

KARAKTERISTIK DISTRIBUSI TEMPERATUR DAN POLA ALIRAN UDARA DALAM RUANGAN DENGAN SATU UNIT AC TIPE SPLIT DENGAN VARIASI KECEPATAN UDARA INLET MENGGUNAKAN METODE CFD

Bagus Nugroho¹, Marwan Effendy²

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417

Email : D200130181@student.ums.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi distribusi temperatur dan pola aliran udara pada ruangan berukuran 10,45m x 8,1m x 3,93m, dengan menggunakan satu unit mesin pendingin Air Conditioner (AC) tipe split.. Penelitian diawali dengan pengukuran temperatur ruangan pada beberapa titik acuan di ketinggian 1m dari lantai. Data temperatur ini selanjutnya dipergunakan sebagai acuan untuk validasi data dan pendekatan simulasi computational fluid dynamics (CFD) yang dilakukan. Simulasi RANS mengaplikasikan model turbulensi k-epsilon dengan mengembangkan tiga tipe mesh secara terstruktur hingga 972.838 elemen. Tipe mesh yang mampu menghasilkan data simulasi yang paling dekat dengan data pengukuran temperatur dijadikan patokan untuk mengembangkan simulasi tingkat lanjut guna menginvestigasi sirkulasi udara dalam ruangan sebagai akibat pengaruh kecepatan fan AC di evaporator mulai dari 3,16; 3,66; dan 4,16 m/s. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konstruksi mesh paling halus mampu menghasilkan prediksi data simulasi dengan tingkat kesalahan hingga 4,91%. Pada investigasi tiga kondisi kecepatan berbeda tersebut, kecepatan udara mempengaruhi distribusi temperatur dan pola aliran udara. Seiring meningkatnya kecepatan udara maka distribusi temperatur dan pola aliran udara lebih merata ke seluruh ruangan.

Kata Kunci : Air Conditioner; Computational fluid dynamics; Distribusi temperatur; pola aliran udara

Abstract

This study aims to predict the distribution of temperature and airflow patterns in a class room with dimension of 10.45 m x 8.1 m x 3.93 m due to the existence of an air conditioner. This study was realized by the measurements of air temperature inside the class room at several reference points will be used for validation and comparison. The measurement position was set at 1m height from the floor. The steady RANS simulation applied the k - epsilon turbulence model with three different structured mesh types up to 972,838 elements. The mesh type capable of producing simulation data closest to the temperature measurement data will be further developed to investigate indoor air circulation due to the effect of fan speed on the evaporator. Three fan speeds were varied at 3.16; 3.66; and 4.16 m/s. The results show that the finest mesh construction is able to produce prediction of simulation data with error rate up to 4.91%. In the investigation of the three different velocity conditions, air velocity influences the distribution of temperature and airflow patterns. As the air speed increases, the temperature distribution and airflow patterns are more evenly distributed throughout the class room

Keywords: Air Conditioner; Computational fluid dynamics; airflow patterns; airflow patterns.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri global yang pesat telah mengakibatkan pemanasan global dan berdampak pada munculnya cuaca ekstrem. Sebagai contoh, saat musim kemarau, temperatur udara di lingkungan dapat menjadi lebih tinggi dari kondisi ideal, sehingga penggunaan sistem pendingin seperti Air Conditioner (AC) semakin meningkat, khususnya di negara beriklim tropis seperti Indonesia. Seiring

dengan meningkatnya standar hidup, masyarakat semakin mencari kondisi lingkungan yang nyaman baik di area kerja maupun tempat tinggal. Lingkungan kerja yang nyaman diharapkan mampu meningkatkan kinerja dan produktivitas dalam menyelesaikan tugas.

Pada umumnya, sistem pengkondisian udara ditujukan untuk meningkatkan kenyamanan termal pada suatu tempat. Penggunaan AC sendiri telah meningkat secara signifikan dalam dua dekade terakhir, terutama di daerah beriklim tropis, sebagai solusi sistem pendingin (Ooi, 2005). Dalam penerapannya, AC banyak dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari untuk mengkondisikan udara di berbagai ruangan seperti gedung, hotel, dan ruang kelas, karena berkaitan langsung dengan tingkat kenyamanan ruangan tersebut.

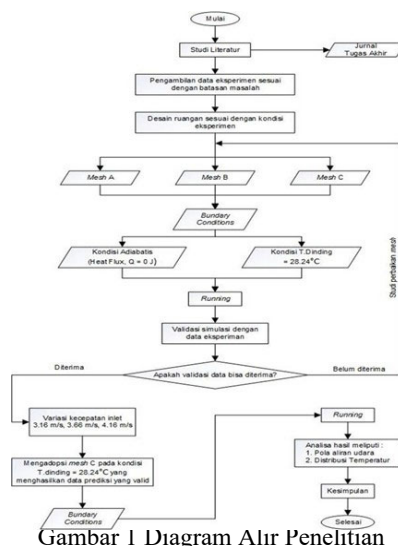
Meskipun demikian, seringkali ditemui berbagai masalah yang menyebabkan sistem AC tidak dapat bekerja secara optimal. Beberapa penyebabnya antara lain adalah penempatan unit AC yang kurang tepat, sudut hembusan udara pada inlet yang tidak sesuai, serta performa AC yang menurun akibat kebocoran sistem yang menyebabkan refrigeran terlepas ke udara bebas. Berbagai penelitian terkait kinerja sistem AC telah dilakukan sebelumnya, seperti riset oleh Effendy (2005) yang berfokus pada efek kecepatan udara pendingin di kondensor terhadap koefisien prestasi AC serta pengaruh kecepatan putar poros kompresor terhadap prestasi mesin pendingin.

Seiring dengan kemajuan teknologi, penelitian mengenai distribusi temperatur dan pola aliran udara di dalam suatu ruangan kini dapat dilakukan dengan lebih efisien melalui metode simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD). Simulasi ini memungkinkan perancangan dan analisis sistem sebelum implementasi fisik dilakukan, sehingga dapat mengurangi limbah material dan menekan biaya penelitian jika dibandingkan dengan metode eksperimen langsung. Beberapa penelitian relevan telah dilakukan, seperti studi oleh Kwang, dkk. (2005) mengenai kenyamanan termal menggunakan AC tipe 4-way cassette, riset oleh Ahmed, dkk. (2015) yang menginvestigasi kenyamanan ruangan dengan variasi temperatur dan kecepatan aliran udara, serta penelitian oleh Lin, dkk. (2015) yang membandingkan pola aliran udara antara AC sentral dan AC tipe split.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini akan melakukan kajian numerik untuk menganalisis distribusi temperatur dan pola aliran udara pada sebuah ruangan yang menggunakan satu unit AC tipe split dengan pendekatan simulasi CFD. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan prediksi yang akurat mengenai karakteristik termal dan sirkulasi udara di dalam ruangan tersebut.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

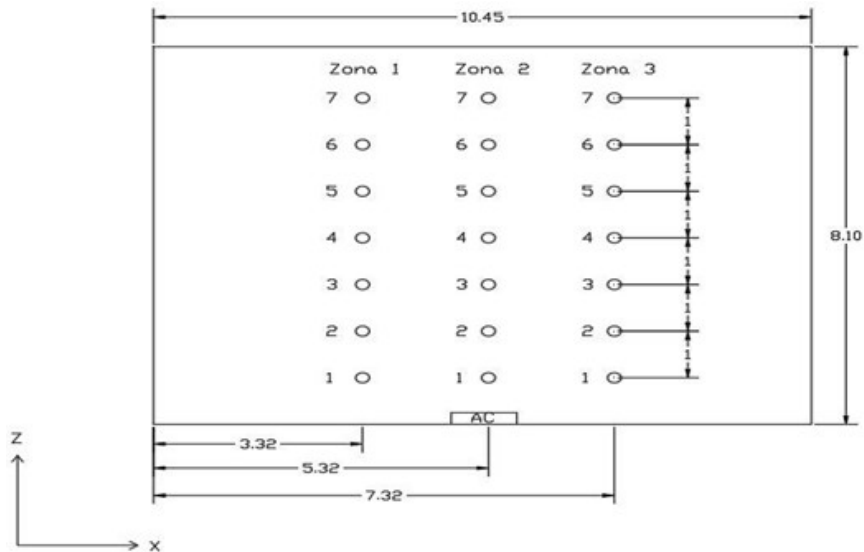
Tahap Eksperimen

1. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :
 - a. Satu unit AC tipe split merk DAIKIN dengan daya 1 PK
 - b. Anemometer
 - c. Thermokopel
 - d. Satu ruang kelas H.4.04 gedung H jurusan teknik mesin fakultas teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta dengan dimensi ruang kelas 10,45 m (p) x 8,1 m (l) x 3,93 m (t).
2. Pengambilan Data

Pada tahap ini pengambilan data dilakukan pada waktu siang hari jam 12.00 WIB dengan kondisi cuaca di luar ruangan cerah dan tanpa ada radiasi matahari secara langsung masuk ke dalam kelas. Pengambilan data dilakukan pada dua bagian yaitu di inlet AC untuk mengetahui kecepatan aliran dan temperatur udara, bagian yang kedua yakni pada ruangan untuk mengetahui temperatur pada koordinat-koordinat yang sudah ditentukan. Pengambilan data pada inlet AC

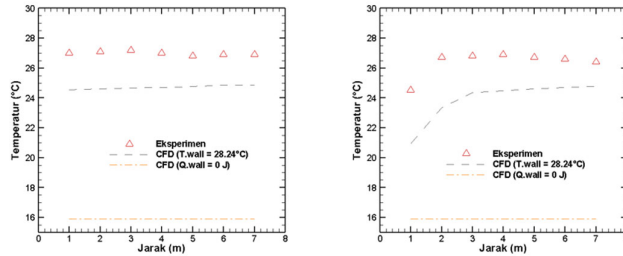
Pengambilan data temperatur dan kecepatan aliran udara pada inlet AC dilakukan menggunakan alat ukur thermokopel dan anemometer yang dihubungkan dengan alat bantu berupa tongkat, kemudian diletakan depan inlet (sirip evaporator dengan jarak 0 cm dari sirip) dengan membagi menjadi 3 bagian, yakni di masing-masing ujung dan bagian tengah inlet kemudian dari ketiga data yang didapatkan dirata-rata sebagai data definisi kondisi batas inlet pada saat simulasi dilakukan.

Proses pengambilan data dalam ruangan dibagi menjadi tiga zona (bagian) pada tiap zona terdapat 7 titik koordinat dengan acuan jarak dari dinding ruangan yang terinsulasi AC sehingga terdapat total 21 titik koordinat pengukuran di dalam ruangan. Data yang didapatkan menggunakan alat thermokopel yang digunakan pada ketinggian 1 meter dari lantai dengan jarak yang telah ditentukan sesuai koordinat yang telah ditentukan seperti gambar dibawah ini.



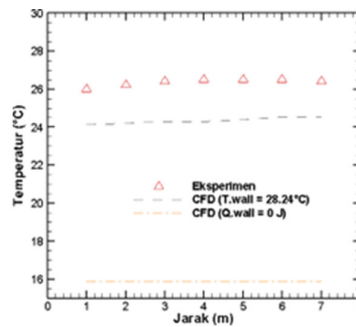
3. HASIL DAN PEMBAHASAN
 3.1 Validasi

Mesh A



a. Zona 1

b. Zona 2

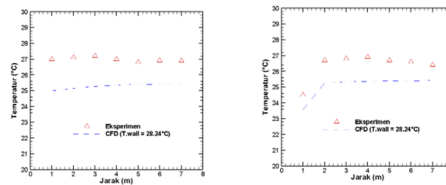


c. Zona 3

Dari data yang ditampilkan oleh grafik mesh A pada gambar 7 dapat diketahui hasil perbandingan antara simulasi dengan dua kondisi batas yakni, kondisi temperatur dinding ruangan = 28.24°C dan kondisi adiabatik (temperatur dinding = 0°C). Pada tiga zona yang ditunjukkan oleh gambar 4.1 kondisi batas adiabatik selalu konstan dengan temperatur tiap titiknya adalah 15.91 °C, sedangkan pada kondisi temperatur dinding ruangan = 28.24°C temperatur pada titik-titik tiap zona berbeda-beda dengan nilai rata-rata temperatur pada simulasi mesh A zona 1 adalah 24.71°C, zona 2 adalah 23.88°C, zona 3 adalah 24.34°C.

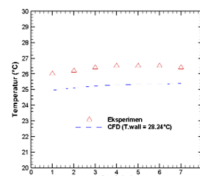
Dari kedua kondisi simulasi dengan menggunakan kondisi temperatur dinding ruangan = 28.24°C lebih mendekati dibandingkan dengan data eksperimen dengan tingkat kesalahan relatif rata-rata pada zona 1 adalah 8.4%, zona 2 adalah 9.48%, zona 3 adalah 7.64%, dan rata-rata kesalahan relatif seluruh titik adalah 8.51%, sedangkan pada kondisi adiabatik kesalahan relatif rata-rata pada semua titik adalah 40.11% sehingga pendekatan adiabatik tidak dapat diterima dalam validasi data.

Mesh B



a. Zona 1

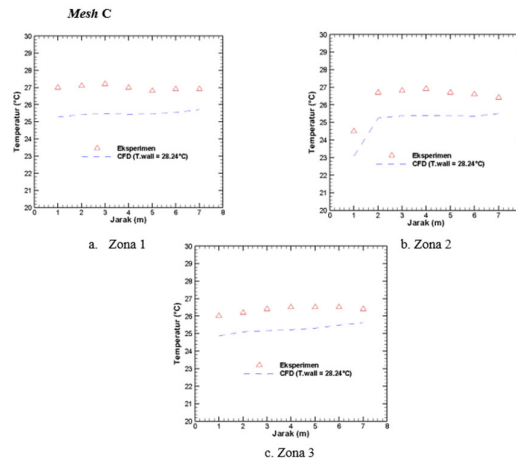
b. Zona 2



c. Zona 3

Validasi Mesh B

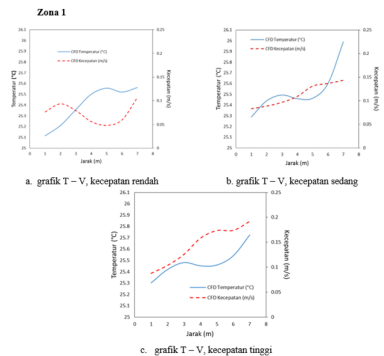
Dari gambar 8 data validasi mesh B yang dibandingkan dengan hasil eksperimen pada titik- titik tiap zona dalam ruangan didapatkan hasil nilai rata-rata temperatur pada simulasi mesh B zona 1 adalah 25.27°C, zona 2 adalah 25.1°C, zona 3 adalah 25.24°C. Rata-rata kesalahan relatif pada zona 1 adalah 6.31%, zona 2 adalah 4.78%, dan pada zona 3 adalah 4.22%, sedangkan kesalahan rata-rata seluruh titik adalah 5.106% sehingga hasil simulasi dengan pendekatan mesh B lebih baik jika dibandingkan dengan mesh A dengan rata-rata kesalahan relatif seluruh titik adalah 8.51%.



Dari gambar diatas, data validasi mesh C yang dibandingkan dengan hasil eksperimen pada titik-titik tiap zona dalam ruangan didapatkan hasil nilai rata-rata temperatur pada simulasi mesh C zona 1 adalah 25.48°C, zona 2 adalah 25.04°C, zona 3 adalah 25.26°C. dengan rata-rata kesalahan relatif pada zona 1 adalah 5.56%, zona 2 adalah 5.02%, dan pada 4.91% sehingga hasil simulasi dengan pendekatan mesh C lebih baik jika dibandingkan dengan mesh A dan mesh B dengan rata-rata kesalahan relatif seluruh titik adalah 5.106%.

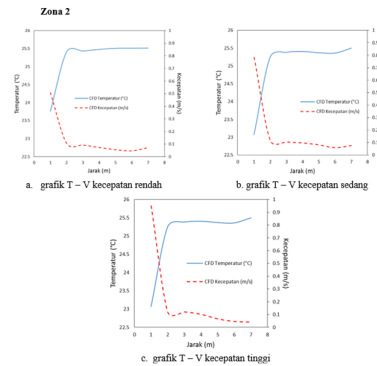
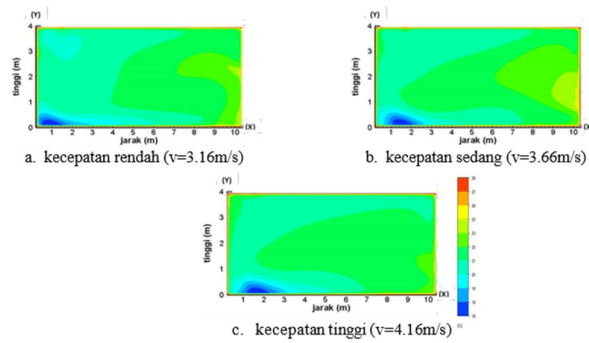
3.2 Variasi Kecepatan Inlet

Setelah dilakukan validasi untuk mendapatkan pendekatan mesh yang mendekati hasil eksperimen, peneliti melakukan variasi kecepatan udara pada inlet AC dengan menggunakan tiga variabel kecepatan yakni 3.16 m/s, 3.66 m/s, 4.16 m/s sehingga didapatkan perbandingan distribusi temperetur dan pola aliran udara sebagai berikut.

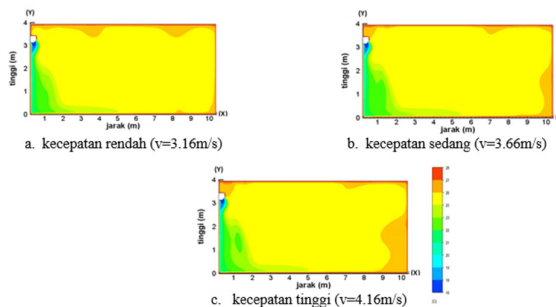


Variasi kecepatan inlet AC pada zona 1 dapat dilihat hubungan antara kecepatan dengan

temperatur, pada kecepatan rendah temepatur minimum 25.11°C pada jarak 1m dari AC kemudian temperatur bertambah seiring dengan pertambahan jarak sehingga temperatur maksimum terletak pada jarak 7m dari AC yakni 25.56°C, dan terjadi penurunan kecepatan pada jarak antara 2m sampai dengan 6m dari AC. Pada grafik variasi kecepatan sedang dapat dilihat temperatur minimum 25.28°C pada jarak 1m, temperatur maksimum 25.98°C pada jarak 7m. Selain itu, terjadi penurunan temperatur dan kecepatan yang meningkat antara jarak 3m sampai dengan 6m. Pada grafik variasi kecepatan tinggi dapat dilihat temperatur minimum 25.22°C pada jarak 1m, temperatur maksimum 25.59°C pada jarak 7m. Penurunan temperatur dan kecepatan yang meningkat terlihat jelas antara jarak 3m sampai dengan 6m.



Pada gambar diatas variasi kecepatan di zona 2, untuk variasi kecepatan rendah dapat diketahui temperatur minimum 23.762°C pada jarak terdekat dari AC yakni 1m, dan temperatur maksimum 25.516°C pada jarak terjauh dari AC yakni 7m, Pada variasii kecepatan sedang diketahui temperatur minimum 23.072°C pada jarak 1m dari AC, dan temperatur maksimum 25.499 °C pada jarak 7m, selanjutnya grafik variasi kecepatan tinggi dapat diketahui temperatur minimum 23.074°C pada jarak 1m dari AC, dan temperatur maksimum 25.664°C pada jarak 7m. Dari ketiga grafik dapat dilihat peningkatan temperatur serta penurunan kecepatan terjadi pada jarak 1m sampai dengan 2m dari AC.



4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan dalam penelitian ini, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemilihan kondisi batas (*boundary condition*) pada tahap simulasi sangat menentukan akurasi hasil. Penggunaan kondisi temperatur dinding ruangan yang konstan ($T_{\text{wall}} = 28.24^{\circ}\text{C}$) terbukti menghasilkan data prediksi yang lebih mendekati hasil eksperimental jika dibandingkan dengan pendekatan kondisi adiabatik ($\text{Heat flux}, Q_{\text{wall}} = 0 \text{ J}$).
2. Model simulasi yang menggunakan *mesh* Tipe C, yang merupakan *mesh* dengan tingkat kerapatan tertinggi, menghasilkan data prediksi yang valid dan dapat dianggap representatif terhadap kondisi eksperimen. Hal ini dibuktikan dengan nilai kesalahan relatif yang paling kecil dibandingkan dengan tipe *mesh* lainnya.
3. Kecepatan udara yang dihembuskan dari *inlet* unit AC memiliki pengaruh langsung terhadap distribusi temperatur di dalam ruangan. Seiring dengan meningkatnya kecepatan udara, temperatur di dalam ruangan cenderung mengalami penurunan.
4. Pola aliran dan sirkulasi udara di dalam ruangan tidak menunjukkan perubahan yang signifikan meskipun kecepatan udara pada *inlet* divariasikan. Aliran udara cenderung merata dan membentuk pola sirkulasi yang konsisten pada ketiga skenario kecepatan yang diuji.

4.2 Saran

Berdasarkan temuan dari penelitian ini, beberapa saran dapat diajukan untuk penelitian selanjutnya:

1. Penelitian di masa depan dapat dikembangkan dengan menambahkan variabel lain seperti jumlah orang di dalam ruangan, bukaan pintu atau jendela, serta sumber panas lain (misalnya, peralatan elektronik) untuk mendapatkan simulasi yang lebih komprehensif dan mendekati kondisi nyata.
2. Disarankan untuk melakukan analisis dengan variasi sudut hembusan udara (sudut sirip pada diffuser) untuk mengetahui pengaruhnya terhadap pola sirkulasi dan efektivitas pendinginan di dalam ruangan.
3. Untuk meningkatkan akurasi, penelitian selanjutnya dapat menggunakan model turbulensi yang berbeda selain k-epsilon, seperti model k-omega atau Reynolds Stress Model (RSM), kemudian membandingkan hasilnya untuk menemukan model yang paling sesuai dengan kasus aliran udara dalam ruangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed A. Youssef, Ehab M. Mina, Ahmed R. ElBaz, and Raouf N. AbdelMessih (2015). Studying comfort in a room with cold air system using computational fluid dynamics. Faculty of Engineering, Mechanical Power Engineering, Ain Shams University, Egypt.
- C.F. Gao & W.L. Lee (2008). Optimized design of floor-based air-conditioners for residential use. *Building and Environment* (44), pp. 2080–2088.
- Effendy, M., (2005), Pengaruh Kecepatan Udara Pendingin Kondensor terhadap Koefisien Prestasi Air Conditioning, *GELAGAR Journal*, No 01 Vol 15 April 2005, ISSN 0853-2850
- Effendy, Marwan, 2005, Pengaruh Kecepatan Putar Poros Kompresor Terhadap Prestasi Kerja Mesin Pendingin AC, *Media Mesin Journal*, No 2. Vol 06 Juli 2005 ISSN 1411-4348
- Effendy, M., Yao, Y., Yao, J., and Marchant, D.R., (2013), “Effect of mesh topologies on wall heat transfer and pressure loss prediction of blafe coolant passage”, *J. Applied Mechanics and Materials*, Vol 315 pp 216-220
- Effendy, M., Yao, Y.F., and Yao, J (2014). Predicting Film Cooling Performance of Trailing- Edge Cutback Turbine Blades by Detached Eddy Simulation. The 51st AIAA Aerospace Sciences Meeting, Texas, AIAA 2013-0548.
- Effendy, M., Yao, Y.F., Yao, J., & Marchant, D.R (2016). DES study of blade trailing edge cutback cooling performance with various lip-thicknesses, *Applied Thermal Engineering*. 2015.11.103
- Igor Bonafacic, Igor Wolf, and Bernard Frankovic (2015). Numerical Modelling of Thermal Comfort Conditions in an Indoor Space with Solar Radiation Sources. *Journal of Mechanical Engineering* 61(2015)11, 641-65

- Kwang-Chul Noh, Jae-Soo Jang, and Myung-Do Oh (2005). Thermal comfort and indoor air quality in the lecture room with 4-way cassette air-conditioner and mixing ventilation system. *Building and Environment* (42), pp. 689–698
- LIU Jing & PEI Qing-qing (2013). Numerical Simulation and Experiment Study of Indoors Thermal Environment in Summer Air-Conditioned Room. *Procedia Engineering* (52), pp. 230–235
- Ooi Yongson, Irfan Anjum Badruddin, Z.A. Zainal, and P.A. Aswatha Narayana (2006). Airflow analysis in an air conditioning room. *Building and Environment* (42). pp. 1531–1537
- S Lin, B T Tee, and C F Tan (2015). Indoor Airflow Simulation inside Lecture Room: A CFD Approach. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 88(2015) 012008.
- Serap Akdemir & Thomas Bartzanas (2015). Numerical Modelling and Experimental Validation of a Cold Store Ambient Factors. *Journal of Agricultural Sciences* (21). pp. 606-619
- Tiberiu Catalina, Joseph Virgone, and Frederic Kuznik (2008). Evaluation of thermal comfort using combined CFD and experimentation study in a test room equipped with a cooling ceiling. *Building and Environment* (44), pp. 1740–1750
- W. F. Stoecker & J. W. Jones (1996). *Resfrigasi dan Pengkondisian Udara* (edisi kedua). Jakarta: Erlangga.
- Weiwei Liu, Zhiwei Lian, and Ye Yao (2006). Optimization on indoor air diffusion of floor- standing type room air-conditioners. *Energy and Buildings* (40). pp. 59–70