

# Performance Analyse of Air Mixed and Displacement Ventilation System in Office Room Based on Computational Fluid Dynamics

Bambang Iskandriawan<sup>1</sup>, Paulus Indiyono<sup>2</sup>, Herman Sasongko<sup>3</sup>, dan Prabowo<sup>3</sup>

**Abstract** — Air ventilation system is required for improvement as well as maintenance room air circumstance which is always clean in the whole day. Effective ventilation will enhance thermal comfort and indoor air quality therefore the productivity of occupant is expected also becomes more intense. This research deals with the influence of supply air diffuser position concerning to thermal comfort and indoor air quality viewpoints. It is inspected four categories of air ventilation system: mixed and displacement ventilation used for air supply diffuser position in the centre and at the side of the room. Thermal comfort aspect is demonstrated through velocity and temperature of the room air without considering the value of relative humidity and room surface temperature average). On the other side the indoor air quality is focused on the intensity of the CO<sub>2</sub> gas concentration which is appear inside the room gas. It applies *Fluent 6.2* as computational fluid dynamics (CFD) simulation, some research variables are exploited. Office room model is generated in *GAMBIT* software create particular office room design. Analyse result prove that the displacement centre ventilation system has more capability in the handling of room heat in addition to contaminant gas compare to the others.

**Keywords** — Ventilation, Mixed, Displacement, Diffuser, CFD Fluent

## PENDAHULUAN

Sistem ventilasi udara dioperasikan untuk sesegera mungkin mengeluarkan kontaminan yang timbul di dalam ruangan. Pencapaian efektivitas desain ventilasi membutuhkan sebuah sistem yang tidak berkelebihan beban dengan kapasitas ventilasi yang cukup. Apa saja karakteristik performans yang dibutuhkan untuk menganalisa sistem ventilasi udara seyogyanya dikaitkan dengan pembahasan penelitian-penelitian sebelumnya. Penelitian dengan topik sistem ventilasi pengalihan udara telah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya seperti dapat dilihat pada Gambar 1.

King dkk. [6] menyimpulkan bahwa implementasi

yang akurat dari sistem pengkondisian udara terstratifikasi untuk gedung dimana kualitas udara ruang dalam meningkat dapat menawarkan beberapa keuntungan. Dalam studi kasus, 1.138.195 kilowatt per tahun operasi energi listrik dapat dihemat, 50,55% dari prediksi biaya operasi dengan sistem ventilasi konvensional.

Temperatur udara stratifikasi dan efektivitas ventilasi adalah sebagian karakteristik penting dalam pembahasan ventilasi udara *displacement* menurut Hu et al. [8].

Nielsen [9] melaksanakan sebuah eksperimen dengan peralatan terminal udara yang dipasang dekat pada dinding bagian bawah. Tingkat kecepatan dan temperatur udara pada area hunian dapat dijelaskan dengan persamaan tunggal dan sebagian dengan metode pengukuran.

Tujuan penelitian Xu dkk. [13] adalah untuk menginvestigasi pengaruh dari kerugian panas melalui dinding terhadap gradien temperatur dan konsentrasi kontaminan di dalam ruangan dengan sistem ventilasi pengalihan udara.

Lau dan Chen [18] mengamati performansi ventilasi pengalihan udara dimana udara dihembuskan pada area dekat lantai dengan difusor *swirl* dan dibandingkan dengan difusor *perforated* pada beban panas tinggi (sekitar 90 W/m<sup>2</sup>). Metode eksperimen dilaksanakan sebagai perbandingan. Beberapa parameter diimplementasikan seperti *air change per-hour*; jumlah dan lokasi difusor *supply* juga posisi penghuni, furnitur, partisi dan difusor *exhaust*.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengeksplorasi pembentukan aliran udara yang unik tergantung pada posisi difusor udara *supply* dikaitkan dengan disiplin perpindahan panas konveksi berbasis dinamika fluida numerik. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada perjalanan panjang penelitian untuk mendapatkan peningkatan yang substansial dalam rangka memperbaiki kenyamanan termal dan kualitas udara ruang.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini berbasis pada simulasi *CFD (Fluent 6.2)* dengan parameter penelitian perubahan lokasi difusor udara *supply*. Program simulasi *CFD* disusun dengan membuat desain sistem ventilasi udara dan interior ruang kantor yang diperoleh dari prinsip dan regulasi yang ada. Model ruang kantor dibuat pada *software GAMBIT (Geometry and Mesh Building Intelligent Toolkit)* yang selanjutnya proses *meshing* dilakukan. Pada *Fluent 6.2*

Naskah diterima pada tanggal 14 Maret 2009, selesai revisi pada 14 Mei 2009

<sup>1</sup> Bambang Iskandriawan adalah Dosen Jurusan Desain Produk Industri, FTSP, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, INDONESIA

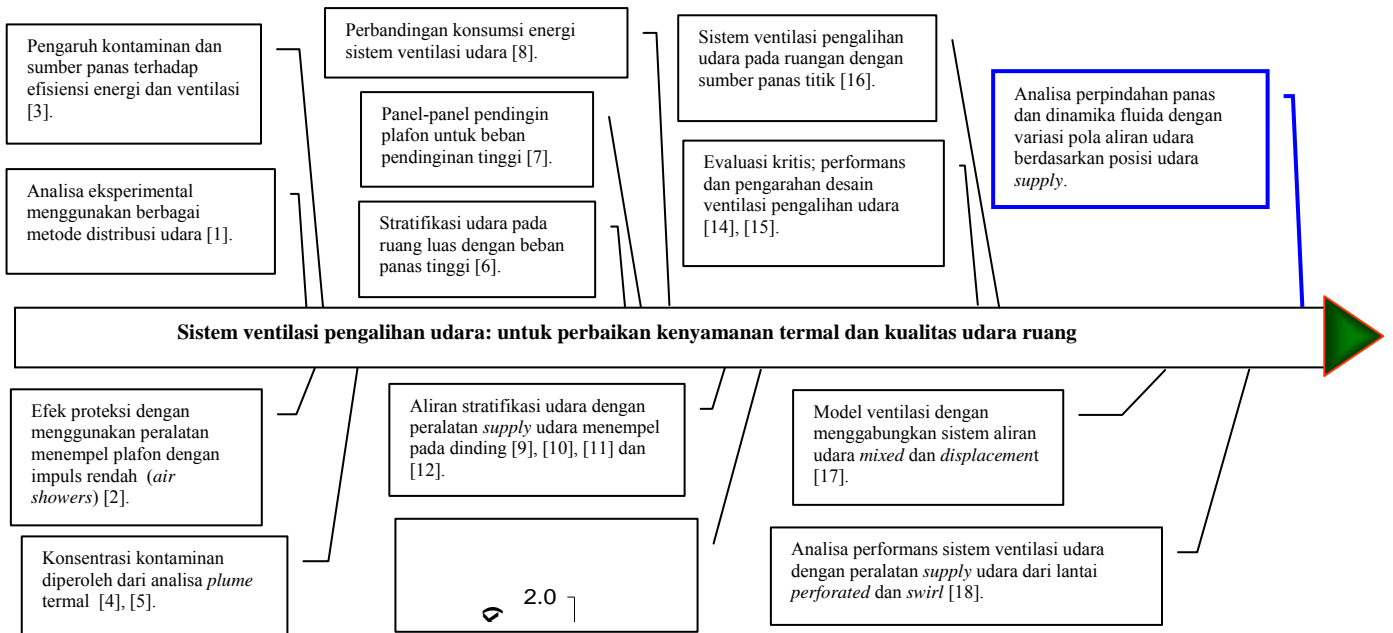
<sup>2</sup> Paulus Indiyono adalah Dosen Jurusan Teknik Kelautan, FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, INDONESIA

<sup>3</sup> Herman Sasongko dan Prabowo adalah Dosen Jurusan Teknik Mesin, FTI, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, INDONESIA

e-mail : bisk@prodes.its.ac.id

diklarifikasi sistem *boundary condition*. Ada empat jenis model aliran *viscous*: aliran *laminar* juga *k-epsilon standard*, *RNG* dan *realized*, dalam hal ini model *k-epsilon standard* dipilih karena lebih sesuai dengan

hasil yang diperoleh dari pengujian/eksperimen sistem ventilasi udara skala penuh. Model aliran *laminar* juga diimplementasikan mengingat kecepatan udara *supply* yang relatif rendah (0,2 m/detik).



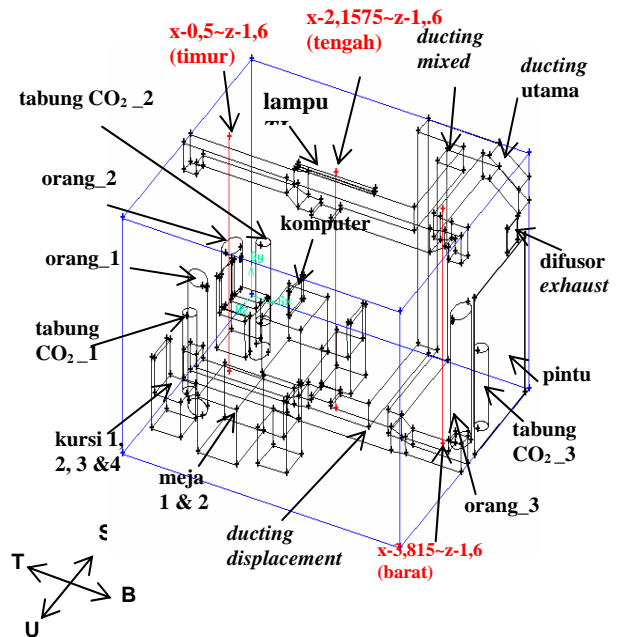
Gambar 1. Diagram tulang ikan penelitian-penelitian sistem ventilasi pengalihan udara

Berdasarkan ruang eksperimen sistem ventilasi udara (Gambar 2), model ruang kantor dengan sistem ventilasi udara dihasilkan seperti dapat dilihat pada Gambar 3.

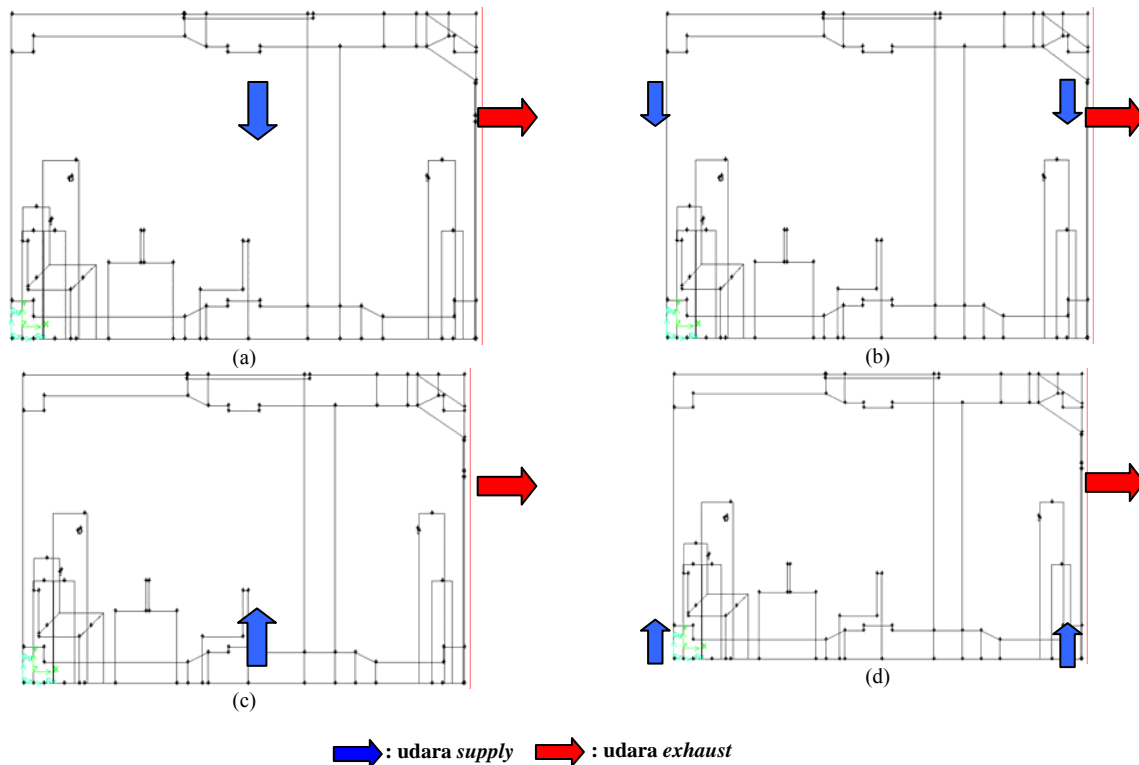
Dimensi ruang: 4,315m (x) × 3m (y) × 3,81m (z). *Initial condition* pada *heat source* dengan memberikan panas pada tubuh orang, lampu, komputer juga gas CO<sub>2</sub>. Pada saat eksperimen, *supply* CO<sub>2</sub> dari mulut orang diperoleh dari tabung gas CO<sub>2</sub>. Selanjutnya empat variasi sistem ventilasi udara diinvestigasi: *mixed centre*, *mixed side*, *displacement centre* dan *displacement side* (Gambar 4).



Gambar 2. Eksperimen sistem ventilasi udara sebagai validasi penelitian



Gambar 3. Model ruang kantor yang dibangun pada software GAMBIT yang selanjutnya diekspor ke software Fluent



Gambar 4. Empat jenis sistem ventilasi udara: *mixed centre* (a), *mixed side* (b), *displacement centre* (c) dan *displacement side* (d)

#### HASIL DAN DISKUSI

Pola aliran udara untuk empat jenis sistem ventilasi udara dapat dilihat pada Gambar 5. Pada sistem ventilasi udara *mixed* (Gambar-gambar 5a dan 5b) perjalanan udara *supply* relatif lebih panjang dikarenakan udara *supply* datang ke dalam ruangan dari ketinggian area plafon turun ke bawah ke area lantai dan kembali ke area atas yang sebagian mengarah ke difusor *exhaust*. Disisi lain, sebagian dari udara segar bergerak dari *lower zone* menuju plafon pada *upper zone* selanjutnya keluar melewati difusor *exhaust* pada sistem ventilasi *displacement* (Gambar-gambar 5c dan 5d) dimana dalam hal ini perjalanan udara relatif lebih pendek. Intensitas turbulensi udara adalah lebih tinggi pada sistem ventilasi udara *mixed*, dimana dalam hal ini akan mempengaruhi aspek kenyamanan termal dan kualitas udara ruang seperti kecepatan, temperatur dan tingkat kontaminasi udara.

Pada posisi dimana difusor udara *supply* dekat dengan dinding (*mixed* dan *displacement side*) terjadi *wall effect* dimana pola aliran udara menjadi fluktuatif yang rentan menjadi *separation zone* selanjutnya menghasilkan *3D blockage* pada sebagian ruangan.

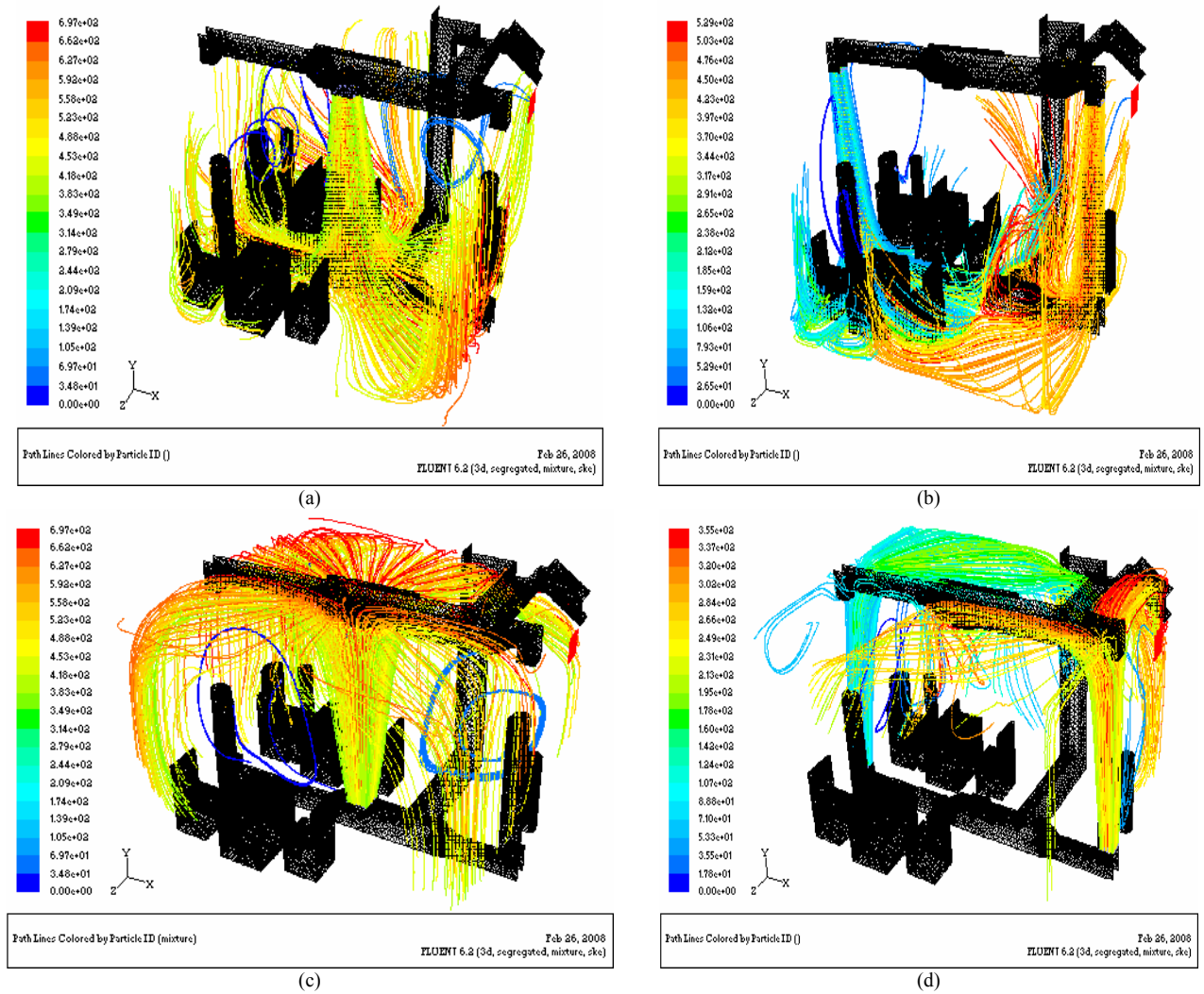
Vektor kecepatan udara dapat diobservasi pada Gambar-gambar 6 dan 7. Dimana Gambar 6 untuk elevasi  $y=0,5\text{m}$  (*lower zone*) dan Gambar 7 untuk  $y=1,5\text{m}$  (*breathing zone*). Pada area bawah, udara bergerak menyebar mengarah ke dinding menjauhi pusat hembusan udara untuk *mixed centre* (Gambar 6a). Berbeda dengan apa yang terjadi pada sistem *displacement centre*, udara langsung menuju pusat hembusan udara (Gambar 6c). Pada sistem *mixed side* (Gambar 6b), udara berbenturan antara satu dengan lainnya dimana *supply* udara dari difusor sisi atas-barat adalah kontra produktif karena u-

ra cenderung bergerak ke arah area difusor *exhaust* tanpa sebelumnya menyerap energi panas ruangan. Udara menyebar ke segala arah pada  $0,5\text{m}$  diatas lantai untuk sistem ventilasi *displacement side*, tidak ada arah aliran udara yang khas (Gambar 6d).

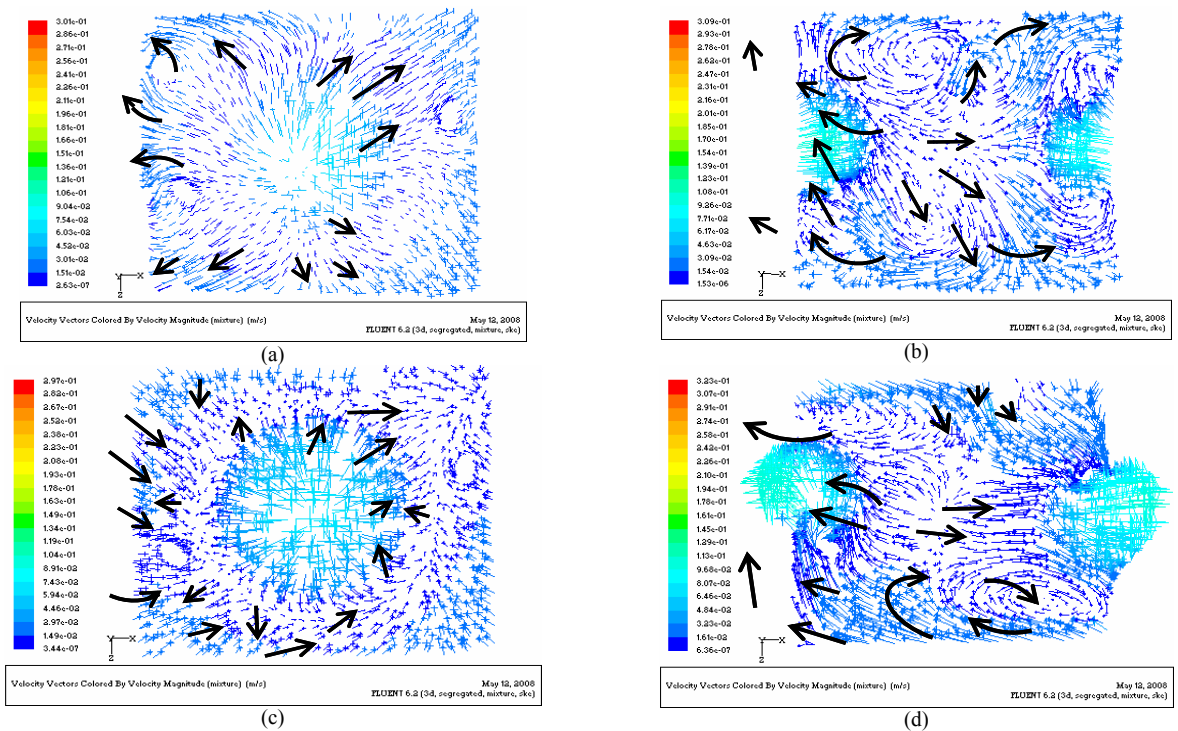
Pada *breathing zone* (pertengahan ketinggian ruangan) diameter kecepatan udara lebih besar dan rapat pada sistem ventilasi *displacement centre* dibandingkan dengan apa yang terjadi pada *mixed centre* (Gambar-gambar 7a dan 7c). Sekali lagi pada sistem-sistem ventilasi *mixed* dan *displacement side* terjadi kerenggangan udara pada area tengah ruangan (Gambar-gambar 7b dan 7d).

Dalam penelitian ini, kecepatan udara *supply*,  $V_{in} = 0,2\text{ m/s}$  untuk sistem *mixed* dan *displacement centre* dimana area difusor udara *supply*,  $A_{in} = 300 \times 300\text{ mm}^2$ . Untuk sistem *mixed* dan *displacement side*,  $V_{in} = 0,225\text{ m/s}$  dan  $A_{in} = 2 \times 200 \times 200\text{ mm}^2$ . Area difusor *exhaust*,  $A_{out} = 300 \times 300\text{ mm}^2$  dengan temperatur udara *supply*,  $T_{in} = 18\text{ }^\circ\text{C}$ . Udara sejuk menyerap energi panas yang dihasilkan oleh berbagai sumber panas yaitu penghuni, lampu dan komputer. Kapasitas gas kontaminan  $\text{CO}_2$  yang dihasilkan orang,  $C = 400\text{ ppm/orang}$  dengan kecepatan,  $V_{\text{gas}} = 0,05\text{ m/detik}$ .

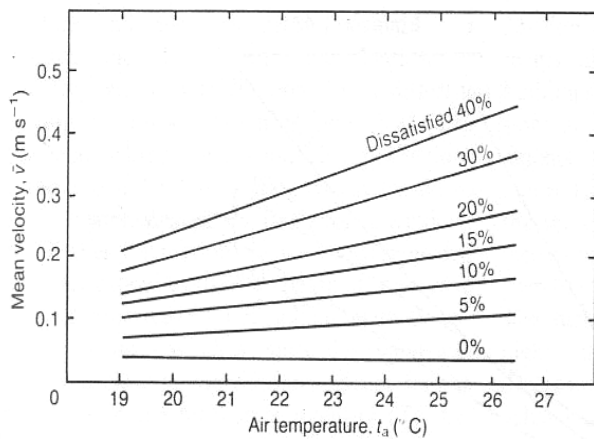
Peran kecepatan udara adalah sangat penting dalam desain sistem ventilasi udara (Gambar 8). Ketidaknyamanan termal penghuni tergantung pada empat faktor atmosferik (suhu, kecepatan, kelembaban dan suhu rata-rata permukaan ruang) juga dua faktor manusia (aktivitas dan pakaian) [19]. Semakin tinggi kecepatan udara akan menaikkan jumlah persentase ketidakpuasan penghuni, disisi lain tingginya kecepatan udara dibutuhkan untuk keberhasilan udara ventilasi membawa kontaminan keluar ruangan.



Gambar 5. Empat Path Lines sistem ventilasi udara: *mixed centre* (a), *mixed side* (b), *displacement centre* (c) dan *displacement side* (d)



Gambar 7. Vektor kecepatan udara untuk empat sistem ventilasi udara pada ketinggian ruang  $y=1,5m$  (*breathing zone*): *mixed centre* (a), *mixed side* (b), *displacement centre* (c) dan *displacement side* (d)



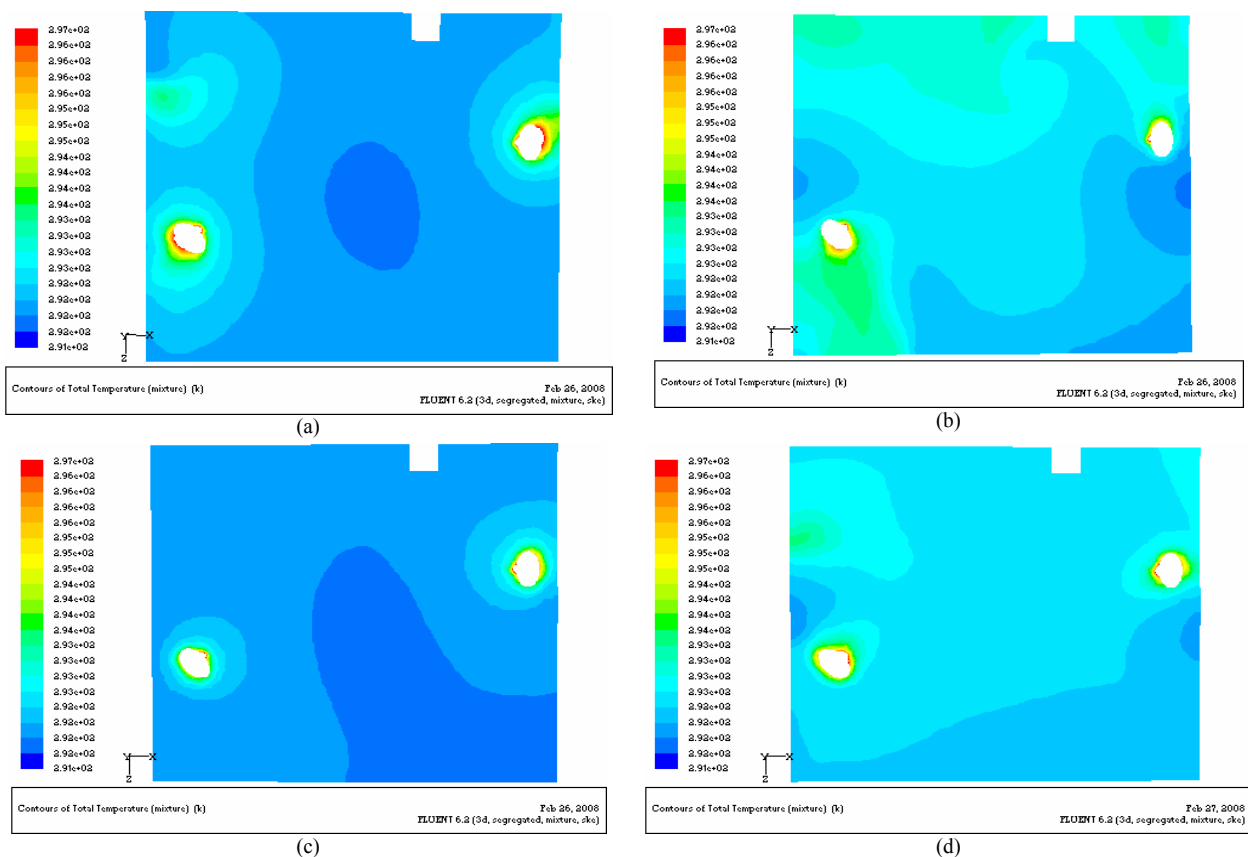
Gambar 8. Ketidaknyamanan termal berdasarkan kecepatan dan temperatur udara untuk orang duduk dengan baju normal di dalam ruangan [19]

Temperatur udara ruang pada sistem ventilasi *mixed and displacement centre* adalah lebih rendah daripada temperatur udara pada *mixed and displacement side* (Gambar 9). Sistem *displacement centre* adalah lebih baik daripada *mixed centre*, bahkan pada ketinggian ruang  $y=1,5\text{m}$  tidak nampak efek panas dari sumber panas orang\_2 pada sistem *displacement centre* (Gambar 9c).

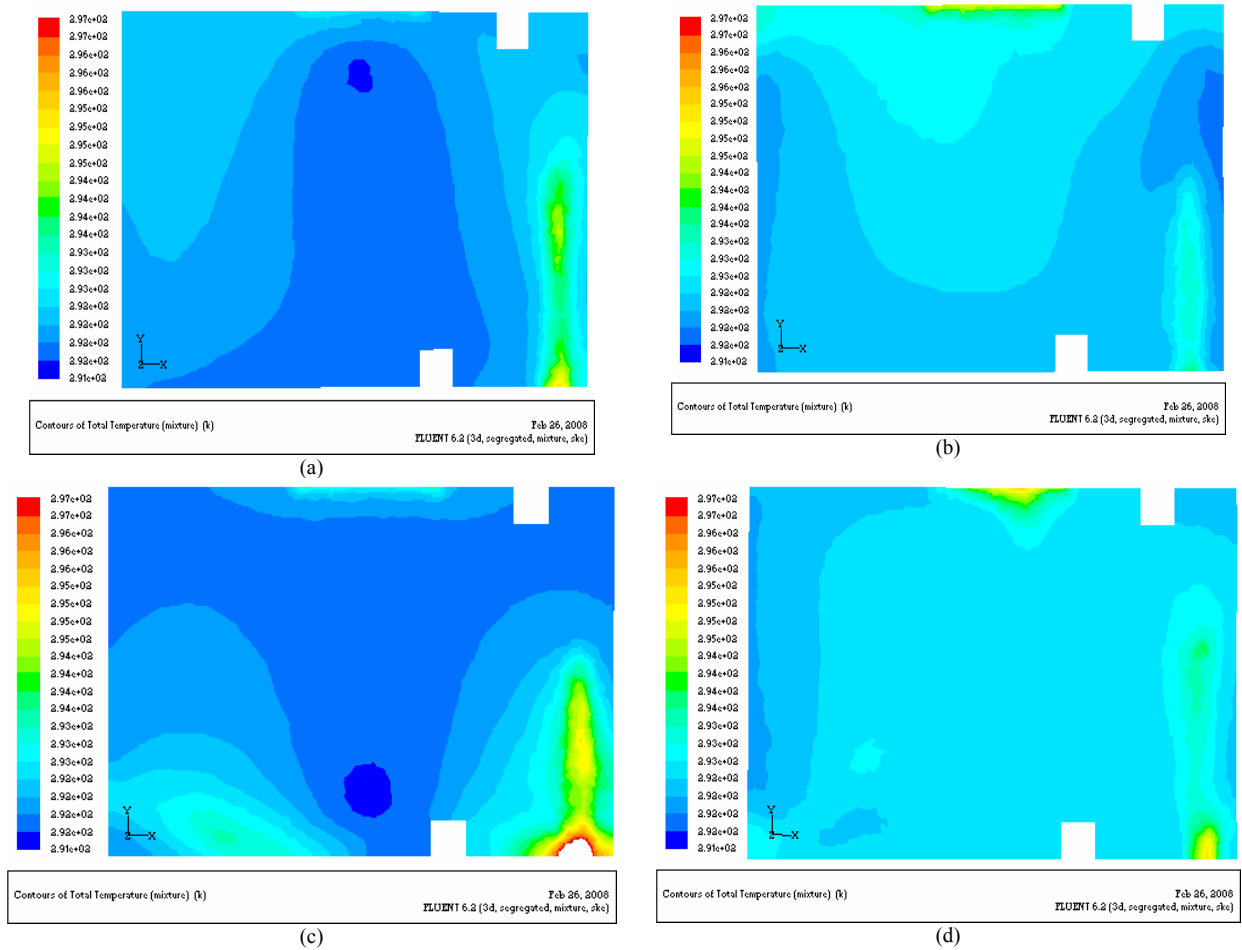
Selanjutnya pada area bidang vertikal  $z=1,6\text{m}$ , sistem ventilasi udara *displacement centre* adalah terbaik dibandingkan dengan ke tiga sistem lainnya (Gambar 10) jika kita cermati pada area sejuk yang ditimbulkan. Sayangnya sekali keberadaan orang\_3 memberikan efek temperatur tinggi disekitarnya. Demikian juga, tidak diperlukan sebuah kondisi temperatur rendah pada area diatas penghuni (*occupation height*).

Rentang perbedaan suhu yang terlalu tinggi pada ruangan (sekitar  $5,5\text{ }^\circ\text{C}$ ) dicurigai dikarenakan posisi difusor *exhaust* yang terlalu rendah ataupun temperatur sumber-sumber panas yang terlalu tinggi.

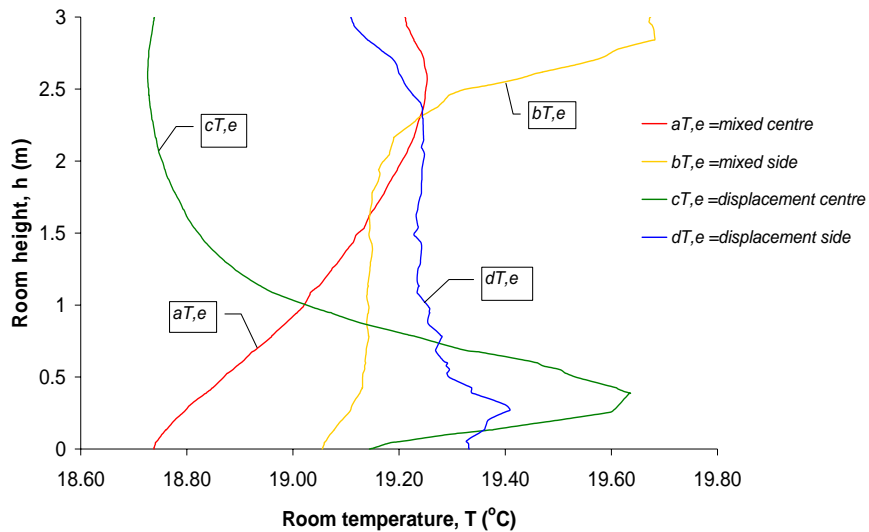
Selanjutnya pada sisi area timur ruangan, kecepatan udara cukup tinggi untuk sistem ventilasi udara *mixed and displacement side* dibandingkan dengan *mixed and displacement centre* (karena dekat dengan difusor udara *supply*) tetapi temperatur udara masih tetap lebih dingin untuk *mixed and displacement centre*. Adanya hambatan aliran udara karena adanya massa kursi dan orang\_2 cukup mengurangi kualitas sistem *displacement centre* (Gambar 11). Pada sisi tengah ruangan, sistem *displacement centre* berkompetisi terhadap *mixed centre* (Gambar 12). Walaupun tidak terlalu signifikan tetapi dapat dilihat bahwa terjadi sebuah stratifikasi temperatur pada sistem ventilasi udara *displacement centre*. Dalam hal ini dihasilkan dua buah area (*zones*): *hot zone* pada area atas dan *cold zone* pada area bawah. Pada area sisi barat, empat sistem ventilasi udara bersaing antara satu dengan lainnya terutama dengan perubahan ketinggian lokasi (Gambar 13). Kenaikan temperatur udara terjadi pada sistem *displacement centre* yang berarti udara *supply* tidak berhasil menyerap kalor yang ditimbulkan orang\_3 pada area di bawah ketinggian sekitar  $0,5\text{m}$ . Hal ini terjadi karena pada area tersebut terjadi kerenggangan udara ventilasi, *ducting* udara tidak ditanam di bawah lantai dimana ketinggian *ducting* udara sekitar  $200\text{-}300\text{ mm}$  di atas lantai.



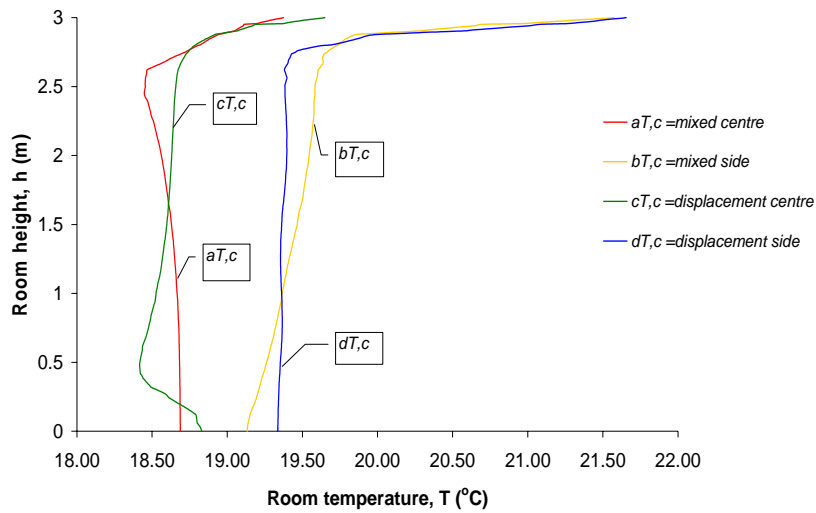
Gambar 9. Kontur temperatur udara dari empat sistem ventilasi pada ketinggian ruang  $y=1,5\text{m}$  (*breathing zone*),  $T=(18,12\text{-}23,42)\text{ }^\circ\text{C}$ : *mixed centre* (a), *mixed side* (b), *displacement centre* (c) dan *displacement side* (d)



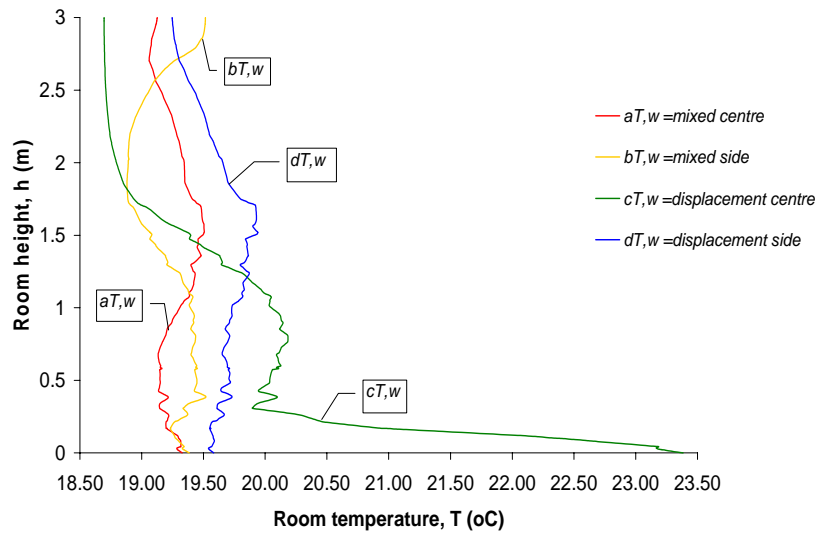
Gambar 10. Kontur temperatur udara dari empat sistem ventilasi udara pada bidang vertikal  $z=1,6\text{m}$ ,  $T=(18,20\sim 23,70)^\circ\text{C}$ : *mixed centre* (a), *mixed side* (b), *displacement centre* (c) dan *displacement side* (d)



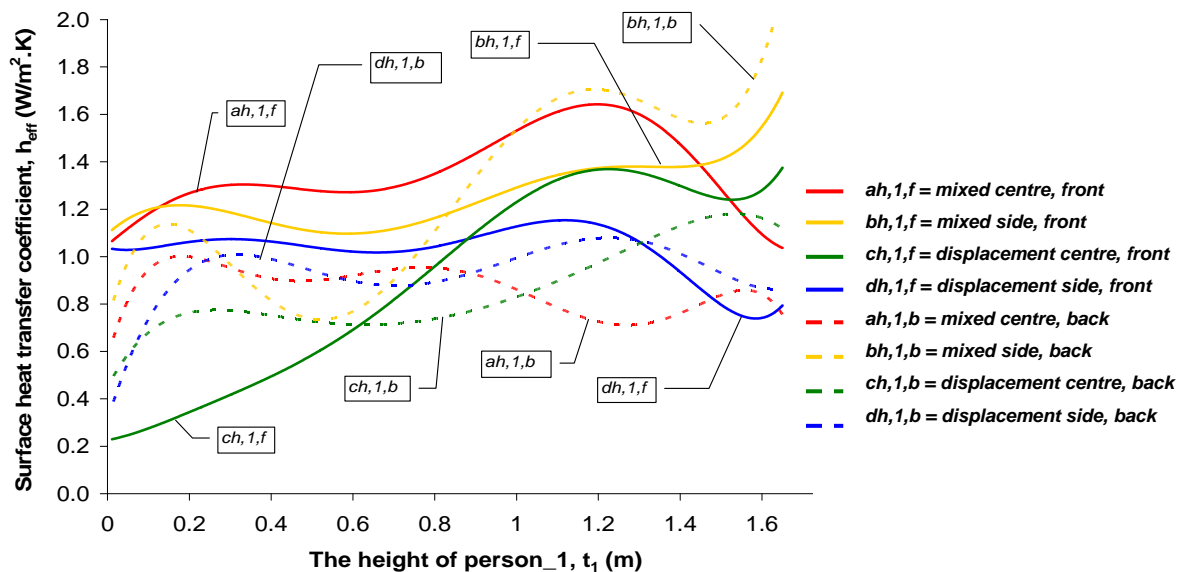
Gambar 11. Temperatur udara pada sisi timur ruangan ( $x=0,5\sim z=1,6$ ) dari ruangan ventilasi udara *mixed centre*, *mixed side*, *displacement centre* dan *displacement side*



Gambar 12. Temperatur udara pada sisi tengah ruangan (x-2,1575~z-1,6) dari ruangan dengan sistem ventilasi udara *mixed centre*, *mixed side*, *displacement centre* dan *displacement side*



Gambar 13. Temperatur udara pada sisi barat ruangan (x-3,815~z-1,6) dari ruangan dengan sistem ventilasi udara *mixed centre*, *mixed side*, *displacement centre* dan *displacement side*



Gambar 14. *Surface heat transfer coefficient* dari orang\_1 untuk sistem ventilasi udara *mixed centre*, *mixed side*, *displacement centre* dan *displacement side*

Sesuai dengan hasil pengamatan temperatur udara ruang, energi panas pada difusor *exhaust* berturut-turut adalah 138,52; 130,70; 121,96 dan 118,48 Watt untuk sistem-sistem ventilasi udara *displacement centre*, *mixed centre*, *displacement side* and *mixed side*. Sistem ventilasi udara *displacement centre* adalah terbaik dalam hal efektivitas mengeluarkan energi panas keluar ruangan. Fenomena ini terjadi karena udara *supply* pada *displacement centre* masih cukup rendah (dingin) dimana pada saat yang bersamaan mampu menyerap energi panas yang ditimbulkan oleh berbagai sumber panas lebih baik. Pada sistem ventilasi udara *displacement side*, aliran udara tidak cukup terdistribusi dengan baik di dalam ruangan (Gambar 5d) demikian juga *mixed side* (gambar 5b).

Karena temperatur udara pada sistem *displacement centre* adalah paling rendah sehingga *surface heat transfer coefficient*nya menjadi kecil khususnya di bawah ketinggian 0,8 meter (Gambar 14, untuk orang\_1). Di atas 0,8 meter, kondisi temperatur udara bersaing dengan sistem-sistem *mixed centre* dan *displacement side*.

Gambar 14 menunjukkan perbedaan *surface heat transfer coefficient* antara bagian depan dan belakang orang\_1 untuk empat jenis sistem ventilasi udara yang diimplementasikan.

*Surface heat transfer coefficient* dapat ditentukan dari persamaan 1 [20].

$$h_{eff} = \frac{q}{T_{wall} - T_{ref}} \quad (1)$$

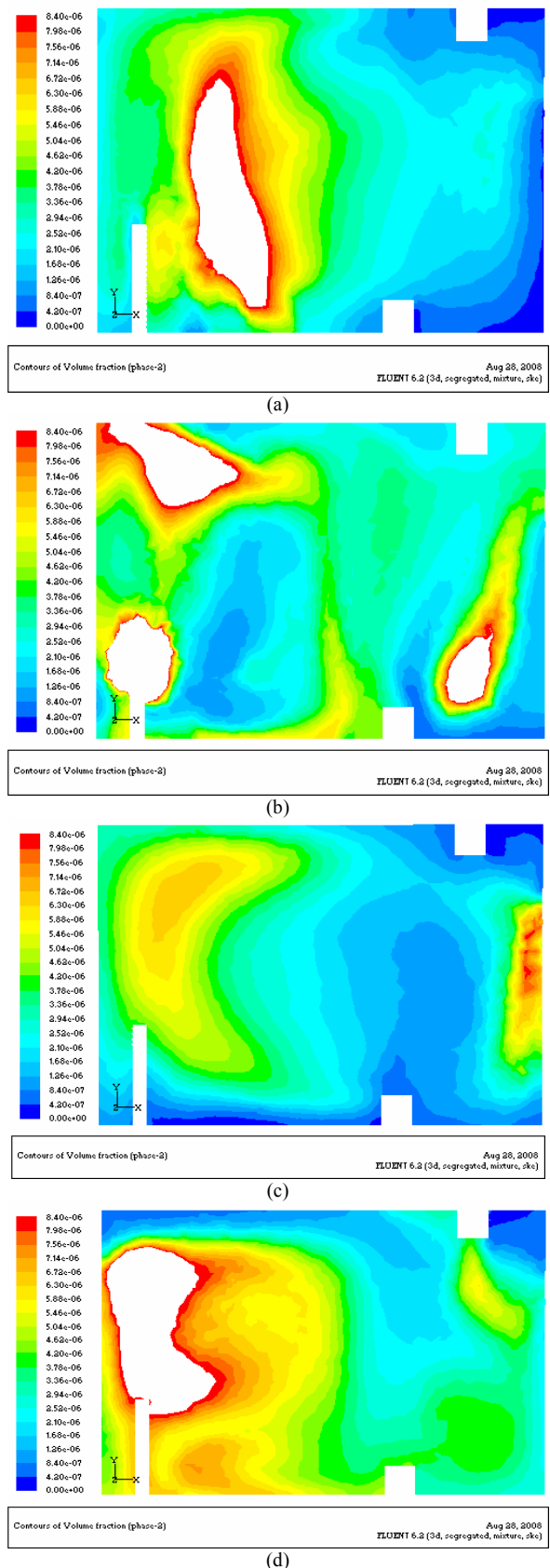
dimana:

- $h_{eff}$  = surface heat transfer coefficient (W/m<sup>2</sup>.K)
- $q$  = convective heat flux (W/m<sup>2</sup>)
- $T_{wall}$  = wall surface temperature (K) dan
- $T_{ref}$  = reference temperature (K)

Dari persamaan 1 dapat dijelaskan bahwa disamping nilai *surface heat transfer coefficient* akan tergantung pada temperatur ruangan ( $T_{ref}$ ) juga tergantung pada temperatur sumber panas ( $T_{wall}$ ).

Dalam usaha untuk membawa udara terkontaminasi yang timbul pada ruangan, sistem ventilasi udara *displacement centre* adalah yang paling efektif seperti dapat dilihat pada kontur gas kontaminan CO<sub>2</sub> untuk empat sistem ventilasi udara (Gambar 15).

Dapat dilihat pada Gambar 15c bahwa area dekat difusor *exhaust* lebih rapat gas kontaminan CO<sub>2</sub> yang berakumulasi. Disisi lain kapasitas gas kontaminan CO<sub>2</sub> yang timbul di dalam ruangan relatif cukup tinggi untuk *mixed centre* (Gambar 15a), *mixed side* (Gambar 15b) dan *displacement side* (Gambar 15d). Ruangan dengan sistem ventilasi udara *displacement centre* lebih rendah kontaminasi udara yang terjadi.



Gambar 15. Kontur gas kontaminan CO<sub>2</sub> untuk empat sistem ventilasi udara pada bidang vertikal z = 0,47m, C=(0~8,4)ppm: *mixed centre* (a), *mixed side* (b), *displacement centre* (c) dan *displacement side* (d)



## KESIMPULAN

Posisi difusor udara *supply* akan menentukan performans sistem ventilasi udara. Pola aliran udara dari empat sistem ventilasi udara cukup berbeda secara signifikan. Semakin menjauh dari difusor udara *supply* kecepatan udara akan melambat baik pada sistem ventilasi *mixed* (udara ke bawah) maupun *displacement* (udara ke atas).

Temperatur udara ruang adalah lebih rendah pada sistem ventilasi udara *displacement centre* dibandingkan dengan sistem *mixed centre* apalagi dengan *mixed side* dan *displacement side*. Kualitas distribusi udara adalah sangat penting, itulah sebabnya maka sistem ventilasi udara *mixed centre* adalah lebih baik jika dibandingkan dengan *mixed* dan *displacement side* walaupun masih tidak sebegitu sistem *displacement centre*.

Selaras dengan apa yang telah diperoleh dari analisa temperatur udara (*heat transfer*), sistem ventilasi udara *displacement centre* adalah terbaik dalam rangka mengalirkan gas kontaminan CO<sub>2</sub> keluar ruangan melalui difusor udara *exhaust* (*mass transfer*).

Pada sistem ventilasi udara *displacement centre*, ketinggian *ducting* udara segar perlu direvisi karena udara *supply* tidak dapat melalui area sisi barat bagian bawah.

Tata letak perabot dan peralatan ruang interior lainnya adalah sangat krusial pada implementasi sistem ventilasi udara *displacement*. Keberadaannya dapat menghambat laju aliran udara *supply* (*obstacle*) yang akan membawa energi panas ke difusor *exhaust*.

Kenyamanan termal dan kualitas udara ruang telah dibandingkan untuk sistem-sistem ventilasi udara *mixed centre*, *mixed side*, *displacement centre* dan *displacement side*. Dari aspek kemampuan membawa energi kalor keluar ruangan dan kemampuan mengeluarkan gas kontaminan CO<sub>2</sub> yang berakibat pada cukup dinginnya temperatur ruangan dan tidak tingginya kontaminasi gas di dalam ruangan ternyata sistem ventilasi udara *displacement centre* yang lebih baik. Adanya *wall boundary layer* pada sistem-sistem *mixed* dan *displacement side* akan rentan sekali menghasilkan *separation zone* sehingga menimbulkan *3D blockage* pada area tengah ruangan. Masih dipilihnya peletakan difusor udara *supply* pada daerah dekat dinding pada desain ruangan tertentu dikarenakan pertimbangan aspek estetika ruangan.

Eksplorasi penelitian dapat dilanjutkan untuk memperoleh variabel terbaik pada sistem ventilasi udara *displacement centre* misalkan dengan merubah posisi difusor udara *exhaust*, bentuk ruangan, kapasitas udara ventilasi dan jenis difusor udara *supply*.

Analisa non-dimensional sistem ventilasi udara dengan menggeser posisi difusor udara *supply* diantara posisi '*side*' dan '*centre*' baik untuk sistem ventilasi udara *mixed* maupun *displacement* juga menarik untuk dilakukan sehingga dapat dicermati gradasi kualitas

sistem ventilasi udara berdasarkan pergeseran letak difusor udara *supply*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Holmberg, R.B., K. Folkesson, L.G. Stenberg and G. Jansson. 1987, "Experimental Analysis of Office Climate Using Various Air Distribution Methods". Proceedings of ROOMVENT 1987.
- [2] Kristensson, J.A. and Lindqvist, O.A. 1993, "Displacement Ventilation Systems in Industrial Buildings", [Conference Paper] ASHRAE Transactions. Publ by ASHRAE, Atlanta, GA, USA. V 99 pt 1 p 992-1008.
- [3] Chen, Q. 1988, "Indoor Airflow, Air Quality and Energy Consumption of Buildings". Ph.D. Thesis, Delft University of Technology, The Netherlands.
- [4] Stymne, H., Sandberg, M. and Mattsson, M. 1991, "Dispersion Pattern of Contaminants in a Displacement Ventilated Room", Proceedings of the 12th AIVC Conference.
- [5] Mundt, E. 1996, "The Performance of Displacement Ventilation Systems", Ph.D. Thesis, Royal Institute of technology, Sweden.
- [6] King, A.R., Kronfalt, M. & Clements, R.F. 1993, "Stratified Air Conditioning of Large Spaces with High Heat Loads", *Australian Refrigeration, Air conditioning & Heating* 47 n 2, 24-29.
- [7] Skistad, H. 1994, "Displacement Ventilation", Research Studies Press Ltd. England.
- [8] Hu, S., Chen, Q. & Glicksman, L.R. 1999, "Comparison of energy consumption between displacement ventilation systems for different U.S. buildings and climates", *ASHRAE Transactions* 105 (PART 2), 453-464.
- [9] Nielsen, P.V. 1994, "Stratified Flow in a Room with Displacement Ventilation and Wall-Mounted Air Terminal Devices", *ASHRAE Transactions*, ASHRAE, Atlanta, GA, USA, 1163-1169.
- [10] Nielsen, P.V. 1996, "Temperature Distribution in a Displacement Ventilation Room", Proceedings of ROOMVENT 1996 (3); 323-330.
- [11] Mattsson, Magnus. 1999, "On The Efficiency of Displacement Ventilation with Particular Reference to The Influence of Human Physical Activity", Doctoral Thesis, Centre for Built Environment Royal Institute of Technology Gavle, Sweden.
- [12] Yuan, X., Chen, Q. and Glicksman, L.R. 1999a, "Models for Prediction of Temperature Differences and Ventilation Effectiveness with Displacement Ventilation", *ASHRAE Transactions* 105 (PART 1), 353-367.
- [13] Xu, M., Yamanaka, T. & Kotani, H. 1999, "Vertical Temperature gradient and Ventilation Efficiency in Rooms with Displacement Ventilation - Influence of Supply Air Temperature and Heat Load", *Technology Reports of Osaka University* 49 n 2348, 179-188.
- [14] A Yuan, X., Chen, Q. and Glicksman, L.R. 1998, "Critical Review of Displacement Ventilation", *ASHRAE Transactions*, ASHRAE, Atlanta, GA, USA, 78-89 4101.
- [15] Yuan, X., Chen, Q. and Glicksman, L.R. 1999b, "Performance Evaluation and Design Guidelines for Displacement ventilation", *ASHRAE Transactions* 105 (PART 1), 340-352.
- [16] Iskandriawan, Bambang. 2001, "Displacement Ventilation of Rooms Containing Point Sources of Heat", Master Dissertation, University of Wollongong, Australia.
- [17] Waters, JR and Simons, MW. 2002, "Modelling Ventilation by means of Combined Mixing and Displacement Flow". *Building Serv. Eng. Res. Technol.* 23,1, pp. 19-29.
- [18] Lau, J. And Chen, Q. (2007), "Floor Supply Displacement Ventilation for Workshops" *Building and Environment*, 42 (4), 1718-1730.
- [19] Awbi, H.B. (1995), "Ventilation of Buildings" E & FN SPON an Imprint of Chapman & Hall.
- [20] Manual Fluent  
file:///C:/Fluent.Inc/fluent6.2.16/help/html/ug/node1034.htm#168972