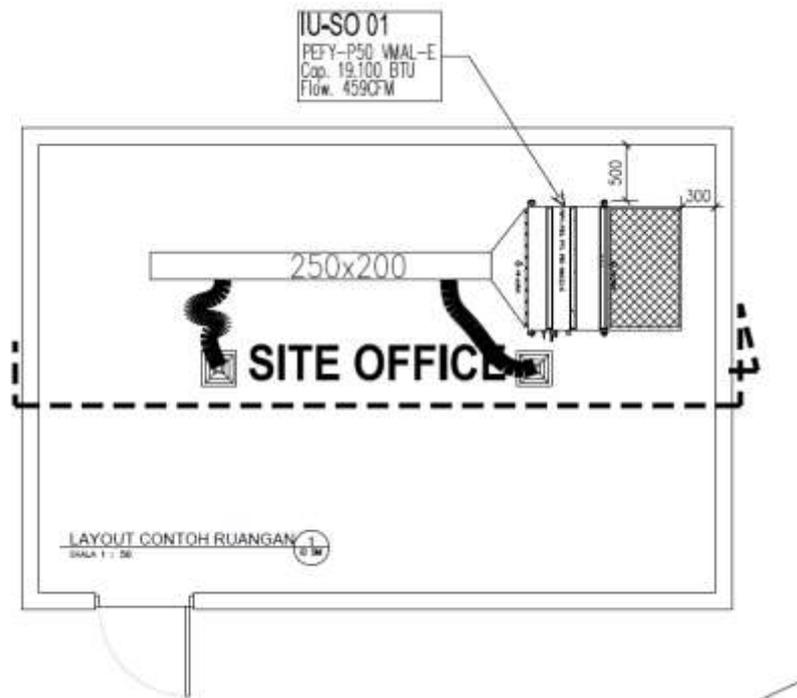
Tabel 1. Bentuk geometri *diffuser*

Tipe <i>diffuser</i>	Bentuk geometri	Keterangan	Referensi
4-way <i>direction square</i>		Berbentuk persegi dan memiliki 4 arah semburan dalam pendistribusian suhu, biasanya sering digunakan pada lobi, koridor dan juga dalam ruangan.	[1]
Linear		Berbentuk persegi panjang dan hanya memiliki 1 arah semburan dalam pendistribusian suhu, biasanya sering digunakan pada lobi koridor dan juga dalam sebuah ruang perkantoran	[11]

Kenyamanan termal baik di dalam ruang maupun di luar bangunan dibutuhkan untuk menjaga kondisi psikologis, fisiologis, dan pola perilaku seseorang dalam keadaan baik. Szokolay [12] menyebutkan kenyamanan sangat bergantung pada variabel iklim, seperti radiasi akibat paparan matahari, suhu udara, kelembapan udara, dan juga kecepatan angin di sekitar bangunan. Kecenderungan dari meningkatnya suhu bumi akibat pemanasan global memaksa manusia untuk melakukan rekayasa teknologi guna mengondisikan udara ruangan yang nyaman. Oleh karena itu, penelitian ini akan terfokus pada analisis pengaruh kecepatan udara terhadap distribusi suhu dan pola aliran udara dalam ruangan. Selanjutnya, penelitian akan dikembangkan pada analisis pengaruh geometri SAG terhadap distribusi suhu dan pola aliran udara dalam ruangan sebagaimana yang terlihat pada Tabel 1.

II. Metode Numerik

Dalam penelitian ini, ukuran ruangan yang digunakan memiliki panjang 4 meter, lebar 6 meter dan tinggi 4 meter. Desain skematis ruangan dapat dilihat pada Gambar 1, sedangkan spesifikasi ruangan dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 1. Layout ruangan.

Tabel 2. Spesifikasi ruangan

No	Spesifikasi	Simbol	Satuan	Nominal (mm)
1	Panjang ruangan	P	mm	4000
2	Lebar ruangan	L	mm	6000
3	Tinggi ruangan	t	mm	4000
4	Square diffuser	-	mm	2 (250x250)

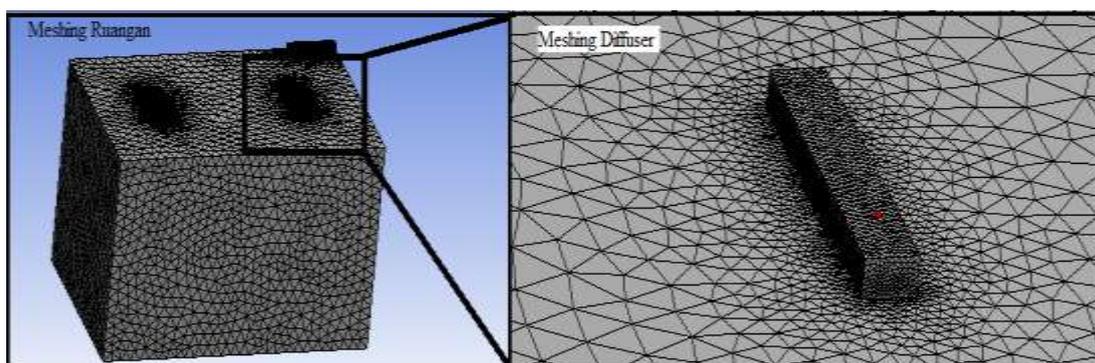
5	<i>Linear diffuser</i>	-	mm	2 (1000x100)
6	<i>Round diffuser</i>	-	mm	2 (Ø203)
7	Kecepatan udara masuk	V_{in}	m/s	1,6, 3,1 dan 4,6.
8	Temperatur udara masuk	T_{in}	K	292
9	Temperatur ruangan	$T_{ambient}$	K	303

Proses analisis geometri SAG pada ruangan ini menggunakan perangkat lunak ANSYS FLUENT 17.0. Proses simulasi dimulai dari tahap geometri, *mesh*, *setup*, *solution*, dan *result*. Tahapan-tahapan simulasi tersebut harus dilakukan secara berurutan dan dilakukan sesuai dengan penjelasan. Pada tahap geometri ini mengimpor gambar *diffuser* dan ruangan yang telah digambar menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor 2016 ke dalam *Design Modeler* ANSYS Fluent. Setelah semua gambar untuk masing-masing geometri diimpor langkah selanjutnya melakukan *boolean* pada gambar tersebut untuk mendefinisikan daerah yang terisi oleh fluida sepenuhnya. Proses *boolean* untuk mengurangi atau menghilangkan daerah-daerah yang tidak terisi oleh fluida [5]. Pada geometri ruangan dengan jenis SAG *linear diffuser*, proses *boolean* yang dilakukan adalah membuat daerah ruang kosong sebagai target *body* dengan *diffuser* sebagai *Tool Body*, seperti ditampilkan dalam Gambar 2 dan Gambar 3.

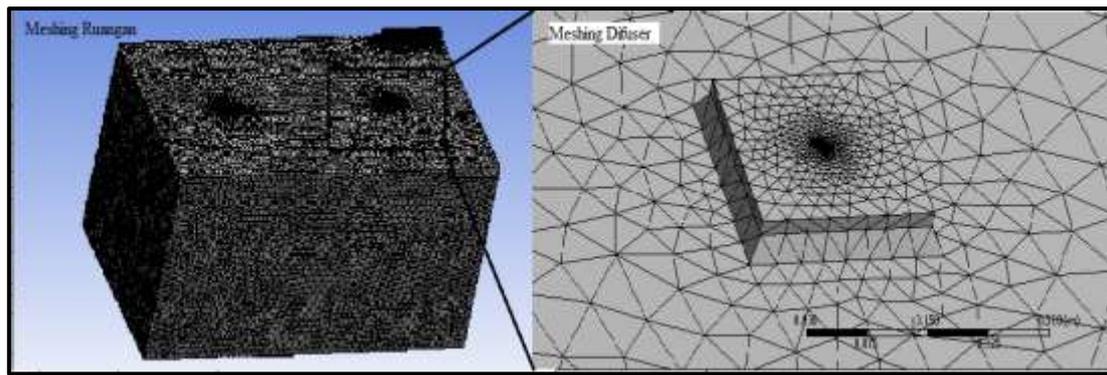
Pada tahap *mesh*, dilakukan pencacahan objek menjadi elemen-elemen kecil yang dihubungkan oleh titik-titik (*nodes*) yang sudah dibuat pada tahap geometri. Jumlah *nodes* dan *element* di dalam hasil *mesh* ditampilkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Jumlah *nodes* dan *element* dalam *mesh*

Domain	<i>Mesh static</i>	<i>Linear diffuser</i>	<i>Square diffuser</i>
Ruangan	<i>Nodes</i>	332430	256310
	<i>Elements</i>	1828414	1386393



Gambar 2. Meshing dari ruangan dengan *linear diffuser*



Gambar 3. Meshing dari ruangan dengan *square diffuser*

Boundary condition yang digunakan pada simulasi ini adalah *mass flow rate* pada sisi masuk. Nominal *mass flow rate* pada percobaan pertama sebesar 0,35 kg/s, percobaan kedua 0,68 kg/s dan percobaan ketiga sebesar 1,01 kg/s sesuai dengan kecepatan aliran yang diinginkan. Tekanan *gauge* referensi yang digunakan adalah 0 atm, maka tekanan pada sisi keluar (*outlet*) yang terletak di pojok atas ruangan sama dengan tekanan atmosfer yaitu 101325 Pa.

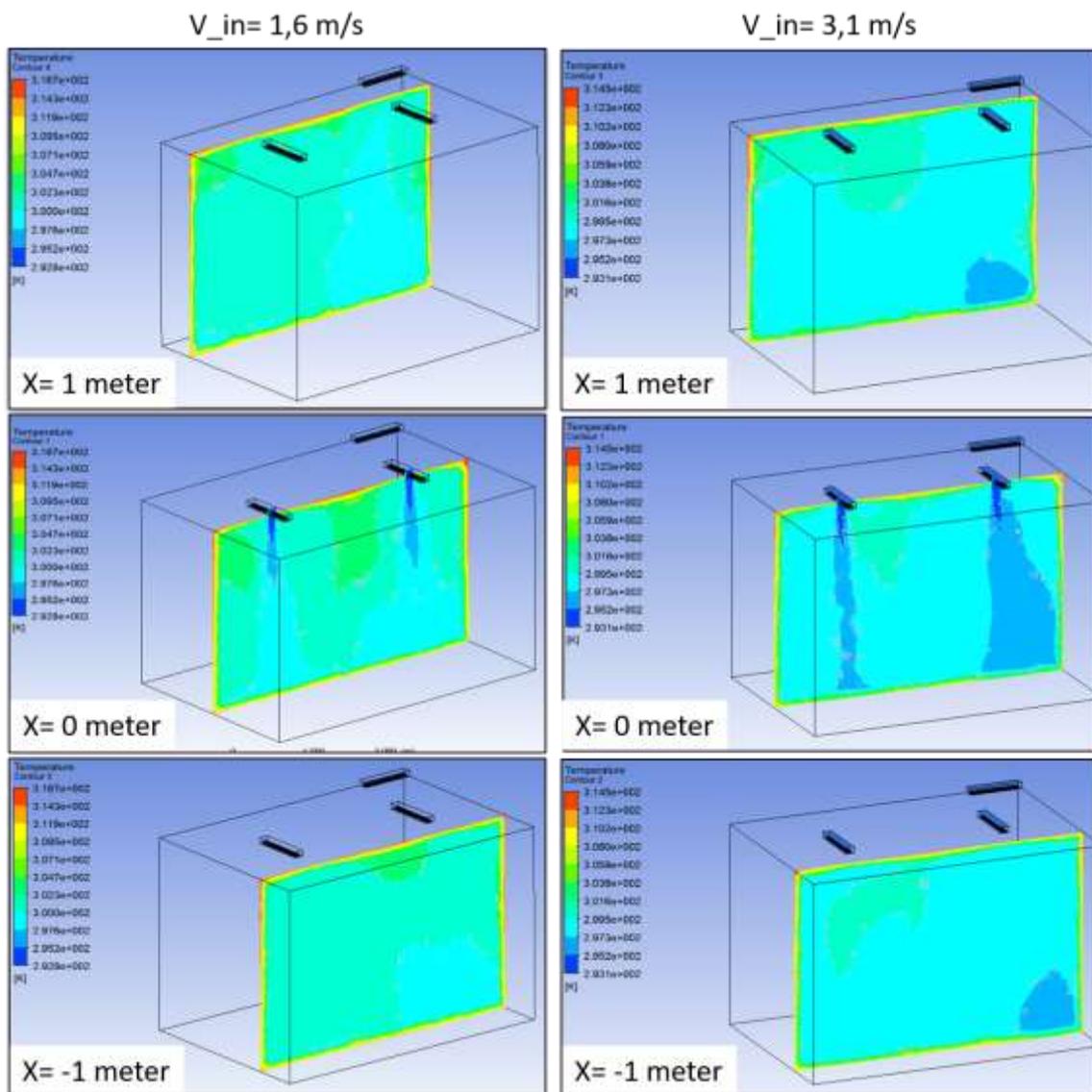
III. Hasil dan Pembahasan

Gradien temperatur dari posisi vertikal yang terlalu besar pada suatu ruangan merupakan salah satu masalah utama sesuai dengan apa yang tercantum pada sistem STARD (*Stratified Air Distribution*) [13] dan ASHRAE Standard 55-2004 [14]. Pengaruh dari 2 buah geometri *diffuser* diteliti menggunakan metode simulasi numerik untuk ruangan dengan variasi kecepatan aliran inlet berbeda (1,6 m/s, 3,1 m/s dan 4,6 m/s) untuk mengetahui pengaruhnya terhadap distribusi temperatur. Hasil dari simulasi berupa kontur temperatur ditampilkan dan dibahas pada bagian berikut ini.

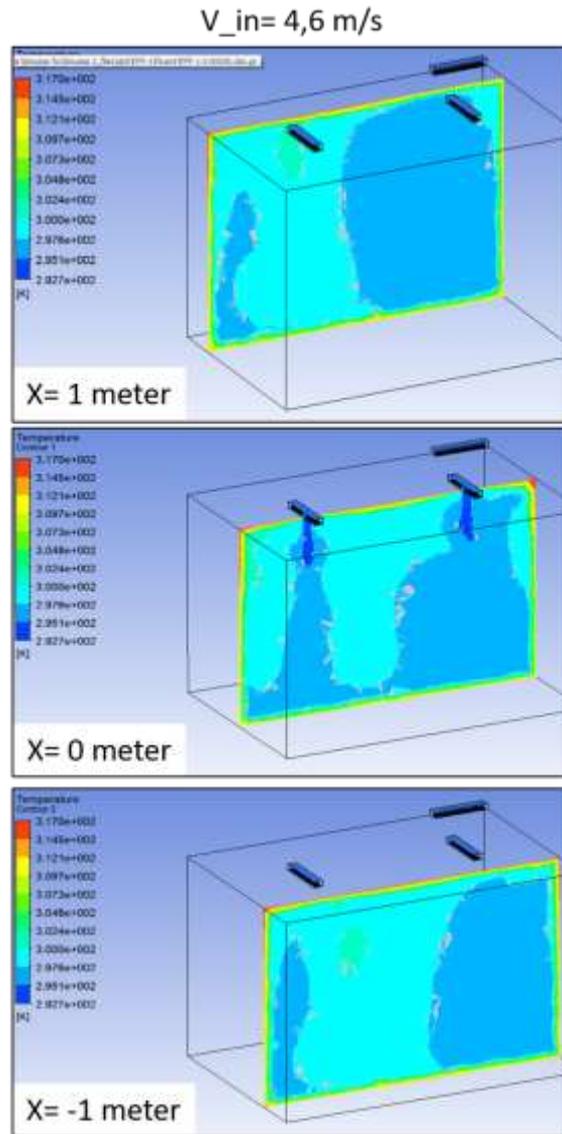
Kontur temperatur dari *diffuser* tipe linear dengan variasi kecepatan inlet yang diukur pada bidang $X=1$, $X=0$ dan $X=-1$ meter, dimana bidang referensi $X=0$ m terletak tepat pada tengah ruangan bertepatan dengan posisi *grille* terpasang, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4 dan 5. Pada gambar 4 menunjukkan perbandingan distribusi temperatur pada $V_{in} = 1,6$ dan 3,1 m/s. Dari hasil tersebut terlihat temperatur rata-rata ruangan adalah 300, 299, dan 297 K untuk masing-masing $V_{in} = 1,6$, 3,1 dan 4,5 m/s dimana menurut referensi kenyamanan termal untuk daerah tropis berada pada temperatur 293,5 – 297,5 K [15], sehingga kenyamanan termal yang diharapkan tercapai pada kecepatan 4,5 m/s. Namun dengan kecepatan aliran 4,5 m/s menimbulkan dampak lain terhadap kenyamanan, dimana kenyamanan termal idealnya kecepatan aliran udara berada pada kisaran 1-2 m/s [16]. Untuk meningkatkan kinerja pendinginan maka temperatur aliran inlet harus diatur pada titik yang lebih rendah.

Sedangkan hasil yang ditunjukkan dari SAG tipe *square* memperlihatkan temperatur rata-rata pada ruangan yaitu 297, 296,5 dan 296 K pada masing-masing $V_{in} = 1,6$, 3,1 dan 4,5 m/s, sebagaimana yang ditunjukkan Gambar 6 dan 7. Hasil ini menunjukkan bahwa kinerja pendinginan dari *grille* tipe *square* lebih baik dari tipe linear. Hal ini dapat terjadi karena geometri dari SAG tipe *square* mempunyai bilah dengan orientasi 4 arah aliran berbeda sehingga aliran udara lebih tersebar merata keseluruhan ruangan. Sedangkan *grille* tipe linear mempunyai bilah yang berorientasi hanya pada satu arah saja sehingga distribusi temperatur tidak merata. Namun demikian, kenyamanan termal baru didapatkan pada kecepatan aliran mulai dari 3,1 m/s sehingga perlu peningkatan suhu pada aliran masuk agar kinerja

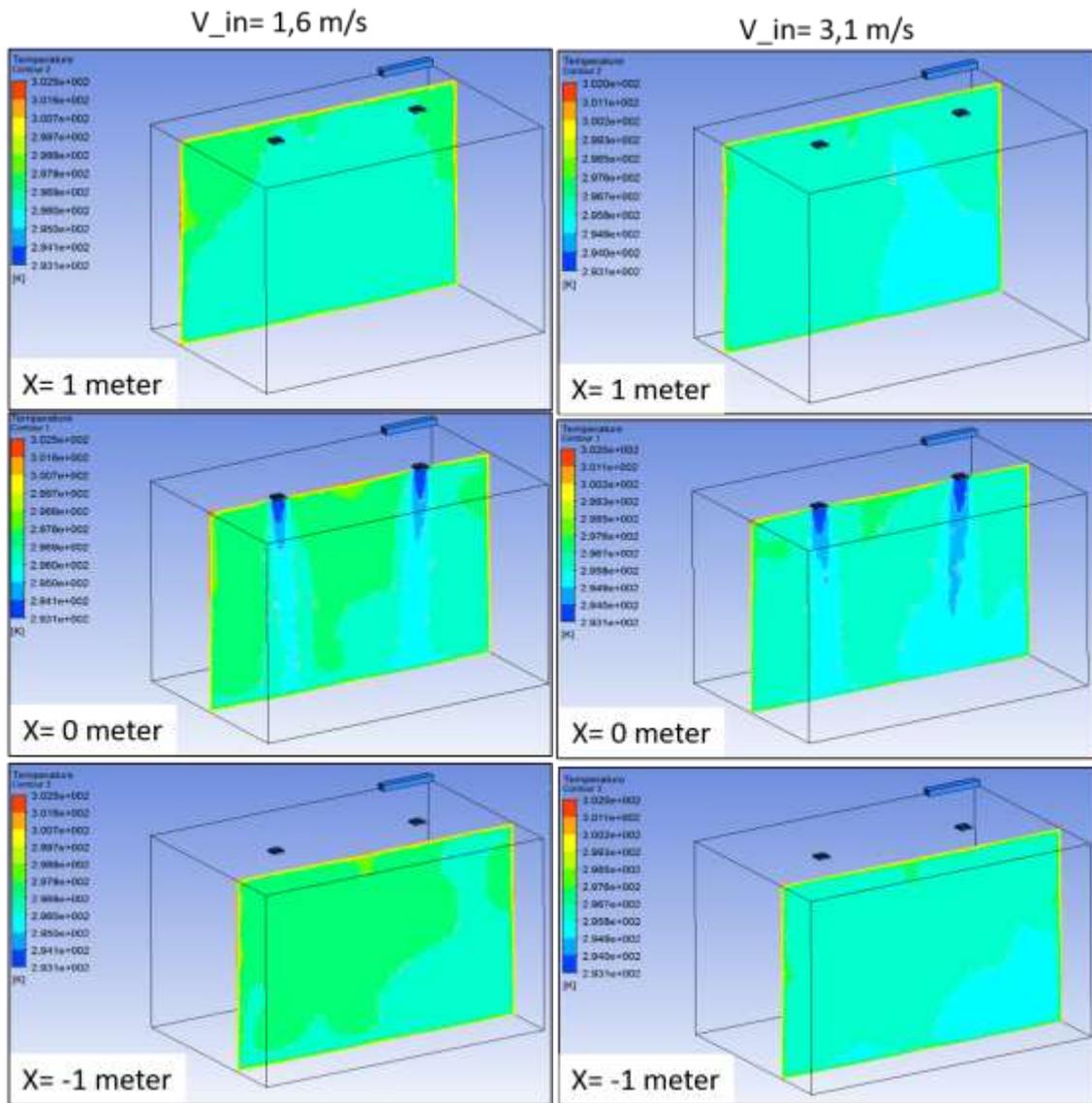
pendinginan pada kecepatan aliran di bawah 2 m/s dapat mencapai temperatur yang diinginkan.



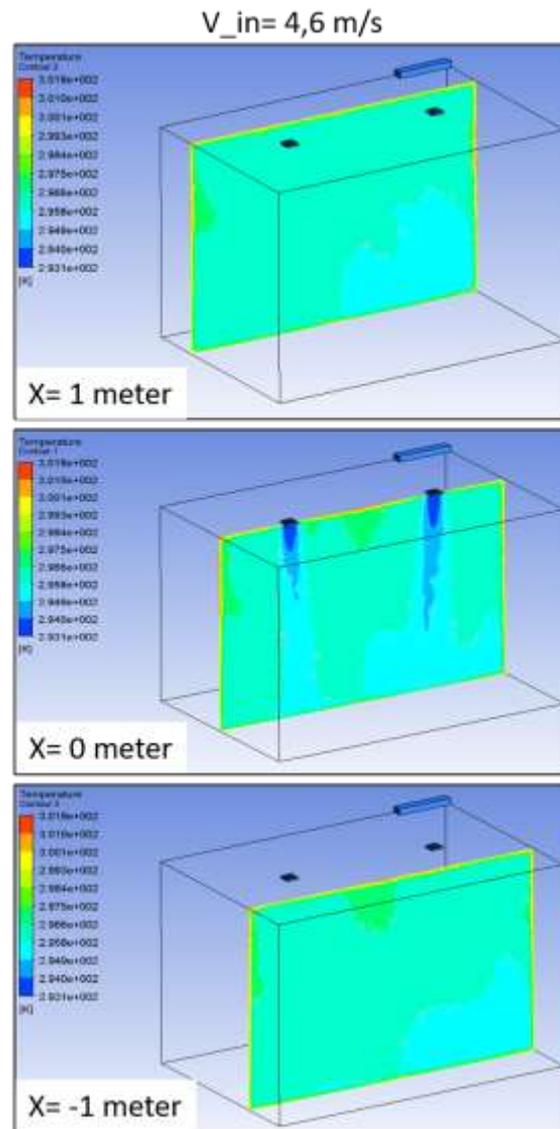
Gambar 4. Kontur temperatur dari ruangan pada penampang X = 1 , 0 dan -1 meter untuk SAG tipe *linear diffuser* dengan kecepatan aliran inlet $V_{in} = 1,6$ dan $3,1$ m/s.



Gambar 5. Kontur temperatur dari ruangan pada penampang $X = 1$, 0 dan -1 meter untuk SAG tipe *linear diffuser* dengan kecepatan aliran inlet $V_{in} = 4,6 \text{ m/s}$.

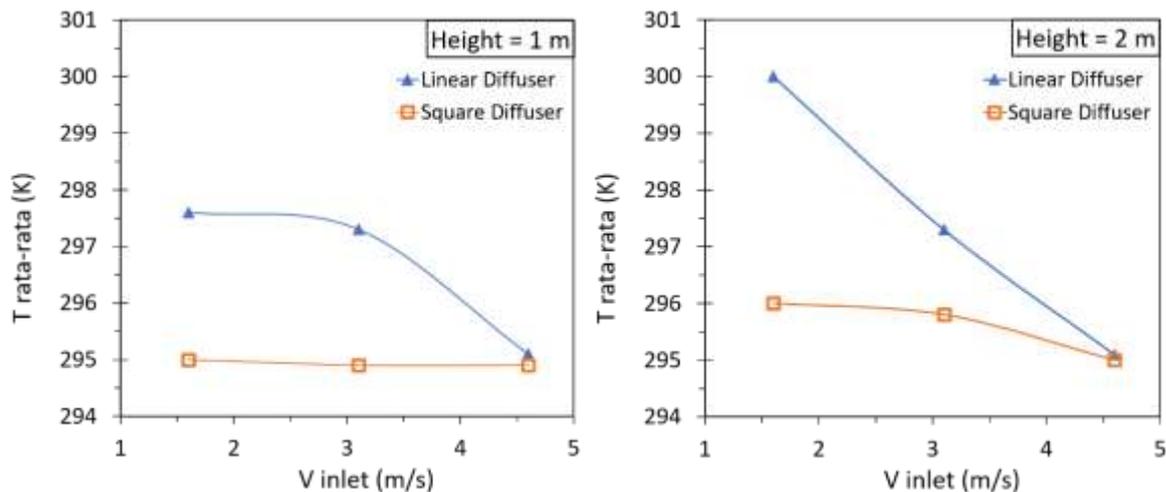


Gambar 6. Kontur temperatur dari ruangan pada penampang X=1 , 0 dan -1 meter untuk SAG tipe *square diffuser* dengan kecepatan aliran inlet $V_{in} = 1,6$ dan $3,1$ m/s.



Gambar 7. Kontur temperatur dari ruangan pada penampang X=1, 2 dan 3 meter untuk SAG tipe *square diffuser* dengan kecepatan aliran inlet $V_{in} = 4,6 \text{ m/s}$.

Gambar 8 menampilkan hasil distribusi temperatur secara vertikal pada posisi ketinggian $H = 1 \text{ meter}$ dan $H = 2 \text{ meter}$ yang merupakan jarak dari permukaan lantai untuk kedua tipe SAG pada kecepatan aliran inlet yang bervariasi. Dari hasil ini dapat diketahui gradien perubahan suhu pada posisi vertikal. Pada SAG tipe linear dapat terlihat peningkatan suhu yang sangat signifikan pada kecepatan inlet $1,6 \text{ m/s}$, sedangkan pada kecepatan lainnya gradien suhu tidak terlalu signifikan perubahannya. Pada tipe SAG *square*, gradien peningkatan temperatur pada posisi vertikal terjadi perubahan yang tidak signifikan pada kecepatan $1,6$ dan $3,1 \text{ m/s}$ sedangkan pada kecepatan $4,6 \text{ m/s}$ cenderung tidak ada perubahan temperatur. Dari perbandingan hasil ini, maka dapat disimpulkan bahwa distribusi temperatur secara vertikal dari SAG tipe *square* lebih merata dibandingkan dengan tipe linear.



Gambar 8. Perbandingan temperatur rata-rata ruangan pada ketinggian 1 meter dan 2 meter dari permukaan lantai terhadap kecepatan aliran inlet pada tipe diffuser yang berbeda.

IV. Kesimpulan

Dua buah tipe SAG dengan geometri (tipe linear dan *square*) yang berbeda diteliti secara numerik. Distribusi temperatur dianalisis pada bidang horizontal dan vertikal dengan variasi kecepatan inlet 1,6, 3,1 dan 4,6 m/s. Dari hasil penelitian ini, diketahui bahwa SAG tipe *square* mampu mencapai kenyamanan termal lebih baik daripada tipe linear. Distribusi temperatur yang dihasilkan oleh SAG tipe *square* juga menunjukkan temperatur yang lebih merata di seluruh ruangan dibandingkan dengan tipe linear. Gradien temperatur pada posisi vertikal yang menjadi fokus dalam hal kenyamanan termal yang dihasilkan dari tipe *square* juga lebih baik dari tipe linear. Namun, kenyamanan termal bisa didapatkan pada temperatur di atas 2 m/s sehingga perlu dilakukan penyesuaian pada temperatur di aliran inlet agar kenyamanan termal dapat tercapai pada kecepatan aliran inlet di bawah 2 m/s.

Daftar Pustaka

- [1] R. H. Mohammed, "A simplified method for modeling of round and square ceiling diffusers," *Energy Build.*, vol. 64, pp. 473–482, 2013.
- [2] A. F. Sudarma and M. H. Morsy, "RANS numerical simulation of lean premixed bluff body stabilized combustor: Comparison of turbulence models," *J. Therm. Eng.*, vol. 3, no. 6, pp. 1561–1573, Nov. 2017, doi: 10.18186/journal-of-thermal-engineering.353668.
- [3] M. H. Morsy and A. F. Sudarma, "RANS numerical simulation of lean premixed bluff body stabilized combustor: Parametric study," in *International Conference on Advances in Automotive Technologies 2016 (AAT2016)*, 2016, pp. 210–217.
- [4] A. F. Sudarma and M. H. Morsy, "Numerical study of non-premixed air-methane swirl combustor flows using RANS method," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, vol. 453, no. 1, doi: 10.1088/1757-899X/453/1/012058.
- [5] A. A. Luthfie and others, "Analisis Pengaruh Perubahan Sudut Pipa Siphon Terhadap Performasi Turbin Hydrocoil Dengan Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamic (CFD)," *J. Tek. Mesin Mercu Buana*, vol. 6, no. 1, pp. 41–47, 2017.
- [6] A. Awwad, M. H. Mohamed, and M. Fatouh, "Study the Effect of Ceiling Air Diffuser

- Blade and Lip Angles Using CFD,” *Athens J. Technol. Eng.*, pp. 1–50, 2017.
- [7] A. V. Vakkasoglu, M. S. Kamer, and A. Kaya, “The effect of different diffusers designed for empty cells in central air handling units on flow and pressure drop,” *Sci. Technol. Built Environ.*, no. just-accepted, pp. 1–15, 2020.
- [8] M. H. Al Tuarihi, “Experimental and Numerical Investigation on Air Flow and Temperature Distribution under different Geometries of Displacement Ventilation Devices in an Office Room,” *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 975, p. 8887.
- [9] F. A. Wijaya and N. Ikhwan, “Simulasi Numerik Distribusi Temperatur Dan Kecepatan Udara Ruang Consession 1 Pada Lantai 2 Terminal 2 Bandar Udara Juanda, Sidoarjo,” *J. Tek. ITS*, vol. 4, no. 1, pp. B41--B46, 2015.
- [10] J. Sarsetiyanto and D. M. E. Soedjono, “Pengaruh Posisi Difuser dan Variasi Kecepatan Udara Masuk terhadap Distribusi Temperatur Ruang Terkondisi Sebuah Studi Numerik,” *J. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 1, pp. 1–7, 2006.
- [11] W. K. Chow and L. T. Wong, “Experimental studies on air diffusion of a linear diffuser and associated thermal comfort indices in an air-conditioned space,” *Build. Environ.*, vol. 29, no. 4, pp. 523–530, 1994.
- [12] O. H. Koenigsberger, T. G. Ingersol, A. Mayhew, and S. V Szokolay, “(1980)., Manual of Tropical Housing and Building. Part 1. Climatic design. Longman, London.”
- [13] S. Cho, P. Im, and J. S. Haberl, “Literature review of displacement ventilation,” 2005.
- [14] B. W. Olesen and G. S. Brager, “A better way to predict comfort: The new ASHRAE standard 55-2004,” 2004.
- [15] R. M. B. S. KP, “Kajian Kenyamanan Thermal Pada Bangunan Rumah Tinggal Arsitektur Kolonial Modern (Studi Kasus: Rumah Tinggal Karya Arsitek Liem Bwan Tjie Jl. Dr. Wahidin No. 38 Semarang),” *J. Tek. Sipil Dan Perenc.*, vol. 13, no. 1, pp. 9–20, 2011.
- [16] P. Roghanchi, K. C. Kocsis, and M. Sunkpal, “Sensitivity analysis of the effect of airflow velocity on the thermal comfort in underground mines,” *J. Sustain. Min.*, vol. 15, no. 4, pp. 175–180, 2016.