

Perbandingan Kenyamanan Termal dalam Ruangan Kantor yang Menggunakan Sistem *Ceiling Air Conditioning* (CAC), *Floor Air Conditioning* (FAC), dan *Celing Fan*

Yunita A Sabtalistia*, Luluk Mawardah, dan Esty Poedjioetami

Dosen Teknik Arsitektur, Institut Teknologi Adhi Tama (ITATS), Surabaya, Indonesia
Dosen Teknik Arsitektur, Institut Teknologi Adhi Tama (ITATS), Surabaya, Indonesia
Dosen Teknik Arsitektur, Institut Teknologi Adhi Tama (ITATS), Surabaya, Indonesia
yunita_sabtalistia@yahoo.com*, news4lm@yahoo.co.id, esty_harie@yahoo.co.id

Abstrak

Penggunaan AC di dalam ruangan kantor tidak dapat dihindari lagi karena kondisi temperatur udara yang tinggi, kecepatan angin yang rendah, dan kelembaban udara yang tinggi pada siang hari di Indonesia sehingga membuat penghuni di dalam ruangan menjadi tidak nyaman. Sistem *Floor Air Conditioning* (FAC) lebih hemat energi daripada sistem *Ceiling Air Conditioning* (CAC). Penambahan *Ceiling Fan* dalam ruangan AC dapat membantu pendinginan dalam ruangan yang menggunakan sistem AC karena menambah kecepatan angin dalam ruangan. Tujuan penelitian ini adalah membandingkan kenyamanan termal tertinggi dan terendah dalam ruangan kantor yang menggunakan sistem CAC, sistem FAC, dan *ceiling fan*.

Ruangan kantor dikondisikan menjadi ruangan yang menggunakan sistem CAC, FAC dan *ceiling fan*. Tahap selanjutnya adalah membandingkan kenyamanan termal pada kondisi-kondisi tersebut berdasarkan nilai *Air Diffusion Performance Index* (ADPI) yang dapat diketahui dengan menggunakan simulasi CFD.

Hasil penelitian ini menunjukkan adanya *ceiling fan* dapat meningkatkan kenyamanan termal. Dengan adanya *ceiling fan* dalam ruangan pada sistem CAC nilai ADPI bertambah 7,5% sedangkan pada sistem FAC bertambah 2,5%. Ruangan yang menggunakan sistem FAC dan *ceiling fan* mempunyai kenyamanan termal tertinggi sedangkan ruangan yang hanya menggunakan satu sistem CAC mempunyai kenyamanan termal terendah.

Kata kunci : Kenyamanan termal, *Floor Air Conditioning* (FAC), *Ceiling Air Conditioning* (CAC), *Ceiling Fan*, ADPI (*Air Diffusion Performance Index*), Ruangan Kantor

1. Pendahuluan

Kenyamanan termal menjadi sangat penting di dalam ruangan kantor karena dapat meningkatkan produktivitas kerja penghuni yang ada di dalamnya. Dengan temperatur udara, kecepatan angin, dan kelembaban udara yang nyaman membuat penghuni tidak merasakan terlalu panas atau terlalu dingin sehingga tidak mudah lelah dalam bekerja.

Sistem *Air Conditioning* (AC) menjadi salah satu solusi dalam menyejukkan dalam ruangan agar penghuni merasakan kenyamanan. Namun, sistem AC yang mempunyai *indoor AC* (*inlet AC*) di dinding bagian atas atau di plafond lebih boros energi. Hal itu disebabkan sistem AC tersebut harus mendinginkan seluruh volume ruangan akibat letak *inlet AC* berada di bagian atas ruangan. Sistem AC tersebut disebut sebagai *Ceiling Air Conditioning* (CAC).

Untuk mengurangi konsumsi energi, sistem *Floor Air Conditioning* (FAC) semakin berkembang pesat karena lebih hemat energi daripada sistem CAC. Letak *inlet AC* pada sistem FAC berada di permukaan lantai atau di dinding bagian bawah sehingga *inlet AC* pada sistem FAC hanya mengalirkan udara dingin pada area berpenghuni saja. Hal itu yang menyebabkan sistem FAC lebih hemat energi daripada sistem CAC karena temperatur udara bisa diatur lebih tinggi daripada sistem CAC [1]. Bahkan sistem FAC mempunyai kenyamanan termal yang tinggi pada ruangan apartemen karena mempunyai nilai *Air Diffusion Performance Index* (ADPI) lebih dari 80% [2].

Ceiling fan adalah salah satu sistem penghawaan udara buatan yang membantu menyejukkan udara di dalam ruangan. *Ceiling fan* tidak mampu menurunkan temperatur udara dalam ruangan tetapi dapat membantu pendinginan

karena menambah kecepatan angin dalam ruangan. Dalam penelitian sebelumnya, *ceiling fan* dapat membantu pendinginan dalam ruangan AC sehingga temperatur udara pada *inlet* AC dapat diatur lebih tinggi sehingga lebih hemat energi [3].

Sistem *FAC* dan *ceiling fan* dapat membantu mengurangi konsumsi energi dalam ruangan yang menggunakan sistem AC. Berdasarkan latar belakang permasalahan tersebut maka penelitian ini bertujuan membandingkan kenyamanan termal di dalam ruangan kantor yang menggunakan sistem CAC dan *FAC* dengan atau tanpa menggunakan *ceiling fan*.

2. Penentuan Sampel Penelitian

Sampel penelitian yang diambil adalah ruangan kantor Pasca Sarjana, ITATS. Ruangan kantor tersebut berlokasi di Jalan Arief Rachman Hakim No 100, Surabaya. Ruangan ini mempunyai kaca jendela lebar yang terkena matahari langsung yang berada pada sisi utara. Ruangan tersebut mempunyai 4 meja kerja, satu meja rapat, dan 1 meja-kursi tamu. Pada dinding sisi utara dan selatan terdapat masing-masing 1 buah AC yang terletak pada dinding atas (2 sistem CAC).

Pengukuran lapangan dilakukan untuk mengukur temperatur permukaan kaca jendela dan dinding yang terkena sinar matahari langsung sebagai sumber panas. Temperatur udara pada *inlet* AC diatur dengan suhu 23°C dan kecepatan angin diatur sebesar 3 m/s.

Pengukuran temperatur permukaan dilakukan saat satu AC diaktifkan dan satu AC lainnya tidak diaktifkan karena penelitian ini hanya mensimulasikan satu AC saja yang diaktifkan. Hasil pengukuran lapangan menunjukkan temperatur permukaan kaca jendela sebesar 33°C dan temperatur permukaan pada dinding sisi utara sebesar 30°C. Pengukuran temperatur permukaan tersebut dilakukan pada tanggal 27 Juni 2014 pukul 13.00. Waktu itu diambil berdasarkan asumsi bahwa pada siang hari temperatur udara mencapai maksimal sehingga beban pendinginan untuk AC menjadi bertambah.



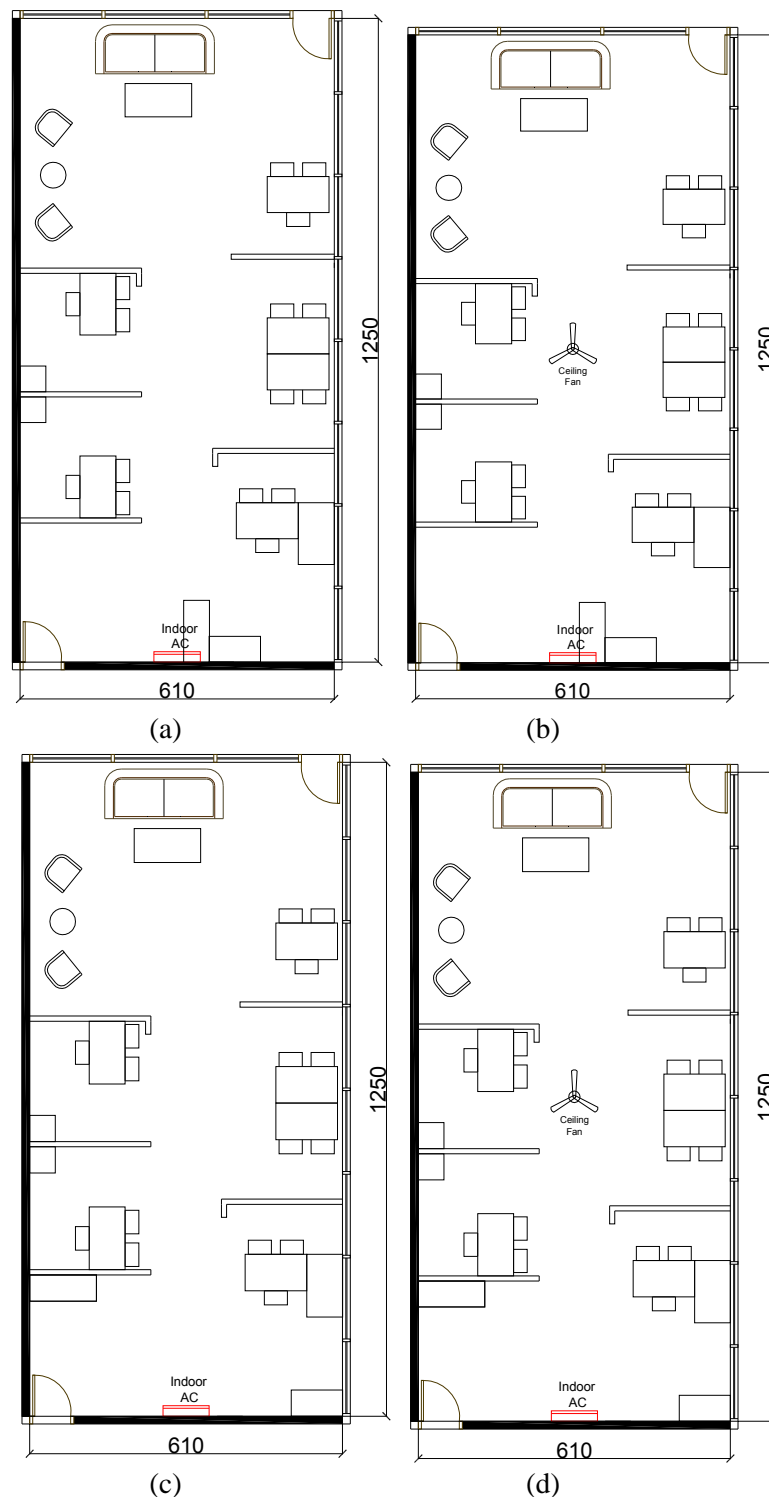
Gambar 1. Interior Ruangan Kantor Pasca Sarjana ITATS (Sampel Penelitian) (Survei, 2014)



Gambar 2. Jendela Sisi Utara pada Sampel Penelitian (Survei, 2014)

3. Eksperimen dengan Menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD)

Ruangan Pasca Sarjana, ITATS dimodelkan ke dalam simulasi *CFD* untuk memudahkan perhitungan kenyamanan termal dengan beberapa kondisi (Gambar 3). Kondisi pertama apabila ruangan menggunakan satu sistem CAC. Kondisi kedua apabila ruangan menggunakan satu sistem CAC dan satu *ceiling fan*. Kondisi ketiga apabila ruangan menggunakan satu sistem *FAC*. Kondisi keempat apabila ruangan menggunakan satu sistem *FAC* dan satu *ceiling fan*.



Gambar 3. (a) Kondisi 1=1 buah CAC, (b) Kondisi 2=1 buah CAC +1 buah *Ceiling Fan*,
(c) Kondisi 3=1 buah FAC, (d) Kondisi 4=1 buah FAC + 1 buah *Ceiling Fan*

Posisi *indoor AC* diletakkan 3.25 m dari atas lantai pada sistem CAC dan 1.1 m dari atas lantai pada sistem FAC. Adapun temperatur udara dan kecepatan angin yang diatur pada *inlet AC* dan kecepatan angin pada *ceiling fan* pada keempat kondisi dapat dilihat pada tabel 1. Temperatur udara pada sistem FAC diatur 1°C lebih tinggi daripada sistem CAC. Hal itu yang membuat

sistem FAC lebih hemat energi daripada sistem CAC karena pengaturan temperatur udara pada sistem FAC diatur lebih tinggi daripada sistem CAC.

Tabel 1. Temperatur udara dan kecepatan angin pada *inlet* AC dan *ceiling fan*

Kondisi	Temperatur Udara	Kecepatan Angin
Kondisi 1 (1 CAC)	23°C (AC)	3 m/s (AC)
Kondisi 2 (1 CAC + Ceiling Fan)	23°C (AC)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 3 m/s (AC) ▪ 1.1 m/s (ceiling fan)
Kondisi 3 (1 FAC)	24°C (AC)	3 m/s (AC)
Kondisi 4 (1 FAC + Ceiling Fan)	24°C (AC)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 3 m/s (AC) ▪ 1.1 m/s (ceiling fan)

4. Perhitungan Air Diffusion Performance Index (ADPI)

ADPI adalah salah satu parameter yang dapat digunakan untuk mengukur kenyamanan termal. Semakin tinggi nilai ADPI maka semakin baik kenyamanan termalnya [4].

Nilai ADPI dihitung berdasarkan nilai temperatur udara dan kecepatan angin pada titik-titik pengukuran dengan jarak 1 m x 1 m pada sumbu x dan y dan ketinggian 0.1, 0.6, 1.1, dan 1.7 m dari atas lantai pada sumbu z [5].

$$ADPI = \frac{-1.7^{\circ}\text{C} < EDT_x < \text{and } V_x \geq 0.3 \text{ m/s}}{\text{Total Number of Test point}} \times 100\%$$

(1)

$$EDT = (T_x - T_r) - 8(V_x - 0.15)$$

(2)

Keterangan:

ADPI : Air Diffusion Performance Index (%)

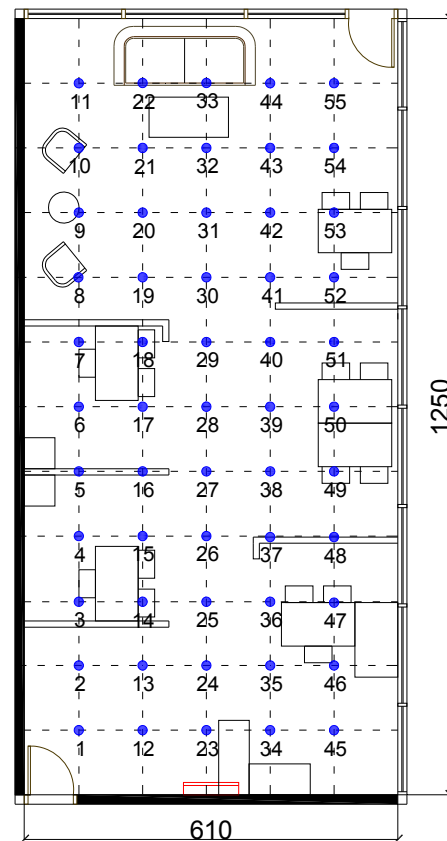
EDT : Effective Draft Temperature (°C)

V_x : Local Air Speed (m/s)

T_x : Local Air Temperature (°C)

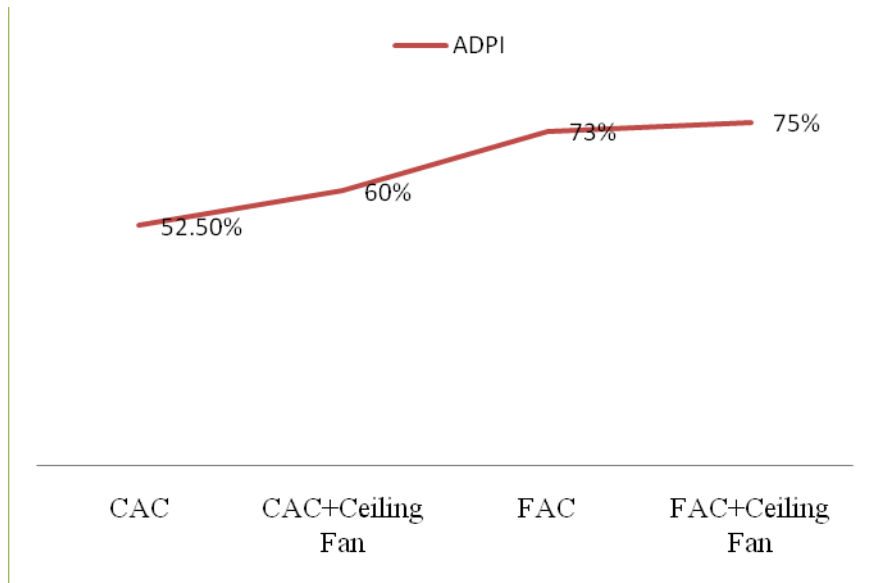
T_r : Average test zone temperature (°C)

Titik-titik pengukuran yang digunakan dalam perhitungan ADPI berjumlah 55 buah dengan ketinggian 0.1, 0.6, 1.1, dan 1.7 m dari atas lantai. Posisi titik-titik pengukuran tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Posisi Titik-titik Pengukuran pada Sampel Penelitian dalam Perhitungan ADPI

Berdasarkan perhitungan rumus di atas maka nilai ADPI pada keempat kondisi disajikan pada Gambar 5. Ruangan yang menggunakan sistem FAC dan *ceiling fan* mempunyai kenyamanan termal paling tinggi (nilai ADPI sebesar 75%). Hal itu dibuktikan dengan nilai ADPI yang dimiliki sistem FAC dan *ceiling fan* paling tinggi dibandingkan yang lainnya. Ruangan yang menggunakan satu sistem CAC saja mempunyai kenyamanan termal terendah (nilai ADPI sebesar 52,5%).



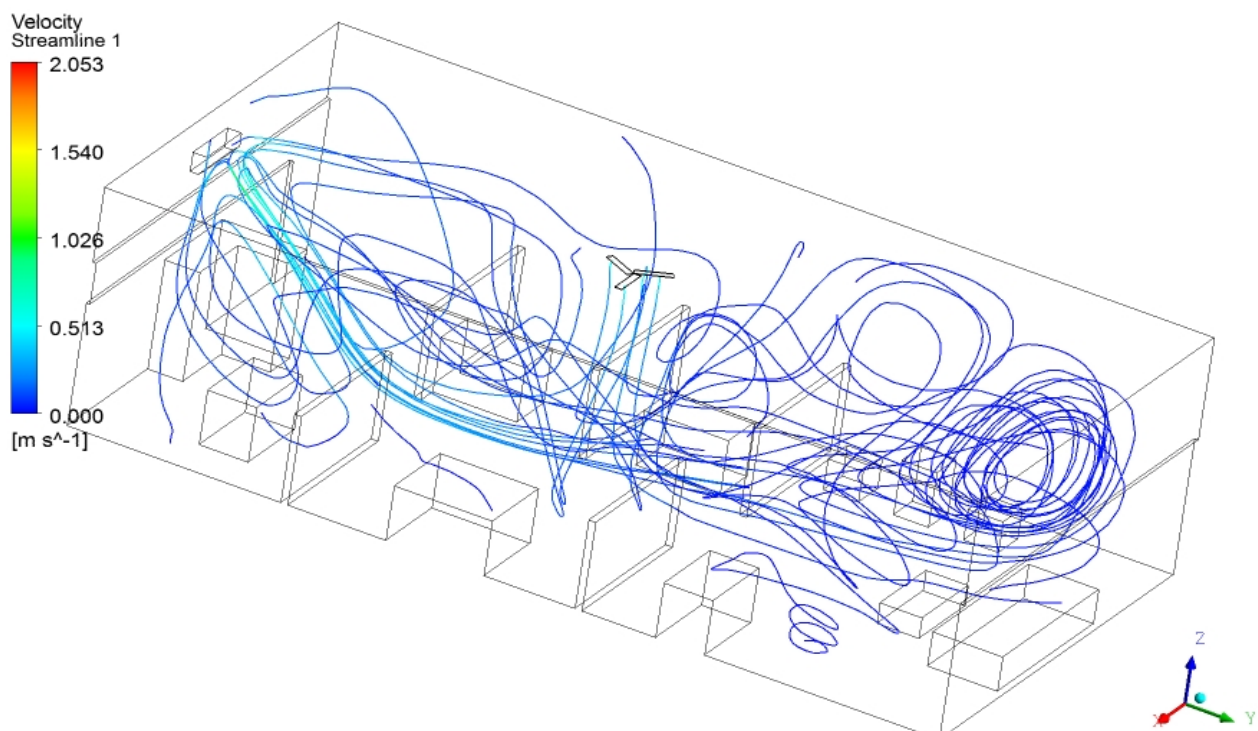
Gambar 5. Nilai ADPI pada Keempat Kondisi di Ruang Kantor

5. Analisa Pola Aliran Udara, Distribusi Temperatur Udara, dan Distribusi Kecepatan Angin

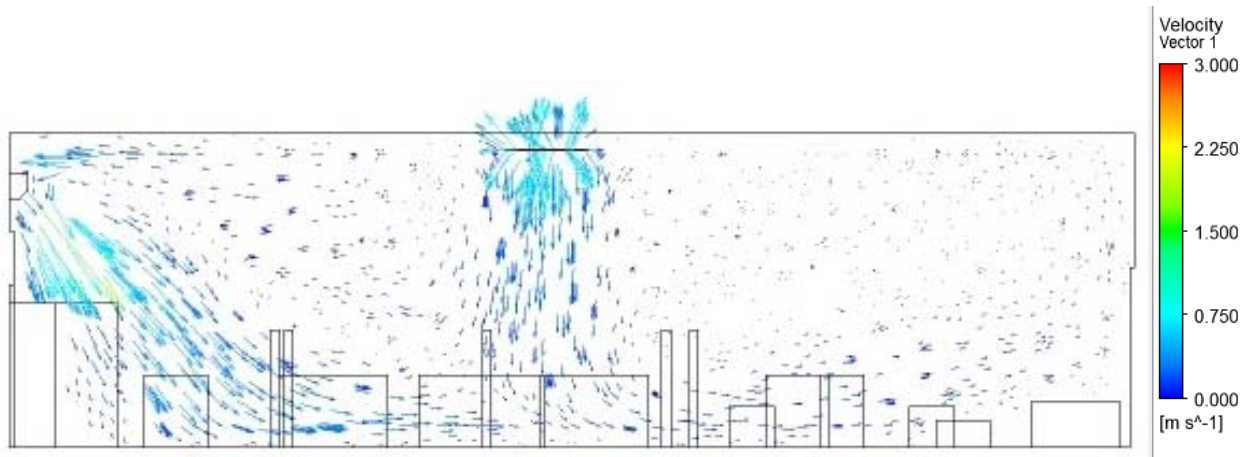
5.1 Sistem CAC (Ceiling Air Conditioning)

Pada ruangan yang menggunakan sistem CAC dan *ceiling fan*, AC diletakkan di dinding sisi selatan dan *ceiling fan* diletakkan di tengah-tengah ruangan. Aliran udara dingin mengalir ke bawah dari *inlet* AC menuju ke tengah-tengah

ruangan (Gambar 6). Pada saat udara dingin dari *inlet* AC sampai ke tengah ruangan, udara mengalami penambahan kecepatan udara akibat adanya *ceiling fan* yang berputar di tengah-tengah ruangan. Perputaran baling-baling dari *ceiling fan* tersebut menambah kecepatan angin di dalam ruangan sehingga menambah efek pendinginan (Gambar 7).



Gambar 6. Pola Aliran Udara dalam Ruangan yang Menggunakan Sistem CAC dan Ceiling Fan

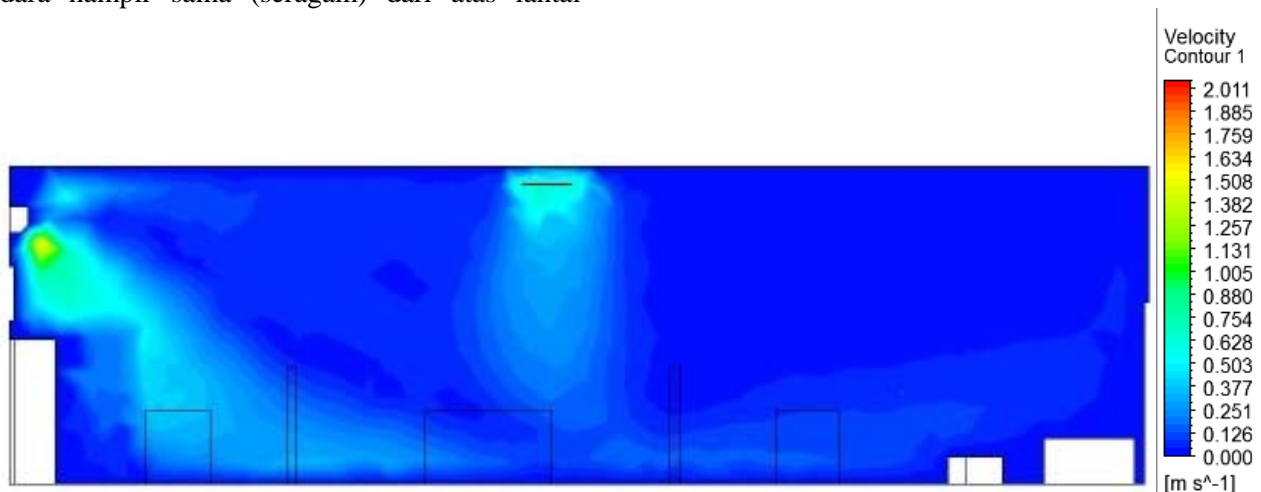


Gambar 7. Pola Aliran Udara dan Kecepatan Angin pada Potongan Searah Sumbu Y pada Ruangan yang Menggunakan Sistem CAC dan *Ceiling Fan*

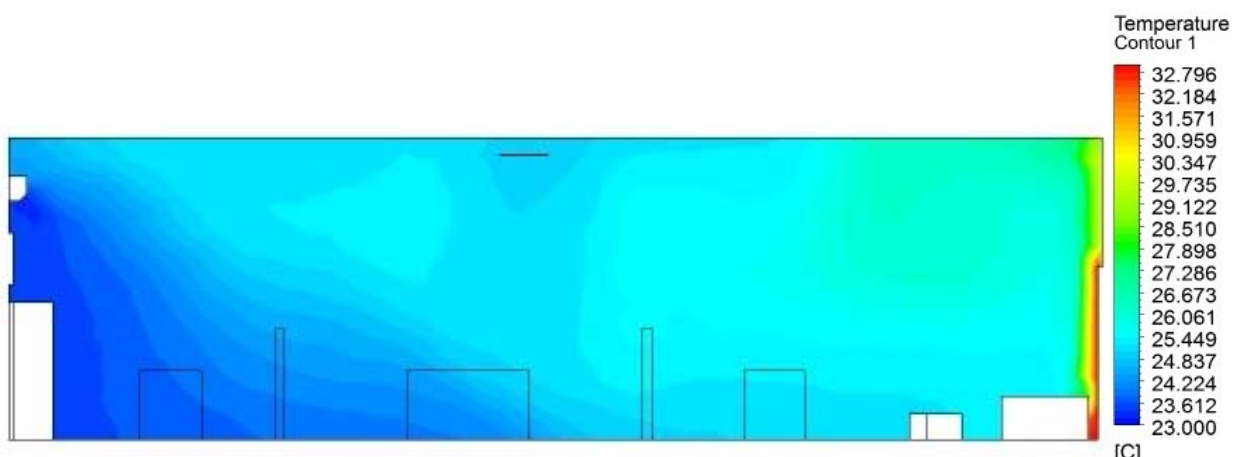
Kecepatan angin menjadi lebih tinggi saat di bawah *inlet AC* dan di bawah *ceiling fan*. Bagian bawah area ruang tamu juga mempunyai kecepatan udara yang lebih tinggi akibat aliran udara dari *AC* dan *ceiling fan* (Gambar 8).

Kondisi yang ideal/nyaman jika temperatur udara hampir sama (seragam) dari atas lantai

sampai ketinggian 1,8 m [6]. Di dalam ruangan yang menggunakan sistem CAC dan *ceiling fan*, perbedaan temperatur adalah sebesar 2,84°C (Gambar 9). Perbedaan temperatur tersebut cukup nyaman karena perbedaan temperatur yang ideal tidak boleh lebih dari 3°C [7].



Gambar 8. Distribusi Kecepatan Angin pada Ruangan yang Menggunakan Sistem CAC dan *Ceiling Fan*



Gambar 9. Distribusi Temperatur Udara pada Ruangan yang Menggunakan Sistem CAC dan *Ceiling Fan*

5.2 Sistem FAC (*Floor Air Conditioning*)

Pola aliran udara pada ruangan yang menggunakan sistem *FAC* dan *ceiling fan* berbeda dengan ruangan yang menggunakan sistem *CAC* dan *ceiling fan* karena letak *inlet AC* pada sistem *FAC* berada di dinding bagian bawah sedangkan pada sistem *CAC* berada di dinding bagian atas (Gambar 10). Dengan letak *inlet AC* yang berada di dinding bagian bawah maka *inlet AC* pada sistem *FAC* hanya mendinginkan bagian area berpenghuni saja (area yang berada dari atas permukaan lantai sampai ketinggian 1,8 m).

Sudut *inlet AC* pada sistem *FAC* mengarah ke atas sehingga udara dingin dari *AC* dialirkan ke atas dulu baru kemudian berputar kembali ke bawah menuju *return AC* (Gambar 11). *Ceiling fan* mendorong udara mengalir ke bawah dan mengikuti perputaran udara dingin dari *AC* dan selanjutnya kembali ke *return AC*.

Udara yang bergerak lebih cepat berada pada bagian atas ruangan karena *inlet AC* pada sistem *FAC* mengarah ke atas sehingga tidak terlalu banyak mengenai area berpenghuni (Gambar 12). Area yang berada di bawah *ceiling fan* juga mempunyai udara yang bergerak lebih cepat akibat adanya *celing fan*. Namun, karena letak *ceiling fan* berada di area sirkulasi yang jarang dihuni maka membuat penghuni tidak terlalu merasakan *draft* yang membuat penghuni tidak nyaman. *Draft* terjadi karena bertambahnya kecepatan angin dan berkurangnya temperatur udara [6]. Resiko *draft* semakin besar jika dekat dengan *inlet AC* [8]. Sudut *inlet AC* yang mengarah ke atas pada sistem *FAC* juga menyebabkan resiko *draft* menjadi berkurang.

Perbedaan temperatur udara pada ruangan yang menggunakan sistem *FAC* dan *ceiling fan* sedikit lebih rendah daripada sistem *CAC* dan *ceiling fan* karena perbedaan temperatur udara pada sistem *FAC* dan *ceiling fan* adalah 2,48°C sedangkan pada sistem *CAC* dan *ceiling fan* adalah 2,84°C (Gambar 13).

5.3 Perbandingan Kenyamanan Termal dan Konsumsi Energi pada Sistem CAC dengan Sistem FAC

Kenyamanan termal pada sistem *FAC* lebih nyaman daripada sistem *CAC*. Hal itu dibuktikan pada penelitian ini dan penelitian sebelumnya. Pada penelitian sebelumnya sistem *FAC* lebih

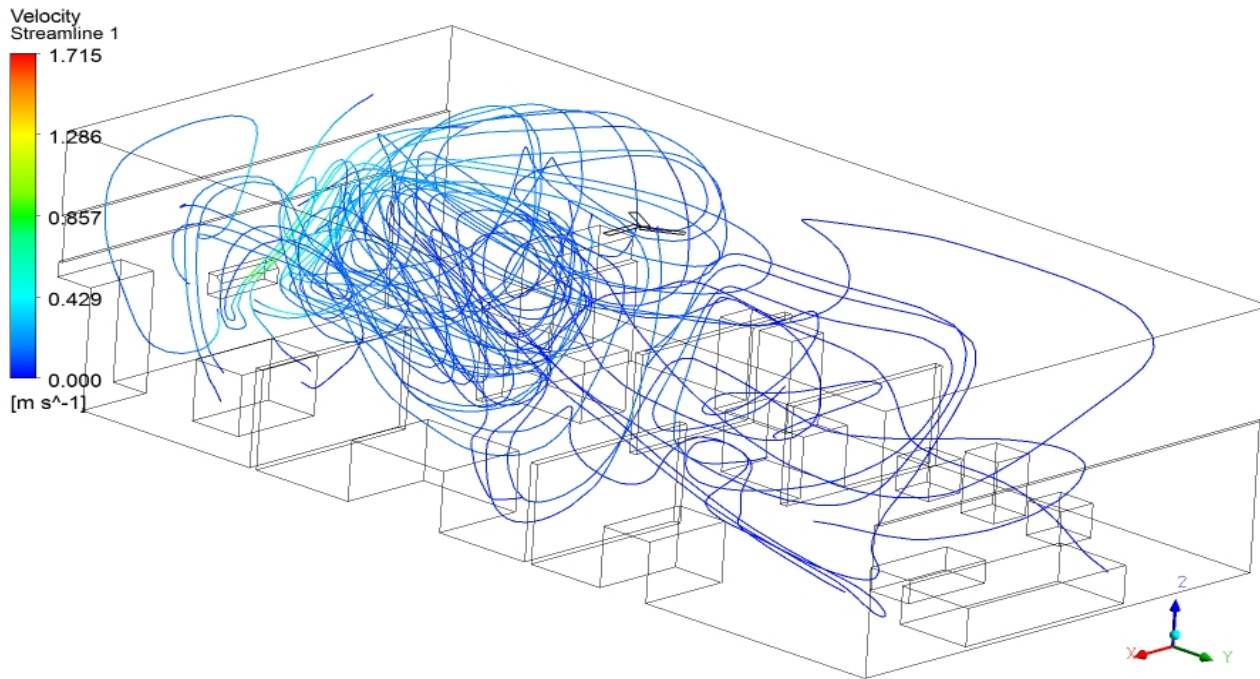
nyaman daripada sistem *CAC* pada ruang apartemen [2]. Hal itu disebabkan sudut inlet *AC* pada sistem *FAC* mengarah ke atas sehingga udara dingin dari *AC* tidak langsung mengenai area berpenghuni tetapi berputar dulu ke atas kemudian berbalik arah ke bawah menuju area berpenghuni sedangkan sudut inlet *AC* pada sistem *CAC* mengarah ke bawah sehingga udara dingin dari inlet *AC* langsung menuju area berpenghuni sehingga pada area-area yang dekat dengan inlet *AC* cenderung menjadi tidak nyaman karena penghuni merasakan temperatur yang berkurang tetapi kecepatan angin bertambah (*draft*). Banyaknya area yang mengalami *draft* tersebut menyebabkan nilai *ADPI* menjadi semakin berkurang.

Penelitian ini membuktikan bahwa dengan mengatur temperatur udara pada sistem *FAC* lebih tinggi daripada sistem *CAC* menyebabkan konsumsi energi pada sistem *FAC* lebih rendah daripada sistem *CAC*.

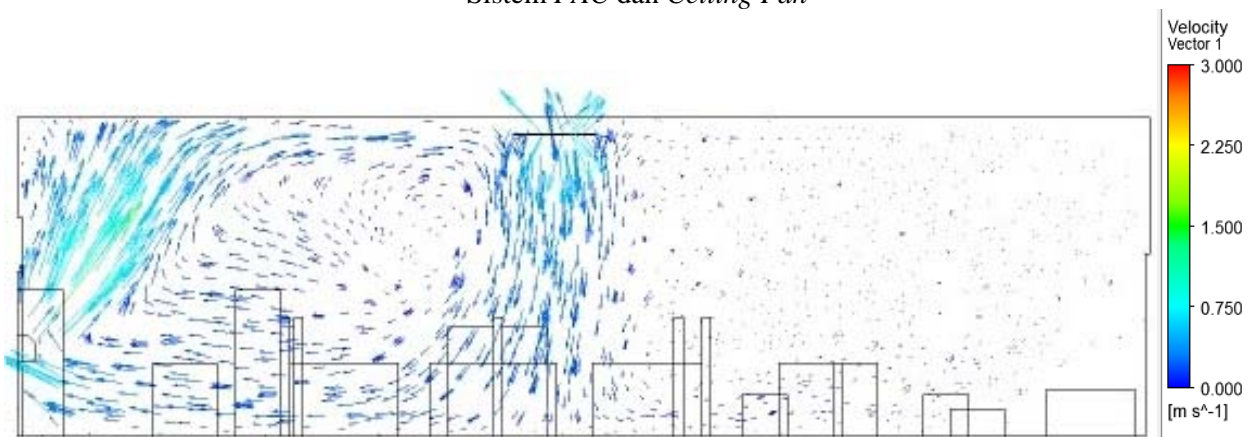
5.4 Ceiling fan Meningkatkan Kenyamanan Termal dalam Ruangan yang Menggunakan Sistem CAC dan FAC

Ceiling fan membantu pergerakan udara di dalam ruangan sehingga membantu proses pendinginan. Adanya penambahan kecepatan angin dari *ceiling fan* dapat menambah kenyamanan termal meskipun *ceiling fan* tidak mampu menurunkan temperatur udara.

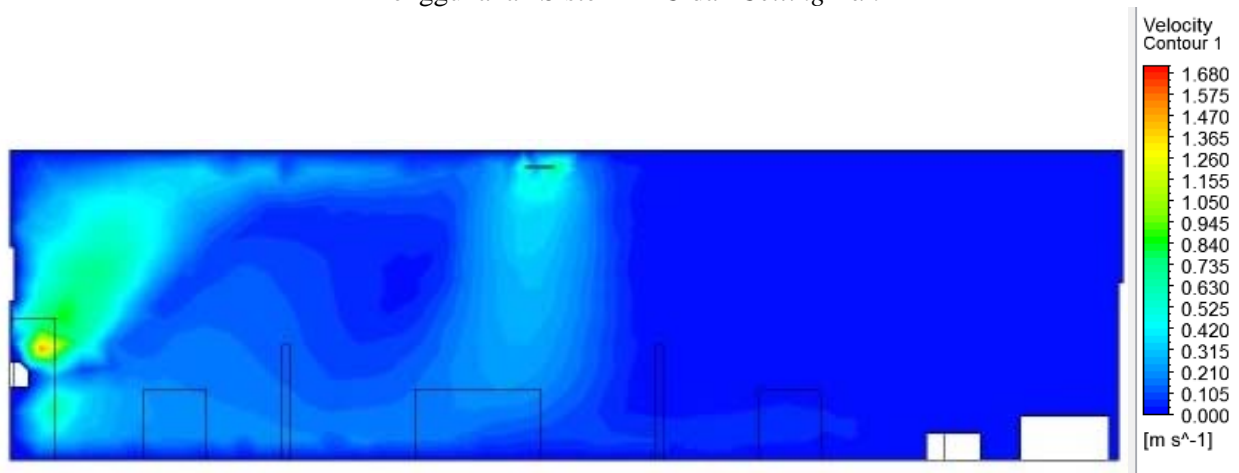
Area-area yang sebelumnya tidak mendapatkan aliran udara (area diam/*stagnant zone*) bisa menjadi area yang mempunyai kecepatan angin. Hal tersebut dapat meningkatkan nilai *ADPI* karena area yang tidak mendapatkan aliran udara adalah area yang tidak nyaman yang dapat menurunkan nilai *ADPI*. Oleh karena itu ruangan yang menggunakan sistem *CAC* dan *ceiling fan* mempunyai nilai *ADPI* lebih tinggi daripada ruangan yang hanya menggunakan sistem *CAC* tanpa *ceiling fan*. Begitu pula dengan ruangan yang menggunakan sistem *FAC* dan *ceiling fan* lebih tinggi daripada ruangan yang menggunakan sistem *FAC* saja. Saat *ceiling fan* digunakan dengan kecepatan 1.1 m/s maka nilai *ADPI* menjadi sedikit bertambah. Pada sistem *CAC* nilai *ADPI* bertambah 7,5% sedangkan pada sistem *FAC* bertambah 2,5%.



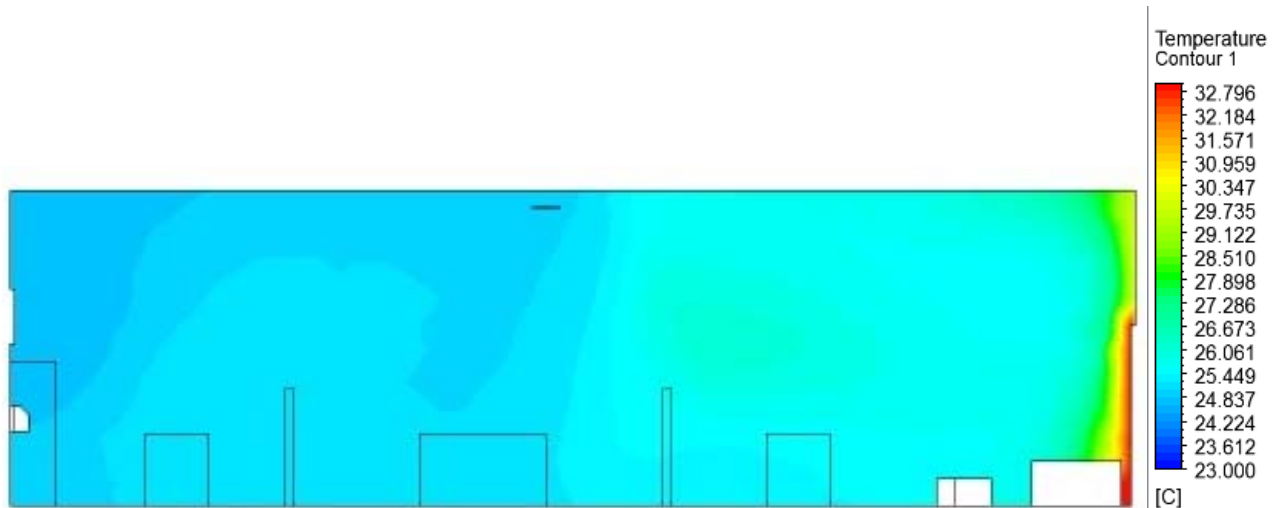
Gambar 10. Pola Aliran Udara dalam Ruangan yang Menggunakan Sistem *FAC* dan *Ceiling Fan*



Gambar 11. Pola Aliran Udara dan Kecepatan Angin pada Potongan Searah Sumbu Y pada Ruangan yang Menggunakan Sistem *FAC* dan *Ceiling Fan*



Gambar 12. Distribusi Kecepatan Angin pada Ruangan yang Menggunakan Sistem *FAC* dan *Ceiling Fan*



Gambar 13. Distribusi Temperatur Udara pada Ruangan yang Menggunakan Sistem *FAC* dan *Ceiling Fan*

Kesimpulan

Sistem *FAC* mempunyai nilai *ADPI* yang lebih tinggi daripada sistem *CAC* karena *inlet AC* pada sistem *FAC* mengarah ke atas sehingga udara dingin dialirkan dulu ke atas baru kemudian berputar ke bawah menuju area berpenghuni sehingga kecepatan angin menjadi berkurang saat udara mencapai area berpenghuni. Sistem *FAC* terbukti lebih hemat energi dan lebih nyaman daripada sistem *CAC* karena pada penelitian ini temperatur udara pada sistem *FAC* yang diatur 1 °C lebih tinggi daripada sistem *CAC* tetapi nilai *ADPI* pada sistem *FAC* lebih tinggi daripada sistem *CAC*.

Dengan menambah kecepatan angin di dalam ruangan maka dapat menambah kenyamanan termal [9]. *Ceiling fan* membantu pendinginan dalam ruangan yang menggunakan sistem *AC* meskipun *ceiling fan* tidak mampu menurunkan temperatur udara. Hal itu dibuktikan saat *ceiling fan* digunakan dengan kecepatan 1.1 m/s maka nilai *ADPI* menjadi sedikit bertambah. Pada sistem *CAC* nilai *ADPI* bertambah 7,5% sedangkan pada sistem *FAC* bertambah 2,5%.

Referensi

- [1] Bauman, Fred dan Tom, Webster. (2001), "Outlook for Underfloor Air Distribution", *ASHRAE Journal*, Vol.43, hal:18-27.
- [2] Sabtalistia, Y.A, Ekasiwi, S.N.N, dan Iskandriawan, B. (2014), "Effect of Air Conditioning on Thermal Comfort in the Floor Air Conditioning", *Applied Mechanics and Materials*, Vol 493. Hal 74-79.
- [3] Ho, S.H., Rosario, L., dan Rahman, M.M. (2009), "Thermal Comfort Enhancement by Using a Ceiling Fan", *Applied Thermal Engineering*, Vol.29, hal:1648-1656.
- [4] HPAC Article. (1998), *Air Distribution for Comfort and IAQ*, Heating Piping and Air Conditioning, Krueger
- [5] ASHRAE, ANSI/ Standard 113, (2005), Method of Testing for Room Air Distribution, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers Inc., Atlanta.
- [6] Sekhar,S.C. dan C.S, Ching. (2002), "Indoor Air Quality and Thermal Comfort Studies of an Under-Floor Air-Conditioning System in the Tropics", *Energy and Buildings*, Vol 34. Hal 431-444.
- [7] ASHRAE, ANSI/ASHRAE Standard 55-1992, (1996), *Thermal Environmental Condition for Human Occupancy*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., Atlanta.
- [8] Fanger, P.O., Melikov, A.K., Hanzawa, H., dan J, Ring. (1988), " Air Turbulence and Sensation of Draught", *Energy and Buildings*, Vol.12, hal.21-39.
- [9] Hyde Richard, (2000), *Climate Responsive Design*, Edisi Pertama, Spon Press., New York.