

Analisis CFD untuk Penempatan Sistem Pengkondisian Udara dengan Memperhatikan Geometri Ruang dan Tata Letak Perabot

Nathanael P. Tandian dan Ardian Y. Dewanto

Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara
Institut Teknologi Bandung
Jalan Ganesa 10, Bandung - 40132
E-mail: n4th4n.t4nd14n@gmail.com

Abstrak

Seiring dengan perjalanan waktu, aktivitas yang dilakukan manusia di dalam ruang terus meningkat. Oleh karena itu, kebutuhan akan udara segar dalam ruang kerja juga semakin besar. Dalam kaitan dengan hal tersebut, salah satu ruang di Laboratorium Termodinamika ITB akan diperlengkapi dengan sistem pengkondisian udara. Perhitungan beban pendingin ruang tersebut telah dilakukan dengan menerapkan metode Carrier yang memberikan nilai beban pendingin maksimal sebesar 8917 Btu/h. Langkah berikut yang dilakukan adalah pemilihan unit pengkondisi udara yang sesuai dan penempatan instalasi unit pengkondisi udara yang memberikan distribusi temperatur udara terbaik di dalam ruang. Makalah ini membahas penerapan analisis CFD (melalui simulasi CFD) untuk menentukan penempatan unit pengkondisi udara yang optimum dengan memperhatikan geometri ruang serta tata letak perabot yang ada dalam ruang. Penempatan unit pengkondisi udara hasil simulasi CFD telah diimplementasikan dan hasil kerja sistem pengkondisi udara dari simulasi CFD telah dibandingkan dengan hasil kerja sistem pengkondisian udara nyata yang diperoleh dari pengukuran temperatur ruang. Perbandingan hasil pengukuran temperatur udara dalam ruang diketahui sejalan dengan hasil yang didapat dari simulasi CFD.

Keywords: Computational Fluid Dynamics, simulasi CFD, pengkondisian udara, penempatan unit pengkondisi udara, geometri ruang

1 Pendahuluan

Kegiatan manusia semakin lama semakin banyak yang dilakukan di dalam ruang, sehingga kebutuhan akan udara segar dalam ruang juga semakin meningkat. Udara segar dimaksud adalah udara yang mampu memberikan rasa nyaman, terutama saat beraktivitas, pada temperatur tertentu. Untuk mendukung kenyamanan udara dalam suatu ruang maka dibutuhkan sistem pengkondisi udara (atau AC).

Salah satu ruang kerja di Lab. Termodinamika ITB akan diperlengkapi dengan sistem pengkondisi udara. Untuk kemudahan operasional, pengkondisian udara dapat dilayani oleh satu sistem pengkondisi udara jenis *split*. Untuk memastikan sistem pengkondisi udara yang dipasang dapat berfungsi dengan baik, maka dilakukan perhitungan beban pendingin ruang tersebut dan pemilihan tempat pemasangan *indoor unit* pengkondisi udara yang dapat memberikan distribusi udara dingin yang merata serta kecepatan alir udara yang sesuai standar yang ada.

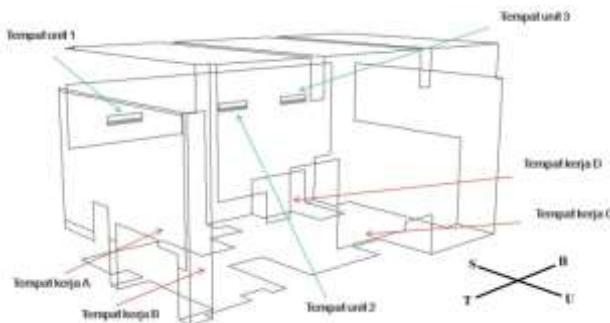
Makalah ini membahas simulasi CFD yang telah dibuat dalam rangka untuk melakukan pemilihan tempat pemasangan unit pengkondisi udara di salah satu ruang kerja Lab Termodinamika ITB sebagai

mana telah disinggung di atas. Perhitungan beban pendingin pada ruang tersebut tidak termasuk dalam makalah ini dan telah dituliskan dalam pustaka lain (Dewanto, 2012). Pada hakikatnya, perhitungan beban pendingin tersebut telah dilakukan dengan menerapkan metode *Carrier* (Carrier, 1965) dan memberikan hasil penting seperti yang disampaikan pada Bagian 2 makalah ini.

Di samping untuk melakukan simulasi CFD dalam rangka penentuan tempat pemasangan unit pengkondisi udara seperti disinggung di atas, makalah ini juga ditulis dengan maksud memberikan gambaran bentuk proyek tugas sarjana di Prodi Teknik Mesin ITB.

2 Deskripsi Singkat Persoalan

Geometri ruang kerja yang disimulasikan ditunjukkan secara skematis pada Gambar 1. Ruang kerja yang disimulasikan terletak di lantai tiga. Ruang kerja tersebut berbatasan dengan lingkungan luar gedung pada dinding Selatan dan ‘dinding’ Timur ruang kerja. Sebagian besar ‘dinding’ Timur didominasi dengan jendela kaca. Dinding Barat dan Utara ruang kerja berbatasan dengan ruang lain di dalam gedung. Pintu keluar/masuk ruang kerja terletak pada sisi Utara ruang. Langit-langit ruang kerja merupakan permukaan bawah ‘dak beton’ atap gedung.



Gambar 1 Sketsa ruang kerja yang disimulasikan

Di dalam ruang kerja tersebut terdapat empat tempat kerja, yaitu *Tempat Kerja A* sampai dengan *D*. Distribusi temperatur dan kecepatan udara di keempat tempat kerja ini menjadi pokok analisis dalam pemilihan tempat pemasangan unit pengkondisi udara. Dalam simulasi CFD yang dilakukan, ditinjau tiga alternatif tempat pemasangan unit pengkondisi udara, yaitu *Tempat Unit 1* sampai dengan *Tempat Unit 3*.

Dari hasil perhitungan beban pendingin yang telah dilakukan diperoleh beban pendingin puncak seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Kondisi lingkungan (udara luar gedung, posisi matahari, dll) pada kondisi puncak beban pendingin ini dijadikan data masukan simulasi CFD.

Tabel 1 Beban pendingin ruang kerja (Dewanto, 2012)

Batas Ruang Kerja	Beban Kalor (watt)
Langit-langit	1.355,6
Dinding Timur (tanpa jendela)	23,2
Kaca (jendela di sisi Timur)	911,7
Dinding Selatan	107,0
Dinding Barat	17,8
Dinding Utara (termasuk pintu)	55,5
Lantai	141,8
JUMLAH	2.612,6

Perhitungan beban pendingin juga memberikan nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan, U , pada masing-masing bidang batas ruang kerja seperti diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Koefisien perpindahan panas (Dewanto, 2012)

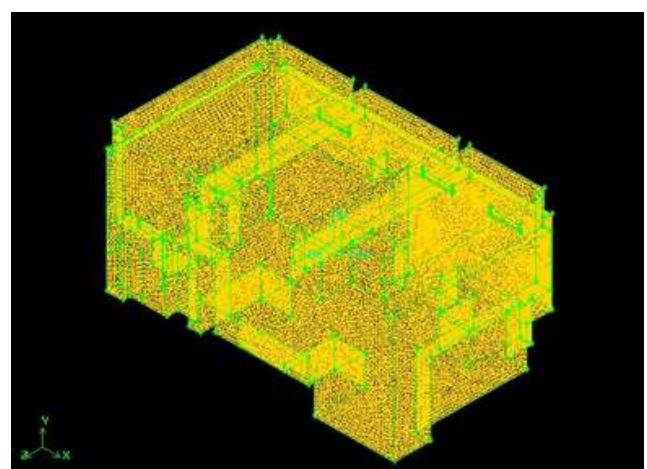
Batas Ruang Kerja	Koef. perpindahan panas, U ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)
Langit-langit	3,24
Dinding Timur (tanpa jendela)	2,55
Kaca (jendela di sisi Timur)	7,56
Dinding Selatan	2,55
Dinding Barat	2,21
Dinding Utara (termasuk pintu)	2,21
Lantai	2,89

Pada perhitungan beban pendingin terdahulu, temperatur udara dalam ruang kerja dianggap seragam dan tidak berubah terhadap waktu, yaitu pada temperatur desain ruang kerja sebesar 22°C .

Berdasarkan hasil perhitungan beban pendingin, telah dilakukan pemilihan sistem pengkondisi udara, yaitu sistem pengkondisi udara jenis *split* dengan kapasitas daya pendinginan $3,52 \text{ kW}$. Temperatur udara saat keluar *indoor unit* adalah 5°C dengan debit udara $5,2 \text{ m}^3/\text{s}$.

3 Model Geometri dan Simulasi CFD

Pembuatan model geometri dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak GAMBIT 2.4.6. Tahapan pemodelan geometri yang dilakukan adalah dengan mengukur geometri ruang kerja, membangun geometri dasar, membuat *mesh* (grid), melakukan proses *zoning* (pengelompokan geometri yang memiliki karakteristik model yang sama). Model geometri ruang kerja yang telah diberi *mesh* ditunjukkan pada Gambar 2. Pada gambar tersebut samar-samar terlihat bahwa di dinding kanan-belakang ruang kerja terdapat ketiga tempat pemasangan unit pengkondisi udara (tampak sebagai kotak kecil dibatasi garis hijau). Dengan menggambarkan ketiga model unit pendingin di dalam model ruang kerja, maka dapat digunakan model geometri yang sama untuk melakukan simulasi tiga kasus penempatan unit pengkondisi udara. Pada setiap kasus penempatan unit pengkondisi udara hanya satu model unit pengkondisi udara yang diaktifkan, model unit lainnya dimatikan dan diberi syarat batas yang sama dengan syarat batas dinding di sekitarnya.



Gambar 2 Model geometri ruang kerja

Dalam model geometri ini, geometri perabot kantor (meja kerja, lemari, *filling cabinet*, dan rak buku) disederhanakan menjadi balok adiabatik, sedangkan keberadaan kursi diabaikan. Domain perhitungan CFD hanya meliputi udara yang ada dalam ruang kerja, sehingga perabot kantor tidak termasuk dalam domain perhitungan.

Asumsi/penyederhanaan lain yang digunakan dalam

perhitungan simulasi CFD antara lain: (1) kondisi ruang telah stedi, (2) aliran udara adalah turbulen dan memenuhi model turbulen $k-\varepsilon$, (3) udara sebagai zat inkompresibel dengan sifat transpor konstan.

Di samping asumsi/penyederhanaan di atas, kondisi lingkungan (udara luar gedung, posisi matahari, dll) dalam perhitungan simulasi dianggap sama seperti pada saat beban pendingin maksimum. Walaupun demikian, puncak beban kalor yang ada pada Tabel 1 tidak dapat digunakan secara langsung dalam perhitungan simulasi, mengingat temperatur udara ruang kerja dalam simulasi tidak seragam. Untuk mengatasi hal ini, kondisi pada dinding batas ruang kerja dalam simulasi berupa ‘kebocoran’ kalor seperti pada Tabel 1 dan koefisien perpindahan panas tiap bagian dinding seperti pada Tabel 2. Berdasarkan data dari kedua tabel ini dan data temperatur rancangan 22°C, maka dapat dihitung temperatur lingkungan efektif (temperatur aliran bebas efektif) tiap bagian dinding seperti pada Tabel 3. Temperatur lingkungan efektif dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$T_{\infty} = T_r + \frac{Q}{UA}$$

dengan Q merupakan laju perpindahan panas pada dinding, T_r temperatur udara dalam ruang, U dan A masing-masing adalah koefisien perpindahan panas keseluruhan dan luas permukaan dinding.

Tabel 3 Temperatur-lingkungan efektif (Dewanto)

Batas Ruang Kerja	Temp. Lingkungan Efektif (K)
Langit-langit	313,32
Dinding Timur (tanpa jendela)	304,99
Kaca (jendela di sisi Timur)	297,62
Dinding Selatan	298,43
Dinding Barat	296,23
Dinding Utara (termasuk pintu)	296,23
Lantai	313,32

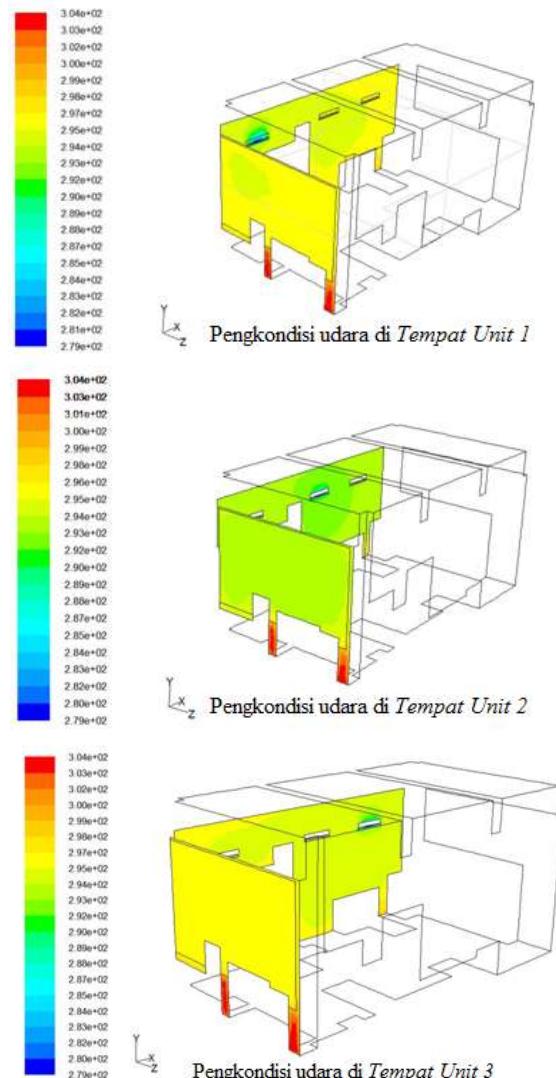
Kondisi batas pada saluran udara keluar unit pengkondisi udara adalah laju alir udara setara dengan 5,2 m³/s dan temperatur udara 5°C, sesuai dengan spesifikasi alat. Kondisi batas pada saluran udara saat kembali masuk unit pengkondisi udara adalah *outflow*.

Proses perhitungan simulasi CFD dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak FLUENT 6.3.26. Selain mempunyai kemampuan untuk melakukan perhitungan CFD, perangkat lunak ini juga mempunyai fasilitas *postprocessing* untuk menampilkan hasil perhitungan dalam bentuk *contour* temperatur, medan vektor kecepatan, atau grafik kartesian. Di samping itu perangkat ini juga dapat memberikan *report*, antara lain menginformasikan daya kalor pada masing-masing

dinding ruang kerja.

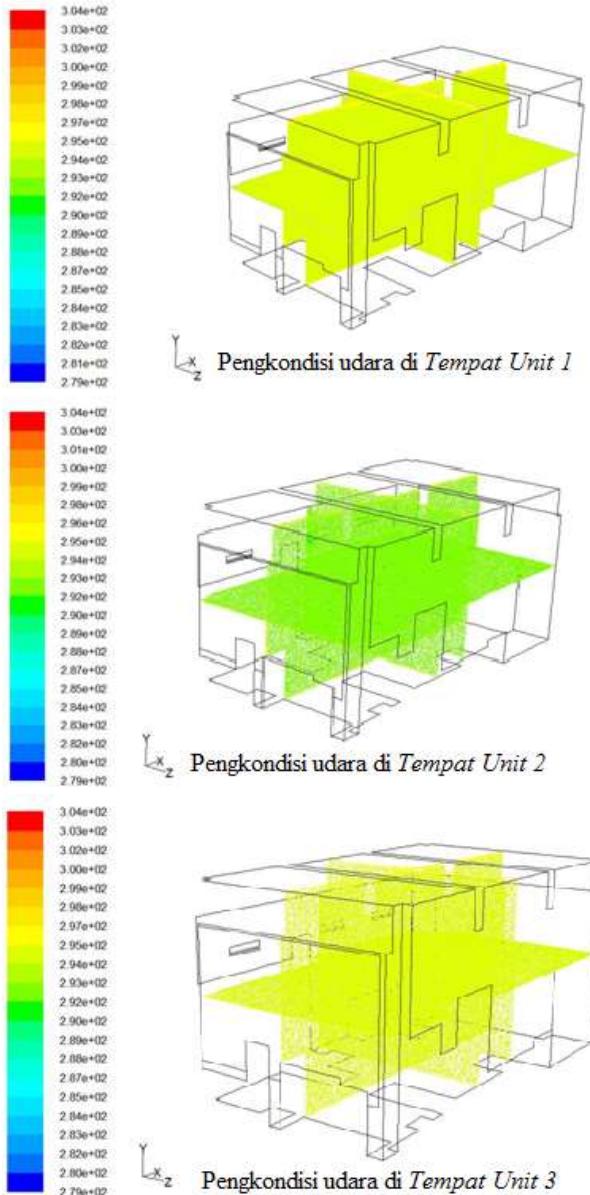
4 Hasil Simulasi dan Pembahasan

Pengaruh penempatan unit pengkondisi udara terhadap temperatur maksimum dan minimum yang terjadi diperlihatkan pada Gambar 3. Pada gambar ini terlihat bahwa untuk ketiga kasus penempatan unit pengkondisi udara, temperatur maksimum terjadi di tempat yang sama yaitu di sisi bawah dekat dinding Timur. Hal ini terjadi karena bagian dinding Timur ini terhalang oleh perabot di dekatnya. Pada gambar ini juga terlihat bahwa temperatur minimum terjadi di sekitar *Tempat Unit* yang beroperasi. Untuk kasus pengkondisi udara di *Tempat Unit 2*, terlihat bahwa terdapat daerah bertemperatur rendah yang lebih luas di sekitar *indoor unit* dibandingkan dengan kedua kasus lainnya. Hal ini disebabkan karena pada kasus kedua udara dekat *indoor unit* dapat bersirkulasi dengan lebih bebas dibandingkan pada kedua kasus lainnya. Pada kedua kasus yang lain, *indoor unit* relatif dekat dinding sehingga kebebasan sirkulasi udara teredam kehadiran dinding di sekitarnya.



Gambar 3 Pengaruh penempatan unit terhadap temperatur maksimum dan minimum

Pengaruh penempatan unit pengkondisi udara terhadap distribusi temperatur udara di dalam ruang kerja diperlihatkan pada Gambar 4. Pada gambar ini terlihat bahwa penempatan unit pengkondisi udara di *Tempat Unit 2* memberikan temperatur dalam ruang kerja yang paling rendah dibandingkan dengan temperatur yang didapat pada kedua kasus lainnya. Hal ini terkait erat dengan kebebasan sirkulasi udara yang lebih besar pada kasus kedua dibandingkan dengan keadaan pada kedua kasus lainnya, seperti telah diuraikan sebelumnya.



Gambar 4 Pengaruh penempatan unit terhadap distribusi temperatur dalam ruang kerja

Lebih jauh lagi fasilitas *report* yang ada dalam paket perangkat lunak FLUENT memungkinkan untuk memberikan informasi lebih rinci mengenai temperatur maksimum, minimum, dan rata-rata seperti diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Perbandingan hasil simulasi

No	Kasus	T _{max} °C	T _{min} °C	T _{rerata} °C
1.	Tempat Unit 1	31,0	6,3	22,1
2.	Tempat Unit 2	31,0	6,1	19,5
3.	Tempat Unit 3	31,1	6,3	22,0

Dari tabel tersebut tampak bahwa jika penempatan unit pengkondisi udara didasarkan pada aspek temperatur saja maka pemasangan di *Tempat Unit 2* merupakan yang terbaik karena memberikan temperatur rata-rata yang terkecil.

Karena temperatur rata-rata pada kedua kasus lainnya, maka penentuan penempatan kedua terbaik harus didasarkan pada standar deviasi temperatur. Dari fasilitas *report* paket FLUENT diperoleh standar deviasi temperatur udara kasus pertama dan ketiga berturut-turut adalah 0,082 dan 0,085°C. Dengan demikian kasus kedua cenderung menempati peringkat kedua, dengan perbedaan standar deviasi temperatur yang tidak terlalu berarti.

Di samping temperatur ruang yang lebih rendah, kriteria lain yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan penempatan unit pengkondisi udara adalah kecepatan udara. Sesuai dengan standar SNI 03-6572-2001, kecepatan aliran udara di atas kepala manusia harus di bawah 0,25 m/s. Sementara itu, dari simulasi dengan pengkondisi udara di *Tempat Unit 1*, *Tempat Unit 2*, dan *Tempat Unit 3* masing-masing memberikan kecepatan maksimum sebesar 0,06; 0,05; dan 0,05 m/s. Jadi dalam hal ini ketika alternatif tempat memenuhi standar SNI tersebut dengan sama baik.

Dari hasil simulasi juga dapat diperoleh besar laju perpindahan panas pada masing-masing bagian dinding. Perbandingan laju perpindahan panas pada dinding antara ketiga kasus simulasi dan hasil perhitungan dengan metode Carrier diperlihatkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Perbandingan laju panas pada dinding

Batas Ruang Kerja	Laju Panas (W)			
	Carrier	Sim 1	Sim 2	Sim 3
Langit-langit	1.355,6	1.205,1	1391,2	1207,2
Dinding Timur (tanpa jendela)	23,2		13,8	18,5
Kaca (jendela di sisi Timur)	911,7	115,7	251,1	104,5
Dinding Selatan	107,0	100,2	178,5	102,5
Dinding Barat	17,8	13,4	51,2	17,2
Dinding Utara (termasuk pintu)	55,5		43,4	159,9
Lantai	141,8	267,0	421,6	270,4
JUMLAH	2.612,6	1758,6	2471,9	1761,4

Perhitungan dengan metode Carrier memberikan nilai beban kalor yang besar dibanding dengan hasil simulasi karena anggapan temperatur udara dalam ruang kerja seragam pada 22°C. Di pihak lain hasil simulasi cenderung memberikan temperatur yang tinggi terutama di dekat dinding Timur dan jendela kaca (lihat Gambar 3), sehingga laju panas yang menembus dinding ini menjadi

tidak terlalu besar. Di antara hasil simulasi, perhitungan kasus simulasi kedua memberikan beban kalor yang besar diakibatkan oleh sirkulasi udara yang lebih bebas pada kasus ini dibanding kedua kasus simulasi lainnya.

5 Implementasi dan Hasil Pengukuran

Penempatan unit pengkondisi udara tidak dapat direalisir karena dalam kenyataannya di *Tempat Unit 2* terdapat kabel listrik dan telepon. Akhirnya kasus simulasi pertama lah yang diterpkan antara lain karena pertimbangan standar deviasi temperatur yang lebih kecil (temperatur lebih merata) dibanding dengan kasus simulasi ketiga. Di samping itu *Tempat Unit 1* juga dipilih karena letaknya lebih dekat jendela sehingga dapat mengurangi dampak langsung akibat perpindahan panas radiasi dari luar. Diperkirakan temperatur di sekitar jendela cenderung *underestimated* karena simulasi CFD yang dilakukan tidak memperhitungkan perpindahan panas radiasi.

Setelah dilakukan pemasangan sistem pengkondisi udara pada ruang kerja Lab Termodinamika, dilakukan beberapa pengukuran temperatur udara di *Tempat Kerja A* sampai dengan *D* dan pembandingan hasil pengukuran tersebut dengan hasil simulasi seperti diperlihatkan pada Gambar 5. Pengukuran tempeatur dilakukan dengan sistem pengkondisi udara diset pada temperatur terendah sehingga sistem beroperasi secara kontinu. Pada Gambar 5 terlihat bahwa temperatur di keempat tempat kerja yang diamati cukup merata dengan sebaran temperatur kurang dari 5°C. Dari gambar ini juga tampak bahwa temperatur hasil pengukuran berada di bawah temperatur hasil simulasi. Ini disebabkan oleh dua hal berikut. Pertama, kapasitas sistem pengkondisi udara yang dipasang mempunyai kapasitas daya pendingin di atas beban pendinginan yang ada. Kedua, kondisi lingkungan pada saat pengukuran lebih ringan dari pada yang digunakan pada saat simulasi. Pengukuran dilakukan di bulan September dengan cuaca yang tidak terlalu cerah/terik, bukan pada saat beban pendingin mencapai puncak (21 Februari).

6 Kesimpulan

Dari hasil yang telah diperoleh dapat ditarik beberapa butir kesimpul berikut:

- a. Simulasi CFD yang dilakukan berhasil memperlihatkan tempat pemasangan unit pengkondisi udara yang terbaik di *Tempat Unit 2*.
- b. Hasil simulasi menginformasikan *Tempat Unit 1* dan *Tempat Unit 2* tidak berbeda secara signifikan.

- c. Pemasangan unit pengkondisi udara di ketiga tempat yang disimulasikan memenuhi persyaratan kecepatan udara yang diijinkan.
- d. Perhitungan beban pendingin dengan metode Carrier cenderung *overestimated* karena anggapan temperatur udara yang merata.

Untuk verifikasi hasil simulasi dengan lebih baik, dianjurkan untuk melakukan pengukuran pada saat keadaan lingkungan luar gedung lebih berat, misalnya pada hari yang cerah di sekitar bulan Februari.

Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara ITB yang telah memberikan dana untuk proses publikasi/presentasi makalah ini dalam Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XII di Universitas Lampung, Bandar Lampung.

Nomenklatur

<i>A</i>	Luas bidang dinding (m^2)
<i>Q</i>	Lju perpindahan panas (W)
<i>T</i>	Temperatur (K atau °C)
<i>U</i>	Koefisien perpindahan panas keseluruhan ($W/m^2 \cdot K$)

Subscripts

max	Maksimum
min	Minimum
r	Di dalam ruang kerja
∞	Kondisi lingkungan

Referensi

Dewanto, A, Y., *The Selecting and Placement of an Air Contioning Unit for a Specified Room by Considering its Furniture Arrangement*, Tugas Sarjana, Program Studi Teknik Mesin ITB (2012)

Carrier, *Handbook of Air Conditioning System Design*, McGraw-Hill Book Co, (1965)

Viscous Model Documentation file:///C:/Fluent.Inc/fluent6.3.26/help/html/ug/node1340.htm (diakses pada 16 Agustus 2012)

Frank P. Incropera and David P. DeWitt. Fundamentals of Heat & Mass Transfer 5th Edition, John Wiley & Sons, 2002.